

DURABILIDADE DO CONCRETO

REQUISITOS DE PROJETO, NORMALIZAÇÃO E EXECUÇÃO PARA ESTRUTURAS COM LONGA VIDA ÚTIL



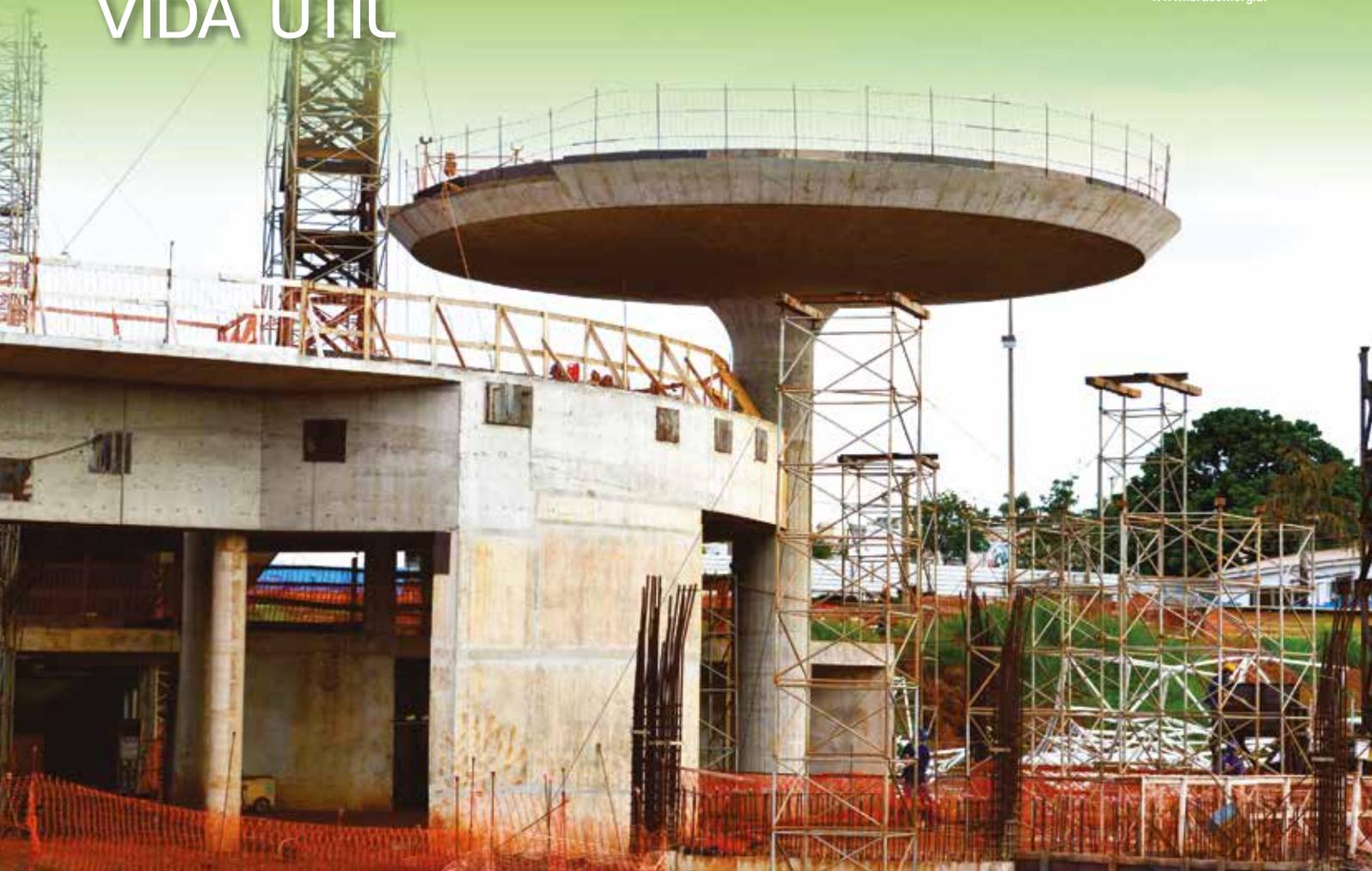
IBRACON
Instituto Brasileiro do Concreto

Ano XLIII

79

JUL-SET
2015

ISSN 1809-7197
www.ibracon.org.br



PERSONALIDADE ENTREVISTADA

HELENA CARASEK E OSWALDO
CASCUDO: EXPERTISE EM
DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES

ENTENDENDO O CONCRETO

CONCRETO DE ALTO
DESEMPENHO x COMPOSTOS
CIMENTÍCIOS AVANÇADOS

ACONTECE NAS REGIONAIS

57º CONGRESSO BRASILEIRO
DO CONCRETO DISCUTE
SUSTENTABILIDADE EM BONITO

Esta edição é um oferecimento das seguintes Entidades e Empresas



Adote concretamente

a revista CONCRETO & Construções



Instituto Brasileiro do Concreto

Organização técnico-científica nacional de defesa e valorização da engenharia civil

Fundada em 1972, seu objetivo é **promover e divulgar conhecimento sobre a tecnologia do concreto e de seus sistemas construtivos para a cadeia produtiva do concreto**, por meio de publicações técnicas, eventos técnico-científicos, cursos de atualização profissional, certificação de pessoal, reuniões técnicas e premiações.

Associe-se ao IBRACON! Mantenha-se atualizado!

- Receba gratuitamente as quatro edições anuais da **revista CONCRETO & Construções**
- Tenha descontos de até **50%** nas **publicações técnicas do IBRACON** e de até **20%** nas **publicações do American Concrete Institute (ACI)**
- Descontos nos eventos promovidos e apoiados pelo **IBRACON**, inclusive o **Congresso Brasileiro do Concreto**
- Oportunidade de participar de **Comitês Técnicos**, intercambiando conhecimentos e fazendo valer suas **opiniões técnicas**

Fique bem informado!

 www.ibracon.org.br

 facebook.com/ibraconOffice

 twitter.com/ibraconOffice

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

ADITIVOS



ADIÇÕES



JUNTAS



EQUIPAMENTOS



ARMADURA



RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL



Pires | Giovanetti | Guardia
Tratamentos de Infusões



ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



Escola Politécnica - USP



ESCRITÓRIOS DE PROJETOS



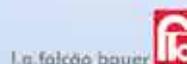
JUNTE-SE A ELAS

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

PRÉ-FABRICADOS



CONTROLE TECNOLÓGICO



CONSTRUTORAS



FÓRMAS



CIMENTO



GOVERNO



PETROBRAS



AGREGADOS



CONCRETO





CRÉDITOS CAPA
VISTA PARCIAL DAS ESTRUTURAS DO PAVILHÃO CENTRAL E DA BIBLIOTECA DO AQUÁRIO DO PANTANAL. FHECOR DO BRASIL.

SEÇÕES

- 7 Editorial
- 9 Coluna Institucional
- 11 Converse com IBRACON
- 13 Encontros e Notícias
- 26 Personalidade Entrevistada: Helena Carasek e Oswaldo Cascudo
- 56 Mantenedor
- 71 Entidades da Cadeia
- 126 Acontece nas Regionais
- 129 Agenda



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: 5.500 exemplares
Publicação trimestral distribuída gratuitamente aos associados

JORNALISTA RESPONSÁVEL

→ Fábio Luís Pedrosa - MTB 41.728
fabio@ibracon.org.br

PUBLICIDADE E PROMOÇÃO

→ Arlene Regnier de Lima Ferreira
arlene@ibracon.org.br
→ Hugo Rodrigues
hugo.rodrigues@abcp.org.br

PROJETO GRÁFICO E DTP

→ Gill Pereira
gill@ellementto-arte.com

ASSINATURA E ATENDIMENTO

office@ibracon.org.br

GRÁFICA

Ipsis Gráfica e Editora
Preço: R\$ 12,00

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

© Copyright 2015 IBRACON

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

PRESIDENTE DO COMITÊ EDITORIAL

→ Eduardo Barros Millen (estruturas)

COMITÊ EDITORIAL – MEMBROS

- Arnaldo Forti Battagin (cimento e sustentabilidade)
- Elton Bauer (argamassas)
- Erio Pazini de Figueiredo (durabilidade)
- Evandro Duarte (protendido)
- Frederico Falconi (projetista de fundações)
- Guilherme Parsekian (alvenaria estrutural)
- Helena Carasek (argamassas)
- Hugo Rodrigues (cimento e comunicação)
- Inês L. da Silva Battagin (normalização)
- Íria Lícia Oliva Doniak (pré-fabricados)
- José Tadeu Balbo (pavimentação)
- Nelson Covas (informática no projeto estrutural)
- Paulo E. Fonseca de Campos (arquitetura)
- Paulo Helene (concreto, reabilitação)
- Selmo Chapira Kuperman (barragens)



IBRACON

Rua Julieta Espírito Santo
Pinheiro, 68 – CEP 05542-120
Jardim Olímpia – São Paulo – SP
Tel. (11) 3735-0202



INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

Fundado em 1972
Declarado de Utilidade Pública Estadual | Lei 2538 de 11/11/1980
Declarado de Utilidade Pública Federal | Decreto 86871 de 25/01/1982

DIRETOR PRESIDENTE

Túlio Nogueira Bittencourt

DIRETOR 1º VICE-PRESIDENTE

Julio Timerman

DIRETOR 2º VICE-PRESIDENTE

Nelson Covas

DIRETOR 1º SECRETÁRIO

Antonio D. de Figueiredo

DIRETOR 2º SECRETÁRIO

Arcindo Vaquero Y Mayor

DIRETOR 1º TESOUREIRO

Claudio Sbrighi Neto

DIRETOR 2º TESOUREIRO

Carlos José Massucato

DIRETOR DE MARKETING

Hugo da Costa
Rodrigues Filho

DIRETOR DE EVENTOS

Luiz Prado Vieira Júnior

DIRETORA TÉCNICA

Inês Laranjeira da Silva Battagin

DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS

Ricardo Lessa

DIRETOR DE PUBLICAÇÕES E DIVULGAÇÃO TÉCNICA

Paulo Helene

DIRETORA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

Ana Elisabete Paganelli
Guimarães A. Jacintho

DIRETORA DE CURSOS

Íria Lícia Oliva Doniak

DIRETORA DE CERTIFICAÇÃO DE MÃO DE OBRA

Roseni Cezimbra

OBRAS EMBLEMÁTICAS

41 Aquário do Pantanal: desafios de projeto e construção

51 Panteão de Roma: análise simplificada de sua cúpula



NORMALIZAÇÃO TÉCNICA

58 Durabilidade das estruturas de concreto como parâmetro de sustentabilidade

65 Ações variáveis de projeto segundo os requisitos mínimo, intermediário e superior da ABNT NBR 15575

ENTENDENDO O CONCRETO

74 Concreto de alto desempenho X compostos cimentícios avançados



ESTRUTURAS EM DETALHES

79 Agressividade de solos e água sobre estruturas enterradas de concreto

INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

87 Durabilidade de armaduras enterradas sob processo natural de corrosão

93 Termografia de infravermelho na avaliação de manifestações patológicas em edifícios

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

99 Eficiência de transferência de cargas em pavimentos de concreto simples e continuamente armados

110 Grau de saturação nos modelos de durabilidade do concreto para ataques de cloretos

116 Resistência ao ataque de cloretos em concreto com cinza de bagaço de cana

120 Teor de cloretos na resistividade elétrica do concreto armado como parâmetro de durabilidade



IBRACON para Quê e para Quem ?

Caro leitor,



IBRACON é reconhecidamente uma organização de utilidade pública Estadual e Federal, de caráter técnico-científico e de valorização da engenharia nacional, que tem a nobre missão de criar, divulgar e defender o correto conhecimento sobre as obras em concreto, desenvolvendo o seu mercado, a serviço da sustentabilidade do planeta e do bem estar da sociedade.

Transformar essa visão romântica e clara do papel do Instituto em ações concretas, transcendentais e profícuas, tem sido historicamente o grande desafio Institucional.

Uma das atividades-suporte desse ideal, iniciada com o congresso de fundação do Instituto em 1972, tem sido promover, pelo menos uma vez ao ano, um Congresso de caráter científico, hoje denominado Congresso Brasileiro do Concreto (CBC), cuja 57ª edição se dará na magnífica e ecológica cidade de Bonito, em Mato Grosso do Sul, em fins de outubro deste ano.

A instituição desses eventos científicos a partir do início da década de 70, colaborou na época com o incipiente movimento nacional de formação de profissionais de alto nível através da pós graduação *stricto sensu*, ou seja viabilizou os programas de mestrado e doutorado acadêmico, hoje amplamente disseminados nas melhores Universidades do país.

Apesar do CNPq (MCTI) e da CAPES (MEC) terem sido fundados em 1951, as regras básicas dos programas de pós-graduação *stricto sensu* só foram definidas em 1965, quando então puderam dar seus primeiros passos os programas da COPPE, fundada em 1963, e o da

EPUSP, com início na década de 70.

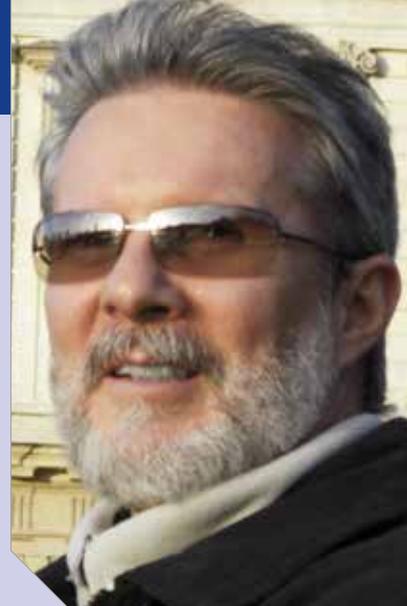
Tanto o CNPq como a CAPES têm as mesmas finalidades de promover e estimular o desenvolvimento do País através da valorização da investigação científica e tecnológica.

Para lograr tal objetivo era necessário que a produção científica dos centros de pesquisa timidamente implantados naquele tempo fosse divulgada através de eventos científicos sérios, com Comitê Científico reconhecido, capacitado e voluntário, conhecido por *pares* com atuação *ad hoc*.

A expressiva maioria desses Congressos de alto nível à época só existiam no exterior, o que dificultava a participação de pesquisadores nacionais e inviabilizava o desejado desenvolvimento em larga escala dos centros de pesquisa em concreto no país.

Naquela época e mesmo até hoje, no setor de obras em concreto, o IBRACON foi a única Instituição nacional a viabilizar, com qualidade e prestígio, essa divulgação da produção acadêmica de excelência, constituindo-se no maior fórum de conhecimento científico e tecnológico do Brasil em engenharia de concreto.

O Instituto vem premiando as teses e dissertações de excelência, recebe anualmente mais de mil resumos de trabalhos técnico-científicos, mobiliza mais de 120 consultores voluntários *ad hoc* que revisam cuidadosamente cada artigo científico submetido e aprovam cerca de 250 para apresentação oral, além de outros tantos para apresentação na modalidade pôster nas edições dos CBCs.



Pode-se dizer que não é por acaso que todas as Universidades importantes do país têm centros consolidados de pesquisa e desenvolvimento em concreto, possuem laboratórios de pesquisa e de ensino e viabilizam que qualquer obra de concreto, ainda que na mais remota região do país, possa ter um apoio tecnológico nas universidades da região.

Somente isto já seria um legado indiscutível do IBRACON ao desenvolvimento do mercado de concreto no país, pois viabilizou que investidores, órgãos públicos, construtores, projetistas, laboratórios, fabricantes de materiais, enfim, toda a cadeia produtiva do concreto tenha suporte técnico e científico confiável em todas as regiões do território nacional.

A visão e o papel do IBRACON na sociedade brasileira foram ainda mais longe, percebendo a importância de se editar uma Revista Científica (RIEM), mais um meio indispensável à divulgação da produção acadêmica do país. Sem ela, os pesquisadores brasileiros teriam como alternativa apenas publicar em periódicos estrangeiros.

Essa Revista é reconhecida pelo sistema Qualis da CAPES e pelo sistema SCOPUS / SCielo, sendo objetivo do IBRACON alcançar, a médio prazo, também o sistema ISIS.

No âmbito profissional / comercial edita livros técnicos e a Revista CONCRETO & Construções, esta com uma das maiores penetrações na comunidade de concreto. O Instituto também iniciou e implantou com sucesso, sob o aval do INMETRO, o sistema nacional de certificação de mão de obra no setor de concreto, além de oferecer cursos de pós-graduação *latu sensu* (MASTER-PEC) visando manter atualizados os melhores profissionais do setor.

O estatuto do IBRACON também prevê ainda a criação de Comitês Técnicos (CT) que reúnem grupos de profissionais para, voluntariamente, redigir textos de interesse do setor.

Um dos mais importantes é o CT-301 “Concreto Estrutural”, comitê conjunto ABECE / IBRACON, presidido atualmente pela Enga Suely Bueno, da JKMF, e secretariado pelo Eng. Alio Kimura, do grupo TQS. Um dos frutos do trabalho desse CT é a publicação da ABNT *NBR 6118:2014. Comentários e Exemplos de Aplicação*, que será lançado em Bonito no 57° CBC 2015.

Após muitas horas voluntárias de trabalho árduo, esses abnegados profissionais acabam de elaborar mais um documento importante e de muito interesse para o setor. Trata-se de um texto original dedicado a esclarecer através de vários, oportunos e inteligentes comentários e exemplos como deve ser o correto uso das recomendações constantes do texto da nova norma.

A mobilização e motivação de estudantes de engenharia e arquitetura para o concreto é outro ponto alto do IBRACON. Os lendários concursos do IBRACON, só neste ano, estão mobilizando cerca de 450 jovens provenientes de mais 35 Universidades brasileiras e até de universidades do exterior, com mais de 200 inscritos no 57° CBC 2015. Esses engenheirandos dão muita vida e movimento ao Congresso e o Instituto cumpre sua missão estratégica de longo prazo de formar profissionais engajados no universo do concreto.

Termino o meu espaço neste Editorial, mas ainda teria muito a comentar sobre a transcendente contribuição técnica e científica do Instituto ao mercado de concreto no país e ao desenvolvimento, reconhecimento e consolidação das vantagens e benefícios das obras de concreto à sustentabilidade e qualidade de vida, em benefício da sociedade brasileira.

Venha fazer parte desta Comunidade!

Junte-se ao maior grupo formador de opinião em concreto no país!

PAULO HELENE

DIRETOR DE PUBLICAÇÕES E DIVULGAÇÃO TÉCNICA 

O maior evento sobre o concreto pela primeira vez em Mato Grosso do Sul

S into-me honrada pelo convite de escrever a Coluna Institucional da 79ª edição da revista CONCRETO & Construções, que vai ser distribuída aos participantes do 57º Congresso Brasileiro do Concreto (57º CBC), do qual sou coordenadora da Comissão Organizadora Regional, e que tem como sua bandeira “O futuro do concreto para a sustentabilidade nas construções”.

O tema escolhido não poderia ser outro, levando em conta o local de realização do 57º CBC, a cidade de Bonito, no Mato Grosso do Sul, foi eleita como o melhor destino de turismo sustentável do mundo na *World Travel Market*, considerada uma das maiores feiras da indústria de turismo da Europa. A cidade acolhedora, com seus 19 mil habitantes, oferece mais de 35 atrações naturais e recebe cerca de 230 mil turistas por ano.

Para trazer o Congresso para o Centro-Oeste, formamos em 2007 uma equipe para captar o evento. Após diversas articulações e com o apoio do Bonito Convention & Visitors Bureau (Bonito CVB), ganhamos a candidatura em 2014. Com a visita dos organizadores nacionais à cidade, eles pu-



deram constatar a excelência da infraestrutura local para receber eventos técnico-científicos.

A importância em sediar o maior evento técnico-científico nacional sobre a tecnologia do concreto e as estruturas de concreto está no fato do evento propiciar a integração dos profissionais da cadeia produtiva do concreto, a troca de experiências e as transferências de conhecimento e tecnologia de outros

polos do Brasil e do mundo para a região. O evento ajudará a fortalecer a economia local, bem como incentivará ainda mais o turismo de Bonito. Um dos critérios que pautam o trabalho da Comissão Organizadora Regional é tomar o cuidado de utilizar toda a infraestrutura oferecida na região, fazendo com que população e fornecedores locais sejam beneficiados.

A passagem do Congresso em Bonito deve deixar também um legado arquitetônico: durante a realização do evento vai acontecer a 8ª edição do Concurso OUSADIA, que desafia os estudantes dos cursos de Engenharia Civil, Arquitetura e Tecnologia no país e no exterior a desenvolverem um projeto de um Portal de Entrada com um Centro de Informações Turísticas para a cidade. O planejamento deve conciliar os elementos paisagísticos do local e

a busca contínua da redução dos impactos ambientais por parte das construções. O projeto vencedor do Concurso Ousadia será entregue à Prefeitura de Bonito, que deve usá-lo para a construção do Portal da cidade.

Nesta edição do CBC, para que os congressistas possam usufruir das atrações turísticas da cidade, nós, Comissão Organizadora Regional e Nacional, concentramos as atividades dos quatro dias do evento nos períodos vespertino e noturno. A extensão e profícua programação, característica do CBC, foi mantida, com a apresentação de trabalhos técnico-científicos de pesquisadores de universidades e institutos de pesquisa nacionais e estrangeiros, com as palestras de especialistas internacionais, com os seminários e conferências paralelos, com os concursos estudantis, com a XI Feira Brasileira das Construções em Concreto (Feibracon) e todas as demais atividades tradicionais e consagradas do evento.

Neste ano, teremos ainda eleições para o Conselho Diretor do Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON.

A comissão organizadora do Mato Grosso do Sul está agradecida pela colaboração de todos os profissionais, as empresas e entidades do setor de construção civil, que acreditam e apoiam a realização do 57º Congresso Brasileiro do Concreto em Bonito. Sabemos das dificuldades enfrentadas pelo setor da construção civil no ano corrente, mas acreditamos que conhecimento, pesquisa, informação, tecnologia e experiências são bem-vindos para superar a crise e para nos prepararmos para uma nova fase de crescimento.

Sejam todos bem-vindos ao Congresso!

SANDRA REGINA BERTOCINI

COORDENADORA DA COMISSÃO ORGANIZADORA

REGIONAL DO 57º CBC

A INDÚSTRIA DE ESTRUTURAS PRÉ-MOLDADAS NO BRASIL TEM VIABILIZADO IMPORTANTES PROJETOS.



As vantagens deste sistema construtivo, presente no Brasil há mais de 50 anos:

- Eficiência Estrutural;
- Flexibilidade Arquitetônica;
- Versatilidade no uso;
- Conformidade com requisitos estabelecidos em normas técnicas ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas);
- Velocidade de Construção;
- Uso racional de recursos e menor impacto ambiental.

CONHEÇA NOSSAS AÇÕES INSTITUCIONAIS
E AS EMPRESAS ASSOCIADAS.

www.abcic.org.br


Associação Brasileira da Construção
Industrializada de Concreto

ENVIE SUA PERGUNTA PARA O E-MAIL: fabio@ibracon.org.br

PERGUNTAS TÉCNICAS

A PARTIR DE QUAL VOLUME DE CONCRETO É NECESSÁRIO CONSIDERAR EM PROJETO O CONTROLE TÉRMICO DE UMA FUNDAÇÃO QUANTO AO CALOR DE HIDRATAÇÃO?

ADRIANO JUSTINO
(BAURU - SP)

Especificar um número para esse volume é muito difícil. Já tive a oportunidade de ver blocos de cerca de 30m³ fissurados devido ao efeito térmico e, diga-se de passagem, esses blocos tinham pouca armadura no topo e nas laterais. Óbvio que não foi a taxa de armadura o agente causador das fissuras, mas poderia ter evitado a fissuração. Sabemos ainda que muitos blocos são armados sem esse tipo de armadura superior, o que pode contribuir muito para o aumento da fissuração.

Pela definição do IBRACON sobre concreto massa, qualquer peça de concreto que tenha dimensão a partir de 0,50 m em pelo menos uma direção, deve ser tratada como concreto massa e ser verificada quanto o efeito térmico.

Normalmente, em blocos de fundação usuais, apenas medidas preventivas de projeto podem ser suficientes para controlar a fissuração, como, por exemplo, adotar uma taxa de armadura (superior e lateral) um pouco maior que a de costume, ou ainda prever a execução por camadas de concretagem. A recente revisão da ABNT NBR 6118:2014 incluiu em seu item 22.7.4.1.5 a obrigatoriedade da colocação de armaduras laterais e superiores em blocos sobre duas ou mais estacas, e também chama a atenção para a avaliação de blocos de grandes volumes, entretanto não é dito qual volume é esse.

Como vemos é um assunto complexo e interessante, e especificar a partir de qual volume se deve ter um cuidado especial quanto a questão térmica é uma tarefa complicada, pois depende de

muitos fatores. Blocos pequenos com pouca armadura e muito cimento podem fissurar. Blocos grandes, sem os devidos cuidados, podem fissurar mais ainda.

O ideal é que se tenha um critério de detalhamento de armaduras que atenda a maior parte dos casos, e sempre que possível solicitar um estudo térmico mais detalhado.

ENG. DOUGLAS COUTO, PhD ENGENHARIA

PELO QUE SEI, MAS POSSO ESTAR MAL INFORMADA, AS CONCRETEIRAS E INDÚSTRIAS DE PRÉ-FABRICAÇÃO DO BRASIL NÃO COSTUMAM USAR ADITIVO MODIFICADOR DE VISCOSIDADE NOS CONCRETOS AUTOADENSÁVEIS QUE PRODUZEM, OU SEJA, ADOTAM OS CHAMADOS "POWDER TYPE SCC". ESTOU MUITO CURIOSA SOBRE AS RAZÕES QUE TÊM LEVADO A ESTA ESCOLHA. PRIMEIRO, IMAGINEI QUE PUDESSE SER O CUSTO DESSE ADITIVO. ENTRETANTO, A DOSAGEM DESSE ADITIVO COSTUMA SER BAIXA. E, POR OUTRO LADO, ESSE ADITIVO TRARIA MAIS ROBUSTEZ AO CONCRETO E POSSIBILITARIA A ADOÇÃO DE MENOS PASTA, O QUE SERIA VANTAJOSO SOB VÁRIOS ASPECTOS. VOCÊ PODERIA FAZER A GENTILEZA DE ME ESCLARECER:

- SE ESTOU CERTA ACERCA DO NÃO USO DO ADITIVO MODIFICADOR DE VISCOSIDADE PELA INDÚSTRIA BRASILEIRA?
- OS MOTIVOS DESTA INDÚSTRIA PARA A ESCOLHA DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM MAIOR TEOR DE PASTA?
- SE A ESCOLHA DO TIPO DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL NO BRASIL CORRESPONDE AO QUE TEM SIDO FEITO EM OUTROS PAÍSES?

LIDIA SHEHATA
(UFRJ)

Pergunta interessante e complexa. Consultei a fina flor dos entendidos no tema: Basf, Viapol, Mc-Bauchemie, Grace, Engemix, Polimix, ABESC e colegas. Meu resumo:

1. Cerca de 90% do concreto dito, chamado ou vendido como autoadensável no Brasil é, na verdade, um concreto fluido que não atende

aos ensaios e requisitos previstos na ABNT NBR 15823 (Classes SF1, SF2 e SF3). É comum eu ser chamado para avaliar paredes de concreto com autoadensáveis e encontrar uma junta de concretagem bem inclinada, a 60 graus, quando deveria ser horizontal! Nesses concretos o preço não comporta VEA (aditivos modificadores de viscosidade).

2. Em 95% das obras em concreto autoadensável (que, na verdade, são apenas fluidos), os aditivos superplastificantes são adicionados no canteiro, na hora do lançamento. Portanto, não é necessária a robustez no traço. Concretos autoadensáveis (SCC) dosados e orientados pela PhD sempre saem prontos da Central e não se adiciona nada no canteiro. Neste caso, muitas vezes é vantajoso usar VEA.
3. A indústria de pré-moldados tem a Central de mistura ao lado da produção e dispensa robustez nos concretos e dispensa VEA.
4. Um concreto SCC geralmente resulta em fcks superiores a 40MPa aos 28 dias e bem poucas obras requerem concretos com fck superior a 40MPa. A grande maioria pede SCC e fck de 30MPa. Óbvio que recebe concreto fluido e não SCC.
5. Existe inércia e certo preconceito na indústria do concreto com relação a usar muitos aditivos.
6. Alguns aditivos mais caros e mais sofisticados oferecidos no Brasil já têm VEA incorporado no superplastificante.
7. É muito interessante usar adições (sílica e metacaulim) por conta da durabilidade, para reduzir risco de AAR (Reação Álcali-Agregado), para aumentar fck, para modificar módulo, para alterar cor, para alterar absorção, para reduzir cloretos, para reduzir consumo de clínquer,

ou seja, as adições são mais necessárias e versáteis que os VEAs e, por isso, são mais utilizadas.

8. Os agregados do RJ são ruins e com granulometria mal equilibrada. Os VEAs funcionam bem e melhoram a trabalhabilidade. Foram utilizados, por exemplo, nas megavigas da Cassol, na ponte de Manaus e no Estaleiro Atlântico.
9. Grande parte dos cimentos nacionais têm adições incorporadas, enquanto nos USA, eles não têm. Portanto, fica menos interessante o uso de VEA no Brasil.
10. Nas obras, as concretagens são empreitadas por m^3 ou m^2 e realizadas por terceiros (gatos). Melhorar o concreto, reduzir ruídos, reduzir prazos, reduzir pessoal não altera o preço dos serviços de concretagem (gatos). Portan-

to, melhorar o concreto fica como algo secundário.

11. Praticamente em todas as Centrais, a administração de aditivos é manual e precária. Depende de gente para dosar cada aditivo e subir na escada e lançar o aditivo. Na Europa e USA, usam-se dispensados automáticos. No Brasil, depende-se do peso e quanto menos tipos diferentes de aditivo, bem menor os riscos de erros humanos.
12. Se o pedido é concreto fluido ou pseudo SCC, com fck de 25MPa e sem nenhuma exigência de exsudação, homogeneidade ou segregação, adicionar água à vontade é o caminho mais rápido e mais barato.
13. Tem serviços de concretagem com concretos de slump 60mm, porque é mais barato. Na obra, ao Construtor tanto faz que os operários do

subempreiteiro fiquem concretando 2h ou 6h, pois pagam igual ao (gato) subempreiteiro. Daí, vibram demais ou de menos, fica abrindo ferragem com alavancas, deixam bicheiras, juntas frias, destroem as fôrmas, etc.

14. Os VEAs são muito utilizados em argamassa de base cimento. Eu sempre uso para revestimentos de tanques, piscinas e parques aquáticos, tipo "Wet and Wild".

Concluindo:

- ▶ Os VEAs são uma boa opção para os SCC de verdade;
- ▶ Motivos vários impedem seu maior uso.

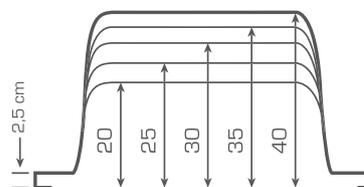
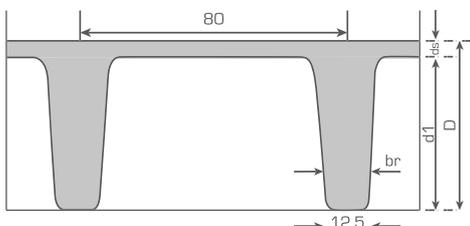
Estou à sua disposição para ampliarmos a discussão.

PAULO HELENE, DIRETOR DE PUBLICAÇÕES TÉCNICAS DO IBRACON E DIRETOR DA PHD ENGENHARIA



Lages Shopping Center - Lages / SC

FÔRMAS CIENTIFICAMENTE PROJETADAS PARA EVITAR DEFORMAÇÕES DURANTE A CONCRETAGEM



Ao utilizar a fôrma 80x72,5 cm, o cliente encontra à sua disposição alguns fornecedores, podendo negociar melhores preços.

Disponibilizamos meias-fôrmas em todas as alturas citadas acima.

31 3392.6550 • 9712.6642
contato@brasilformas.com
www.brasilformas.com

 Brasil
fôrmas



Comentários e Exemplos de Aplicação da ABNT NBR 6118:2014

A publicação traz comentários e exemplos de aplicação da nova norma brasileira para projetos de estruturas de concreto - ABNT NBR 6118:2014, objetivando esclarecer os conceitos e exigências normativas e, assim, facilitar seu uso pelos escritórios de projeto.

Fruto do trabalho do Comitê Técnico CT 301, comitê formado por especialis-

tas do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) e da Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE), para normalizar o Concreto Estrutural, a obra é voltada para engenheiros civis, arquitetos e tecnólogos.

A publicação contou com o patrocínio da Ancora Pro, Engeti, Equilibrata, Gerdau, Schwing Stetter, Vedacit e Votorantim.

CIMENTO NACIONAL.
O CIMENTO COM A FORÇA DO BRASIL
É SEMPRE UMA GARANTIA DE
QUALIDADE NA SUA OBRA.



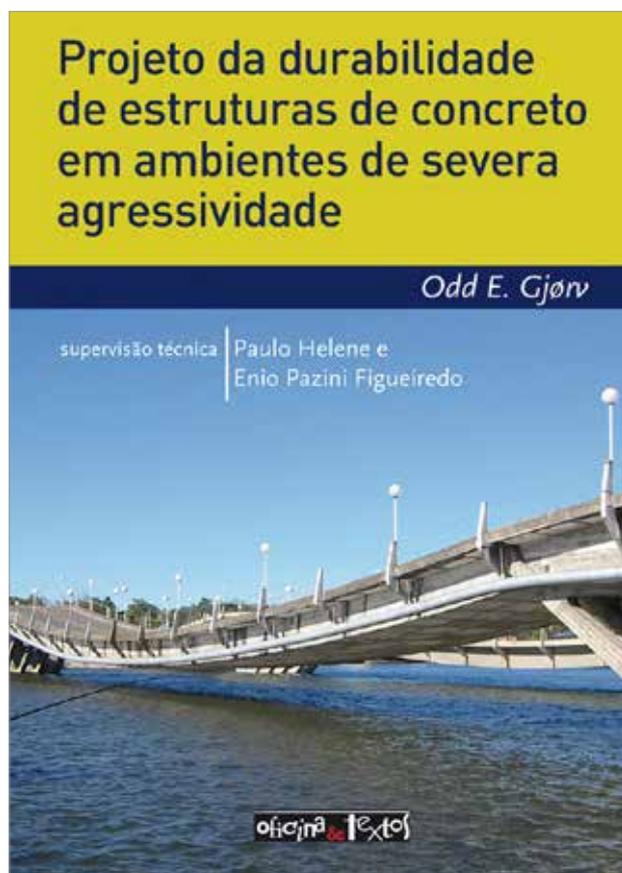
O **Cimento Nacional** tem maior rendimento na aplicação, com grande aderência, alta resistência, qualidade constante e uniforme. É cimento forte, moderno, de alta tecnologia.

Com o **Cimento Nacional** você tem qualidade superior e alta performance em todo tipo de aplicação.

Cimento Nacional, o cimento com a força do Brasil.



www.cimentonacional.com.br
CAC - 0800 201 0021



Projeto da Durabilidade de Estru

A vida útil da estrutura no projeto é relativamente recente. Foi introduzida na década de 1990 na Europa e nos Estados Unidos e, em 2003 no Brasil, com a publicação da ABNT NBR 6118. O conceito foi reforçado no país com a publicação, em 2013, da ABNT NBR 15575, que considera a durabilidade das estruturas de concreto como um dos critérios de desempenho das construções civis. Pela recente introdução do conceito, faltam dados seguros e confiáveis sobre a durabilidade de obras existentes nos quais o projetista pode se apoiar. Neste contexto, o livro “Projeto da Durabilidade de Estruturas de Concreto em Ambientes de Severa Agressividade” vem suprir uma lacuna na engenharia de estruturas. Repassando para a obra grande parte de sua longa experiência em observação, estudo, inspeção e diagnóstico de estruturas portuárias e em alto-mar, Odd Gjorv



RAPIDEZ E ECONOMIA PARA SUA OBRA.

Concretos Especiais



Concreto Autoadensável



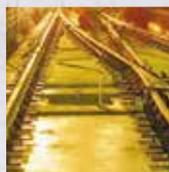
Concreto de Alto Desempenho (CAD)



Concreto Permeável



Ecomix



Projetado



Submerso

Tipos de Aplicação



Bombeável

Permite concretagem em grandes alturas e locais de difícil acesso, reduzindo custos.



Convencional

Usado em obras de pequeno porte, quando não é possível bombear o concreto.

estruturas de Concreto em Ambientes de Severa Agressividade

trata com profundidade o tema da durabilidade de estruturas em ambientes marinhos, com foco na penetração de cloretos e a corrosão de armaduras. A obra trata dos procedimentos e especificações de dosagem do concreto para assegurar sua durabilidade frente ao ataque por cloretos, especifica requisitos prescritivos de durabilidade baseados no desempenho da estrutura para o controle da qualidade durante a execução da obra e apresenta os procedimentos para inspeção e avaliação da estrutura e para sua manutenção preventiva.

Deste modo, o livro é obra de consulta obrigatória para os profissionais da engenharia de concreto no país, permitindo aos projetistas estruturais obter conceitos e dados práticos para a tomada de decisões quanto à introdução da durabilidade no projeto de estruturas de concreto. O livro também aborda o controle de qualidade na execução de obras e suas consequências em relação à vida útil, servindo como referência a consultores, tecnólogos, construtores, laboratoristas, pesquisadores e gestores. Com patrocínio da Weber Saint-

-Gobain, a versão brasileira, editada pela Oficina de Textos, teve supervisão técnica de Paulo Helene (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Poli-USP) e Enio Pazini (Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás – EEC/UFG). Ela será lançada no 57º Congresso Brasileiro do Concreto, que acontece de 27 a 30 de outubro, em Bonito, Mato Grosso do Sul. Os participantes do evento poderão autografar seu livro com o autor, que também proferirá uma palestra no Congresso.

consultoria e projetos estruturais



viabilização de tráfego de cargas especiais

recuperação e reforço de edificações



adequação funcional de obras de arte

projetos de obras de arte

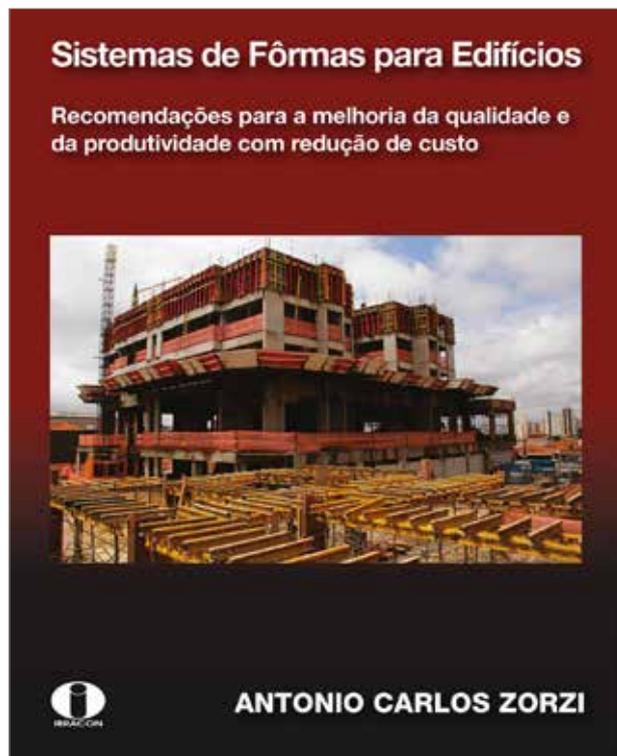


soluções de qualidade

www.engeti.eng.br

Avenida angélica, 1996 - conj. 404 - Consolação, São Paulo - SP - CEP: 01228-200 Tel: (11) 3666.9289





Sistemas de Fôrmas para Edifícios – 2ª edição

O livro “Sistemas de Fôrmas para Edifícios: recomendações para a melhoria da qualidade e da produtividade com redução de custo”, do Eng. Antonio Carlos Zorzi, propõe diretrizes para a racionalização de sistemas de fôrmas empregados na execução de estruturas de concreto armado e que utilizam o molde em madeira.

Tendo por base a experiência profissional do autor junto às construtoras Encol e Cyrela, a segunda edição da obra, am-

pliada e atualizada, aborda desde o projeto arquitetônico e o lançamento estrutural frente à construtibilidade da estrutura, passando pela caracterização dos materiais componentes do molde de madeira, do projeto de produção e fabricação das fôrmas, do cimbramento, da montagem e da desfôrma, até o treinamento e qualificação de mão de obra.

A publicação, com patrocínio da Peri, é voltada aos engenheiros civis, projetistas, construtores e gerenciadores da qualidade da construção.

Para construir seus projetos mais importantes, conte com a força do vergalhão Gerdau GG 50. **A força da transformação.**

Ogilvy



O aço da Gerdau tem a força da transformação.

A qualidade da sua obra começa pela estrutura. Por isso, conte com a força do vergalhão Gerdau GG 50. Com ele, você tem a resistência que sua construção precisa, além de toda a confiança de uma marca que você já conhece. **Vergalhão é Gerdau GG 50.**



Baixe o aplicativo Gerdau Produtos e conheça nosso catálogo completo.



www.gerdau.com/br

Propriedades do Concreto

O livro oferece uma visão abrangente e detalhada do concreto como material de construção. Em sua quinta edição, seu objetivo é fornecer aos projetistas, empreiteiros e fornecedores o entendimento consolidado do comportamento do concreto, seja em laboratório, seja em estruturas reais, para facilitar a obtenção de construções em concreto com maior qualidade.

Seu autor, Adam Neville, tem larga experiência como professor, pesquisador e consultor em engenharia civil. Foi diretor da Universidade de Dundee, chefe de

Departamento da Universidade de Leeds e reitor da Universidade de Calgary. A tradução da quinta edição em inglês coube ao professor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Rio Grande do Sul, Ruy Cremonini.

Editado pela Bookman, a nova edição contém tópicos adicionais: formação de etringita tardia, agregado reciclado de concreto, concreto autoadensável, ataque de sulfatos, além das atualizações dos tópicos das edições anteriores.

→ **Informações:** www.grupoa.com.br



- Aditivos para Cimento
- Aditivos para Concreto
- Soluções para Impermeabilização

GRACE
Talent | Technology | Trust™

Think **GREEN**
Think **GRACE**



Concreto Autoadensável

O livro Concreto Autoadensável, de Bernardo Tutikian e Denise Dal Molin, está em sua segunda edição, revisada e ampliada. Resultado de mais de quinze anos de estudos, a publicação tem início com uma extensa revisão bibliográfica do concreto autoadensável (CAA), ressaltando aplicações, vantagens, desvantagens e equipamentos de verificação da trabalhabilidade, entre outros tópicos abordados. No capítulo 5 são apresentados dois métodos de dosagem que foram desenvolvidos para CAA com o intuito de

resolver um dos maiores gargalos relacionados à disseminação do material no Brasil: o custo elevado. A partir de tais métodos, foi possível que o concreto autoadensável tivesse custos competitivos em relação aos concretos convencionais, tornando o processo de produção de estruturas com CAA viável economicamente, como demonstrado nos capítulos seguintes.

Lançado pela Editora PINI com patrocínio da MC Bauchemie, o livro foi lançado na feira Concrete Show South America, ocorrida em agosto último.



A experiência de quem saber fazer.

A Mega Concreto chega com uma equipe motivada e liderada por profissionais experientes que gostam de desafios. Não é a toa que muitas das histórias do concreto no Brasil foram escritas por eles e pelo visto escreverão muitas mais.

Nossa estrutura

- 120 m³/h de produção de concreto de qualidade.
- Produção e entregas informatizadas.
- Precisão e rapidez no atendimento.
- Estrutura eficiente de pós-venda.
- Soluções para obras de pequeno, médio e grande porte.
- Usinas de canteiro.

11 3616.2244 www.megaconcreto.com.br



2º Congresso Brasileiro de Patologia das Construções

A Associação Brasileira de Patologia das Construções (ALCONPAT BRASIL), com apoio do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), promove, entre os dias 18 e 20 de abril de 2016, na cidade

de Belém, no Pará, o 2º Congresso Brasileiro de Patologia das Construções (2º CBPAT).

Fórum de debates sobre o controle da qualidade, a patologia e a recuperação de estruturas, com intuito de divulgar

as pesquisas científicas e tecnológicas sobre estes importantes temas e áreas correlatas, o 2º CBPAT está recebendo artigos técnico-científicos.

→ **Informações:**

<http://alconpat.org.br/cbpat2016/>

Conferência Internacional sobre Concreto Estrutural Sustentável

Fórum internacional para cientistas, engenheiros, empresários e construtores discutirem os avanços no conhecimento técnico, nas pesquisas e inovações sobre o concreto sustentável sob diversas perspectivas, a Conferência Internacional sobre Concreto

Estrutural Sustentável acontece de 15 a 18 de setembro de 2015, na cidade de La Plata, na Argentina.

Promovida pela Associação Argentina de Tecnologia do Concreto (AATH), Associação Argentina do Concreto Estrutural (AAHES), Laboratório de

Treinamento Multidisciplinar para a Investigação Tecnológica (LEMIT) e União dos Laboratórios e Especialistas em Materiais, Sistemas e Estruturas (RILEM).

→ **Informações:**

www.sustainconcrete2015.com.ar

PENETRON torna um bom concreto ainda melhor

Melhorando a performance do concreto

Uma característica que impacta na durabilidade do concreto é a permeabilidade à água. Adicionar **PENETRON ADMIX** ao concreto, aumenta a proteção das estruturas por meio da redução do ingresso de substâncias potencialmente agressivas como: dióxido de carbono, cloretos, sulfatos entre outras substâncias. **PENETRON** é a solução eficaz para aumentar a vida útil do concreto e a durabilidade das estruturas.



PENETRON[®]
TOTAL CONCRETE PROTECTION

PENETRON BRASIL
penetron.com.br

TELEPHONE: + 55 12 3159-0090

+ 55 12 2131-4801 / + 55 12 2131-4802

EMAIL: info@penetron.com.br

18º Encontro Nacional de Engenharia e Consultoria Estrutural (Enece 2015)

Sob o tema “O papel das estruturas e a viabilidade do empreendimento”, o 18º Encontro Nacional de Engenharia e Consultoria Estrutural (Enece 2015) acontece nos dias 8 e 9 de outubro, no Milenium Centro de Convenções, em São Paulo. As inscrições para o evento já estão abertas.

Promovido pela Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (Abece), o evento será formado por três

painéis com palestras de especialistas. Kaare Dahl, engenheiro estrutural, gerente de projeto na Ramboll (Nova Delhi, Índia) é o convidado do painel “Construtor versus Estruturas”, onde os especialistas debaterão as principais necessidades de quem projeta e de quem executa os empreendimentos. O segundo painel contemplará importantes cases de estruturas, fechando o primeiro dia do evento.

No dia seguinte, haverá um painel que vai abordar importantes normas que norteiam o cotidiano do engenheiro estrutural e os principais comitês em andamento para atualização e revisão dessas normalizações. A programação será encerrada com a cerimônia de entrega do 13º Prêmio Talento Engenharia Estrutural, que revelará os vencedores dos melhores projetos estruturais de 2015.

14º Congresso Internacional sobre Química do Cimento

O 14º Congresso Internacional sobre Química do Cimento será realizado de 13 a 16 de outubro de 2015, em Pequim, na China, tendo como tema o

cimento de baixa emissão de carbono e o desenvolvimento sustentável no setor. Durante o evento, serão realizadas as visitas técnicas a Academia Chinesa de

Materiais de Construção, ao Escritório em Pequim da Barragem das Três Gargantas e a Fábrica de Cimento de Pequim.

→ Informações: www.iccc2015beijing.org

Confiança, produtividade, experiência, inovação e satisfação, são os principais conceitos que resumem todos os diferenciais dos equipamentos, serviços e peças SCHWING-Stetter.

Enquanto a globalização e internacionalização são fatores de principal importância para qualquer mercado, o grupo SCHWING-Stetter mantém sua filosofia de foco no cliente, superando suas expectativas através de investimentos em pesquisa e desenvolvimento de seus produtos, procurando sempre inovar e aperfeiçoar o desempenho e a segurança dos equipamentos. Com essa filosofia e equipamentos aprovados nas principais obras do Brasil e do mundo desde 1934, a marca SCHWING-Stetter é sinônimo de credibilidade e segurança, baixo custo de manutenção, alto valor de revenda e competência técnica para qualquer projeto.



Rod. Fernão Dias, km 56 | Terra Preta | Mairiporã
07600-000 | São Paulo | Brasil
Tel.: +55 11 4486-8500 | Fax: +55 11 4486-1227
info@schwingstetter.com.br



www.schwingstetter.com.br

Congresso Internacional em Reabilitação de Construções

O Congresso Internacional em Reabilitação de Construções (Conpat 2015) vai ocorrer no Instituto Superior Técnico, em Lisboa, Portugal, de 08 a 10 de setembro de 2015, com a finalidade de divulgar as melhores estratégias e tecnologias para o setor de reabilitação das construções.

Está prevista a apresentação de cerca de 400 trabalhos técnico-científicos de pesquisadores de 19 países. Promovido pela Alconpat (Associação de Patologia das Construções), o evento oferecerá também os cursos “Patologia das Construções” e “Reabilitação das Construções”, e

os workshops “Vida útil das Construções”, “Patologia e manutenção das construções”, “Nanomateriais na melhoria do desempenho de soluções de revestimento” e “Construções Sustentáveis”.

→ **Informações:**

www.conpat2015.com

2ª Conferência Internacional sobre Sustentabilidade do Concreto

Com a finalidade de discutir tecnologias redutoras de impactos ambientais, aspectos de durabilidade de projetos de obras e materiais e estruturas sustentáveis, a 2ª Conferência

Internacional sobre sustentabilidade do concreto (ICCS16) vai acontecer de 13 a 15 de junho de 2016, em Madri, na Espanha.

Organizada pela Universidade Politéc-

nica de Madri (UPM) e co-organizada pela Ache, ACI, Alconpat, fib, Rilem e JCI, a Conferência recebe artigos técnicos até 31 de outubro.

→ **Informações:** www.iccs16.org

Só quem tem mais de 100 anos de experiência pode oferecer tanta tecnologia!

Sika ViscoFlow®

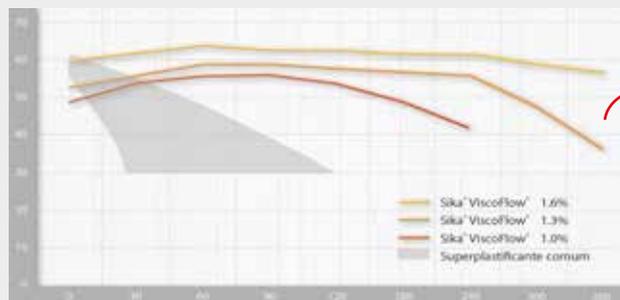
Aditivo superplastificante com manutenção extra prolongada da trabalhabilidade sem queda nas resistências iniciais

Isso que é tecnologia!

A indústria da construção civil com seus projetos desafiadores estão exigindo cada vez mais tempo de trabalhabilidade do concreto fresco.

A tecnologia do **Sika ViscoFlow®** garante atingir e manter a consistência desejada numa mistura de concreto mesmo em alta ou baixa temperatura do ambiente através de um novo polímero que permite:

- Manutenção do abatimento sem aumento no retardo da pega,
- Rápido desenvolvimento das resistências iniciais,
- Slup Test e Slump Flow do concreto constante por várias horas,
- Adequado para diversas aplicações com alta e baixa relação água/cimento.



Defina o tempo de trabalhabilidade baseado nas suas necessidades!



entre em contato
construcao.marketing@br.sika.com
[facebook.com/sikabrasil](https://www.facebook.com/sikabrasil)

 PROGRAM 21st Plenary Meeting of ISO/TC 71 October 26th - 29th, 2015 Sheraton Grande Walkerhill Hotel Seoul – Korea				
 Korean Agency for Technology and Standards				
Time slot	October 26 th – Day 1 MONDAY	October 27 th – Day 2 TUESDAY	October 28 th – Day 3 WEDNESDAY	October 29 th – Day 4 THURSDAY
09:00-12:00 hrs	ISO/TC 71 Registration 09:00-10:00 hrs WORKSHOP Rm: Art Hall (4F) 1. Opening remark (J. Cagley) 2. KATS activity for Standardization (J. Sim, KATS) 3. Proposal of SC at "High performance concrete" (J.O.C. Choi, KATS) 4. Korean mega building - Lotte World (K.D. Kim, Lotte Constr.)	ISO/TC 71/SC1 Rm: Art Hall (4F) (Test Methods for Concrete) ISO/TC 71/SC5 Rm: Fine (4F) (Simplified Design Standard for Concrete Structures) ISO/TC 71/SC7 Rm: Oak (4F) (Maintenance and Repair for Concrete Structures)	ISO/TC 71/SC3 Rm: Art Hall (4F) (Concrete Production and Execution for Concrete Structures) ISO/TC 71/SC4 Rm: Fine (4F) (Harmonization of Performance Requirements for Concrete Structures) ISO/TC 71/SC6 Rm: Oak (4F) (Non Traditional Reinforcing Materials for Concrete Structures)	ISO/TC 71 Plenary Meeting Rm: Art Hall (4F) Morning Session 0900 – 1300 hrs (Group Photograph)
12:00 – 14:00 hrs	Lunch – Rm: Cosmos Hall (3F)			
14:00-18:00 hrs	ISO/TC 71/SC8 Rm: Art Hall (4F) (Environmental management of Concrete and Concrete Structures) ISO/TC 71/SC5 Rm: Fine (4F) (Simplified Design Standard for Concrete Structures) ISO/TC 71/CT Rm: Oak (4F) (Maintenance and Repair for Concrete Structures)	ISO/TC 71/SC1 Rm: Art Hall (4F) (Test Methods for Concrete) ISO/TC 71/SC5 Rm: Fine (4F) (Simplified Design Standard for Concrete Structures) ISO/TC 71/CT Rm: Oak (4F) (Maintenance and Repair for Concrete Structures)	ISO/TC 71/SC3 Rm: Art Hall (4F) (Concrete Production and Execution for Concrete Structures) ISO/TC 71/SC4 Rm: Fine (4F) (Harmonization of Performance Requirements for Concrete Structures) ISO/TC 71/SC6 Rm: Oak (4F) (Non Traditional Reinforcing Materials for Concrete Structures)	ISO/TC 71 Plenary Meeting Rm: Art Hall (4F) Afternoon Session 1400 – 1700 hrs

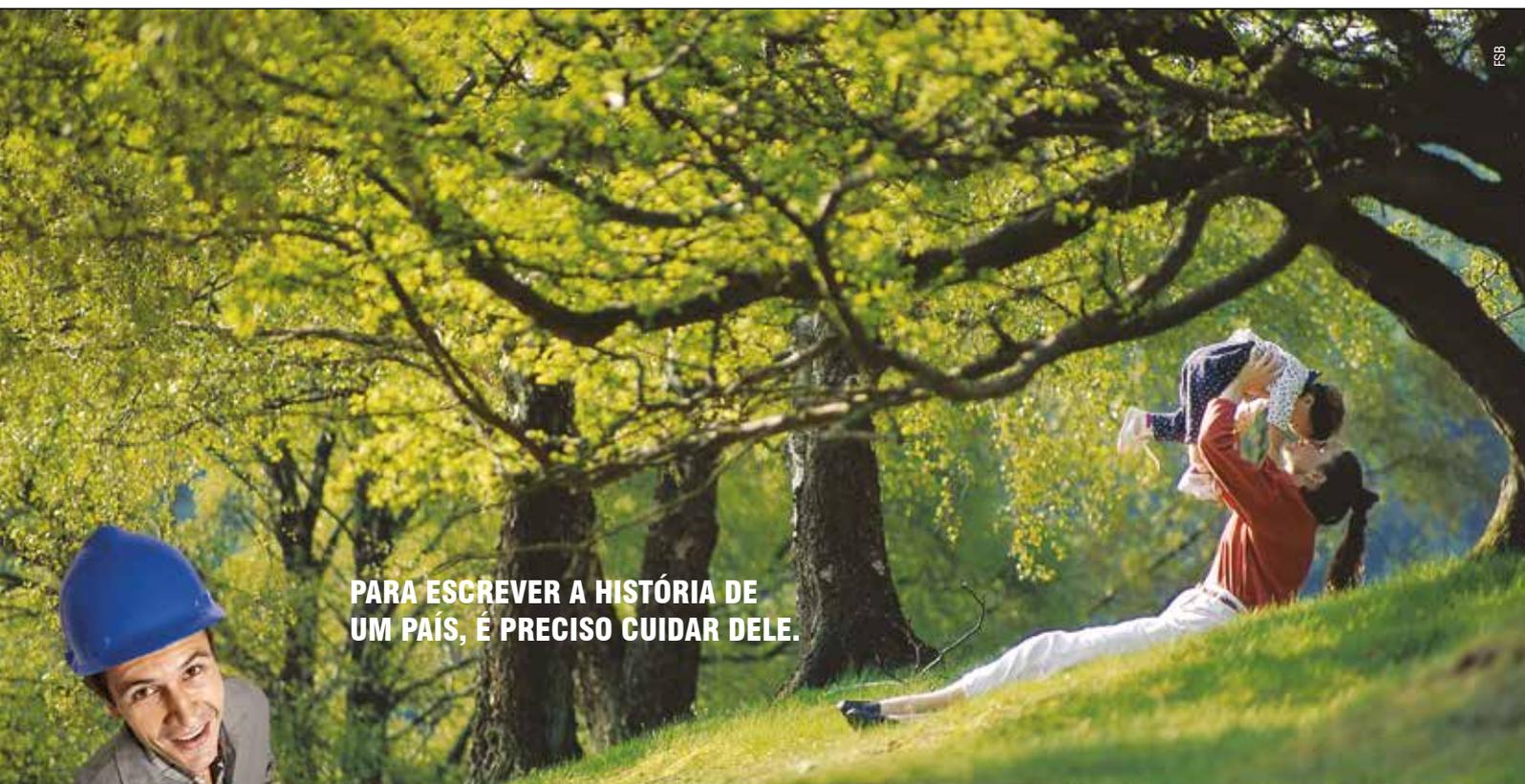
A Normalização Brasileira de Estruturas de Concreto enfrenta novo desafio internacional

No próximo mês de outubro a cidade de Seoul, na Coréia do Sul, receberá representantes do mundo todo para a reunião anual do *ISO/TC71 - International Committee of Concrete, Reinforced Concrete and Pre-Stressed Concrete*.

Em sua 21ª edição, o evento será realizado no período de 26 a 29 de outubro 2015, sob o patrocínio do *KATS – Korean Agency for Technology and Standards*, que é o organismo de normalização nacional do País.

Para o Brasil esse pode ser um momento histórico, pois a nossa Norma de Projeto de Estruturas de Concreto, ABNT NBR 6118, será submetida a uma nova avaliação para revalidação de seu registro na *ISO - International Organization for Standardization*.

A conquista obtida em 2008, quando pela primeira vez a Norma Brasileira foi considerada como documento de validade internacional por cumprir com as exigências da *ISO 19338 Performance and assessment requirements for design standards on structural*



PARA ESCREVER A HISTÓRIA DE UM PAÍS, É PRECISO CUIDAR DELE.

Para um país crescer, é preciso investimento. Mas é necessário também pensar no meio ambiente, na sociedade e nas futuras gerações.

A indústria do cimento investe em qualidade e utiliza as tecnologias mais avançadas para promover um desenvolvimento sustentável. Colabora ainda para tornar o meio ambiente mais limpo com o co-processamento: a destruição de resíduos industriais e pneus em seus fornos.

Onde tem gente tem cimento.

concrete, deve se repetir este ano, quando a revalidação do registro está sendo exigida de todos os países, em vista da revisão da ISO 19338.

Muito trabalho foi empreendido nos últimos anos com a revisão da Norma Brasileira e de seus documentos complementares, de forma a ser mantido o estágio de atualização com relação às exigências internacionais, mas vale salientar que a mais expressiva modificação da ABNT NBR 6118 com relação ao documento apresentado à ISO em 2008 é a ampliação de seu escopo, abrangendo agora as estruturas de concreto de alto desempenho.

O CT 301 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE de Projeto de Estruturas de Concreto atuou fortemente para esses resultados, tendo preparado os textos-base encaminhados à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para a revisão da Norma em 2003 e 2014, bem como a documentação para seu registro na ISO em 2008 e,

agora, para a reunião do TC71 de 2015.

Na reunião a ser realizada em Seoul, o Brasil será representado pela Coordenadora da Comissão de Estudo da ABNT e do CT 301 IBRACON/ABECE, Eng^a Suely Bacchereti Bueno, pela Prof. Dra. Sofia Maria Carrato Diniz e pelo Prof. Dr. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho.

Toda a documentação exigida pela ISO foi já oficialmente enviada pelo Brasil, através de seu organismo nacional de normalização, a ABNT. No dia 28 de outubro, os representantes brasileiros devem apresentar ao TC71/SC4 informações sobre o conteúdo da Norma Brasileira e de que forma ela atende às exigências estabelecidas na nova ISO 19338.

Na programação estão previstas muitas outras atividades nas reuniões dos subcomitês do ISO/TC 71, que serão realizadas como apresentado no Quadro. A presença dos representantes brasileiros em todas elas e o trabalho desenvolvido com a análise e o

encaminhamento de sugestões e votos brasileiros para os documentos internacionais nesse âmbito, ao longo dos últimos dez anos de atuação, têm garantido ao Brasil uma presença forte, técnica e muito positiva.

A Diretoria do IBRACON participa desse trabalho com a atuação de seu Presidente, Prof. Dr. Túlio Bittencourt, de seus Vice-Presidentes, Engo. Júlio Timerman e Engo. Nelson Covas, do seu Diretor de Publicações, Prof. Dr. Paulo Helene, da Diretora de Cursos, Enga. Íria Lícia Oliva Doniak e da Diretora Técnica, Enga. Inês Battagin, que responde também pela Superintendência do ABNT/CB18.

No 57º Congresso Brasileiro do Concreto do IBRACON, que será realizado em Bonito, Mato Grosso do Sul, no mês de outubro, será lançado o caderno de Práticas Recomendadas IBRACON/ABECE, elaborado pelo CT 301, com Comentários e Exemplos de Aplicação da versão de 2014 da ABNT NBR 6118.

Com a **weber**, você tem a solução ideal para todo tipo de projeto.

Conheça a nossa linha completa de produtos para reparos, reforços e proteções de estruturas de concreto.

- Reparos estruturais
- Grautes
- Adesivos e ancoragem
- Selantes
- Desmoldantes
- Reforços de estruturas
- Proteções de superfícies e pinturas
- Ânodos de proteção galvânica
- Sistema de poliureia

we
care

Estruturas pré-fabricadas de concreto: do projeto à obra pronta

Com uma introdução geral do processo construtivo com pré-fabricados de concreto, envolvendo projeto, produção e montagem, com ênfase em ligações e protensão, padronização e certificação das peças, incluindo aspectos normativos da ABNT NBR 9062 e ABNT NBR 14861, contratação e principais aplicações, e a preven-

ção de manifestações patológicas, o curso é destinado a profissionais e empresários do setor de pré-fabricação.

O curso será ministrado pelo engenheiro civil Luís Otávio Livi, com atuação como projetista de estruturas na Cassol Pré-fabricados (2006-2012) e, atualmente, como consultor em projetos, implantação e desen-

volvimento de plantas de produção de pré-fabricados.

Data: 28/10/2015

Horário: 9:00h às 13:00h

Carga horária: 4 horas

Créditos Master Pec: 4 créditos

Local: Centro de Convenções de Bonito

Realização: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON

→ **Informações:** www.ibracon.org.br

Projeto de lajes em concreto armado e protendido

O curso apresenta uma visão geral do projeto de lajes, desde seus tipos, principais conceitos envolvidos no dimensionamento e materiais usados, passando pelos principais

aspectos de cálculo (vãos máximos, espessuras mínimas, ações atuantes, metodologias), até considerações sobre suas condições em serviço (flechas, fluência, fissuração,

punção e vibrações).

Voltado para engenheiros, projetistas, técnicos de edificações, arquitetos e estudantes em final de curso, o curso será oferecido aos participantes



PROGRAMA MASTER PEC IBRACON



ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO: DO PROJETO À OBRA PRONTA

Data: 28/10/2015

Horário: 9h00 / 13h00

PROJETO DE LAJES EM CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO

Data: 29/10/2015

Horário: 9h00 / 18h00

CORROSÃO DAS ARMADURAS: ESTADO DA ARTE

Data: 30/10/2015

Horário: 9h00 / 18h00

LOCAL

Centro de Convenções de Bonito – MS

INFORMAÇÕES

Tel.: 11-3735-0202

e-mail: vanessa@ibracon.org.br

site: www.ibracon.org.br



do 57º Congresso Brasileiro do Concreto. Seu ministrante é diretor do Escritório Brasileiro de Protensão e ex-professor do Centro Universitário Adventista de São Paulo (Unasp) e

das Faculdades Metropolitanas de Campinas (Verismetrocamp).

Data: 29/10/2015

Horário: 9:00h às 18:00h

Carga horária: 8 horas

Créditos Master Pec: 8 créditos

Local: Centro de Convenções de Bonito

Realização: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON

→ **Informações:** www.ibracon.org.br

Corrosão de armaduras: estado da arte

Ministrado por uma equipe de especialistas na área de durabilidade das estruturas de concreto, o minicurso vai discutir os mecanismos associados à corrosão de armaduras, os aspectos de projeto de estruturas duráveis, a vida útil das construções, os métodos de avaliação da deterioração das estruturas e as estratégias de intervenção para recuperar e prolongar sua vida útil. O minicurso vai ser oferecido aos participantes do 57º Congresso

Brasileiro do Concreto, sendo ministrado pela pesquisadora do Instituto de Ciências da Construção Eduardo Torroja (CSIC), na Espanha, Eng. Maria Del Carmen, pelo professor emérito da Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia (NTNU), Prof. Odd Gjorv, pelo pesquisador do Conselho Nacional de Investigações Científicas e Técnicas, na Argentina, Prof. Yuri Villagran, pelo diretor da PhD Engenharia e professor da Escola Politécnica da Universidade

de São Paulo (Poli-USP), Prof. Paulo Helene, e pelo professor da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (EEC/UFG), Prof. Ênio Pazini.

Data: 30/10/2015

Horário: 9:00h às 18:00h

Carga horária: 8 horas

Créditos Master Pec: 8 créditos

Local: Centro de Convenções de Bonito

Realização: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON

→ **Informações:** www.ibracon.org.br



8th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS2016)

June 26-30, 2016 | Foz do Iguaçu | Paraná | Brazil

www.iabmas2016.org

T O P I C S

Advanced Materials

- ▶ Aging of Bridges
- ▶ Assessment and Evaluation
- ▶ Bridge Codes
- ▶ Bridge Diagnostics
- ▶ Bridge Management

Systems

- ▶ Damage Identification
- ▶ New Design Methods
- ▶ Deterioration Modeling
- ▶ Earthquake and Accidental

Loadings

- ▶ Fatigue
- ▶ Foundation Engineering

Systems

- ▶ Field Testing
- ▶ Health Monitoring
- ▶ Load Models
- ▶ Life-Cycle Assessment
- ▶ Maintenance Strategies
- ▶ Non-destructive Testing
- ▶ Prediction of Future Traffic

Demands

- ▶ Repair and Replacement
- ▶ Residual Service Life
- ▶ Safety and Serviceability
- ▶ Service Life Prediction
- ▶ Sustainable Bridges

I N F O R M A T I O N

SECRETARIAT

Ms. Tatiana Razuk

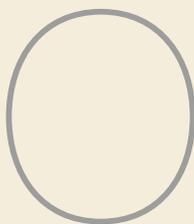
secretariat@iabmas2016.org

Oswaldo
Cascardo

&

Helena
Carasek





Oswaldo Cascudo e Helena Carasek são professores e pesquisadores da Escola de Engenharia Civil

da Universidade Federal de Goiás (UFG), ligados ao seu Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil. Formados em Engenharia Civil, ele pela Universidade Federal da Paraíba (1987), ela pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (1987), no Rio Grande do Sul, conheceram-se durante o doutorado na Universidade de São Paulo (1996).

Helena é consultora na área de argamassas, alvenarias, revestimentos, patologia e terapia das construções e durabilidade do concreto. É autora do livro "Argamassas de Revestimentos: características, propriedades e métodos de ensaio".

Oswaldo é consultor em tecnologia do concreto, patologia e terapia das construções e durabilidade do concreto, com atuação destacada na avaliação e diagnóstico de corrosão de armaduras e recuperação estrutural. É autor do livro "O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas".

Recentemente, Oswaldo e Helena coordenaram a tradução e edição do livro "Durabilidade do Concreto: bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente", lançado pelo IBRACON.

IBRACON – CONTE-NOS RESUMIDAMENTE SOBRE SUAS CARREIRAS PROFISSIONAIS, COMEÇANDO PELA ESCOLHA DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL, AS MOTIVAÇÕES PARA A ESPECIALIZAÇÃO E AS RAZÕES PARA SEGUIR A CARREIRA ACADÊMICA.

OSWALDO CASCUDO – Desde tenra idade, tenho memória da engenharia como algo que me fascinava. A grandiosidade das obras e a capacidade de transformação dos espaços dada pela engenharia de construção sempre me emocionaram. Era como um "passe de mágica" ver um terreno vazio se transformar em uma grande obra ou em uma habitação, e isso mudar a vida das pessoas. A escolha da Engenharia Civil veio, então, como decorrência espontânea desse sentimento infanto-juvenil, algo muito natural, apesar de filho e irmão de médicos e de uma família eminentemente ligada à área da saúde. O curso de engenharia civil na Universidade Federal da Paraíba (atualmente Universidade Federal de Campina Grande), entre 1983 e 1987, foi o esteio de minha vida profissional, por ser um exemplo de curso organizado e bem estruturado, no seio de uma universidade de referência para toda a região Nordeste. Foi, contudo, o mestrado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), que me abriu um cenário

totalmente novo, que definiu a trajetória que eu seguiria por toda minha vida profissional até os dias de hoje. A partir dele, adentrei a área de durabilidade do concreto e de corrosão das armaduras, áreas principais de minha atuação como docente, pesquisador e consultor. O doutorado, também na EPUSP, consolidou minha formação e me deu maturidade e profundidade de conhecimento. Um pós-doutorado em Toulouse, na França, em 2003/2004, propiciou-me uma rica experiência, um "olhar" internacional para todo o conteúdo agregado no mestrado e doutorado.

Sou docente e pesquisador da Universidade Federal de Goiás (UFG) desde 1992. Esta instituição me possibilitou o desenvolvimento da carreira profissional na docência. Também me deu o lastro para atuação como pesquisador. Atualmente, no Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil (PPG-GECON), estamos criando as bases para a construção de um programa de doutorado, o primeiro em engenharia civil no estado e região. No momento como Professor Associado, preparo-me, no ano que vem, para a progressão ao último estágio da carreira, o de Professor Titular, a posição mais alta e nobre na carreira.

HELENA CARASEK – Pode-se dizer que



CASCUDO: "A GRANDIOSIDADE DAS OBRAS E A CAPACIDADE DE TRANSFORMAÇÃO DOS ESPAÇOS DADA PELA ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO SEMPRE ME EMOCIONARAM"



“

CASCUDO: “INICIALMENTE CALCADA EM AVALIAÇÕES SINTOMATOLÓGICAS DE FENÔMENOS, A ABORDAGEM DA DURABILIDADE CAMINHA AGORA PARA UMA ABORDAGEM BASEADA NO DESEMPENHO”

”

a minha carreira profissional começou em 1982, quando fiz vestibular para o curso de Engenharia Civil na UNISINOS, em São Leopoldo, no Rio Grande do Sul. Após as dúvidas normais de uma adolescente, decidi por essa profissão com base em um teste vocacional, mas também inspirada no meu pai, também engenheiro. Rapidamente descobri que tinha acertado na escolha da profissão, principalmente quando ingressei no ciclo profissional da faculdade. Com boas notas e me destacando em relação aos colegas, gostava de todas as matérias e de fazer qualquer tipo de projeto de engenharia.

Ao concluir a faculdade, convicta

de que estava na profissão certa e com desejo de me aperfeiçoar mais, ingressei no mestrado. Nessa época, novamente, muito por influência do exemplo do meu pai, que apesar de atuar com sucesso como engenheiro mecânico na direção de uma indústria, sempre encontrou tempo para lecionar engenharia, eu já pensava em ser, além de engenheira, professora. Incentivada pela família e também pelo Prof. João Luiz Campagnolo (UFRGS), estimado amigo, ingressei no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS.

Defendi o meu mestrado na área de

concentração de estruturas, com uma dissertação sobre alvenaria estrutural. Quando terminei o mestrado, decidi continuar a minha formação, fazendo prontamente o doutorado. A minha pesquisa de mestrado, por tratar do sistema construtivo alvenaria estrutural, abriu a possibilidade para trabalhar também na área de construção civil, e, por essa razão, optei por continuar as investigações com foco nos materiais de construção. Então, busquei o que de melhor existia no país, em termos de pós-graduação “stricto-sensu” na área de construção civil, ingressando na tradicional Escola Politécnica da USP. Foi nessa época que o Oswaldo e eu nos conhecemos; depois de um rápido namoro nos casamos e, a partir daí, a nossa trajetória pessoal e profissional se mistura, como, por exemplo, na realização do Pós-Doc na França, que o Oswaldo já comentou, e toda a trajetória como docentes e pesquisadores na UFG. Quando estava próxima a conclusão do meu doutorado, fiz concurso para docente na UFG e tomei posse em 1994. Esta ação representou a tomada de decisão mais relevante da minha carreira profissional, uma vez que definiu meu domicílio pessoal e minha filiação institucional, dando-me assim condições para que eu pudesse desenvolver minhas atividades como engenheira e como docente e pesquisadora.

Desde então, já são mais de 20



Pavilhão de Portugal no Parque das Nações, em Lisboa. Esbeltez, forma e audácia no elemento em concreto da cobertura do vão



anos como docente da UFG, instituição que apreendi a respeitar e a defender. Recentemente, progredi para a classe de Professor Titular. Foi uma honra ter na minha banca os professores titulares Paulo Helene (USP), Geraldo Isaia (UFMS), Almir Sales (UFSCar) e Antônio Baleeiro (UFG), para me avaliar.

IBRACON – POR QUAIS MUDANÇAS DE COMPREENSÃO CIENTÍFICA E TÉCNICA PASSOU O CONCEITO DE DURABILIDADE NOS ÚLTIMOS ANOS?

OSWALDO CASCUDO – O conceito de durabilidade evoluiu muito nos últimos anos. Passou de mera constatação daquilo que “vence” ao tempo, para algo que mantém seus aspectos funcionais e propriedades fundamentais ao longo do tempo. Deixou de ser um conceito qualitativo, algo que se conquista ao acaso ou por métodos empíricos, para algo palpável e mensurável, por meio da inserção do conceito de vida útil. A durabilidade pode ser inserida no projeto, por meio do conceito de vida útil de projeto, que sinaliza uma expectativa de durabilidade, a ser conquistada com a boa execução, com a definição correta e conforme dos materiais e componentes de construção, e com um adequado uso e operação, que contemple as ações de manutenção preventiva e, quando necessária, corretiva. A durabilidade, portanto, deixou de ter um significado

abstrato, evoluindo para algo real, fruto de ações absolutamente sistêmicas. No campo das estruturas de concreto, a compreensão científica dos materiais e o aprofundamento nos mecanismos físico-químicos e eletroquímicos dos fenômenos patológicos e de degradação e envelhecimento estrutural, propiciaram um avanço extraordinário, que mudou a abordagem de durabilidade. Inicialmente calcada em avaliações sintomatológicas de fenômenos, caminha agora para uma abordagem baseada no desempenho. Esta nova abordagem permite, com boa margem de segurança, por meio dos parâmetros de desempenho e dos modelos de previsão de vida útil, conceber uma estrutura de concreto para “vencer” certa durabilidade.

IBRACON – QUAIS SÃO OS MECANISMOS PRINCIPAIS DE ENVELHECIMENTO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO?

HELENA CARASEK – Existem várias formas de classificar os mecanismos de envelhecimento das estruturas de concreto, como, por exemplo, em função dos processos de deterioração: físico-mecânicos, químicos, biológicos e eletroquímicos (das armaduras). Eu acho, no entanto, interessante, a forma como a ABNT NBR 6118 divide os mecanismos de deterioração, em 3 tipos: mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto; mecanismos

preponderantes de deterioração relativos à armadura; e mecanismos de deterioração da estrutura propriamente dita.

Inseridos nos mecanismos de envelhecimento relativos especificamente ao concreto estão os processos químicos, tais como: a lixiviação, os ataques por sulfatos (externos e internos), os ataques ácidos e alcalinos, troca iônica, bem como a reação álcali-agregado. Já os mecanismos de deterioração das armaduras dizem respeito ao problema da corrosão das barras de aço inseridas no concreto (armado e protendido), onde os processos podem ser iniciados por carbonatação e por ação de cloretos. Por fim, os mecanismos de deterioração da estrutura propriamente dita são aqueles relacionados às ações mecânicas, movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação, bem como as diversas ações que atuam sobre a estrutura.

IBRACON – QUAIS SÃO AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS MAIS COMUNS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO?

OSWALDO CASCUDO – As manifestações patológicas em estruturas de concreto são oriundas do projeto ruim e da especificação inadequada do concreto, evidentemente potencializadas pelos mais altos níveis de agressividade ambiental. Há na

“

CARASEK: “A ABNT NBR 6118 DIVIDE OS MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO EM TRÊS TIPOS: RELATIVOS AO CONCRETO, À ARMADURA E À ESTRUTURA PROPRIAMENTE DITA”

”



Avaliação da frente de carbonatação do concreto por meio do indicador fenolftaleína

incidência de problemas patológicos em estruturas de concreto um forte componente regional, seja pelas características climáticas e de agressividade ambiental, seja pelas questões culturais e de conhecimento tecnológico ou de disponibilidade de materiais e insumos à concepção do concreto. Nas atmosferas marinhas (cidades litorâneas) e urbano-industriais (grandes cidades), a corrosão das armaduras está muito presente. Em atmosferas quentes e de baixa umidade relativa, como na região Centro-Oeste, por exemplo, fenômenos físicos como a retração

por secagem são responsáveis por muitos casos de trincas e fissuras em elementos estruturais. As questões de retração térmica por variação de temperatura do ambiente são também muito presentes em todo o país, pela *tropicalidade* do seu clima, o que tem gerado muitas fissuras no concreto e na ligação alvenaria-estrutura, notadamente nos andares de cobertura dos edifícios de múltiplos pavimentos ou onde haja muita incidência solar e fortes gradientes térmicos. As trincas de grande magnitude em elementos estruturais devidas à retração térmica por calor

de hidratação deixaram de ser um problema exclusivo do concreto massa de barragens. Agora, passa a ser algo muito presente nos blocos de transição, constituintes das fundações nos edifícios de grande altura. Como os blocos são cada vez maiores, em função de carregamentos elevados de edifícios muito altos, com f_{cks} cada vez mais altos, esta é uma questão da *ordem do dia*, cuja solução passa por ações preventivas de cálculo térmico, bem como pela correta especificação do concreto e por ações específicas na concretagem. Falhas de projeto e executivas para captação e escoamento de água pluvial em lajes abertas impermeabilizadas e falhas gerais nos sistemas de impermeabilização têm produzido muitos problemas de lixiviação do concreto. A lixiviação traz problemas estéticos pela deposição de produtos esbranquiçados na superfície do concreto, mas, sobretudo, desencadeia casos de corrosão das armaduras, o que é uma questão mais grave. Os fenômenos químicos de ataque por sulfatos e de reação álcali-agregado (RAA) são manifestações patológicas graves e muitas vezes de difícil solução. O ataque por sulfatos pode aparecer em estruturas marítimas, em estruturas de fundações de solos agrícolas e no concreto de tubulações de esgoto ou no concreto em contato com efluentes industriais. A RAA

“

**OSWALDO: “O MELHOR CAMINHO PARA O COMBATE
DESSAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS É PREVENTIVO,
LANÇANDO-SE MÃO DO BOM CONHECIMENTO
ATUALMENTE EXISTENTE SOBRE O ASSUNTO”**

”





HELENA: “EM TERMOS APLICADOS, UM BOM COMEÇO PARA SE PREVENIR AS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS É SEGUIR AS NORMAS TÉCNICAS EXISTENTES, TAIS COMO A ABNT NBR 6118 E 14931”



tem sido registrada em grandes obras de barragens de concreto e em elementos de fundações, decorrente do uso de agregados potencialmente reativos e de sua interação negativa com o cimento. O melhor caminho para o combate dessas manifestações patológicas é preventivo, lançando-se mão do bom conhecimento atualmente existente sobre o assunto.

IBRACON – QUAL É A ORDEM DE GRANDEZA E O PERÍODO DE TEMPO MÉDIO COM OS QUAIS SE ENCONTRAM ESSAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM OBRAS DE CONCRETO?

OSWALDO CASCUDO – As manifestações patológicas em estruturas de concreto são diversas e de grande abrangência. Problemas como a fissuração por retração plástica do concreto podem ocorrer algumas horas após o adensamento e acabamento do concreto, ou seja, dentro das primeiras 24 horas do período pós-concretagem, ao passo que há registro de algumas manifestações patológicas, como a reação álcali-agregado, por exemplo, que pode ocorrer desde poucos anos até 30 anos após a entrada da estrutura em serviço. Tudo depende da cinética da degradação, que envolve as características e propriedades do concreto, assim como a agressividade ambiental e as questões climáticas e de intempéries.

IBRACON – HÁ CONHECIMENTO SUFICIENTE SOBRE COMO EVITAR PROBLEMAS PATOLÓGICOS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO, OU SEJA, É BEM CONHECIDA A CHAMADA PROFILAXIA DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO?

HELENA CARASEK – Acredito que sim. Em nível científico, o conhecimento já está bem avançado. Para evitar os problemas é necessário o pleno entendimento dos mecanismos de deterioração e creio que já avançamos muito, nacional e internacionalmente, nas pesquisas neste campo. Claro que ainda há muito o que se pesquisar para preencher as lacunas existentes, mas grande parte do conhecimento gerado nas pesquisas já poderia ser aplicado nas nossas construções. Em relação à composição do concreto, alguns aspectos básicos, hoje consagrados para evitar a deterioração do concreto, como limitar a relação água/aglomerante e utilizar adições minerais (como o metacaulim e a sílica ativa), são provenientes dos resultados das pesquisas do passado. Em termos aplicados, um bom começo para se prevenir as manifestações patológicas é seguir as normas técnicas existentes, tais como a ABNT NBR 6118 (projeto) e a ABNT NBR 14931 (execução). Na ABNT NBR 6118, a partir de uma adoção correta da classe de agressividade ambiental, define-se a espessura do cobrimento mínima,

além da relação água/cimento máxima, f_{ck} para a elaboração do concreto, abertura máxima de fissura e quantidade de cimento por metro cúbico. Esse é o primeiro passo para elaborar estruturas duráveis. A norma também indica, mas de forma bem genérica e superficial, outras medidas importantes como a realização de proteções por revestimentos e mesmo a drenagem das águas. Este último é um dos aspectos ao qual eu reputo grande importância, mas que nem sempre é cuidado pelos engenheiros e arquitetos. A água é um dos principais agentes deletérios das construções de forma geral e, por essa razão, deve ser evitada a sua acumulação sobre a superfície das estruturas de concreto. Essa preocupação deve se iniciar na concepção e no projeto da estrutura, nos detalhes arquitetônicos adequados, proteções e caimentos, por exemplo, além da realização de uma boa impermeabilização. Esses são aspectos básicos que não podem ser negligenciados. Além do que está previsto na ABNT NBR 6118 quanto aos mecanismos de deterioração, nós já temos normas que abordam problemas específicos como a reação álcali-agregado (ABNT NBR 15577, partes 1 a 6), onde está bem clara a forma de prevenção. Creio que ainda precisamos avançar em outras normas, como, por exemplo, diretrizes específicas sobre os ataques por sulfatos e a

“

OSWALDO: “A TERAPIA EXITOSA PRECISA, PORTANTO, ANULAR AS FONTES CAUSADORAS DO PROBLEMA E BLOQUEAR OS MECANISMOS DELETÉRIOS. A EXPECTATIVA É DE RESGATE DO DESEMPENHO MECÂNICO-ESTRUTURAL E DA DURABILIDADE DA ESTRUTURA”

”

carbonatação do concreto. Nesse sentido, o IBRACON, por meio dos seus Comitês Técnicos, tem importante atuação na discussão e elaboração de textos-base para a futura normalização, como é o caso do comitê, do qual participamos, que está trabalhando sobre a temática da carbonatação do concreto.

No entanto, o que eu observo na prática é que grande parcela das estruturas que se deteriora precocemente não seguiu nem as prescrições básicas existentes. Em parte por problemas de execução (não garantindo o cobrimento mínimo, não realizando procedimentos

adequados de compactação e cura, etc.), mas tenho visto, inclusive, problemas com os concretos fornecidos por usinas, que, por vezes, têm sido elaborados com relação água/cimento mais alta do que os limites especificados na ABNT NBR 6118. Evidentemente que a “culpa” nesses casos pode ser compartilhada, seja pela existência de um projeto incompleto, que não especifica a relação água/cimento máxima, seja por falhas na aquisição do concreto, em que os construtores não solicitam o material de forma adequada. Nessas situações de deficiência de informações na

aquisição do concreto, o que se vê, com frequência, é que a concreteira atende contratualmente ao que foi solicitado, porém com o ônus da não conformidade em relação às prescrições da ABNT NBR 6118 (especificamente nessa questão da relação a/c). Aí não adianta muito avançar em pesquisas científicas se isso, de fato, não chega às obras. Precisamos também trabalhar na conscientização do meio técnico.

IBRACON – E A TERAPIA DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO, PORQUE NÃO HÁ NORMALIZAÇÃO NEM CONSENSO?

OSWALDO CASCUDO – A terapia das estruturas de concreto é uma vertente da engenharia que se ocupa das ações de reabilitação de estruturas, onde operam as ações de manutenção corretiva, e por meio da qual são resgatadas as funções estruturais perdidas (total ou parcialmente), em razão de algum tipo de manifestação patológica. Mais do que isso, um procedimento terapêutico adequado aplicado a uma estrutura de concreto (que contém uma manifestação patológica instalada) é como um remédio certo administrado a um doente, cuja ação tem que promover a cura. No caso das estruturas, a terapia exitosa precisa, portanto, anular as fontes causadoras do problema e bloquear os mecanismos deletérios. A expectativa é de resgate do desempenho mecânico-estrutural



Realização de cura úmida em pilar de concreto de alto desempenho no empreendimento Orion Business & Health Complex, em Goiânia – GO



e da durabilidade da estrutura ou de parte dela, consoante a terapia aplicada. Este setor da engenharia, historicamente, tem uma expressiva contribuição de grandes empresas multinacionais, que, por meio de seus departamentos de pesquisa, desenvolvem materiais, produtos, soluções e terapias voltadas à recuperação e à reabilitação estrutural. As universidades e centros de pesquisa têm também prestado sua contribuição, mas é inegável a participação do setor privado de grandes marcas. Embora tenha havido muita evolução técnica nos últimos anos nesse campo, talvez o forte lado comercial e de mercado atrapalhe um pouco a imparcialidade e a credibilidade das soluções e procedimentos terapêuticos, assim como a padronização e o consenso. O resultado é um ritmo mais lento da normalização, que, contudo, é essencial que ocorra. O histórico de consolidação dos procedimentos terapêuticos em estruturas de concreto no meio técnico-profissional brasileiro guarda certa semelhança com o que se tem para os sistemas de impermeabilização.

IBRACON – PORQUE A ARMADURA DE AÇO NO CONCRETO É CONSIDERADA O PONTO MAIS SENSÍVEL E DE MAIS FÁCIL DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO?

OSWALDO CASCUDO – As armaduras



Corrosão de armadura de um pilar, comprometendo sua durabilidade

das estruturas de concreto armado e protendido são constituídas de aço carbono, que é um material metálico que possui excelentes propriedades mecânicas. Em especial no caso do concreto armado, as armaduras são, normalmente, constituídas de aço temperado (CA-50) ou aço trefilado (CA-60). Esses tipos de aço carbono não possuem nenhuma característica resistente à corrosão, tais como: elementos de liga (que atuam na composição do aço, como, por exemplo, o aço inoxidável) ou tratamentos superficiais (pinturas anticorrosivas). Por outro lado, são elementos com altíssimo grau

de processamento, culminando com os tratamentos de têmpera ou de trefilação, que imputam tensões internas ao material. O resultado é um nível entálpico muito alto, a grosso modo, “muita energia incorporada”. Também o aço possui um nível entrópico muito baixo, já que ele possui uma estrutura interna com um grau de organização muito elevado. Termodinamicamente, a corrosão do aço é um fenômeno espontâneo, já que na natureza os sistemas evoluem para níveis entálpicos mais baixos e para níveis entrópicos mais altos (maior desorganização).

“

OSWALDO: “TERMODINAMICAMENTE, A CORROSÃO DO AÇO É UM FENÔMENO ESPONTÂNEO, JÁ QUE NA NATUREZA OS SISTEMAS EVOLUEM PARA NÍVEIS ENTÁLPICOS MAIS BAIXOS E PARA NÍVEIS ENTRÓPICOS MAIS ALTOS”

”

Ocorre que o concreto bloqueia essa tendência natural. Como o concreto propicia um ambiente interno de alta alcalinidade, há um alentador fenômeno na interface com a superfície metálica, que é a deposição natural de um filme de óxidos de ferro de caráter protetor, a película de passivação. Por barreira, esse filme interfacial protege o aço da corrosão, impedindo assim a degradação metálica. A armadura é, justamente, o ponto sensível desse material compósito, porque se essa proteção passiva for perdida as leis da termodinâmica serão implacáveis contra ela, provocando corrosão. A perda do filme passivo se dá, basicamente, caso o concreto apresente redução da alcalinidade interna, como nos processos de carbonatação ou de lixiviação do concreto, ou mesmo por efeito dos ataques ácidos. Também, por mecanismos muito particulares, os cloretos são agentes muito agressivos, que despassivam a armadura e contribuem para a corrosão.

IBRACON – COMPARATIVAMENTE A OUTROS MATERIAIS ESTRUTURAIS, QUAIS SÃO AS VANTAGENS E DESVANTAGENS DO CONCRETO NO QUESITO DURABILIDADE?

HELENA CARASEK – O concreto, desde que bem concebido e elaborado, é um material de alta durabilidade na maioria dos ambientes naturais e industriais. Mas a visão não pode ser

apenas do material e sim da estrutura de concreto como um todo, e aí entra a necessidade de um bom projeto e dos detalhes construtivos para prevenção dos problemas, como eu comentei anteriormente. A grande vantagem do material concreto é que ele tem uma boa resistência à água (desde que bem controlada a sua porosidade e permeabilidade) comparativamente a outros materiais estruturais como os aços comuns e a madeira. Além disso, o concreto permite a produção de elementos estruturais de formas e tamanhos variados (capacidade de se moldar) a um custo relativamente baixo comparado com outros materiais estruturais. Mas, para algumas situações específicas, como, por exemplo, ambientes de alta agressividade química, com ácidos fortes, amônia, etc., o concreto pode não apresentar durabilidade adequada, uma vez que o cimento é solúvel em ácidos fortes. Contudo, cabe uma ressalva de que nesses ambientes químicos muito agressivos, também o aço e a madeira sofrem enormemente, de sorte que todos esses materiais (incluindo o concreto) necessitam de proteções especiais para que alcancem a durabilidade desejada.

IBRACON – QUAL É O GANHO ADVINDO DA COMPARAÇÃO ENTRE AS NORMAS PRESCRITIVAS E AS NORMAS DE DESEMPENHO QUANTO AO QUESITO DA DURABILIDADE?

OSWALDO CASCUDO – As normas prescritivas estabelecem requisitos com base no uso consagrado de materiais, produtos ou procedimentos, por meio do controle de parâmetros ou propriedades básicas, de maneira que o atendimento aos requisitos dos usuários se dá de forma indireta. Já a abordagem de desempenho traduz requisitos dos usuários em critérios e especificações, por meio de parâmetros e propriedades estritamente ligadas aos aspectos de desempenho estabelecidos. Neste caso, o atendimento aos requisitos dos usuários se dá de forma direta. Embora as normas prescritivas e de desempenho sejam complementares e não entrem em competição entre si, é evidente que a abordagem baseada no desempenho significa um avanço considerável em comparação à abordagem estritamente prescritiva. Tratar a durabilidade baseada no desempenho significa conhecer razoavelmente bem as propriedades de transporte de massa no concreto, assim como os mecanismos de degradação e envelhecimento. A partir daí, é possível identificar bem os parâmetros de desempenho, os chamados indicadores de durabilidade. Controlando bem esses parâmetros diretamente ligados à durabilidade, a chance de especificar concretos duráveis é muito maior do que controlar apenas

“

CARASEK: “O CONCRETO, DESDE QUE BEM CONCEBIDO E ELABORADO, É UM MATERIAL DE ALTA DURABILIDADE NA MAIORIA DOS AMBIENTES NATURAIS E INDUSTRIAIS”

”



“

OSWALDO: “EMBORA AS NORMAS PRESCRITIVAS E DE DESEMPENHO SEJAM COMPLEMENTARES E NÃO ENTREM EM COMPETIÇÃO ENTRE SI, É EVIDENTE QUE A ABORDAGEM BASEADA NO DESEMPENHO SIGNIFICA UM AVANÇO CONSIDERÁVEL”

”

parâmetros gerais do concreto, como a relação água/cimento ou a resistência à compressão do concreto. A sofisticação dentro da abordagem do desempenho vem, justamente, com os modelos preditivos de vida útil, sejam eles determinísticos ou probabilísticos (sendo estes últimos, o que de mais avançado existe no contexto da durabilidade). Dessa forma, a partir do controle de alguns parâmetros de desempenho e por meio de uma adequada caracterização do ambiente no qual se inserirá a estrutura, e com o emprego de modelos preditivos de vida útil, é possível projetar a estrutura e especificar o concreto com a garantia plena do desempenho, assegurando a vida útil de projeto. Grandes obras de engenharia no mundo vêm tendo suas estruturas concebidas dessa forma, como a Ponte Vasco da Gama (Portugal), o Viaduto Millau (França), a Ponte Rion-Antirion (Grécia) e a Ponte da Confederação (Canadá), entre outras. Essa é a abordagem contemporânea que se apresenta com confiabilidade nas análises preditivas, possibilitando a garantia de durabilidade.

IBRACON – PORQUE A NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 6118 AINDA CONTROLA DURABILIDADE DE FORMA INDIRETA E NÃO ATRAVÉS DE ENSAIOS DE DURABILIDADE?

OSWALDO CASCUDO – A ABNT NBR 6118 ainda controla durabilidade de forma indireta, porque estamos

atrasados na normalização de ensaios de durabilidade. O IBRACON tem feito esforços para dinamizar essa discussão dentro de seus comitês técnicos, de forma a subsidiar a normalização técnica oficial desses ensaios, via ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Um exemplo é a discussão atual (para os fins de normalização) do ensaio acelerado de carbonatação do concreto, a partir de uma norma ISO (*International Organization for Standardization*). Ensaios de difusão de cloreto são outra necessidade premente.

IBRACON – SEU LIVRO SOBRE CORROSÃO DE ARMADURAS FOI O SEGUNDO NO TEMA PUBLICADO NO PAÍS. VOCÊ CONSIDERA QUE COLABOROU PARA MINIMIZAR O PROBLEMA?

OSWALDO CASCUDO – Sim, de fato, quando lancei o meu livro sobre corrosão das armaduras em 1997, a partir de um forte incentivo da Helena (que identificou no conteúdo da minha dissertação de mestrado o potencial para um livro), havia uma única publicação de referência no país, o livro de corrosão do Prof. Paulo Helene, lançado em 1986. Acho que toda a boa literatura técnica e científica é primordial



Ponte Vasco da Gama, sobre o Rio Tejo: 5ª maior ponte do mundo e uma das primeiras obras em que a durabilidade foi considerada com base em uma abordagem de desempenho



OSWALDO: “A ABNT NBR 6118 AINDA CONTROLA DURABILIDADE DE FORMA INDIRETA, PORQUE ESTAMOS ATRASADOS NA NORMALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE DURABILIDADE”



para a difusão do conhecimento e, dessa forma, fundamental para o avanço em termos de formação e de qualificação profissional. Estimulado pela importante e pioneira publicação do Paulo Helene, trouxe em meu livro uma contribuição no aprofundamento conceitual da corrosão, além de uma vasta parte concernente às técnicas de avaliação e diagnóstico da corrosão do aço no concreto. Muito me orgulha essa publicação, pois mesmo sendo um livro esgotado, ele ainda é muito veiculado, sem falar que recebo constantemente demandas para a sua atualização e reedição. A produção de um livro de bom conteúdo envolve uma grande energia. No modelo de avaliação curricular ao nível da pós-graduação no Brasil, esse tipo de publicação é, infelizmente, pouco considerado. É uma pena, pois os livros técnicos atingem tanto os ambientes acadêmicos quanto os profissionais, com penetração que vai além das fronteiras nacionais. É democrática sua ação! Verdadeiramente, os livros cumprem um importante papel social. Só para compartilhar um fato, em recente participação minha em um evento em Portugal, ao final da apresentação, veio me cumprimentar um congressista de Moçambique. Ele se aproximou de mim, com muita deferência, dizendo que me conhecia há anos, por intermédio do livro de corrosão e pelas muitas horas de leitura e estudo. Por fim, agradeceu-

me pelo livro e pela oportunidade de apreender e de evoluir no tema. Senti naquele momento uma grande emoção, que me fez ter certeza que valeu à pena o esforço.

IBRACON – QUAL TEM SIDO

A CONTRIBUIÇÃO DE VOCÊS QUANTO A NORMALIZAÇÃO NO PAÍS NESSE CAMPO DA DURABILIDADE E ENSAIOS?

OSWALDO CASCUDO – Particularmente, no campo da durabilidade de estruturas de concreto, participei ativamente das reuniões de uma comissão de estudo do CB 1 (Comitê Brasileiro de Mineração e Metalurgia) da ABNT, no final dos anos 80, durante o meu período de mestrado. Na época, por indicação do Prof. Paulo Helene, eu representava a Escola Politécnica da USP na comissão de normalização abrigada nesse comitê, que foi a primeira comissão a estudar e a se preocupar com a normalização sobre corrosão de armaduras em estruturas de concreto. Essas reuniões ocorriam na sede da ABRACO – Associação Brasileira de Corrosão, no Rio de Janeiro. Em meados dos anos 90, particularmente nos anos de 1995 e 1996, participei em São Paulo de reuniões para a revisão da ABNT NBR 6118, a principal norma de estrutura de concreto do país. Depois de muitos anos de sua revisão anterior (em 1978/1980), essa norma teve uma grande revisão nos anos 90, tendo sido editada

com significativas mudanças em 2003. A partir daí ela passou a ter um capítulo exclusivo sobre durabilidade, tendo introduzido as classes de agressividade ambiental (CAA I, II, III e IV) para subsidiar o projeto de estruturas de concreto durável. Foi um grande marco para a engenharia nacional, mas agora precisamos evoluir mais na questão da durabilidade, introduzindo na normalização brasileira os indicadores de durabilidade e, se possível, modelos de previsão de vida útil, de forma a tratar a questão da durabilidade de forma mais efetiva e calcada no desempenho. Temos que normalizar, também, os ensaios acelerados de carbonatação do concreto e ensaios para determinação de parâmetros de transporte de cloretos.

IBRACON – PARA AONDE DEVEM

CAMINHAR AS PESQUISAS PARA HAVER AVANÇOS NA PREVENÇÃO DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS PRECOSES?

HELENA CARASEK – São vários temas de pesquisa ainda necessários. Para citar um deles, creio que poderemos avançar na prevenção de problemas patológicos por meio de pesquisas que visem o desenvolvimento de modelos de previsão de vida útil. A ideia é a modelagem dos mecanismos de deterioração das estruturas de concreto (como, por exemplo, a corrosão das armaduras, por carbonatação e/ou cloretos, ou a



reação álcali-agregado), de forma que esses modelos, no futuro, possam ser aplicados na prática pelos profissionais para quantificar a vida útil de uma estrutura.

IBRACON – O CONVÊNIO FRANÇA-BRASIL NA ÁREA DE DURABILIDADE TEM FUNCIONADO BEM E VOCÊS CONSIDERAM IMPORTANTE O INTERCÂMBIO INTERNACIONAL?

OSWALDO CASCUDO – Quando, nos anos 90, por ocasião de um curso na pós-graduação da Escola Politécnica da USP, fomos apresentados ao Prof. Jean-Pierre Ollivier, ali começaria uma profícua trajetória envolvendo esse fascinante país, a França. Por intermédio da Prof^a. Maria Alba Cincotto, nossa incentivadora-mor e madrinha para todos os assuntos e questões francesas, conhecemos o Ollivier, com quem mantivemos uma duradoura relação no campo da pesquisa. Tivemos a oportunidade de recebê-lo diversas vezes no Brasil, em trabalhos de colaboração em pesquisa e na realização de eventos científicos, o que culminou com a realização de nosso pós-doutorado nos anos de 2003 e 2004, no *Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions* (LMDC), do *Institut National des Sciences Appliquées* (INSA), de Toulouse. Desde então, a relação com a França tem se perpetuado por meio dos editais CAPES-BRAFITEC, que têm nos possibilitado manter

projetos ativos de mobilidade estudantil, no âmbito da graduação em engenharia civil. Nesses últimos anos, enviamos e recebemos vários alunos de graduação dentro desse acordo bilateral Brasil-França, para ricos intercâmbios anuais. Mais do que a valorosa contribuição à formação profissional desses alunos intercambistas, algo difícil de mensurar, os projetos Brafitex nos têm propiciado manter “acesa a chama” com a França, em especial no campo da pesquisa e da produção científica, por meio das missões de trabalho.

IBRACON – COMO OCORREU PUBLICAR O LIVRO DE DURABILIDADE DO CONCRETO VIA IBRACON, ANO PASSADO? QUAL É A IMPORTÂNCIA DO LIVRO NO CONTEXTO BRASILEIRO?

HELENA CARASEK – Em uma dessas idas e vindas à França, tivemos um encontro com o Prof. Ollivier, em uma de suas viagens a trabalho em Paris. Ao final do dia, em um pequeno restaurante, conversávamos sobre vários assuntos. O professor Jean-Pierre nos presenteou, então, com um exemplar de seu livro (ele é um dos editores e também autor), *La Durabilité des Bétons*, que acabara de ser lançado na França (em 2008). Imediatamente, sem pensar muito, eu perguntei a ele se nós poderíamos traduzir o livro para o português. Ele ficou muito contente com a ideia.

Voltando para o hotel naquele dia, nos demos conta da missão “quase impossível” que seria essa tradução, uma vez que o livro continha cerca de 800 páginas de um conteúdo muito denso e científico. Tarde demais para voltar atrás! O compromisso, mesmo que apenas verbal, já havia sido firmado. A solução era, então, enfrentar mais esse grande desafio. Assim, colocada a missão de coordenar o trabalho de tradução, partimos para a sua execução. A ação imediata foi constituir uma equipe competente de tradução. Nosso critério na escolha dos tradutores foi calcado na experiência prévia das pessoas com a França e, evidentemente, na familiaridade temática do conteúdo do livro. Foram convidados oito professores e pesquisadores de importantes universidades brasileiras (Arnaldo Carneiro, Cristiane Pauletti, Geraldo Maciel, Geraldo Isaia, Maria Alba Cincotto, Mônica Pinto Barbosa, Pedro Kopschitz Bastos e Valdecir Quarcioni), os quais, conosco, compuseram um grupo de 10 tradutores. Em paralelo à constituição dessa equipe de tradutores, buscamos a definição de uma instituição para assumir os trabalhos de edição da obra no Brasil. Foi aí que entrou o IBRACON, por meio de sua diretora de publicações, a Eng. Inês Battagin, que acolheu prontamente a ideia,

“

OSWALDO: “AGORA PRECISAMOS EVOLUIR MAIS NA QUESTÃO DA DURABILIDADE, INTRODUZINDO NA NORMALIZAÇÃO BRASILEIRA OS INDICADORES DE DURABILIDADE E, SE POSSÍVEL, MODELOS DE PREVISÃO DE VIDA ÚTIL”

”



Livro “Durabilidade do Concreto: bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente”

dando, assim, “start” ao projeto. Com o sinal verde do IBRACON para realizar esta primeira edição do livro, os trabalhos se iniciaram, mas não imaginamos que seria tão árduo o caminho a percorrer. O trabalho de tradução é muito meticuloso, pois sem alterar a ideia e o teor do texto original, há que se produzir um texto fluente na língua final. Foram alguns anos e certos momentos de letargia, até que um fato mudou esse ritmo de trabalho e de produção do livro: a efetiva participação do Paulo Helene, em 2014, recém assumindo a diretoria de publicações do IBRACON. Ele deu uma dinâmica relevante à produção do livro, sendo peça-chave para a sua “concretização”.

O livro condensa um vasto conteúdo que reúne, de forma atualizada, o conhecimento e a experiência de 30 autores franceses, produzindo uma das obras mais atuais e completas do mundo sobre durabilidade do concreto. Assim, a partir da tradução e adaptação dessa obra para o português, viabilizamos a difusão desse importante conteúdo no Brasil e em outros países de língua portuguesa. Pelo seu conteúdo e abordagem, o livro tem aplicabilidade em nível acadêmico (nos cursos de graduação e de pós-graduação em engenharia civil), mas também é voltado às necessidades e interesses do mercado profissional.

IBRACON – QUAL A IMPORTÂNCIA DOS CURSOS DE PÓS-GRADUAÇÃO E DOS CENTROS DE PESQUISA PARA O CRESCIMENTO DO SABER, CONSIDERANDO QUE VOCÊS ACABAM DE MONTAR UM TREMENDO LABORATÓRIO DE PESQUISAS NA UFG COM APOIO DA FINEP?

HELENA CARASEK – O crescimento do saber vem, em grande parte, como resultado das pesquisas. E a pós-graduação e os centros de pesquisa entram aí, garantindo, por meio de mão de obra qualificada e da infraestrutura, o desenvolvimento de pesquisas de ponta. Nesse sentido, tendo em vista a necessidade de ampliação da nossa capacidade de pesquisa no PPG-GECON, nós coordenamos

um Projeto da FINEP (PROMOVE) que viabilizou a construção do tão sonhado laboratório para a realização das investigações nas áreas de materiais, componentes e sistemas construtivos, o LABITECC – Laboratório de Inovação Tecnológica em Construção Civil, inaugurado em dezembro de 2012. Esse laboratório tem cerca de 1200 m² de área construída, distribuída em dois pavimentos e está localizado na Escola de Engenharia Civil da UFG. No primeiro pavimento estão alocados os laboratórios de Ensaios Mecânicos e Estruturais, de Química dos Materiais, de Durabilidade e de Argamassas e Revestimentos. O LABITECC conta, ainda, com uma laje de reação para ensaios estruturais, prensas automatizadas, câmaras úmida e climatizadas, ponte rolante e salas de caracterização dos materiais e de concretagem, entre outros espaços. No segundo pavimento está alocado o Laboratório de Mecânica Computacional, onde são realizados os estudos numéricos e de modelagem computacional. No momento, de forma a implementar os equipamentos do LABITECC, além de outros projetos e editais de rotina, recentemente submetemos à FINEP uma proposta para participação na Rede Sibratex de Desempenho Habitacional e tivemos o nosso projeto habilitado para a 2ª Fase na área de

“

CARASEK: “A IDEIA É A MODELAGEM DOS MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO, DE FORMA QUE ESSES MODELOS, NO FUTURO, POSSAM SER APLICADOS NA PRÁTICA PELOS PROFISSIONAIS PARA QUANTIFICAR A VIDA ÚTIL DE UMA ESTRUTURA”

”



“

HELENA: “É SEMPRE IMPORTANTE O ESTUDANTE E O PROFISSIONAL PARTICIPAREM DE CONGRESSOS E DE CURSOS DE ATUALIZAÇÃO, POIS A GERAÇÃO DE CONHECIMENTO É MUITO DINÂMICA”

”

durabilidade. Isto permitirá a realização de novas pesquisas nessa temática.

IBRACON – O ENSINO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL TEM FOCADO DEVIDAMENTE A QUESTÃO DA DURABILIDADE NAS OBRAS, OU SE FAZEM NECESSÁRIOS CURSOS DE ATUALIZAÇÃO E EVENTOS QUE COMPLEMENTEM ESSA FORMAÇÃO?

HELENA CARASEK – Esta é uma pergunta complexa de responder, pois acredito que dependa muito da grade curricular de cada universidade, que, por sua vez, é função do seu quadro de professores. Falando especificamente da EEC-UFG, nós contemplamos em algumas disciplinas essa temática, tanto na graduação como na pós-graduação. A questão da durabilidade das estruturas é abordada na nossa graduação desde as disciplinas básicas de Materiais de Construção (ministrada pelo Oswaldo) e de Construção Civil (ministrada por mim), assim como, de forma mais direta, na disciplina de Patologia e Terapia das Construções (esta disciplina foi instituída na grade curricular da engenharia em 1992, quando o Oswaldo foi contratado na UFG; desde essa época, ela tem sido ministrada por ele ou por mim todos os anos). Assim, o aluno da UFG sai com um bom conhecimento básico no tema. Já em nível de mestrado, temos uma disciplina específica de durabilidade das estruturas de concreto. Além disso,

são várias as pesquisas que vêm sendo desenvolvidas ao longo dos anos na EEC sobre durabilidade do concreto, das quais, também, alunos de graduação têm oportunidade de participar. Mesmo assim, sempre é importante o estudante e também o profissional participarem de congressos e de cursos de atualização, pois a geração de conhecimento é muito dinâmica.

IBRACON – CONSIDERANDO QUE A HELENA JÁ ORIENTOU MAIS DE 40 DISSERTAÇÕES DE MESTRADO, VOCÊS ACHAM QUE ESSES TRABALHOS AJUDAM NA FORMAÇÃO DO FUTURO ENGENHEIRO?

HELENA CARASEK – Sem dúvida nenhuma. Um traço marcante das nossas carreiras na UFG (do Oswaldo e a minha) é a orientação de alunos em todos os níveis (iniciação científica, trabalho final de curso, mestrado e monografia de especialização). Nós dois juntos já orientamos mais de 300 alunos nos diversos níveis. Eu partilho dos preceitos do filósofo do Império Romano Sêneca, que afirmou que “os progressos obtidos por meio do ensino são lentos; já os obtidos por meio de exemplos são mais imediatos e eficazes”. Nesse sentido, sempre me esforço



LABITECC, construído em concreto pré-moldado, onde se observam a ponte rolante e o pórtico de reação

“

CASCUDO: “EM PEQUENA ESCALA, ‘FAZÍAMOS ENGENHARIA’, NA MEDIDA EM QUE TRABALHÁVAMOS NO PROJETO, VIVÍAMOS A TECNOLOGIA DO CONCRETO E EXECUTÁVAMOS METICULOSAMENTE O CONCRETO DESSES APARATOS [PARA O APO E O CONCREBOL]”

”

para atuar de forma mais próxima dos alunos, orientando trabalhos experimentais e mostrando-lhes os exemplos. A pesquisa científica é de extrema importância na formação do profissional, pois ela contribui para ampliação dos conhecimentos específicos, além de contribuir com o desenvolvimento de habilidades como a autorreflexão e a gestão e organização no trabalho.

IBRACON – Vocês já ganharam vários prêmios orientando grupos de alunos nos concursos do IBRACON. Qual a importância disso?

Oswaldo Cascudo – Os concursos do IBRACON, que envolvem os alunos, são ações muito importantes, que dão ao Congresso Brasileiro do Concreto uma dinâmica bastante interessante e uma vivacidade agregadora que vem da juventude. Para os alunos, professores e universidades, tais concursos também são muito interessantes e estimulantes. No nosso caso, sempre houve muito compromisso por parte dos alunos, que ficavam focados e motivados em ganhar os concursos. Havia uma sinergia incrível entre alunos e professores, e o aprendizado sobre o concreto era sempre o principal legado. Tínhamos em mente buscar o que existia de mais vanguarda na ciência, em prol da experimentação pelo grupo, o que produzia um rico aprendizado. Em pequena escala, nós “fazíamos

engenharia”, na melhor acepção da palavra, na medida em que trabalhávamos intensamente no projeto (calculando e dimensionando o APO ou a bola do Concrebol), vivíamos a tecnologia do concreto na formulação das misturas e executávamos meticulosamente o concreto desses aparatos. A expectativa do resultado e a sensação da vitória, embaladas pela alegria dos alunos, foram experiências inesquecíveis vividas nos Congressos Brasileiros do Concreto, do IBRACON.

IBRACON – Qual é sua avaliação do papel de entidades técnicas, como o IBRACON, para o setor construtivo?

Helena Carasek e Oswaldo Cascudo – cremos que entidades técnicas, como o IBRACON, têm um papel muito importante na conscientização dos profissionais, visando à difusão das boas práticas de construção. No caso específico, o cuidado com os materiais, com o projeto e com as técnicas construtivas para execução das estruturas de concreto são algumas ações indissociáveis da missão do IBRACON. Além disso, um de seus importantes papéis é a atualização dos conhecimentos técnicos junto ao meio profissional, já que é alta a dinâmica do conhecimento, com contribuições efetivas em termos da inovação tecnológica e do desenvolvimento

sustentável. Por fim, acreditamos que o IBRACON, por meio de seus comitês técnicos, possa ser um uma espécie de “catalizador” da normalização técnica específica de concreto no Brasil, potencializando e dinamizando a produção de textos-base para as comissões de estudo da ABNT.

IBRACON – O que vocês gostam de fazer no tempo livre?

Helena Carasek – Realmente, ainda não sobra muito tempo livre. Mas eu estou buscando melhorar um pouco a minha qualidade de vida, pois, apesar de adorar trabalhar, sei que é necessário ter algumas “válvulas de escape”, principalmente quando a idade vai chegando (rsrsrs). Nas horas vagas, eu gosto de cozinhar, cuidar de plantas, fazer artesanato, passear com o cachorro e assistir filmes com as nossas filhas, além, é claro, de viajar com a família e tomar um bom vinho.

Oswaldo Cascudo – Desde jovem, pratico muitos esportes. Gosto da competitividade no esporte, de modo que nas horas vagas costumo jogar futebol. Às vezes, esse esporte me traz prejuízos, como, recentemente, a ruptura do ligamento cruzado anterior do joelho. Coisas de craque! A leitura e as viagens são outros hobbies que tenho para as horas livres do trabalho, mas, também, curto muito estar em casa sem fazer nada, só refletindo sobre a vida, ao lado da família e na companhia de um bom vinho. 🍷



Aquário do Pantanal: desafios de projeto e construção

SÉRGIO DONIAK • HUGO CORRES

FHECOR DO BRASIL

MARIANA CARVALHO

PhD ENGENHARIA

PAULO HELENE

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

RESUMO

O CEPRIC, conhecido como Aquário do Pantanal, é um aquário de água doce dentro do Parque das Nações Indígenas, na cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul (Brasil). Projetado pelo renomado Arquiteto Ruy Ohtake, é considerado o maior aquário de água doce do mundo, com 18.635m², sendo constituído por 23 grandes aquários dentro do edifício e 9 na área externa, totalizando um volume de água de aproximadamente 6 milhões de litros, que vão abrigar 263 espécies da fauna aquática. Este artigo apresenta os desafios e engenhosidades envolvidos no projeto e construção da estrutura de concreto (cerca de 17.500m³ apli-

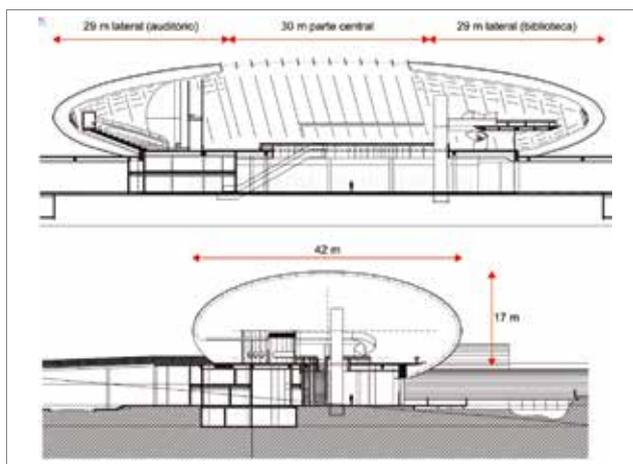
cados) estanque, de alta resistência e aparente em alguns trechos. Os resultados demonstraram que o projeto estrutural, os procedimentos executivos e o concreto utilizado foram determinantes no sucesso da obra e conseguiram atender aos desafios rigorosos do projeto arquitetônico, resultando em elementos estruturais com integridade e durabilidade condizentes com a importância desta obra emblemática para a região e o país.

I. INTRODUÇÃO

Localizado no Parque das Nações Indígenas, o Aquário do Pantanal, nome popular para o Centro de Pesquisa e Reabilitação da Ictiofauna Pantaneira (CEPRIC), será o maior

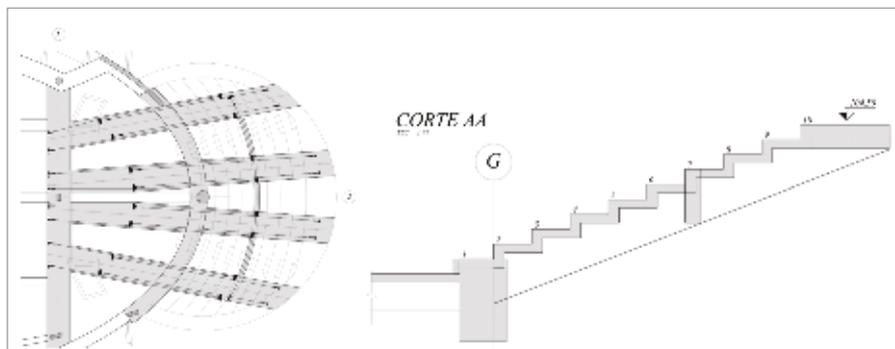
aquário nacional e primeiro de porte internacional do Brasil (com padrão chamado de “World Class Aquarium”). O aquário possui propósitos contemplativos, turísticos, educacionais e científicos, sendo a finalidade do projeto incentivar o desenvolvimento de pesquisas e diálogos com universidades nacionais e internacionais, fortalecer a educação ambiental e ainda funcionar como um espaço de turismo e lazer para a população campo-grandense e a sociedade brasileira.

O aquário apresentará espécies de peixes, anfíbios e répteis da fauna sul-mato-grossense, parte das espécies vegetais locais, além de espécies da Amazônia, Bacia do Paraná e do litoral brasileiro, tornando-se referência



▶ **Figura 1**

Vista externa e seções (longitudinal e transversal) do pavilhão central



► **Figura 2**
Auditério: vista em planta (vigas protendidas hachuradas) e corte transversal

mundial como aquário de água doce.

É formado por duas grandes estruturas conectadas: o pavilhão central e os aquários, que têm em comum um jardim central dedicado à biodiversidade do Pantanal. O pavilhão central é formado por uma estrutura metálica de formato quase elipsoidal, com 88m de comprimento, 42m de largura e 17m de altura, dividido em três partes distintas ao longo do eixo longitudinal do edifício (Figura 1).

No seu interior se localizam dois elementos singulares do edifício: o auditório e a biblioteca.

O auditório, em concreto protendido e aparente, é composto por 10 ní-

veis de arquibancadas de planta circular que ficam em balanço, suportadas por quatro vigas protendidas de comprimentos entre 16 e 19m, com inclinação de 21° (Figura 2).

Existe ainda uma quinta viga protendida, ortogonal às anteriores e disposta na metade do trecho inclinado, com a função de minimizar e equalizar as deformações produzidas no trecho em balanço do auditório.

A biblioteca, em concreto armado e aparente, é constituída de uma laje de planta circular com 14m de diâmetro e altura variável, apoiada em um único pilar central de 1,40m de diâmetro (Figura 3).

A estrutura de suporte da laje de

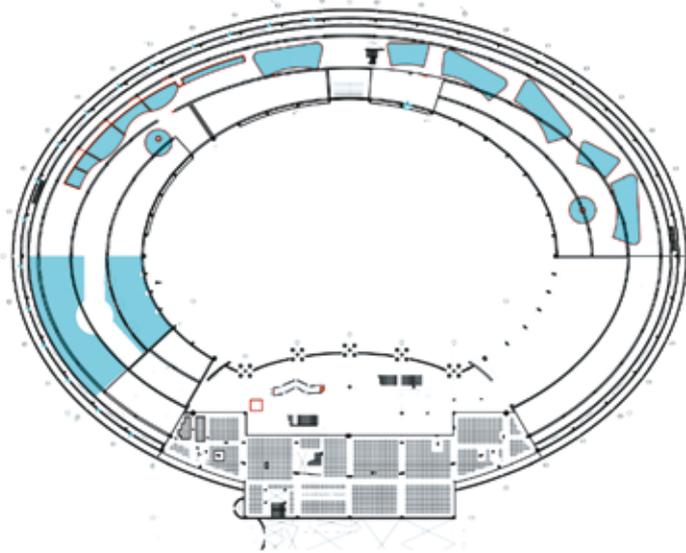
concreto armado é constituída por uma malha de vigas com altura variável entre 40cm e 90cm, dispostas nas direções principais e ortogonais entre si, conectadas por uma viga de borda circular em planta. Os vazios entre as lajes superiores e inferiores foram preenchidos com blocos de EPS (poliestireno expandido).

Na área interna da edificação estão dispostos 10 aquários em concreto armado, que formam o circuito dos aquários internos, todos no mesmo nível que o *hall* de entrada. Os aquários são formados por uma estrutura de concreto com formato quase elipsoidal em planta e fachada exterior composta por painéis de vidro transparente até meia altura, com o objetivo iluminar naturalmente os aquários do túnel e de garantir que os visitantes possam desfrutar do jardim interno ao longo de todo o caminho (Figura 4).

A estrutura tipo dos aquários em concreto armado consiste em uma laje de fundo e três paredes de espessura variável, dependendo da altura do nível de água (entre 1m e 3m). Na quarta parede há uma abertura com painel acrílico, que permite aos visitantes observar o interior do tanque. Para o



► **Figura 3**
Biblioteca: vista geral e detalhe do pilar central



► **Figura 4**
Planta da área interna da edificação e disposição dos aquários

suporte do acrílico, alguns com espessura de até 30cm, foi disposta uma viga superior embutida nas paredes laterais, e na parte inferior foi executado um ressalto em forma de dente na laje (Figura 5).

O aquário interno de maiores dimensões é o chamado “Rio Paraguai”, com uma altura de lâmina de água de 5m, 29m de comprimento e 17m de

largura. As paredes laterais do tanque em concreto armado possuem espessura de 25 a 40cm, e são engastadas à laje em sua base. Neste trecho há um túnel de acrílico ao longo do aquário (Figura 6).

Com elementos em diversas formas e angulações, durante a execução desta superestrutura, mostrou-se necessário agregar tecnologia especializada em

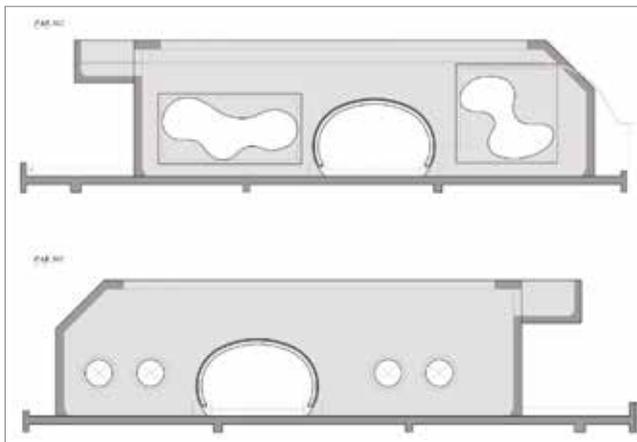
concreto, para enfrentar a complexidade da obra, que apresenta um projeto arquitetônico de aparente leveza, mas com grandes massas de água sob a forma dos tanques de circulação e de peixes vivos (ecossistemas), gerando cargas muito significativas, esforços de flexão vultosos, necessidade de absoluta estanqueidade e muitas cortinas (paredes de tanques e divisórias).

Outros aspectos relevantes da concepção da estrutura são a alta resistência do material concreto (especificada como $f_{ck} = 50\text{MPa}$ aos 28 dias de idade por razões de durabilidade e estanqueidade) e a necessidade de atendimento a requisitos estéticos nos trechos em concreto aparente. Dada a complexidade da obra e por se tratar de estruturas diferenciadas, foi imprescindível a adoção de concretos especiais, assim como a execução de um rigoroso controle tecnológico do concreto. Nesta obra foram empregados 14.736m^3 de concreto de $f_{ck} = 50\text{MPa}$, 458m^3 de concreto de $f_{ck} = 60\text{MPa}$, 178m^3 de concreto de $f_{ck} = 20\text{MPa}$ e 236m^3 de concreto de $f_{ck} = 15\text{MPa}$.

O tipo de concreto empregado,



► **Figura 5**
Tipologia dos aquários, com abertura para painel de acrílico



► **Figura 6**
Rio Paraguai: elevações das paredes do aquário e vista do túnel de acrílico

bem como algumas práticas de bem construir e outras engenhosidades, foram determinantes para a obtenção de elementos estruturais íntegros e adequados às especificações de projeto e às necessidades da obra. A maior parte dos conceitos e procedimentos empregados consta nas premissas das normalizações nacionais vigentes à época (ABNT NBR 6118:2007, ABNT NBR 12655:2006, ABNT NBR 14931:2004, ABNT NBR 15823:2010) e em literaturas consagradas [1][2][3][4].

2. BOAS PRÁTICAS: ESTANQUEIDADE E CONCRETO AUTOADENSÁVEL

A partir do entendimento da função das estruturas do Aquário do Pantanal percebe-se que, especialmente para a região do circuito dos aquários, a estanqueidade dos tanques é uma necessidade e premissa de projeto [ACI 224.3R-95 (Reapproved 2008)]. Esse cuidado com a estanqueidade é fundamental, pois essas estruturas estão sujeitas a cargas diferenciadas, condições de exposição mais severas (forte preocupação com as questões de durabilidade) e exigências mais restritivas

de serviço com relação às estruturas convencionais (ACI 350-06).

É importante esclarecer que *impermeabilidade de um material* e *estanqueidade de uma estrutura* são conceitos distintos. O concreto, quando visto exclusivamente como um material, é capaz de prover condições suficientes de baixíssima permeabilidade, promovendo uma barreira eficiente à percolação de água, ou seja, pode ser considerado impermeável para a maioria dos usos (piscinas, coberturas, tanques, fundações, paredes diafragma etc.).

Por outro lado, uma *estrutura de concreto estanque* é aquela capaz de não permitir a percolação de água por nenhuma imperfeição, ou fissura, ou *insert* nas paredes e laje que a confinam, e envolve principalmente aspectos rela-

cionados com a técnica de bem construir, requerendo cuidados especiais durante a execução, de modo a evitar ninhos de concretagem, adensamento inadequado, fissurações não previstas e juntas frias ou de concretagem não estanques, através das quais possa haver, eventualmente, percolação ou infiltração de água [5].

Corroborando esse ponto de vista, o ACI 350-06 destaca que usualmente é mais econômico e seguro garantir a estanqueidade de uma estrutura com uso da *qualidade do material concreto* (dosagem adequada) e de *procedimentos executivos condizentes com as boas práticas* de construção (lançamento, adensamento, cura, juntas bem executadas e projetadas, entre outros) do que através da aplicação de

► DECLARAÇÃO DO MINISTRO-CHEFE DA SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, ROBERTO MANGABEIRA, PARA O DIÁRIO DIGITAL DE CAMPO GRANDE, POR CONTA DE SUA VISITA ÀS OBRAS DO AQUÁRIO DO PANTANAL NO ÚLTIMO DIA 8 DE JULHO

“É uma imensa oportunidade de colocar o Brasil e o Mato Grosso do Sul na vanguarda do grande projeto nacional que é a mudança da educação no Brasil”.



▶ ARQUITETO RUY OHTAKE, AUTOR DO PROJETO DO AQUÁRIO DO PANTANAL



“Arquitetura inovadora e significativa que a todos deve empolgar. Imbuídos de entusiasmo para o início do funcionamento do Complexo, que além de evidenciar os animais (peixes, jacarés, etc.), ressalta a grande importância do meio ambiente, agregando pesquisa da biodiversidade e contribuição para os aspectos turísticos, educativos, culturais e sociais”.

barreiras ou revestimentos protetivos, ou seja, o concreto bem especificado e executado é suficiente para promover a estanqueidade.

As dimensões dos elementos estruturais impostas pelo projeto básico da obra resultaram em um Projeto Estrutural Executivo densamente armado, onde a dificuldade de concretagem tornou-se outro grande desafio, exigindo grande esforço de montagem de fôrmas e armaduras, com pouco ou nenhum espaço para vibração e adensamento adequados do concreto (Figura 7).

Esta característica, somada às formas diversas dos elementos estruturais, consistiu um grande inconveniente para o emprego de um concreto convencional.

Diante disso, fez-se necessário pro-

ceder com a elaboração de um concreto especial, fino, fluido e com maior plasticidade, além de teor de argamassa e granulometria compatíveis com as necessidades do projeto.

Neste contexto, o concreto autoadensável é um material que pode atender a todos estes requisitos, pois é capaz de fluir e autoadensar pelo seu peso próprio, preenchendo adequadamente as fôrmas e envolvendo embutidos (armaduras, dutos e insertos), enquanto mantém sua homogeneidade (ausência de segregação) nas etapas de misturas, transporte, lançamento e acabamento (ABNT NBR 15823:2010).

Este concreto apresenta um equilíbrio entre elevada fluidez e moderada viscosidade, obtido através da utilização

de aditivos superplastificantes e agregados com menores granulometrias, e também pode representar produtividade e redução de mão de obra. Nesta obra, foram empregados 14.736m³ de concreto autoadensável, 1.840m³ de concreto fluido (abatimento > 220mm) e 872m³ de concreto convencional bombeável (abatimento entre 100mm e 160mm).

3. PROJETO, INSUMOS E PROCEDIMENTO EXECUTIVO

3.1 Projeto: dimensionamento estrutural e modelos de cálculo

O projeto estrutural executivo foi elaborado pela FHECOR DO BRASIL, a partir de um projeto básico já existente.

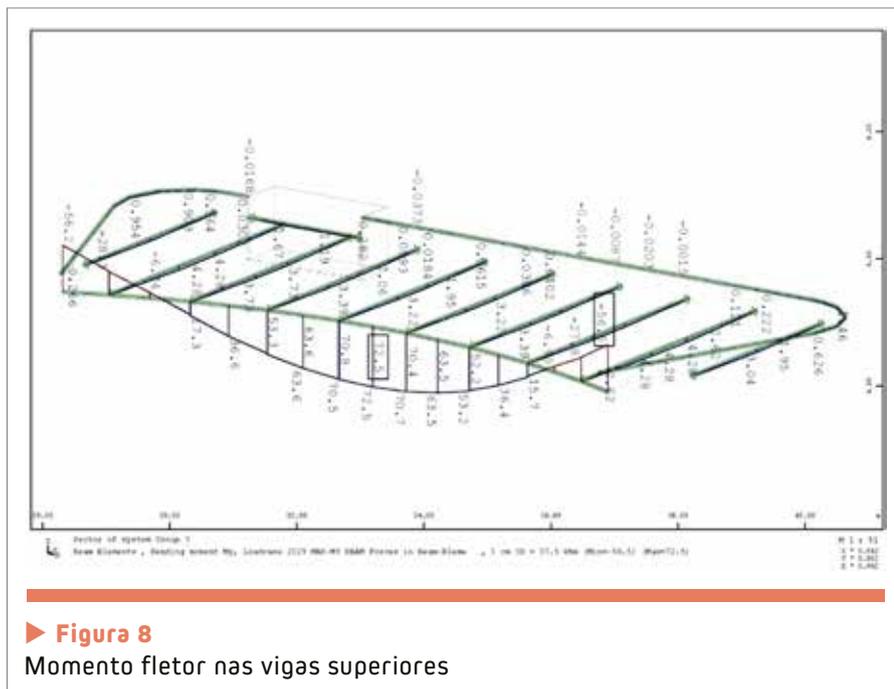
Para determinar as cargas empregadas no dimensionamento estrutural foi utilizada a norma vigente para estruturas de edificações ABNT NBR 6120:1980. Versão corrigida: 2000. As cargas consideradas foram as seguintes:

- ▶ Cargas permanentes: incluem as cargas de peso próprio dos diferentes elementos estruturais, assim como as cargas permanentes dos pavimentos e divisórias, além dos



▶ **Figura 7**

Aquário do Pantanal: trechos de armadura de vigas e lajes



► **Figura 8**
Momento fletor nas vigas superiores

- enchimentos técnicos de contrapiso;
- Sobrecargas de uso: os valores adotados baseiam-se na utilização a que se destina o elemento analisado, podendo variar entre os 3kN/m² para as zonas técnicas do nível subsolo, 4kN/m² para as zonas de acesso ao público e 7,5kN/m² nas áreas de instalações;
- Sobrecargas de água: no caso das zonas de aquários, foi introduzida a carga variável do peso da coluna d'água associada à capacidade máxima dos tanques. Esta carga alcançou em alguns casos valores de 50kN/m², correspondente a 5 metros de coluna d'água;
- Sobrecarga de vento: foi determinada em função da localização da obra e da altura da edificação, com base no indicado na norma.

Dadas as inúmeras possibilidades de variação nos carregamentos de água, foram simuladas várias hipóteses de carga, para se considerar a mais crítica envoltória nos dimensionamentos das estruturas que suportam os tanques.

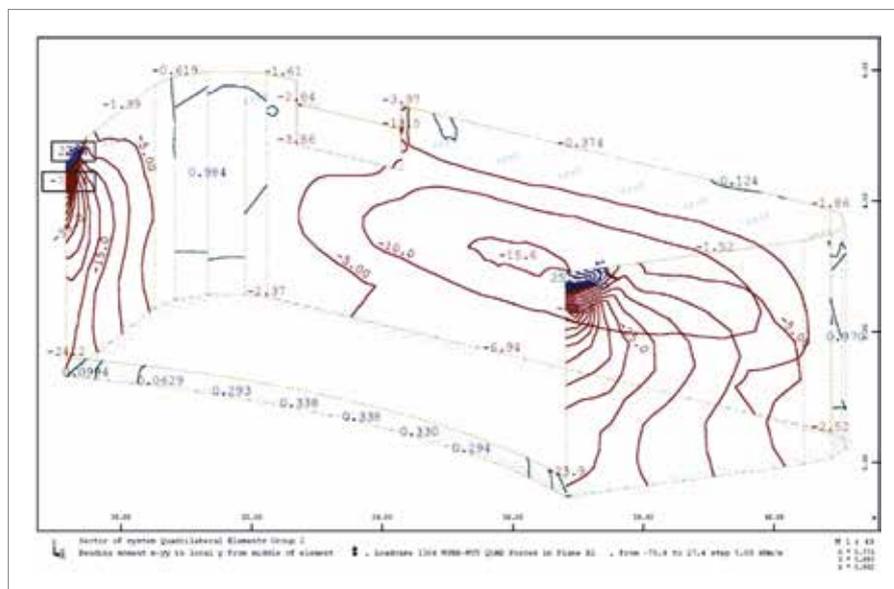
A utilização de modelos de elementos finitos facilitou o dimensionamento dos diferentes elementos estruturais, permitindo a confecção de um modelo tridimensional de todo o edifício, combinando elementos do tipo placa, para a representação de lajes e muros, com elementos tipo barras, para representar os pilares

e as vigas. O dimensionamento dos tanques foi realizado através da análise dos esforços e deformações. A partir das cargas obtidas nos modelos dos tanques, também foram dimensionadas as lâminas de EPS dispostas entre os tanques e as lajes do edifício sobre a qual se apoiam.

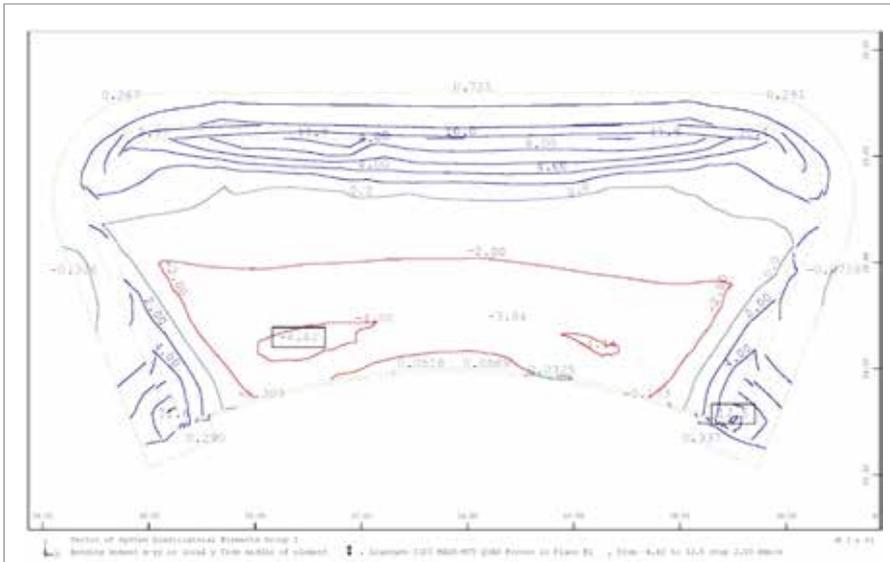
No dimensionamento dos aquários internos a ação principal considerada foi a pressão hidrostática sobre as paredes dos tanques.

As Figuras 8 e 9 apresentam os esforços nas vigas da parte superior do tanque e nas paredes verticais, resultantes dos modelos de cálculo. Na Figura 8, pode-se perceber que é na ligação das vigas superiores e inferiores com as paredes que ocorre grande concentração de tensões.

As deformações e esforços na laje de fundo do tanque também são resultados obtidos do lançamento da estrutura no *software*. Nesse caso, as maiores tensões se concentram nos cantos dianteiros, que recebem a carga transmitida pelo pórtico formado



► **Figura 9**
Esforço fletor nas paredes laterais. Tanque 4



► **Figura 10**
Envoltória de momentos fletores na laje de fundo

pelos muros laterais e a viga dianteira (Figura 10).

Assim, para aumentar a área de distribuição da carga transmitida pelo tanque sobre a laje de fundo, foram dispostas chapas metálicas abaixo dos cantos dianteiros do tanque, conectadas à estrutura de concreto por pinos tipo *Stud* (Figura 11).

Por ser o de maior capacidade do aquário, o dimensionamento do tanque

do Rio Paraguai levou em conta o suporte de maiores cargas de pressão hidrostática. O modelo realizado permitiu obter os esforços nas paredes laterais que formam o tanque, considerando a adição do efeito conjunto de todas as paredes (Figuras 12 e 13).

3.2 Concreto e procedimentos executivos

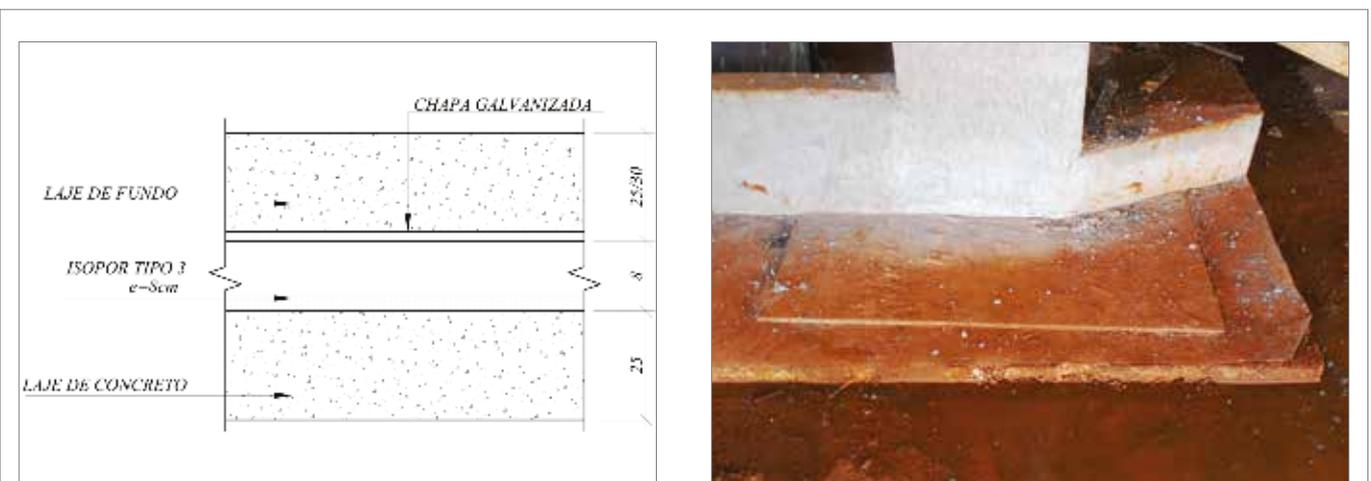
A partir de um cuidadoso estudo de

► **Tabela 1 – Traço de concreto autoadensável desenvolvido para Aquário do Pantanal**

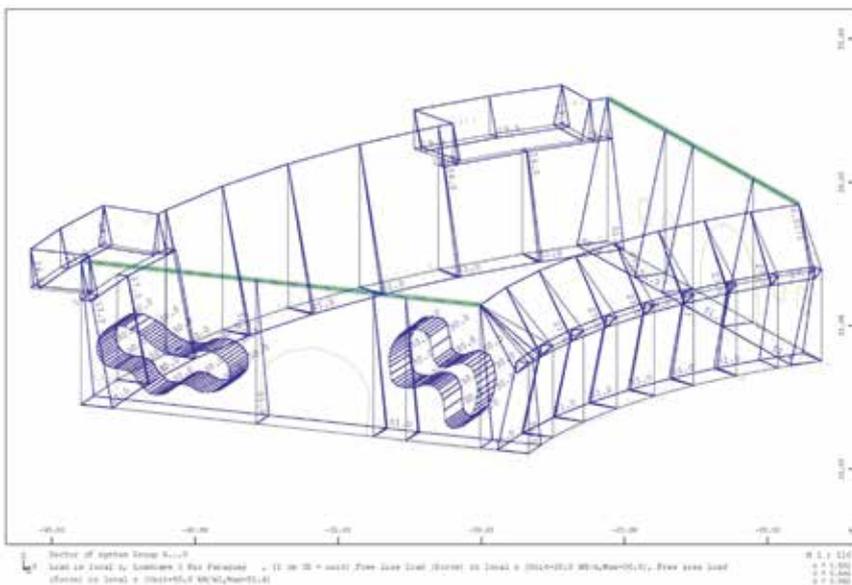
Traço do concreto	f_{ck} 50MPa; slump-flow > 650mm
Consumo de cimento CPIIF32 por m ³	489 kg
Relação água/cimento	0,35
Teor de argamassa seca	57%
Areia artificial por m ³	245 kg
Areia natural por m ³	515 kg
Pedrisco por m ³	941 kg
Água por m ³	170 L
Aditivo plastificante por m ³	3,400 L
Aditivo superplastificante por m ³	4,150 L

dosagem, foi escolhido e empregado o seguinte traço referência de concreto resultante, que pode ser observado na Tabela 1.

Em estruturas massivas, a combinação do calor produzido pela



► **Figura 11**
Detalhe das chapas de distribuição abaixo dos cantos dianteiros da laje de fundo



► **Figura 12**
Cargas de pressão hidrostática sobre as paredes laterais.
Tanque Rio Paraguaí

hidratação do cimento e condições relativamente baixas de dissipação do calor resulta em grande elevação da temperatura do concreto nas primeiras idades, e o resfriamento até a temperatura ambiente pode fissurar o concreto. O controle da temperatura de lançamento do concreto é uma das formas mais eficientes de evitar fissuração de origem térmica [2].

Tendo em vista a importância e a diversidade das peças concretadas, além do grande volume de concreto aplicado em diversas concretagens, foi necessário elaborar um planejamento detalhado dos eventos de execução das estruturas, envolvendo tecnologia avançada quanto ao controle do carregamento dos escoramentos (inclusive, com realização da concretagem em camadas e monitoramento topográfico das deformações, com o intuito de possibilitar a suspensão da concretagem caso fosse verificada uma movimentação inadequada ou perigosa dos escoramentos), concreto autoadensável e uso de gelo em substituição à água de amassamen-

to, nos locais com características de concreto massa.

O programa planejado compreendeu treinamentos para as equipes da obra, numa temática variada que incluiu prática e teoria para os operários e engenheiros participantes. Também os demais envolvidos no processo (Empresa de Serviços de Concretagem e Laboratório de Controle Tecnológico)

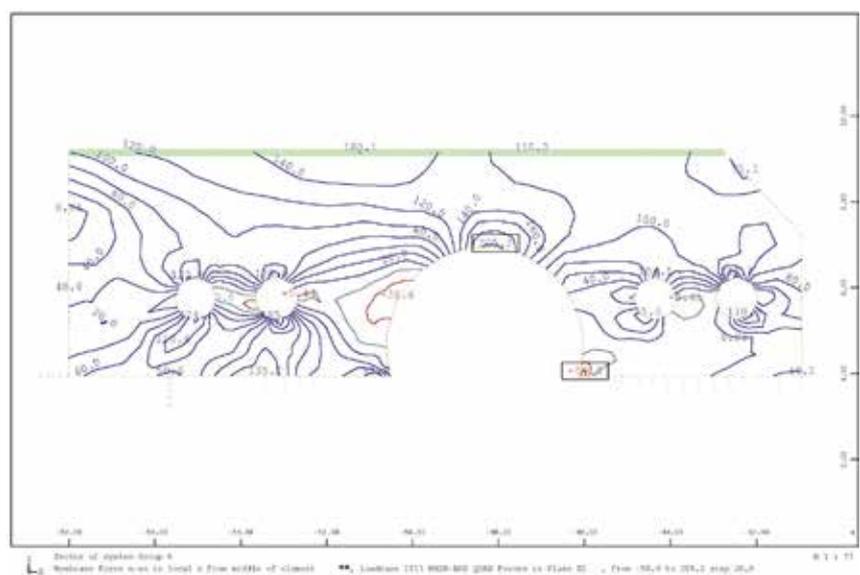
foram orientados com relação ao procedimento que deveria ser empregado nas concretagens especiais, ensaios e controles, de modo que as responsabilidades de cada interveniente foram bem definidas.

Além disso, ressalta-se que, apesar de todo o conhecimento técnico e teórico de obras envolvendo os conceitos de estanqueidade e o uso de concreto autoadensável, a experiência tem demonstrado que o uso de simulações em campo e protótipos é uma ferramenta necessária e indispensável em projetos de alta complexidade [6], como neste caso.

No auditório, por exemplo, foi construída uma viga de sacrifício (Figura 14) com todas as características da peça original (elevada taxa de armadura, fôrma inclinada e aberta, concreto de alto desempenho e impossibilidade de adensamento por vibração).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que o conjunto formado pelo estudo e desenvolvimento



► **Figura 13**
Esforço axial nas paredes laterais. Tanque Rio Paraguaí



► **Figura 14**

Viga de sacrifício (protótipo), com detalhe na região da junta de concretagem

de um traço de concreto apropriado, a concepção de protótipos e uma execução adequada e em conformidade com as normas vigentes e práticas de bem construir foram determinantes para a execução da estrutura de concreto do Aquário do Pantanal, resultando em integridade, estanqueidade e durabilidade condizentes com as necessidades da obra (Figura 15).

O estudo de caso apresentado neste artigo demonstra claramente uma obra emblemática de grande singularidade, não

somente no que diz respeito à arquitetura, mas também às demais considerações relacionadas com a estrutura, sujeita a esforços não convencionais, e às interfaces com outros sistemas construtivos, como a estrutura metálica de cobertura.

Sem dúvida, a garantia de desempenho frente aos requisitos de estética, forma e função deve-se, especialmente, à interdisciplinaridade e integração das equipes de Arquitetura, Estrutura, Tecnologia do Concreto, Controle Tecnológico, Serviços Espe-

ciais de Engenharia (como o caso da protensão), assim como à realização de um rigoroso Controle de Qualidade de Projeto (CQP) por parte do proprietário (governo do Estado), que foi imprescindível para os bons resultados obtidos ao longo da obra.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos parceiros arquiteto Ruy Ohtake e sua equipe, à Profª. Sandra Regina Bertocini, ao Eng. Egidio Hervé Neto, ao Eng. Paulo Sérgio



► **Figura 15**

Aquário do Pantanal: integridade, estanqueidade e durabilidade

(Diretor da SERMIX Serviços e Concretagem Ltda.), ao Eng. Egídio Vilani Comin (Diretor da Egelte Engenharia Ltda.) e sua equipe, ao Eng. Pedro Marcondes Machado (Diretor da Proteco Construções Ltda.), e ao Governo do Estado do MS, na pessoa do Eng. Domingos Sávio Mariuba [Fiscal da Agência Estadual de Gestão de Empreendimento (AGESUL)], sem os quais seria impossível atingir as metas e o resultado desejado. 🏗️

▶ FICHA TÉCNICA

Cliente

Governo do Estado do MS.

Tecnologia do Concreto

PhD Engenharia Ltda.

Construção

EDELTE Engenharia Ltda. e
PROTECO Construções Ltda.

Empresa de Serviços de Concretagem

SERMIX Serviços e
Concretagem Ltda.

Arquitetura

RUY OHTAKE Arquitetura e
Urbanismo Ltda.

Protensão

MAC Sistema Brasileiro de
Protensão Ltda.

Projeto Estrutural

FHECOR DO BRASIL
Engenharia Ltda.

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] HELENE, Paulo R. L.; TERZIAN, P. R.; SARDINHA, V. L. A. Considerações sobre estanqueidade de estruturas de concreto. In: Anais do 2º Simpósio Brasileiro de Impermeabilização. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Impermeabilização, 1980, p. 176-197.
- [02] MEHTA, P.; K; MONTEIRO, J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. IBRACON, 2ª edição. São Paulo, 2014.
- [03] NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Concrete Technology. New York: Longman Scientific & Technical, 1987. 438 p.
- [04] KOSMATKA, Steven H.; WILSON, Michelle L. Design and control of concrete mixtures. 15ª edição. Illinois: Portland Cement Association, 2011.
- [05] BRITZ, Carlos; HELENE, Paulo; BUENO, Suely; PACHECO, Jéssika. Estanqueidade de Lajes de Subpressão. Caso MIS-RJ. Trabalho apresentado ao 55º Congresso Brasileiro do Concreto (55º CBC), Gramado, 2013.
- [06] BRITZ, C.; PACHECO, J.; BUENO, S.; HELENE, P. Recomendações para a concepção de pilares inclinados em concreto aparente. Caso MIS-RJ. 2014. Trabalho apresentado ao 56º Congresso Brasileiro do Concreto – CBC2014, Natal, 2014.



MARQUE PRESENÇA!

O 57º Congresso Brasileiro do Concreto é o maior evento técnico-científico sobre tecnologia do concreto e seus sistemas construtivos

27 a 30 de outubro | Bonito - MS

Presença institucional da empresa/instituição

- Exponha suas pesquisas e inovações no Seminário de Novas Tecnologias
- Apresente seus produtos e serviços na XI Feibracon – Feira Brasileira das Construções em Concreto
- Estreite relacionamentos com seus clientes em coquetéis, jantares e premiações
- Participe ativamente das discussões e conheça os mais recentes avanços nas pesquisas e inovações sobre o concreto

Garanta ainda hoje seu espaço!

Cotas de patrocínio e os espaços de exposição ainda disponíveis!

INFORMAÇÕES

Tel.: (11) 3735-0202

e-mail: arlene@ibracon.org.br

site: www.ibracon.org.br



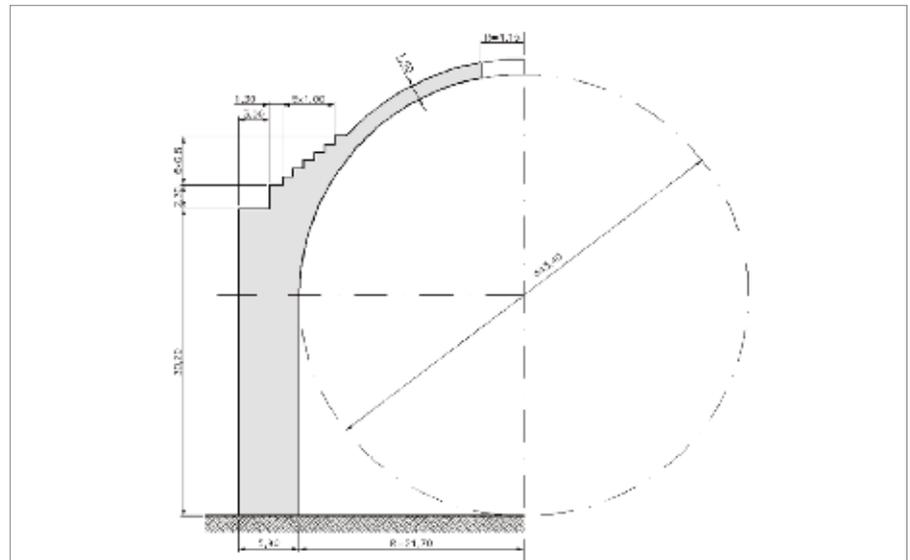
O 57º Congresso Brasileiro do Concreto é destinado à divulgação técnica do bom uso do concreto e enquadra-se no **Fundo de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico**, que permite às empresas patrocinadoras e expositoras deduzirem do Imposto de Renda o valor da contribuição.

Análise simplificada da cúpula do Panteão de Roma

MILTON EMÍLIO VIVAN – ENGENHEIRO CIVIL

PEDRO HENRIQUE DELLAMANO LARANJEIRA – ENGENHEIRO CIVIL

Esta publicação objetiva disponibilizar análise simplificada sobre o comportamento, ao longo de cerca de 2000 anos, de uma estrutura magnânima construída entre os anos de 118 e 128, durante o império de Adriano, com o emprego de materiais até hoje pouco conhecidos em vários países e com uma concepção estrutural arrojada. Na construção desse edifício, os romanos empregaram todo o conhecimento sobre construção com concreto que



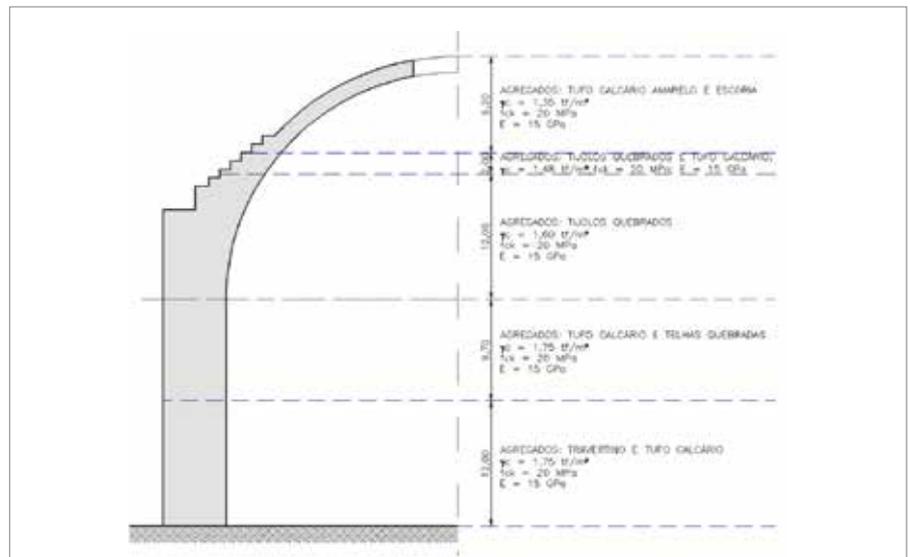
▶ **Figura 1**
Geometria utilizada no modelo



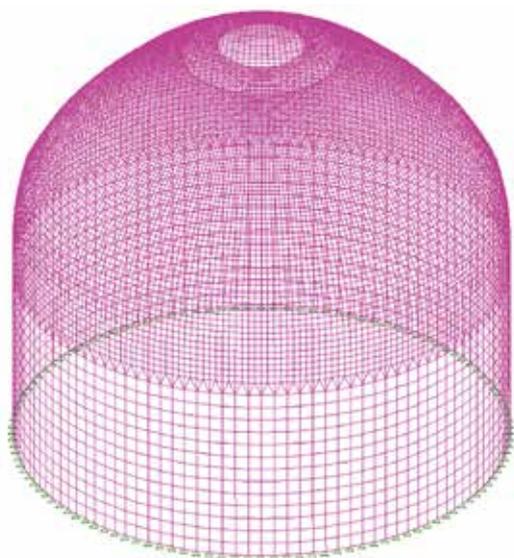
Foto 1 - Vista externa do Panteão, edificação dedicada aos deuses romanos



Foto 2 – Cúpula do Panteão, maior vão livre em concreto não armado



▶ **Figura 2**
Parâmetros do concreto utilizados no modelo



► **Figura 3**
Vista isométrica do modelo

possuíam na época, bem como toda a experiência de construção com alvenaria estruturada por arcos. Com 43,4 m, a cúpula do Panteão foi, por mais de mil anos, o maior vão livre do mundo, permanecendo funcional até hoje, quase dois milênios depois de construída. Ainda é a estrutura de maior vão de concreto não armado já construída em todo o mundo.”

Na construção do Panteão, várias providências adotadas pelos romanos indicam o grau de domínio da tecnologia de construção de estrutura em cúpula, mesmo que totalmente empírico. Um primeiro detalhe que chama a atenção é a presença de nichos no interior da cúpula, que, além do efeito visual e arquitetônico, acaba por aliviar um pouco também o peso da estrutu-



Foto 3 - Vista interna do Panteão, com destaque do altar da Basílica Santa Maria ad Martires

ra, o que inspirou a mesma solução em diversas outras cúpulas pelo mundo.

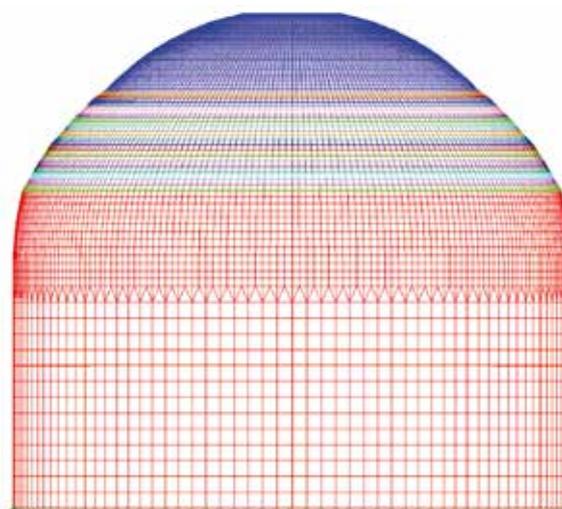
Uma medida de natureza prática foi a construção de “degraus” na parte baixa da cúpula para evitar o escoamento do concreto fresco, resultando na configuração de reforço por 7 anéis nessa região inferior da cúpula. O mais claro sinal de que os romanos sabiam o que estavam fazendo foi a utilização de concretos mais leves em cima e de maior densidade embaixo, conseguidos com a variação de peso dos agregados utilizados.



Foto 4 – Detalhe do encontro da cúpula com a parede do Panteão

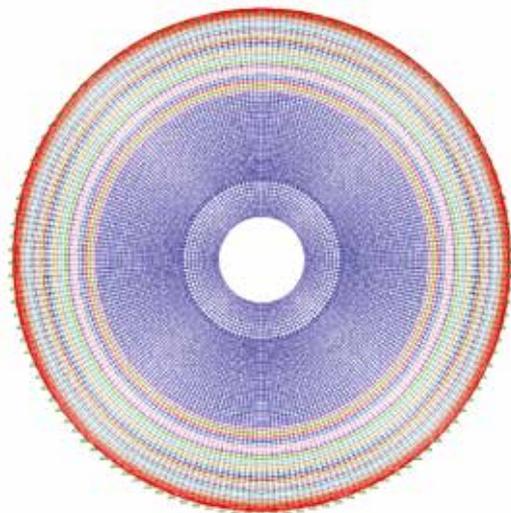
Com base no material disponibilizado^{1,2}, foi definida a geometria aproximada do Panteão a ser utilizada no modelo (figura 1). Como pode ser observado, foram feitas aproximações na geometria para facilitar a execução do modelo:

- As paredes foram tomadas com espessura constante ao longo de todo o perímetro, apesar de conter vários nichos e galerias: como o interesse maior é pelo domo e as paredes apresentam geometria bastante irregular, com galerias e nichos para as estátuas, essa aproximação é bastante razoável (mesma aproximação feita por Mark e Hutchinson);
- Não considerados os nichos na cúpula porque o alívio causado pelos nichos representa menos do que 5% do peso total do domo,



► **Figura 4**
Vista lateral do modelo com as propriedades (espessuras) exibidas por cores





► **Figura 5**
Vista em planta do modelo com as propriedades (espessuras) exibidas por cores

mesma hipótese adotada por Mark e Hutchinson;

- As paredes foram consideradas apoiadas no nível do solo.

O concreto romano era feito com cal, pozolana (cinzas do Vesúvio) e pedras, apresentando características diferentes do concreto de cimento Portland moderno, tornando difícil a adoção de seus parâmetros. Para os pesos específicos, foram adotados aqueles indicados no estudo de Mark e Hutchinson, conforme o esquema apresentado na figura

2. O módulo de elasticidade $E = 15 \text{ GPa}$ foi adotado por recomendação do eng. Renato Zuccolo.

A partir das características da estrutura, foram avaliadas as tensões com o programa STRAP, através de modelo matemático tridimensional de elementos de placa, considerando a estrutura não fissurada. Não se sabe se as fissuras observadas na face interna também atingiram a região externa e foram seladas em alguma intervenção de manutenção da estrutura.



► **Figura 6**
Vista renderizada do modelo

A escolha do modelo com elementos planos, ao invés de elementos tridimensionais sólidos, foi feita por simplicidade, sem perda significativa de precisão. Os elementos planos situam-se no eixo geométrico da estrutura e suas espessuras correspondem à geometria definida anteriormente. As dimensões dos elementos são variáveis, estando o modelo com a malha mais refinada no domo. Nas figuras 3 a 6, são apresentadas vistas do modelo.

Aplicando as cargas do peso próprio e calculando o modelo, foram obtidas as tensões de tração discriminadas nas Figuras 7 e 8.

Essas tensões encontram-se na direção horizontal, conforme esperado (Figura 9).

Dessa forma, a máxima tensão de tração encontrada foi de $0,82 \text{ kgf/cm}^2$, localizada na face externa e próxima ao início da curvatura.

Ao compararmos este resultado com os obtidos por Mark e Hutchinson, percebe-se que apresentam a mesma ordem de grandeza. A máxima tensão de tração encontrada por Mark e Hutchinson foi de $0,6 \text{ kgf/cm}^2$, localizada na mesma posição e direção destes resultados.

As tensões são pequenas e, por si só, não parecem ter sido responsáveis pela fissuração existente. Há várias hipóteses para a causa dessa fissuração e algumas podem ser simultâneas e de



Foto 5 - Detalhe da vista lateral do Panteão

intensidade diferente. Uma delas é a diferença de temperatura entre a face superior e inferior. Num dia de extremo calor, se a diferença de temperatura externa x interna chegar a 10° C, poderão ocorrer tensões de tração da ordem de 10 kgf/cm² na face interna e tensões pequenas de compressão na face externa. Se a origem for esta, as fissuras podem não ser passantes. Outra hipótese é que tenham sido originadas pela ação de sismos. Pela localização, em todo perímetro, das fissuras, não parece ser uma causa provável. Acelerações horizontais deveriam produzir fissuras assimétricas e aceleração vertical não seria a causa pela ordem de grandeza das tensões que seriam geradas quando comparadas com as obtidas só com o peso próprio. A estrutura não apresenta volumes significativos. Os volumes diários concretados também devem ter sido pequenos. Sabe-se também que concretos pozolânicos desenvolvem baixo calor de hidratação, mas não se sabe se os romanos curavam o concreto. Então, outra hipótese é que podem ter ocorrido tensões devidas à retração do concreto já nas primeiras camadas concretadas, que são as mais espessas da cúpula. Essas fissuras podem ter se propagado para as demais camadas superiores.

Na hipótese de concreto fissurado, o estudo fica limitado pelo desconhe-

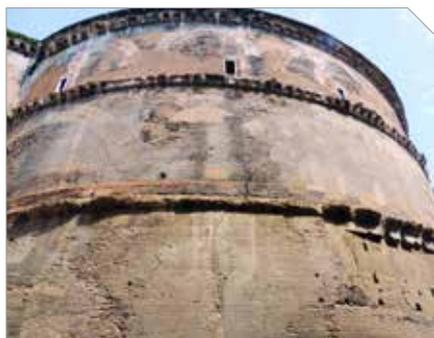
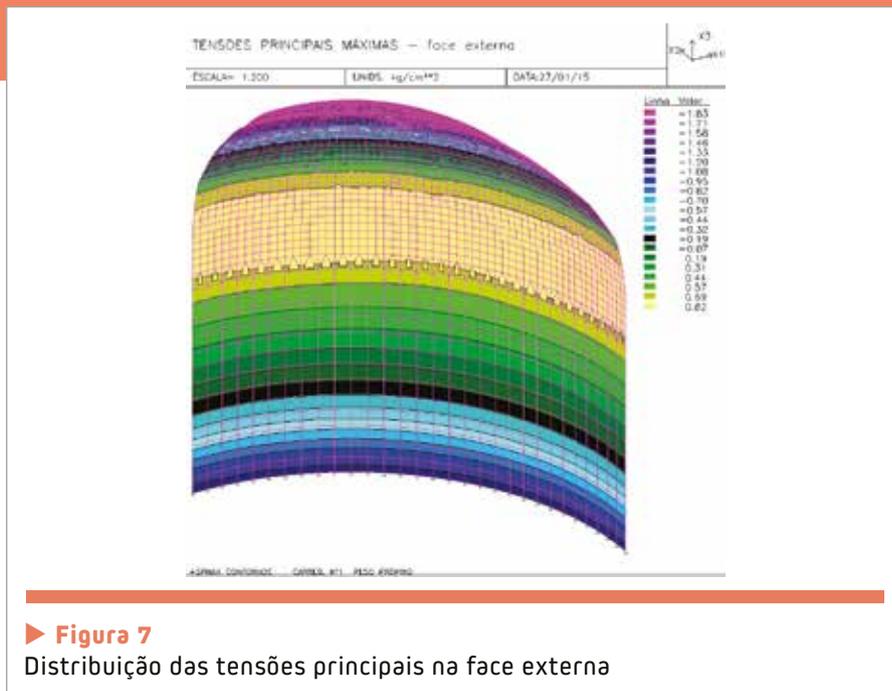


Foto 6 - Detalhe da construção da alvenaria estruturada por arcos



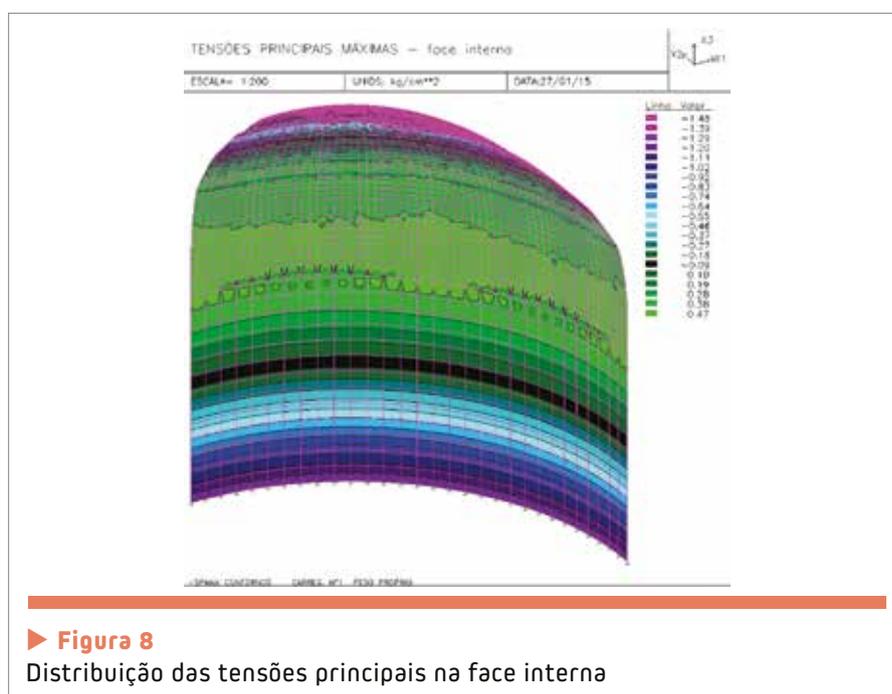
► **Figura 7**
Distribuição das tensões principais na face externa

cimento das posições e profundidades das fissuras. Mas sabe-se que o comportamento estrutural é alterado, com provável mudança na direção das tensões de tração. Na cúpula, as maiores tensões são tangenciais e, nos arcos, na direção radial. O comportamento esperado deve ser próximo daquele exposto por Mark e Hutchinson e por Jacques Heyman (“The plasticity of unreinforced concrete”): a partir da fissuração, a estrutura começa a se comportar como uma série

de “fatias” de arcos independentes, o que reduz ainda mais as tensões de tração (ou até torna a estrutura totalmente comprimida) e aproxima o comportamento estrutural do Panteão àquele amplamente utilizado pelos romanos em suas grandes estruturas – o arco.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi realizado por sugestão do Eng. Renato Zuccolo, para estimar as tensões de tração atuantes



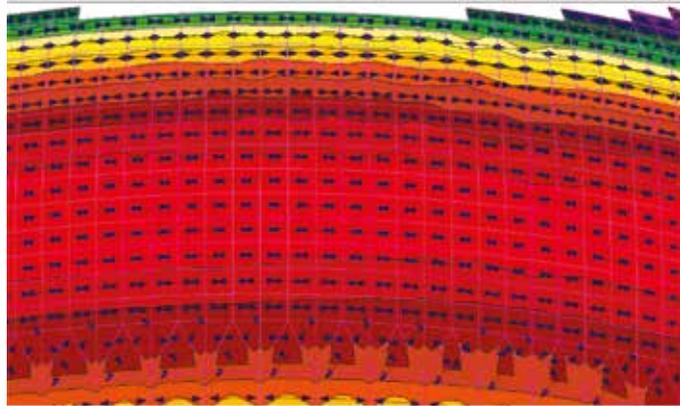
► **Figura 8**
Distribuição das tensões principais na face interna

TENSÕES PRINCIPAIS MÁXIMAS – direção

ESCALA= 1:100

UNIDS: kg/cm**2

DATA:27/01/15



Linha	Valor
1	-0.065
2	-0.023
3	0.061
4	0.103
5	0.145
6	0.187
7	0.229
8	0.271
9	0.313
10	0.355
11	0.397
12	0.439
13	0.481
14	0.523
15	0.565
16	0.607
17	0.649
18	0.691
19	0.733
20	0.775
21	0.817

*SMAK CONTORNOS: CARREG. INT. PFSO. PRÓPRIO

► Figura 9

Direção das tensões principais máximas

na cúpula do Panteão romano. Para a tarefa, Zuccolo nos forneceu vasto e interessante material sobre a história da estrutura, características do edifício, métodos construtivos e outras construções da época do império romano, além de outras análises já realizadas por outros engenheiros (inclusive, pelo próprio Zuccolo). Algumas informações foram fornecidas pelo Eng. Francisco Rodrigues Andriolo. A principal referência utilizada para este estudo foi o artigo de Mark e Hutchinson – “On the Structure of the Roman Pantheon”. 📄

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] Anotações do Eng. Renato Zuccolo.
- [02] On the Structure of the Roman Pantheon – Robert Mark and Paul Hutchinson.
- [03] The plasticity of unreinforced concrete – Jaques Heyman.
- [04] The Panteon – David Moore.
- [05] The creative response to concrete cracking – D.P. Billington & P. Draper.

57º Congresso Brasileiro do CONCRETO
Bonito • MS • 2015

3rd International Conference on Best Practices for Concrete Pavements

27 a 30 de outubro, em Bonito, Mato Grosso do Sul

PALESTRAS EM DESTAQUE

DESAFIOS PARA OBTENÇÃO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO FOTOCATALÍTICOS CAPAZES DE PURIFICAR O AR

Anne Beeldens (Centro Belga de Pesquisa Rodoviária e da Universidade de Leuven, na Bélgica)

PAVIMENTOS DE CONCRETO DE BAIXO RUÍDO

Luc Rens (Federação da Indústria Cimenteira da Bélgica – Febelcem e Associação Europeia de Pavimentação em Concreto - Eupave)

PAVIMENTOS PERMEÁVEIS DE CONCRETO

Liv Haselbach (Universidade Estadual de Washington, nos Estados Unidos)

DESEMPENHO DA INFRAESTRUTURA QUANTO AO GERENCIAMENTO DO CARBONO

Franz-Josef Ulm (Instituto de Tecnologia de Massachusetts, Estados Unidos)

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO AEROPORTUÁRIOS EM FACE DAS NOVAS DIRETRIZES QUE SERÃO IMPLEMENTADAS NESTE ANO PELA AGÊNCIA FEDERAL DE AVIAÇÃO DOS ESTADOS UNIDOS (FAA)

David Brill (FAA)

INFORMAÇÕES
www.ibracon.org.br

ORGANIZAÇÃO



Investimentos com visão de longo prazo

MAURÍCIO RUSSOMANNO – DIRETOR DE VENDAS E MARKETING

VOTORANTIM CIMENTOS

A Votorantim Cimentos busca a evolução constante de seus produtos, por meio de pesquisas e inovação, e o aperfeiçoamento de seu modelo de negócio, pautando-se sempre pelo foco no cliente, pela excelência operacional, por práticas sustentáveis e por funcionários com autonomia. Esses quatro pilares guiam a atuação da empresa em todas as regiões do Brasil e nos outros 13 países onde estamos presentes. Ao todo, são 26 unidades de cimento em operação no Brasil e 30 no exterior.

Apesar do cenário econômico desafiador, nossa perspectiva de longo prazo permite a continuidade de um plano de investimentos robusto: até 2018, serão R\$ 5 bilhões direcionados a cinco fábricas no Brasil, uma na Turquia e uma na Bolívia, ampliação nos EUA, além da modernização de unidades já existentes.

No Brasil, a prioridade é ampliar a produção nas regiões Centro-Norte e Nordeste. A empresa, que segue uma forte estratégia de longo prazo, vê nessas regiões espaço para crescimento do setor de construção e do consumo de cimento. Até 2017, serão inauguradas cinco unidades: Edealina (GO), Primavera (PA), Sobral (CE), Pecém (CE) e Caaporã (PB).

Os investimentos da companhia estão sempre alinhados ao seu perfil de forte disciplina financeira, com perfil conservador de endividamento e uma cultura de busca da eficiência operacional contínua. Como reconhecimento aos bons resultados no balanço entre investimentos e disciplina financeira, a companhia tem grau de investimento global, pelas principais agências classificadoras de risco - Fitch Ratings, Standard & Poor's e Moody's.

Entretanto, para a Votorantim Cimentos, investir não é apenas inaugurar novas unidades. Também investimos na aproximação com nossos clientes, em inovação, no aperfeiçoamento de nossa governança e em sustentabilidade.

Para melhor atender aos nossos clientes, implementamos um novo modelo de negócio, estruturando as áreas comerciais em quatro grandes segmentos: Autoconstrução, Imobiliário, Industrial e Infraestrutura. A partir desta nova estratégia, definimos equipes dedicadas para cada segmento e mais

próximas para ouvir o cliente em todo o País e entender suas expectativas – seja em relação ao nível de serviço ou ao produto, com maior rentabilidade para obra. Nossa força de vendas oferece todos os produtos e serviços da VC de forma integrada para o cliente, do início ao fim da obra – do concreto ao acabamento final.

Em paralelo com a nossa crescente aproximação com os clientes de todo o País e dos 13 países nos quais a Votorantim Cimentos atua, investimos em inovação, que consideramos um “driver” estratégico para a companhia. A empresa tem intensificado os estudos e pesquisas visando à oferta de produtos e serviços que reduzem os custos das obras de seus clientes.

Os investimentos em inovação sob a perspectiva do cliente nos permitiram desenvolver produtos inovadores, como concreto de alta resistência, que reduz o número de pilares de grandes construções, ampliando a área disponível nos edifícios; o concreto auto-adensável, que não necessita ser espalhado, demandando menos mão de obra e finalizando o trabalho com mais agilidade; e o concreto permeável - adequado para captação e reaproveitamento de água da chuva.

Além de concretos inovadores, outro “case” da companhia é o do cimento de menor impacto ambiental, produzido a partir da argila pozolana.



Unidade Rio Branco do Sul, vista à noite



O processo de fabricação deste cimento alcançou reduções significativas na emissão de gases e resíduos, no uso de água e energia e até no custo de produção: em comparação com o processo convencional, emite 50% menos CO₂, gera 10% menos resíduos, e consome menos 25% energia elétrica, 10% energia térmica e 40% de água. O projeto já recebeu diversas premiações e reconhecimento internacional.

O trabalho de redução de impacto ambiental – uma constante em nosso processo de produção e na concepção de novos produtos – tem como linha condutora compromissos em sustentabilidade assumidos pela Votorantim Cimentos até o ano de 2020. As quatro linhas condutoras nesse trabalho são: Engajamento Comunitário; Ecoeficiência e Inovação; Ética e Conformi-

dade; e Segurança. Essas linhas foram definidas a partir do diálogo permanente com nossos “stakeholders” para compreensão de suas expectativas.

O direcionamento para alinhar as ações de relacionamento com o cliente, inovação e sustentabilidade em 14 países é conduzido por um novo modelo de governança corporativa: o *One Team, One Company*. Por meio desse movimento, são implementados diariamente processos globais de governança, buscando maior integração e sinergia entre nossos negócios, com um desenho de estrutura mais simples e ágil. Também a partir do *One Team, One Company*, definimos nosso Norte a partir de qua-



Unidade Santa Helena – primeira fábrica da Votorantim Cimentos

tro pilares estratégicos: foco no cliente, gente com autonomia, excelência operacional e práticas sustentáveis. São esses os pilares e a direção que conduzem a Votorantim Cimentos a investir não só em novas unidades de produção, mas em nossos clientes, em produtos inovadores, na sustentabilidade e nas comunidades locais. ➤

Durabilidade do Concreto

Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente



Ed. JEAN-PIERRE OLLIVIER e ANGÉLIQUE VICHOT

Editores da tradução: Oswaldo CASCUDO e Helena CARASEK

LIVRO

DURABILIDADE DO CONCRETO

- **Editores** Jean-Pierre Ollivier e Angélique Vichot
- **Editora francesa** Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées - França
- **Coordenadores da edição em português** Oswaldo Cascudo e Helena Carasek (UFG)
- **Editora brasileira** IBRACON

Esforço conjunto de 30 autores franceses, coordenados pelos professores Jean-Pierre Ollivier e Angélique Vichot, o livro "Durabilidade do Concreto: bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente" condensa um vasto conteúdo que reúne, de forma atualizada, o conhecimento e a experiência de parte importante de membros da comunidade científica europeia que trabalha com o tema da durabilidade do concreto.

A edição brasileira da obra foi enriquecida com o trabalho de tradução para a língua portuguesa e sua adaptação à realidade técnica e profissional nacional.

→ **Informações:** www.ibracon.org.br

A Durabilidade das Estruturas de Concreto como parâmetro de Sustentabilidade

INÊS BATTAGIN

SUPERINTENDENTE DO CB-18/ABNT
E DIRETORA TÉCNICA DO IBRACON

I. INTRODUÇÃO

Desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades, segundo o Relatório da Comissão Brundland “Nosso Futuro Comum, 1987” da Organização das Nações Unidas.

Apesar de simples em sua essência, esse conceito vem exigindo mudanças sociais importantes, pois o modelo de crescimento econômico tradicional tem deixado de ser viável (ou sustentável), passando a depender de outros fatores, antes relegados a um segundo plano.

Há alguns anos a preservação ambiental passou a ser vista como fundamental para a continuidade do crescimento econômico, possibilitando a manutenção dos recursos naturais indispensáveis à industrialização; mais recentemente essa preocupação foi estendida à preservação da própria humanidade. Diversos países voltaram sua atenção para essa necessidade e, em 1990, foi criado pela ISO (*International Organization for Standardization*) o *Strategic Advisory Group on Environment*, que possibilitou agregar representan-

tes das principais economias mundiais para a discussão de temas estratégicos sobre meio ambiente. Nessa linha, em 1993 deu-se início aos trabalhos de normalização com a formação do ISO/TC 207 – *International Technical Committee of Environmental Management*, com forte participação do Brasil.

O envolvimento da ISO nas questões da sustentabilidade transcende os ideais e limites de governos e possibilita soluções que agreguem diferentes culturas e amenizem os efeitos de opiniões antagônicas, pois a normalização é, em sua essência, um veículo para a discussão de temas de interesse da sociedade, possibilitando a popularização do conhecimento e o desenvolvimento com base técnica e consenso social.

A barreira cultural é de tal forma expressiva que, somente dez anos após o início dos trabalhos na área ambiental, foi possível divulgar as iniciativas da ISO para as questões relacionadas à responsabilidade social. A publicação da ISO 26000 *Social Responsibility*, em 2010, trazendo apenas diretrizes gerais, mostra de forma velada as dificuldades enfrentadas nesse processo.

O tripé da sustentabilidade (crescimento econômico, respeito ao meio

ambiente e responsabilidade social) tem sido amplamente divulgado, mas apenas o processo de aculturação da sociedade pode gerar o necessário comprometimento, para que em todas as esferas se pratiquem ações que levem essa mesma sociedade, como um todo, a uma melhor qualidade de vida ao longo do tempo.

O tema deste artigo está inserido no campo das construções, onde o consumo de materiais e energia é ainda expressivo, assim como a geração de gases do efeito estufa e resíduos diversos.

Especialmente ao longo dos últimos vinte anos, muitos estudos, pesquisas e ações, tanto da iniciativa privada como pública, têm gradativamente minorado os valores específicos (unitários) desses impactos, porém é ainda pequeno o resultado final (total) em função do aumento populacional e do conseqüente anseio da população por conforto (moradia, saneamento, infraestrutura de transporte, etc).

Como o concreto é o material de construção mais utilizado no mundo, sua composição, aplicações, durabilidade e possibilidades de reciclagem têm sido objeto de muitas pesquisas, dispondo-se atualmente de vasto cabedal de informações.

Verifica-se, no entanto, que mesmo no meio técnico formal há bastante desconhecimento e até mesmo des-caso com relação a muitas das possibilidades de uso que reflipam em res-postas mais adequadas ao momento atual.

São apresentadas a seguir as prin-cipais ações na área da normalização técnica (especialmente de concreto) visando ações de sustentabilidade e discutidos os caminhos para sua im-plementação e as lacunas existentes.

2. DIRETRIZES ISO PARA A GESTÃO AMBIENTAL

A ISO publicou em 1993 um Guia que estabelece a inclusão de aspec-tos de gestão ambiental em normas de produtos (*ISO Guide 64¹*), documento que foi revisado em 2003 e novamente em 2008, tendo sido uma das bases para o desenvolvimento das Normas da série ISO 14000 (*Environmental management*).

Um exemplo de sucesso nesse campo são as normas brasileiras de cimento Portland, que seguindo a li-nha europeia, consideram a possibi-lidade de incorporação de diversos materiais, descartados de outros segmentos industriais, como matérias primas para a fabricação do cimento. A redução do consumo energético de fabricação, o aumento da vida útil das jazidas e a mitigação das emissões são os principais ganhos ambientais obtidos com essa medida. Atualmen-te, com as novas tecnologias de fa-bricação, tem sido possível também a queima de combustíveis alternativos e resíduos diversos nos fornos rotati-vos, com a manutenção da qualidade do produto final.

Vale aqui mencionar que o Brasil faz parte do CSI, sigla em inglês para Ini-ciativa Mundial da Sustentabilidade do Cimento, no âmbito do WBCSD (*World Business Council for Sustainable Development*), e é referência no cam-po da adequação ambiental pelos bai-xos consumos energéticos e por um inventário de lançamento e monitora-mento de gases do efeito estufa, que também é *benchmark* mundial.

O concreto, por sua vez, é um compósito à base de cimento Portland com grande quantidade de agregados (normalmente 60% a 70% em massa), além de outros materiais utilizados em menor escala, como água, aditivos e eventualmente adições, como meta-caulim, sílica ativa ou outros materiais pozolânicos. É, portanto, um insumo que utiliza materiais disponíveis em praticamente todo o globo terrestre, de baixo custo/benefício e fácil reci-clagem, é considerado pouco agres-sivo ao meio ambiente, especialmente se comparado a outros materiais de construção.

Com o advento da série ISO 14000, que contempla exigências de avaliação do ciclo de vida e rotula-gem ambiental dos produtos, além da avaliação ambiental dos processos, o concreto tornou-se ainda mais atrativo do ponto de vista ambiental, conside-rando sua durabilidade.

3. NORMAS BRASILEIRAS DE CONCRETO E ESTRUTURAS

No campo da normalização técnica de concreto, seus materiais constituin-tes, estruturas e outras aplicações, o Brasil conta com um acervo de mais de 300 títulos, que tem na normaliza-ção europeia sua principal referência,

sem deixar de considerar os avanços observados em normas de outros paí-ses, em especial o pragmatismo ame-ricano no desenvolvimento de meto-dologias de ensaios.

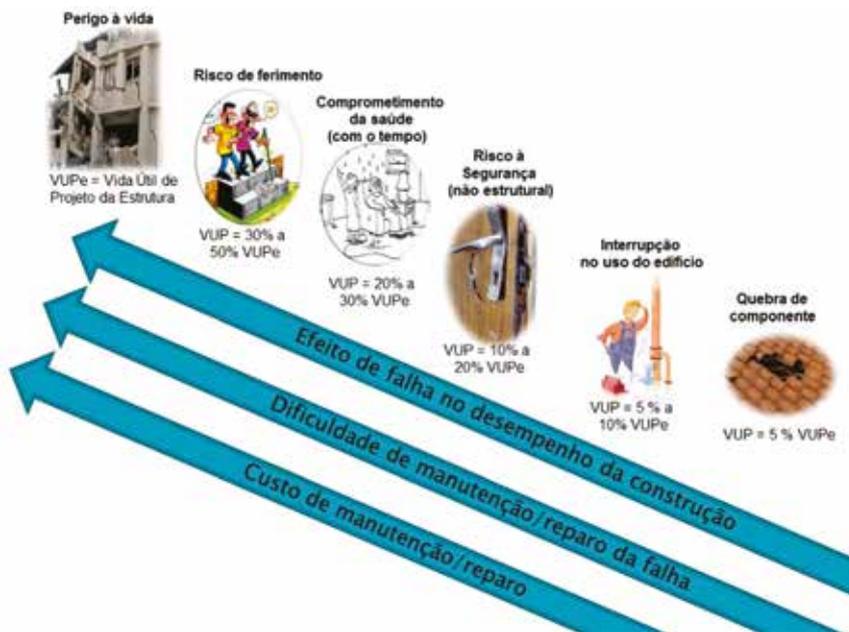
Seguindo a linha proposta pelo Eurocode 2 (*EN 1992:2004 Design of concrete structures*) e complementada pela EN 206-1:2000 (*Concrete – Spe-cification, performance, production and conformity*), foram introduzidos, no início dos anos 2000, parâmetros de durabilidade nas Normas Brasilei-ras ABNT NBR 6118 (Projeto de Es-truturas de Concreto) e ABNT NBR 12655 (Concreto de cimento Portland: preparo, controle, recebimento e acei-tação), atualmente em novas versões, revisadas e complementadas (2014 e 2015, respectivamente).

Conceitos de vida útil e desempe-nho em serviço passaram a fazer parte da agenda de discussões para o de-senvolvimento de novas construções. Exigências relativas ao cobrimento das armaduras (espessura e qualidade do concreto) em função da classe de agressividade ambiental colocaram em evidência a necessidade de se preve-nir os efeitos do meio ambiente sobre as estruturas, para que estas possam durar mais e, conseqüentemente, pos-sibilitar um melhor gerenciamento das questões ambientais.

Paralelamente, como forma de avançar na prevenção de desgastes prematuros das estruturas, investiu-se na normalização dos materiais cons-tituíntes do concreto e de estruturas pré-fabricadas de concreto, sendo aprovadas e publicadas no Brasil:

► A ABNT NBR 15900:2010 – Água de amassamento do concreto, alinhada à ISO 12439:2010, mas

¹ Os GUIAS ISO SÃO DOCUMENTOS QUE ESTABELECEM DIRETRIZES GERAIS E DEVEM SER CONSIDERADOS NO DESENVOLVIMENTO DAS NORMAS TÉCNICAS INTERNACIONAIS E NACIONAIS DOS PAÍSES MEMBROS DA ISO.



► **Figura 1**

Esquema dos conceitos que serviram de base à ABNT NBR 15575 para o estabelecimento dos tempos de vida útil de projeto dos sistemas que compõem a edificação

adequada à realidade brasileira, contemplando a necessária metodologia de ensaios e trazendo não apenas a possibilidade de avaliação da qualidade da água disponível para a preparação do concreto, mas também uma proposta de processo de gestão ambiental, que inclui o aproveitamento da água recuperada do processo produtivo e de outros usos relacionados;

- As novas Normas de materiais pozolânicos (ABNT NBR 12653:2014), incluindo documentos específicos para o metacaulim (ABNT NBR 15894:2010) e a sílica ativa (ABNT NBR 13956:2012), que estabelecem critérios para controle e uso desses materiais com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta, de forma a se ter o melhor resultado em termos de durabilidade e desempenho mecânico - estudos mostram que, se bem controlados e utilizados, os materiais pozolânicos adicionados ao

concreto (diretamente ou presentes nos cimentos compostos) proporcionam redução da porosidade e da permeabilidade, colmatando os poros e gerando aumento da resistência aos agentes agressivos (como sulfatos e íons cloreto), com a redução da ocorrência de eflorescência; proporcionam ainda a mitigação da reação álcali-agregado e o aumento da resistividade elétrica e das resistências à tração e à compressão ao longo do tempo;

- A ABNT NBR 15823:2010 Concreto autoadensável (seis Partes), que estabelece requisitos para o controle no estado fresco dos concretos que dispensam a etapa de adensamento na obra. Este tipo de concreto tem sido cada vez mais exigido para a execução de estruturas com grande concentração de armadura e possibilita a obtenção de superfícies bem acabadas, com redução da quantidade de mão de obra nas

etapas de concretagem e do ruído gerado nesse processo, requisitos importantes especialmente para a indústria da pré-fabricação;

- A ABNT NBR 15577:2008 Agregados – Reatividade álcali-agregado (seis Partes), onde, além da avaliação dos agregados a serem utilizados no concreto, são estabelecidas diretrizes para a classificação de estruturas/elementos estruturais, em função da probabilidade de estes estarem sujeitos à ocorrência da reação álcali-agregado, sendo indicadas as medidas preventivas adequadas em cada situação;
- A ABNT NBR 12655:2015, que complementa a ABNT NBR 6118, a ABNT NBR 9062:2006 (Projeto de execução de estruturas pré-moldadas de concreto) e outras Normas, detalhando requisitos de composição do concreto e estabelecendo:
 - limites para a avaliação da quantidade de cloretos trazidos à matriz pelos materiais constituintes em função do tipo de estrutura (armada, protendida ou de concreto simples);
 - critérios de qualidade do concreto para as situações de exposição a cloretos (do meio externo) e sulfatos (da água e do solo);
 - recomendações para a durabilidade de estruturas em contato com meios agressivos, notadamente elementos enterrados ou em contato com o solo (como fundações) e limites de composição para o concreto dessas estruturas em função da agressividade do meio.
- Uma nova geração de normas para estruturas pré-fabricadas de concreto (ABNT NBR 14861:2011,

² REVISADA EM 2015, EM FASE FINAL DE APROVAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO.

► Quadro 1 – Estrutura do ISO/TC71

Subcomitê	Título	Secretaria
SC1	Test Methods for Concrete	SII (Israel)
SC3	Concrete production and execution of concrete structures	SN (Noruega)
SC4	Performance requirements for structural concrete	ANSI/ACI (USA)
SC5	Simplified design standards for concrete structures	ICONTEC (Colômbia)
SC6	Non-Traditional reinforcing materials for concrete structures	JISC (Japão)
SC7	Maintenance and repair of concrete structures	KATS (Coréia)
SC8	Environmental Management for Concrete Structures	JISC (Japão)

de lajes alveolares, ABNT NBR 16258:2014, de estacas pré-fabricadas e Projeto 18:600.19-001, que trata de painéis de parede, em fase final de aprovação), que seguem a linha estabelecida por sua norma-mãe, a ABNT NBR 9062, estabelecendo os requisitos específicos para os processos de produção, controle e montagem das estruturas com esses elementos - vale destacar os requisitos estabelecidos para a qualidade da execução das estruturas pré-fabricadas, onde os controles industriais proporcionam aumento na durabilidade, com relação aos padrões convencionais.

4. NORMA DE DESEMPENHO

Marco inovador no setor da construção civil, a ABNT NBR 15575, publicada em segunda versão em 2013, compila o conteúdo de um acervo normativo construído ao longo dos anos e nem sempre absorvido pelo meio técnico de maneira adequada, estabelecendo requisitos e critérios de desempenho para o conforto dos usuários de edificações habitacionais. A Norma, composta de seis Partes, aplica-se ao edifício habitacional

como um todo integrado e aos seus sistemas, independentemente dos materiais utilizados na construção.

No quesito durabilidade, a importância da Norma de Desempenho está nos conceitos trazidos da BS 7543:2003³ (*Guide to durability of buildings and building elements, products and components*) e no estabelecimento de prazos para a vida útil de projeto.

O efeito de uma falha no desempenho (da estrutura, do elemento, do sistema, etc.), o grau de dificuldade nas operações de manutenção e reparação e o custo envolvido, são os três fatores considerados pela BS 7543, e também pelas ABNT NBR 15575 e ISO 15686-1:2000⁴, para as avaliações de durabilidade e estabelecimento dos prazos de vida útil de projeto. A Figura 1 exemplifica esse processo e nela verifica-se que, no caso das estruturas, a vida útil de projeto deve sempre ser a maior dentre os sistemas que compõe uma edificação.

A lógica do crescimento contínuo no campo da normalização técnica merece aqui ser explicitada, pois a Norma de Desempenho reafirma a idade mínima de 50 anos para estruturas de qualquer material, prazo já previsto pela ABNT NBR 8681:2004 (Ações e segurança nas estruturas), e também

o conceito de vida útil de projeto da ABNT NBR 6118 publicada em 2003.

Tendo em vista incentivar o crescimento dos setores da construção com base em critérios de desempenho ideais, como os praticados em países desenvolvidos, a ABNT NBR 15575 traz um anexo de caráter informativo com dados de desempenho denominados de intermediário (I) e superior (S) para alguns requisitos. No caso da vida útil de projeto das estruturas, tem-se, na Parte 1 dessa Norma, os valores recomendados de 63 anos para o desempenho intermediário e 75 anos para o superior.

O significado da vida útil de projeto segundo a ABNT NBR 15575:2013 está a seguir registrado:

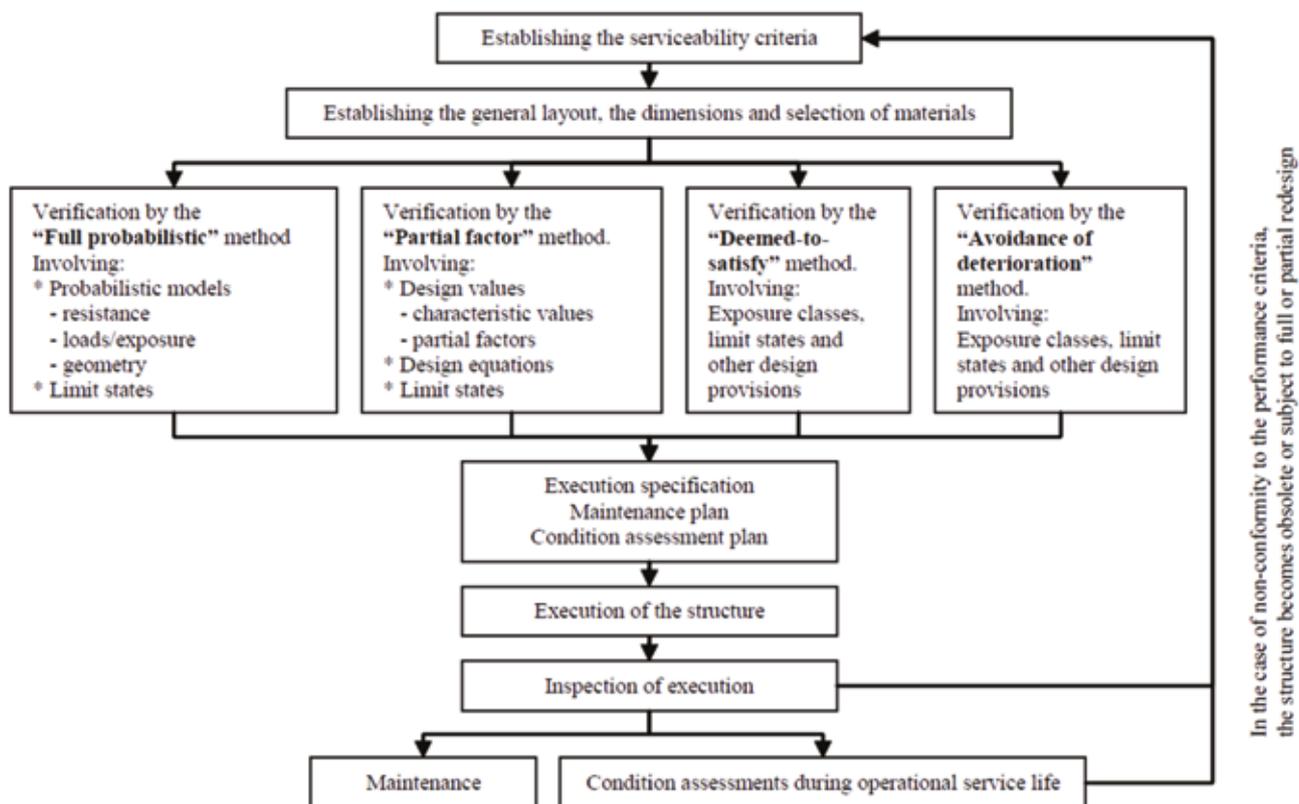
3.43

Vida Útil de Projeto (VUP)

Período estimado de tempo para o qual um sistema é projetado a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos nesta Norma, considerando o atendimento aos requisitos das normas aplicáveis, o estágio do conhecimento no momento do projeto e supondo o cumprimento da periodicidade e correta execução

³ A EDIÇÃO MAIS RECENTE DA BS 7543 FOI PUBLICADA EM ABRIL DE 2015 PELO BSI – BRITISH STANDARDS INSTITUTION.

⁴ ISO 15686 BUILDINGS AND CONSTRUCTED ASSETS – SERVICE LIFE PLANNING, COMPOSTA DE 11 PARTES, SENDO QUE A PRIMEIRA, DE PRINCÍPIOS GERAIS, FOI PUBLICADA NO ANO 2000 E REVISADA EM 2011.



► **Figura 2**
Fluxograma de Projeto para a Vida Útil em Serviço da Estrutura de Concreto

dos processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção (a VUP não deve ser confundida com tempo de vida útil, durabilidade, prazo de garantia legal e certificada).

Nota: A VUP é uma estimativa teórica de tempo que compõe o tempo de vida útil. O tempo de VU pode ou não ser confirmado em função da eficiência e registro das manutenções, de alterações no entorno da obra, fatores climáticos, e outros.

5. O ISO/TC71 E O MODEL CODE 2010 DA fib

O Brasil participa da Normalização Internacional de Concreto, a cargo do ISO/TC71 (*Concrete, Reinforced Concrete and Prestressed Concrete*) atra-

vés dos Comitês Brasileiros da Associação Brasileira de Normas Técnicas que atuam nessa área (ABNT/CB-18 Cimento, Concreto e Agregados e ABNT/CB-02 Construção Civil).

Atualmente com sete subcomitês (SC) ativos (ver Quadro 1) e a Secretaria Geral sendo administrada pelo *American Concrete Institute*⁵ (ACI), o ISO/TC71 é um dos mais ativos Comitês Internacionais, congregando 95 países, com a soma de seus membros participantes (P) e observadores (O, sem direito a voto).

O ACI assumiu os trabalhos de coordenação do ISO/TC71 em 1993 e nesses vinte anos tem atuado de forma dinâmica e competente, conseguindo agregar países e grupos econômicos no trabalho de desenvolvimento de normas técnicas.

A reunião anual do ISO/TC71, e

seus SCs, é sempre realizada em diferentes países (e preferencialmente em continentes diferentes), de forma a divulgar o trabalho do Comitê.

A normalização com foco na durabilidade das estruturas de concreto tem sido o principal aspecto de atenção dos trabalhos do ISO/TC71, envolvendo todos os seus subcomitês, em temas de seu escopo, que possam convergir para a perfeita conceituação e o estabelecimento de requisitos nessa área.

Assim, em 2012, foi possível a publicação da ISO 16204 *Durability – Service Life Design of Concrete Structures*, a partir de trabalhos desenvolvidos ou em desenvolvimento na ocasião, como os a seguir:

- metodologias de ensaios preparadas pelo SC1, como as estabelecidas na ISO 1920 – Parte 11:2013 (*Determination of the chloride*

⁵ A ANSI – AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE É O ORGANISMO OFICIAL RESPONSÁVEL POR REPRESENTAR OS EUA NA ISO, TENDO INDICADO O ACI PARA GERENCIAR A SECRETARIA GERAL DO ISO/TC71, POR ESTE ÚLTIMO ATUAR ESPECIFICAMENTE NA ÁREA DE CONCRETO E ESTRUTURAS DE CONCRETO.

resistance of concrete, unidirectional diffusion) e ISO 1920–Parte 12:2015 (*Determination of the carbonation resistance of concrete – Accelerated carbonation method*);

- ▶ procedimentos de preparação e controle da qualidade do concreto, elaborados pelo SC3, dando origem à ISO 22965:2007⁶ (*Part 1: Methods of specifying and guidance for the specifier e Part 2: Specification of constituent materials, production of concrete and compliance of concrete*);
- ▶ procedimentos de manutenção estabelecidos pelo SC7, publicados como ISO 16311:2014 (*Maintenance and repair of concrete structures*), composta de quatro Partes.

A ISO 16204, que trata do projeto para a durabilidade a partir das ações ambientais e seu efeito sobre as estruturas de concreto, teve como base os princípios das ISO 2394 (*General principles on reliability for structures*), ISO 13823 (*General principles on the design of structures for durability*), do ISO/TC 98, e do Model Code 2010 da *fib* (*Fédération Internationale du Béton*).

A Figura 2 ilustra o fluxo de decisões e as atividades de projeto necessárias em um processo racional para a vida útil de serviço de uma estrutura, com um nível estabelecido de confiabilidade, segundo a ISO 16204 e que está de acordo com o previsto no Model Code 2010 da *fib*.

O ICONTEC – *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación*, publicou em 2012 a NTC 5551 *Durabilidad de Estructuras de Concreto*, com base nos requisitos das Normas Internacionais ISO anteriormente mencionadas.

Seria possível listar e comentar

diversos outros documentos normativos estrangeiros, que têm servido de base aos trabalhos internacionais de normalização e também de iniciativas, como a da Colômbia, de aproveitar a normalização internacional para gerar normas nacionais sobre a durabilidade das estruturas de concreto. No entanto, essa lista poderia se tornar extremamente extensa e a literatura técnica disponível sobre o tema já traz preciosas informações a respeito, recomendando-se uma consulta aos Livros publicados pelo IBRACON, conforme referências bibliográficas deste artigo.

6. CONCLUSÕES

A normalização brasileira de concreto e estruturas de concreto tem acompanhado as tendências internacionais e, em alguns casos, sido proativa no desenvolvimento de normas técnicas para temas específicos.

Nos últimos anos, os Comitês Brasileiros de normalização atuaram fortemente na atualização do acervo da ABNT, no intuito de atender a necessidade impostas pela ISO, que vão ao encontro dos anseios da própria sociedade técnica.

Algumas tentativas para o desenvolvimento de normas brasileiras específicas de avaliação dos efeitos de agentes agressivos às armaduras de aço das estruturas de concreto (como a carbonatação e a difusão de cloretos) geraram propostas de ensaios e procedimentos comparáveis aos recentemente publicados pela ISO, o que nos incentiva a retomar esse trabalho e, se for o caso, adotar as normas internacionais ou propor melhorias para sua próxima revisão.

No entanto, muito trabalho há ainda pela frente, para que seja possível desenvolver todos os itens previstos no fluxograma proposto pelas entidades internacionais (ISO e *fib*), iniciando pelo monitoramento, inspeção e inventário das estruturas existentes ou em execução.

O tema desta edição da Revista Concreto & Construções do IBRACON leva-nos a uma série de reflexões, necessárias neste momento em que a economia brasileira, uma vez mais, dá sinais de fraqueza.

A construção civil é um dos grandes motores da economia, mas responde também pelos maiores desperdícios de materiais e, com isso, de geração de resíduos. É fundamental desenvolver processos de divulgação que informem sobre as normas brasileiras que podem ser aplicadas em cada caso (como, por exemplo, as Normas que viabilizam a reciclagem de concreto e a utilização de resíduos de demolição da construção civil em concreto sem função estrutural ou camadas de pavimentação).

Os setores industriais têm buscado reduzir o impacto de seus processos, considerando aspectos legais, normativos e mercadológicos, conscientes de que no momento atual sua imagem frente aos consumidores pode ser o fator decisivo para o sucesso. Os processos de qualidade e gestão ambiental, propostos pela ISO (séries ISO 9000 e ISO 14000) certamente são um diferencial, mas a certificação dos produtos, por sua conformidade às normas específicas, é uma segurança importante para os consumidores.

O concreto tem provado ao longo dos anos que é um excelente material

⁶ SIMILAR, DE FORMA GERAL, À NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 12655:2015.

de construção. Por sua versatilidade e baixo custo está presente em todo o globo, suportando as mais diversas solicitações, sejam cargas de projeto, ações de incêndio ou a agressividade do meio ambiente. O Brasil tem forte tradição na construção em concreto e participa dos foros internacionais, sendo reconhecido por sua atuação. No entanto, são poucos os representantes

do país que se propõem a desenvolver essa tarefa.

É possível perceber a necessidade de incentivo para algumas atividades ainda pouco expressivas na cultura nacional, como a normalização técnica, que muito pouco é ensinada nas escolas de graduação e não compete em igualdade de condições com outras atividades acadêmicas, dificultan-

do a presença de professores, mestres e doutores nos trabalhos de elaboração das normas brasileiras. Esse quadro deve ser mudado para que as normas técnicas sejam cada vez mais uma ferramenta de trabalho à disposição da sociedade técnica e reflitam o real estágio de desenvolvimento do país, possibilitando um crescimento contínuo e harmônico. 

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. ABNT NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- [02] _____. ABNT NBR 12655 Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- [03] _____. ABNT NBR 15575 Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho (6 Partes). Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- [04] BRITISH STANDARDS INSTITUTION, BSI. Guide to durability of buildings and building elements, products and components. London, 2003.
- [05] COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO, CEN. EN 206-1 Concrete. Specification, performance, production and conformity. Brussels, 2000.
- [06] _____. Eurocode 2 (EN 1992). Design of concrete structures, Brussels, 2004.
- [07] FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. fib Model Code for Concrete Structures 2010. Lausanne, 2013.
- [08] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO. ISO/Guide 64 Guide for addressing environmental issues in product standards. Geneva, 2008.
- [09] _____. ISO 16204 Durability – Service Life Design of Concrete Structures. Geneva, 2012.
- [10] ISAIA, G. (Ed). Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 2v. São Paulo: IBRACON, 2010.
- [11] ISAIA, G. (Ed). Concreto: Ciência e Tecnologia. 2v. São Paulo: IBRACON, 2011.

 **57º Congresso Brasileiro do CONCRETO**
Bonito • MS • 2015



Organização



SIMPÓSIO SOBRE

ESTRUTURAS DE FUNDAÇÕES

ASPECTOS ESTRUTURAIS E GEOTÉCNICOS

28 de outubro | Centro de Convenções de Bonito – MS

Fundações são projetos multidisciplinares por serem interfaces entre a estrutura e o solo, envolvendo análises estrutural e geotécnica e suas respectivas interações, bem como a compatibilização de seus aspectos construtivos

PALESTRAS DE DESTAQUE

PROBLEMAS DE NATUREZA GEOTÉCNICA NO PROJETO DE FUNDAÇÕES DE AEROGERADORES
Jarbas Milititsky (consultor de obras geotécnicas)

ANÁLISE COMPUTACIONAL DE BLOCOS DE COROAMENTO DE ESTACAS
Rafael Alves de Souza (professor da Universidade Estadual de Maringá)

Apoio institucional



Informações

www.ibracon.org.br

Discussão sobre as ações variáveis de projeto segundo os requisitos mínimo, intermediário e superior de desempenho da ABNT NBR 15575

FABRÍCIO BOLINA – ENGENHEIRO CIVIL E ANALISTA DE PROJETO

VÍTOR PERRONE – ENGENHEIRO CIVIL E PROJETISTA ESTRUTURAL DO ESTÁDIO 3

BERNARDO TUTIKIAN – ENGENHEIRO CIVIL E COORDENADOR GERAL

ITT PERFORMANCE/UNISINOS E DIRETOR REGIONAL DO IBRACON

I. INTRODUÇÃO

Com a entrada em vigor da ABNT NBR 15575 – *Edificações Habitacionais – Desempenho*, em 2013, projetistas, fornecedores e construtores ficaram incumbidos de construir edificações que atendam a requisitos mínimos de desempenho. Privilegiando os usuários, que respondem pelo uso adequado do imóvel, devendo promover as ações de manutenção previstas, a norma foca as exigências de (a) sustentabilidade, (b) habitabilidade e (c) segurança que os sistemas construtivos devem cumprir quando em uso, definindo em níveis mínimo, intermediário e superior os critérios de qualificação destes. Dentre os sistemas abordados pela norma, está o estrutural.

Segundo a ABNT NBR 15575-2:

2013, a estrutura deve conservar a segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil (item 14.1). A estrutura principal e seus elementos devem ser projetados e construídos de modo que, sob condições pré-estabelecidas de uso, mantenham sua capacidade funcional durante a vida útil do projeto. Uma estrutura deve ser concebida para atender a um desempenho mínimo, intermediário ou superior de durabilidade, devendo o projetista estrutural, para tanto, estabelecer uma Vida Útil de Projeto (VUP) de 50, 63 ou 75 anos, respectivamente¹.

O fato da norma de desempenho ter uma linguagem predominantemente qualitativa faz com que ela se apoie em normas prescritivas para o

atendimento dos requisitos. A concepção de uma estrutura segundo as exigências de durabilidade é remetida ao conjunto de normas brasileiras de projeto e dimensionamento aplicáveis a este fim.

Se, por um lado, tem-se a ABNT NBR 15575:2013, a qual estabelece níveis de desempenho a serem cumpridos, por outro, o leque de normas nacionais prescritivas ainda não fornece todos os índices para o cumprimento dessas exigências, principalmente quanto aos requisitos de desempenho intermediário e superior de durabilidade e vida útil. Dentre essas necessidades está a prescrição das ações variáveis a serem admitidas no dimensionamento do sistema estrutural, principalmente devido ao conceito de probabilidade

¹ SEGUNDO A NORMA DE DESEMPENHO, PROJETISTAS, CONSTRUTORES E INCORPORADORES SÃO RESPONSÁVEIS PELOS VALORES TEÓRICOS DE VIDA ÚTIL DE PROJETO QUE PODEM SER CONFIRMADOS POR MEIO DE ATENDIMENTO ÀS NORMAS BRASILEIRAS OU INTERNACIONAIS (EXEMPLO: ISO E IEC) OU REGIONAIS (EXEMPLO: MERCOSUL) E NÃO HAVENDO ESTAS, PODEM SER CONSIDERADAS NORMAS ESTRANGEIRAS NA DATA DO PROJETO.

de ocorrência empregado na sua análise. A ABNT NBR 8681:2003 define a intensidade das ações variáveis e estabelece os valores característicos para um período de retorno de 50 anos, não havendo qualquer indicação para tempos de retorno de 63 e 75 anos para essas ações.

Visando contribuir para este debate e preencher esta lacuna normativa, o presente trabalho analisou estas ações, propondo valores de cargas variáveis a serem admitidas nos cálculos estruturais para tempos de retorno de 63 e 75 anos, comparando com os valores estabelecidos para ações desta natureza pelas principais normas internacionais.

2. ANÁLISE DO SISTEMA NORMATIVO BRASILEIRO

Segundo a norma de desempenho (ABNT NBR 15575:2013), uma estrutura é dimensionada, dentre outros fatores, considerando as normas que definem as cargas de uso (ABNT NBR 6120:1980), de vento (ABNT NBR 6123:1988), as combinações destas (ABNT NBR 8681:2003) e as que propõem o dimensionamento dos elementos estruturais segundo estas combinações (ABNT NBR 6118:2014 para concreto armado, ABNT NBR 8800:2008 para estruturas metálicas compostas por perfis laminados e estruturas mistas de concreto e aço e ABNT NBR 7190:1997 para estruturas de madeira). As ações ambientais também são abordadas nestas, pelo fato do ambiente promover uma degradação dos elementos estruturais, influenciando o desempenho e, por conseguinte, a vida útil da edificação.

A norma que estabelece as cargas a serem admitidas para o cálculo

de estruturas de edificações (ABNT NBR 6120:1980) define que estas podem ser classificadas em duas categorias: (a) permanentes e (b) acidentais. As permanentes não possuem uma variação no tempo, pelo fato de serem ações inertes e, teoricamente, constantes, como o peso próprio dos sistemas construtivos. As acidentais, no entanto, pelo fato de abranger ações que contemplam o uso da edificação (pessoas, móveis, ventos, sismos, etc.), apresentam variabilidade no tempo, o que impossibilita uma definição concreta e absoluta de sua magnitude para outros períodos de retorno além dos 50 anos, sendo admitida a probabilidade de ocorrência.

A combinação das ações geradas por essas cargas é estabelecida pela ABNT NBR 8681:2003, a qual determina que as ações acidentais, definidas como variáveis, podem ser classificadas como (a) ações variáveis normais e (b) ações variáveis especiais. As ações variáveis normais são aquelas com probabilidade de ocorrência suficientemente grande para que sejam admitidas no cálculo estrutural, tais como as de uso da edificação. As ações variáveis especiais provêm de situações não corriqueiras, tais como sismos. Este artigo se concentrou nas primeiras.

Os valores característicos dessas ações praticados pelas normas brasileiras são dados em função da variabilidade e intensidade de suas ocorrências. Define a ABNT NBR 8681:2003 que, para as ações que apresentam variabilidade no tempo, admite-se um período convencional de referência para que essas ações sejam ultrapassadas. Esses valores são estabelecidos por consenso e

possuem uma probabilidade de 25% a 35% de serem ultrapassados durante um período de 50 anos, no Brasil.

Portanto, entende-se que as premissas de durabilidade das estruturas de concreto conforme as ABNT NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto armado – Procedimento (2014) e ABNT NBR 12655 – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento (2015) são válidas para uma vida útil de 50 anos. Contribuições ao avanço dos estudos para o estabelecimento obrigatório de prazos de vida útil maiores, com base nos parâmetros de dimensionamento em termos de durabilidade dessas estruturas (cobrimento das armaduras, resistência do concreto, relação água/cimento e consumo de cimento), já foram apresentados por Bolina e Tutikian (2014), extrapolando as recomendações das ABNT NBR 6118:2014 e ABNT NBR 12655:2015 para os níveis de desempenho intermediário (63 anos) e superior (75 anos) da norma de desempenho.

Adotando o cenário praticado pela ABNT NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento (2003), é entendido que as cargas de uso estabelecidas pela ABNT NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações (1988) são as que devem ser praticadas no projeto estrutural de edificações habitacionais. Algumas das cargas constantes dessa Norma, aplicadas a edificações residenciais, estão transcritas na Tabela 1.

Cabe destacar que os coeficientes de ponderação são propostos segundo as incertezas associadas aos materiais, ações, modelos, teoria e execução, visando controlar o

► Tabela 1 – Valores mínimos de algumas cargas verticais praticadas na ABNT NBR 6120:1980

Local		Carga (kN/m ²)
Tipo	Descrição	
Edifícios residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	1,5
	Despensa, área de serviço e lavanderia	2
Escadas	Com acesso ao público	3
	Sem acesso ao público	2,5
Terraços	Sem acesso ao público	2
	Com acesso ao público	3
	Inacessível a pessoas	0,5

risco de falha (SOUZA JUNIOR, 2008). Explica o autor que os coeficientes parciais de segurança praticados pelas normas brasileiras não passaram pelo processo de calibração em termos de confiabilidade, possuindo origem em normas estrangeiras correlatas, não sendo realizada análise sistemática das incertezas para a realidade brasileira. As bases gerais dos fatores estabelecidos pelas normas europeias possuem uma calibração baseada na longa tradição do uso e aplicação, sem fundamentação minuciosa dos valores praticados.

Os coeficientes de ponderação dessas ações não fazem parte do escopo deste trabalho.

3. ANÁLISE DO SISTEMA NORMATIVO INTERNACIONAL

Para as estruturas projetadas na Austrália e Nova Zelândia, a AS/NZS 1170.0 – *Structural design action - Part 0 – General principles* (2002) apresenta dois capítulos (um para cada país) destinados ao cálculo da probabilidade anual de uma ação variável ser ultrapassada. Admitindo uma classificação de riscos fun-

damentada na consequência de um colapso da edificação - interpretado segundo a magnitude de perdas sociais, econômicas e de vidas - a norma determina a probabilidade da ação variável ser excedida para uma vida útil de projeto de 5, 25, 50 e 100 anos. No entanto, as ações variáveis que esta norma admite são o vento, a neve e o terremoto, não estabelecendo referências para as cargas variáveis de uso. Para estas, a AS/NZS 1170.0:2002 remete para a AS/NZS 1170.1 – *Structural design action - Part 1 – Permanent imposed and other actions* (2002), que define as cargas variáveis características representativas de uma vida útil de projeto de 50 anos, com probabilidade de 5% de serem ultrapassadas, ou seja, bem menor do que a faixa dos 25% a 35% praticadas pela ABNT NBR 8681:2003. O valor característico dessas ações é apresentado na NZS 4203 – *General structural design and design loadings for buildings* (1992).

Já na Europa, a EN 1991-1-7 – Eurocode 1 – *Actions on structures – Part 1-7: General actions – Accidental actions* (2006) define que as ações

variáveis são divididas em categorias. No entanto, não é especificado o tempo de retorno. Pelo fato da EN 1990 – *Eurocode – Basis of structural design* (2002) requerer uma vida útil mínima de projeto de 50 anos para as edificações habitacionais convencionais, tal como a ABNT NBR 15575:2013, parte-se do pressuposto que as ações variáveis características nela estabelecidas empregam este mesmo período de retorno. A nota do item 4.1.2 do Eurocode aborda as ações variáveis derivadas das ações ambientais, evidenciando um período de retorno de 50 anos para estas, com probabilidade de 2% ao ano de serem ultrapassadas, o que sugere esta mesma presunção para as ações variáveis de uso. A norma aborda vida útil de 100 anos para obras de infraestrutura, onde não se aplicam as ações corriqueiras de uso. Nesta lógica, a BS 6399-1 – *Loading for buildings – Part 1 – Code of practice for dead and imposed loads* (1996) apresenta valores mínimos de ações variáveis a serem admitidas nos projetos residenciais, com critérios semelhantes do Eurocode, mas não apresentando citação referente ao período de retorno.

A norma indiana IS 456 – *Plain and reinforced concrete* (2000) faz referência, em termos de parâmetros de durabilidade para os elementos de concreto (cobrimento, relação água/cimento e resistência à compressão) a uma vida útil de 50 anos, tal como indiretamente propõe a ABNT NBR 6118:2014, sendo, contudo, mais conservadora do que esta. Para a determinação das ações, a IS 456:2000 remete a IS 875 – *Code of practice for design loads (other than earthquake) for buildings and structures* (1987), com uma proposta de classificação

► Tabela 2 – Comparativo das ações de uso recomendadas por diferentes normas para edificações residenciais

Descrição ocupação	Carga (kN/m ²)					
	Norma					
	NBR 6120	NZ 4203	EN 1991	IS 875	BS 6399	ASCE 7-05
Quartos	1,5	1,8	1,5 a 2,0	2,0	1,5	1,44
Cozinhas	1,5	1,8	1,5 a 2,0	2,0	1,5	1,92
Salas de jantar	1,5	1,8	1,5 a 2,0	2,0	1,5	1,92
Banheiros	1,5	1,8	1,5 a 2,0	2,0	2,0	1,92
Área de serviço	2,0	1,8	1,5 a 2,0	2,0	2,0	1,92
Lavanderias	2,0	1,8	1,5 a 2,0	2,0	2,0	1,92
Escadas	2,5 a 3,0	1,8	2,0 a 4,0	3,0	3,0	1,92-4,79
Terraços	2,0 a 3,0	1,8	1,5 a 2,0	3,0	3,0	3,83

de ocupação muito semelhante a apresentada pela norma neozelandesa, embora com valores distintos das ações. No entanto, a IS 875:1987 não faz qualquer referência para as cargas variáveis por ela propostas, levando-nos a entender que trata-se de um período de retorno de 50 anos pelas presunções identificadas.

Para os Estados Unidos, a ASCE 7-05: *Minimum design loads for buildings and other structures* (2005) define que as ações variáveis possuem a chance de 1% de serem igualadas ou excedidas anualmente, diferentemente do que o Eurocode propõe (2%). No entanto, para as ações variáveis de neve e sismos, a norma cita a fundamentação de seus princípios em 50 anos de período de retorno.

A Tabela 2 mostra um comparativo entre ações variáveis de uso (normalmente empregadas no cálculo de estruturas convencionais) praticadas pelas principais normas internacionais, válidas para edificações residenciais.

Observa-se que não há uma diferença significativa entre estas ações.

4. DEDUÇÃO E PROPOSIÇÃO DE AÇÕES PARA AS DEMAIS VUP

Utilizando princípios fundamentais da estatística aplicada, pode-se, através dos critérios apresentados por normas, realizar deduções.

Segundo a ABNT NBR 8681:2003, o valor característico das cargas acidentais apresenta um risco entre 25% e 35% de serem ultrapassadas em um período de 50 anos. Algumas normas internacionais apresentam valores inferiores a este, tal como a australiana e neozelandesa. No entanto, para efeitos desta dedução, adotando-se um risco de 35%, entende-se estar trabalhando com uma hipótese conservadora e já plenamente consagrada pela norma brasileira.

Ainda, assumindo o valor das cargas acidentais como uma variá-

vel aleatória com distribuição normal média μ e desvio padrão σ , pode-se relacionar o valor característico estabelecido para um período de 50 anos com o valor estabelecido para outros períodos através da equação (1).

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad [1]$$

Sendo:

R – Risco permissível do valor ser atingido ou ultrapassado durante a vida útil;
T – Período de retorno em anos;
p – Probabilidade de ocorrência ($p=1/T$);
n – Vida útil considerada em anos.

Através deste critério calcula-se o período de retorno, a probabilidade de ocorrência e o desvio padrão para cada período admitido nos diferentes níveis de desempenho estipulados pela ABNT NBR 15575:2013, conforme Tabela 3.

► Tabela 3 – Correlação entre os parâmetros estatísticos empregados na dedução

T (anos)	p	Vida útil (anos)	R	Q
116,6	0,00858	50	35%	2,38
146,7	0,00681	63	35%	2,47
174,6	0,00573	75	35%	2,53

► Tabela 4 – Fator de correlação das ações variáveis

Vida	Vida			Vida		
μ/σ	Fk50	Fk63	Fator Fk63/Fk50	Fk50	Fk75	Fator Fk75/Fk50
1	3,38	3,47	1,027	3,38	3,53	1,044
1,5	3,88	3,97	1,023	3,88	4,03	1,039
2	4,38	4,47	1,021	4,38	4,53	1,034
2,5	4,88	4,97	1,018	4,88	5,03	1,031
3	5,38	5,47	1,017	5,38	5,53	1,028

A função quantil (Q) é a função inversa da função distribuição acumulada e indica, para uma dada probabilidade de uma variável aleatória, o valor da variável que essa probabilidade possui de ser igualada ou superada. Utilizando a função de distribuição de probabilidade normal padrão $N(0, 1)$ (média=0 e desvio=1), resulta que $Q(p)=x$. Como exemplo, $Q(0,00573)=2,53$, indicando que valores com 2,53 desvios padrões acima da média apresentam 0,00574 de probabilidade de ocorrer.

O valor de Q é calculado para a distribuição normal padrão $N(0,1)$, então para obter o Fk (carga variável característi-

ca) para uma distribuição normal $P(\mu,\sigma)$ diferente da padrão, tem-se $Q=(Fk-\mu)/\sigma$, ou $Fk = \mu + Q.\sigma$. Essa expressão serve para converter uma distribuição normal padrão e não-padrão, conforme a equação (2).

$$F_k = \mu + Q.\sigma \quad [2]$$

Através deste princípio é possível analisar a variabilidade das cargas acidentais, representada pela relação entre μ e σ . Esta correlação se faz necessária para fixar média ou desvio para se calcular os fatores que correlacionam VUP diferentes. No momento em que a relação entre ambos é conhecida, pode-se cal-

cular este fator. Como não são conhecidos os valores de distribuição estatística das cargas acidentais (valores médios e desvios medidos experimentalmente), partiu-se para a tentativa de produzir um critério de maneira geral, conforme se apresenta na Tabela 4.

Observa-se que, quanto maior a variabilidade considerada nas cargas acidentais, traduzida pela correlação entre a média μ e o desvio padrão σ , menor é a correlação entre a carga variável característica de 50 anos ($F_{k,50}$) e 75 anos ($F_{k,75}$). A hipótese mais crítica é aquela na qual a correlação entre esses fatores estatísticos é igual a 1. Para uma VUP de 63 anos, o incremento de cada ação variável é menor do que 3% (1,027) e, para uma VUP de 75 anos, este aumento é menor do que 5% (1,044). A partir disso, é possível elaborar a Tabela 5, com as cargas acidentais para períodos de retorno de 63 e 75 anos.

Conforme a dedução proposta, é possível observar que a variação dos valores característicos das cargas acidentais é pouco significativa

► Tabela 5 – Valores de algumas cargas verticais propostas para uma vida útil mínima, intermediária e superior de durabilidade

Tipo	Local Descrição	Carga (kN/m²)		
		VUP (anos)		
		50	63	75
Edifícios residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	1,5	1,55	1,57
	Despensa, área de serviço e lavanderia	2	2,05	2,09
Escadas	Com acesso ao público	3	3,08	3,14
	Sem acesso ao público	2,5	2,57	2,61
Terraços	Sem acesso ao público	2	2,06	2,09
	Com acesso ao público	3	3,08	3,13
	Inacessível a pessoas	0,5	0,51	0,52

quando comparados períodos de retorno de 50, 63 e 75 anos, admitindo a probabilidade de 35% de serem atingidos ou extrapolados. Esta pequena variação pode justificar o fato de algumas normas internacionais, apesar de apresentarem parâmetros de durabilidade do concreto para vidas úteis superiores a 50 anos, tal como a australiana (60 anos) e a britânica (100 anos), não diferenciam os valores de ações variáveis. Isto evidencia uma lacuna normativa semelhante a que se encontra na brasileira.

No entanto, apesar das cargas permanentes serem inertes e não produzirem uma variação significativa no tempo, deve-se realizar uma análise da influência do efeito *Rusch* para que se interprete a magnitude da variação da relaxação do concreto ao longo do tempo e as consequências que esta pode trazer no dimensionamento dessas estruturas, admitindo uma VUP de 63 e 75 anos. Ainda, é necessário considerar o crescimento da resistência dos concretos após os 50 anos. Ambas as ações, efeito *Rusch* e crescimento da resistência,

estão praticamente estabilizadas aos 50 anos, ainda assim, pode ter alguma pequena variação que deve ser considerada nos cálculos.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que, para realizar um projeto estrutural visando atender o nível mínimo, intermediário ou superior de durabilidade da norma de desempenho, as considerações praticadas neste artigo tornam-se uma fonte de referência para a dedução das ações variáveis a serem admitidas em projeto. 🏠

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] BOLINA, F.; TUTIKIAN, B. Especificação de parâmetros da estrutura de concreto armado segundo os preceitos de desempenho, durabilidade e segurança contra incêndio. *Revista Concreto e Construções*, n. 76, p. 24–38, 2014.
- [02] SOUZA JUNIOR, A. C. Aplicação de confiabilidade na calibração de coeficientes parciais de segurança de normas brasileiras de projeto estrutural. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo: 2008.

II SIMPÓSIO SOBRE DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

29 DE OUTUBRO | CENTRO DE CONVENÇÕES DE BONITO – MS



Discussão dos mais recentes avanços nas pesquisas, nos projetos e na execução de obras de concreto com maior durabilidade, bem como nos procedimentos para mantê-las e reabilitá-las com maior eficiência

PALESTRAS DE DESTAQUE

- **Modelos de vida das estruturas de concreto em serviço**
Maria del Carmen Andrade Perdrix
(Instituto de Ciências da Construção Eduardo Torroja – CSIC, Espanha)
- **Projeto de estruturas de concreto em ambiente severo**
Odd Gjorv
(Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia – NTNU)

INFORMAÇÕES

www.ibracon.org.br

ORGANIZAÇÃO



APOIO INSTITUCIONAL



Programa Edificação + Segura - Redução de riscos e aumento da vida útil de estruturas: avanços e ações futuras

BERNARDO FONSECA TUTIKIAN

PRESIDENTE DA ALCONPAT BRASIL
CONSELHEIRO E DIRETOR REGIONAL SUL DO IBRACON

EDUARDO BARROS MILLEN

DIRETOR DA ZAMARION E MILLEN CONSULTORES
CONSELHEIRO DA ABECE

LUIZ CARLOS PINTO DA SILVA FILHO

DIRETOR DA ALCONPAT BRASIL
COORDENADOR DO COMITÊ TÉCNICO DE DURABILIDADE
DO IBRACON

LUIZA SEGABINAZZI PACHECO

DOCTORANDA DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL DA UFRGS UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

MARIA ANGELICA COVELO SILVA

DIRETORA DA NGI CONSULTORIA E DESENVOLVIMENTO

Em 2012, representantes do IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto, da ALCONPAT – Associação Brasileira de Patologia das Construções, e da ABECE – Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural iniciaram uma série de reuniões para estruturar uma proposta de programa setorial visando fomentar a especialização e a difusão do conhecimento referente à conservação de estruturas no Brasil.

Nascia o “Programa de redução de riscos e aumento da vida útil de estruturas” ou Programa Edificação + Segura, cujas primeiras ações foram: a estruturação de um curso de capacitação em inspeção de estruturas de concreto voltado às edificações, a produção de material didático para este curso e a elaboração de um método recomendado para orientar a

realização de inspeções de estruturas de concreto em edificações.

O curso é conduzido sob a respon-

sabilidade da ABECE e da ALCONPAT, com a coordenação geral da NGI Consultoria e Desenvolvimento.

Caberá ao IBRACON, numa segunda fase do Programa, desenvolver e implementar o método de certificação de profissionais de inspeção de estruturas.

O curso foi organizado em módulos, que tratam de grandes temas relacionados à inspeção, que abrangem desde uma revisão de fundamentos sobre os mecanismos de degradação atuantes em estruturas de concreto e chegam até à discussão de princípios norteadores para eventuais atividades de reabilitação necessárias para restaurar o desempenho (Tabela 1).

O curso conta com 9 instrutores de relevante experiência e reconhecida competência em suas respectivas áreas de atuação. A equipe foi montada considerando a necessidade de

► Tabela 1 – Conteúdo e distribuição de carga horária entre os módulos

Módulo	Conteúdo	Carga horária (horas/aula)
1	Conceitos e fundamentos para a conservação de estruturas	16
2	Mecanismos de deterioração de estruturas de concreto	12
3	Metodologia e procedimentos de inspeção de estruturas de concreto	20
4	Princípios para recuperação de estruturas de concreto	16



Aula na turma de São Paulo, em 2014, proferida pelo projetista e professor Eng. Francisco Paulo Graziano, da Escola Politécnica da USP e da Pasqua & Graziano Associados

ofertar uma abordagem multidisciplinar, altamente focada e prática, embasada no conhecimento mais atual e qualificado disponível no país e internacionalmente sobre os diversos aspectos relacionados à inspeção de estruturas de concreto.

Para atingir esse objetivo, o corpo docente mescla professores/pesquisadores de renome ligados a três instituições de ensino com consultores e projetistas atuantes e reconhecidos pelo mercado pelo conhecimento específico na área de estruturas de concreto, além do advogado Carlos Pinto Del Mar, especialista em questões que envolvem responsabilidades na construção civil.

Em 2014, foram concluídas as duas primeiras turmas do programa, uma em São Paulo e outra em Porto Alegre, nas quais foram capacitados 47 profissionais.

Em março de 2015, foi iniciada a terceira turma do curso, novamente em São Paulo, composta por 36

alunos. Novas turmas já estão sendo planejadas para Belo Horizonte, Rio de Janeiro e Porto Alegre.

Em setembro de 2015, com a conclusão da 2ª Turma em São Paulo, o Programa deverá atingir mais de 80 profissionais capacitados, gerando uma quantidade importante de profissionais que receberam conhecimento teórico e treinamento para realizar

adequadamente e de forma efetiva inspeções de estruturas de concreto de edificações, dando subsídio ao sistema de conservação do nosso patrimônio construído.

Os profissionais que vêm participando dos cursos possuem perfil de formação e experiência profissional ligados ao tema, sendo distribuídos entre profissionais que atuam na área de perícias e vistorias técnicas de edificações, projeto e consultoria em estruturas, nas áreas de obras ou assistência técnica pós-entrega de empresas construtoras e, ainda, professores universitários.

O curso inclui a realização de uma prova, para testar conhecimentos específicos na área, e de um trabalho prático como condições optativas, podendo o profissional optar por receber um certificado de participação, caso não realize a prova e desenvolva o trabalho com nota mínima de aprovação, e desde que tenha tido a frequência mínima. Realizando a prova e



Turma São Paulo 2014

elaborando o trabalho com a nota e frequência mínimas, o aluno recebe o certificado de conclusão do curso.

As aulas são realizadas a cada 15 dias com duração de quatro horas. No Módulo 3, há uma aula prática que simula a inspeção de uma estrutura real de uma edificação na qual os alunos, com o acompanhamento de professores, examinam o estado de desempenho da estrutura e aplicam parte do procedimento do Programa Edificação + Segura discutido em aula.

As avaliações que vêm sendo realizadas demonstram elevada satisfação dos alunos e, a cada turma, professores e a coordenação vão aperfeiçoando os conteúdos e método com base na experiência de aplicação e “feedback” dos participantes.

No desenvolvimento do conteúdo do curso, houve a preocupação de organizar conceitos que permitam um diagnóstico seguro do estado de desempenho da estrutura, bem como a elaboração, a várias mãos entre os professores do curso, de um método que foi consolidado em um procedimento de inspeção de estruturas de concreto de edificações.

Este método deve se tornar uma referência de mercado e, futuramente, deverá se incorporar à norma de inspeção predial, pois é fundamental estabelecer métodos que permitam equalizar a forma de atuar dos profissionais neste campo, orientando também os contratantes para buscar profissionais que sigam estes métodos, sem, no entanto, inibir o acrés-

MARTA MORALES FOTOGRAFIAS



Turma Porto Alegre 2014

cimo de conhecimento ao trabalho, decorrente da experiência e formação do profissional que realiza a inspeção.

Este trabalho, que envolve um intenso esforço do conjunto de professores e das entidades envolvidas, conta nesta primeira fase com o apoio financeiro e técnico da ABESC – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem, da Anchartec Quartzolit, do IBTS – Instituto Brasileiro de Telas Soldadas e do ICZ – Instituto de Metais Não Ferrosos. Sem este apoio não teria sido viável chegar até o ponto atual e poder assim seguir com o desenvolvimento do Programa.

Nos próximos passos do Programa, além de continuar oferecendo o curso de capacitação em inspeção de estruturas de concreto, serão iniciadas as ações para viabilizar o sistema de certificação de profissionais e ações para difundir, entre proprietários e administradores de edificações, a importância da contratação dos serviços de inspeção de estruturas e

da contratação de profissionais capacitados para esta atividade.

Também está programado o início de ações de difusão de melhores práticas com o objetivo de conscientizar quem projeta, constrói e utiliza as edificações sobre procedimentos que contribuem para a redução de riscos e aumento da vida útil das estruturas de concreto.

O Programa Edificação + Segura lançou no mês de agosto seu website, que pode ser consultado para conhecimento da programação completa do curso, dos alunos já capacitados (aqueles que autorizam a publicação de seus dados) e de notícias e ações relacionadas ao tema da conservação de estruturas – www.edificacaomais-segura.org.

Por meio do website é possível também fazer sugestões e contribuições técnicas ao Programa. Esperamos que a comunidade técnica se envolva cada vez mais com as questões relacionadas à segurança e vida útil das estruturas. 

Estudo comparativo entre concretos de alto desempenho e compósitos cimentícios avançados

ROBERTO CHRIST – PROFESSOR MS, GERENTE TÉCNICO

BERNARDO TUTIKIAN – PROFESSOR DOUTOR, COORDENADOR GERAL

UNISINOS / ITT PERFORMANCE

FERNANDA PACHECO – PESQUISADORA E ANALISTA DE PROJETOS

ITT PERFORMANCE

I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de concretos avançados à base de cimento Portland fez surgir a “ciência do concreto”, que utiliza equipamentos cada vez mais sofisticados para estudar a micro e nanoestrutura das misturas. O surgimento do concreto de alto desempenho ocorreu por volta do ano de 1990, tendo sido desenvolvido por Mehta e Aïtcin. Este material possui um comportamento superior em relação ao concreto convencional, com propriedades específicas que atendem a grande maioria dos parâmetros de exigência dos projetistas, frente à durabilidade das estruturas de concreto armado.

O progresso desses novos produtos fomenta o desenvolvimento de misturas com maior resistência mecânica e durabilidade. Os concretos modernos são compostos por minerais selecionados, como aditivos químicos, que melhoram a

trabalhabilidade, e fibras, que ampliam a propriedade dúctil das matrizes. Assim, verifica-se no mercado da construção civil que os concretos convencionais estão sendo substituídos pelos concretos de alto desempenho em várias situações, nas quais se almeja propriedades específicas não alcançadas com as corriqueiras composições e processos de produção.

O avanço decorrente do surgimento e do desenvolvimento da ciência do concreto proporcionou a evolução do concreto convencional (CC) para o concreto de alta resistência (CAR), com a utilização de aditivos redutores de água e com a ampliação de suas propriedades mecânicas; com o aprimoramento deste obtém-se o concreto de alto desempenho (CAD). Os materiais utilizados na produção de CAD são praticamente os mesmos do CC, porém com algumas adições e procedimentos especiais de execução (do-

sagem, mistura e cura) (TUTIKIAN; ISAIA; HELENE, 2011).

Os concretos avançados apresentam maior consumo de cimento, comparado com os concretos convencionais, porém elevado desempenho mecânico, proporcionando à estrutura maior durabilidade e menor consumo dos materiais para seu uso, dada sua elevada capacidade portante e a conseqüente diminuição das seções transversais.

Segundo Tutikian, Isaia e Helene (2011), a utilização deste material em edifícios no Brasil ocorreu de maneira pioneira no município de São Paulo no edifício *e-Tower*, na região sudeste do país, em 2001, com um concreto de 125 MPa de resistência à compressão. Todavia, o material não se restringe apenas ao melhor desempenho mecânico, apresentando ainda boa trabalhabilidade, bom acabamento final nas peças, integridade e, principalmente, durabilidade frente aos agentes agressivos do meio.



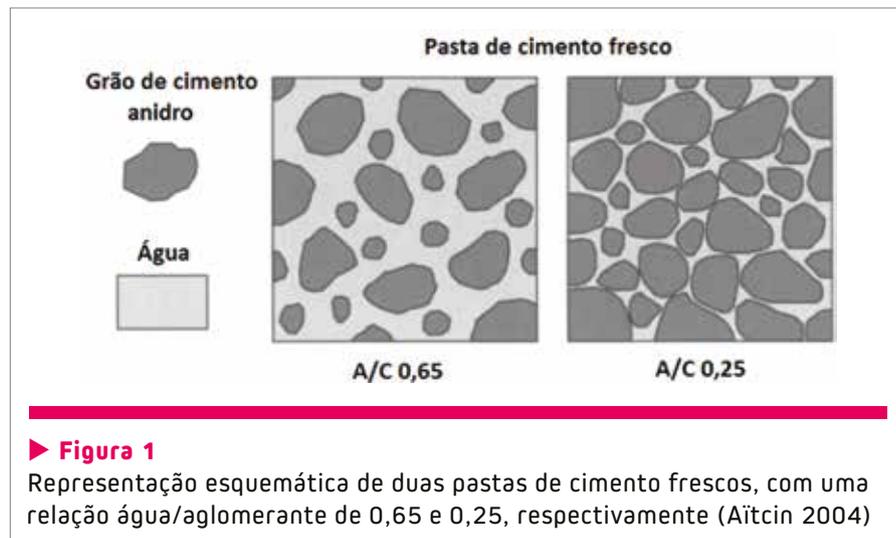
Na sequência de evolução dos concretos, os concretos de alto desempenho são superados pelos compósitos cimentícios avançados. Estes compósitos são materiais à base de cimento Portland, compostos por agregados com diâmetro não maior do que 0,6mm, um elevado teor de adições pozolânicas e aditivos, podendo ser citado como exemplo o concreto de pós-reativos (CPR), também conhecido como Ultra High Performance Concrete (UHPC).

2. CONCRETOS DE ALTO DESEMPENHO

Mehta e Monteiro (2014) definem os concretos de alto desempenho como concretos que possuem características específicas vitais para alguns tipos de aplicação, além da elevada resistência mecânica, sendo essas:

- ▶ Facilidade de aplicação;
- ▶ Adensamento sem segregação;
- ▶ Resistência mecânica nas primeiras idades;
- ▶ Resistência de longo prazo e propriedades mecânicas;
- ▶ Reduzida permeabilidade;
- ▶ Elevada densidade;
- ▶ Reduzido calor de hidratação;
- ▶ Tenacidade;
- ▶ Estabilidade de volume;
- ▶ Longa vida útil em ambientes agressivos.

O concreto de alto desempenho pode ser definido como material que atende uma combinação especial entre o desempenho e os requisitos de uniformidade, que não é alcançada com os concretos usuais. Para tal, estes materiais são constituídos por: agregados comuns graúdos e miúdos, porém com processos rigorosos de seleção e controle de qua-



▶ **Figura 1**

Representação esquemática de duas pastas de cimento frescos, com uma relação água/aglomerante de 0,65 e 0,25, respectivamente (Aïtcin 2004)

lidade; cimento Portland, cujo tipo depende da utilização da estrutura, com consumo em torno de 450/550 kg/m³; sílica ativa entre 5 a 15% em relação à massa total de cimento; aditivos químicos, para contribuir na plasticidade do material; e uma baixa relação água/aglomerante, que se situa entre 0,20 a 0,25.

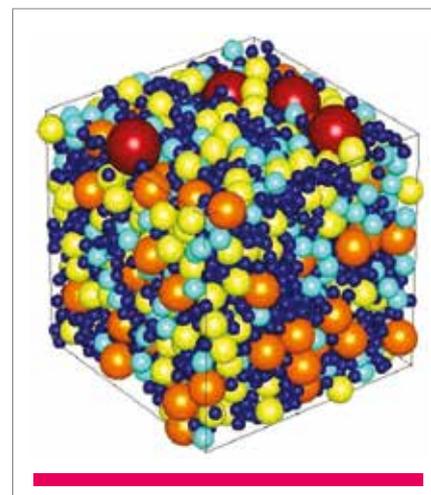
A quantidade de água presente na mistura dos concretos de alto desempenho é uma característica fundamental para que o material alcance o desempenho desejado. Aïtcin (2004) ilustra que, quando a relação de água/cimento é reduzida, as partículas de cimento acabam se aproximando mais dos demais agregados. A consequência dessa aproximação é uma menor existência de poros capilares e vazios, mitigando a possibilidade de ataque por agentes deletérios, que migram do exterior para o interior do concreto (Figura 1).

A utilização deste tipo de concreto visa, conforme citado, um desempenho satisfatório e durável, que é vinculado a uma série de requisitos que variam em função do ambiente de inserção da estrutura, de seu uso pro-

jetado e características geométricas.

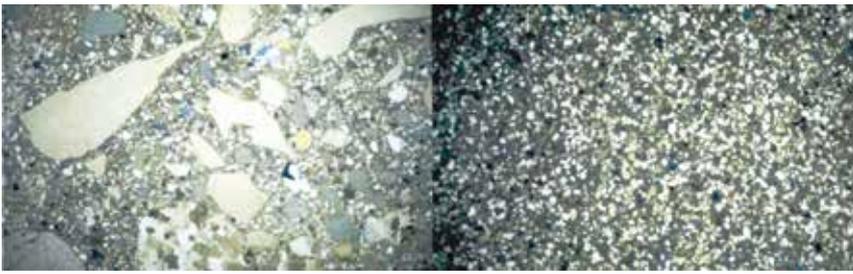
3. COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS AVANÇADOS

Sendo o passo seguinte aos concretos de alto desempenho, este material apresenta em sua composição agregados similares aos utilizados nos CAD, porém limitando-se ao diâmetro máximo de 0,6 mm e contando com a incorporação de microfibras. Devido a isso, este material se assemelha



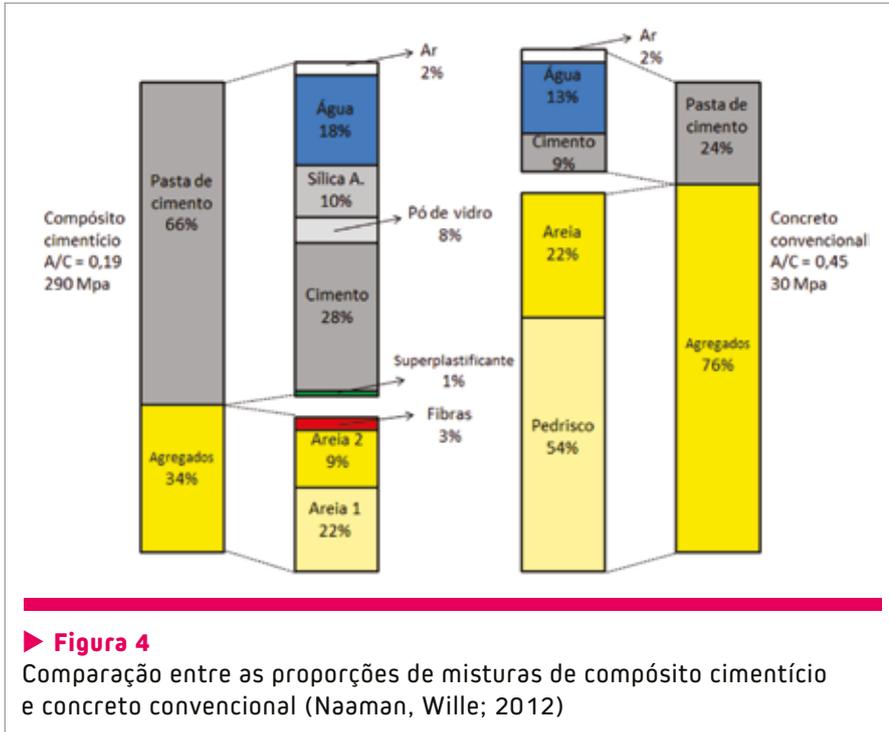
▶ **Figura 2**

Visualização em 3D do empacotamento das partículas de uma mistura (Fidjestol; Thorsteinsen; Svenneving, 2012)



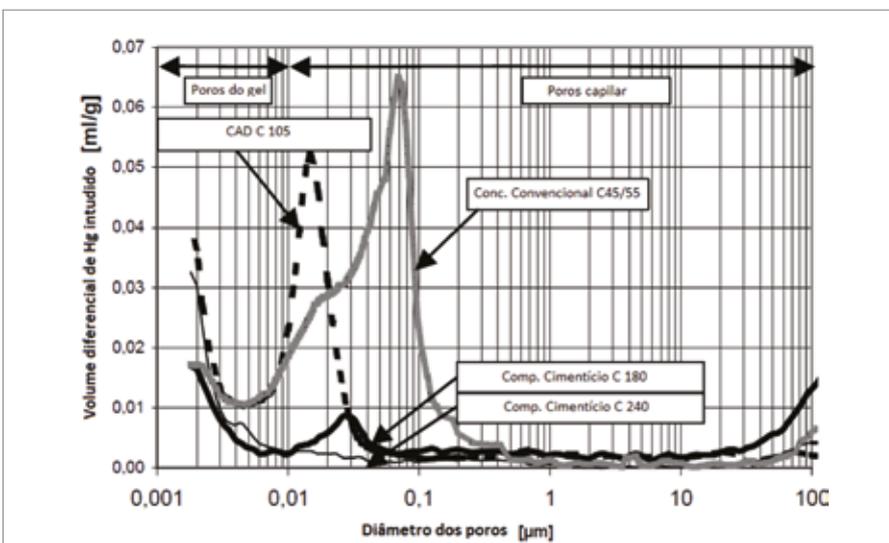
► **Figura 3**

Comparação entre os constituintes do concreto de alto desempenho e do compósito cimentício (Resplendino, 2006)



► **Figura 4**

Comparação entre as proporções de misturas de compósito cimentício e concreto convencional (Naaman, Wille; 2012)



► **Figura 5**

Porosimetria por intrusão de mercúrio em diferentes concretos e compósitos cimentícios (Schmidt, 2003)

a uma argamassa, por não possuir agregados graúdos em sua composição, mas com propriedades mecânicas e de durabilidade mais próximas a de um concreto com elevada capacidade portante. As propriedades mecânicas deste tipo de material são elevadas, considerando-se que são alcançados valores de 200 MPa de resistência à compressão, 45 MPa de resistência à tração e elevados índices de tenacidade.

A composição supracitada dos concretos visa à máxima compacidade possível e a inexistência de vazios, quando elaborado um empacotamento perfeito. A etapa prévia para alcançar este empacotamento é o conhecimento das diferentes dimensões granulométricas que o compõe.

Utilizando-se métodos de empacotamento são quantificados os teores de uso de cada dimensão de partícula, visando o mínimo teor de vazios possível na matriz. A Figura 2 mostra uma ilustração referente a um estudo de empacotamento de diferentes partículas dentro de um volume. Visualiza-se que a disposição é de grãos maiores circundados por grãos menores, ocorrendo o fechamento dos poros existentes.

Resplendino (2006) elucida, através da Figura 3, a comparação entre o concreto de alto desempenho e o compósito cimentício.

Percebe-se que os concretos de alto desempenho são materiais heterogêneos. Já, o composto cimentício pode ser considerado um material mais homogêneo, por não conter zonas de interface, sendo, por consequência, menos frágil.

Naaman e Wille (2012) apresentam uma comparação entre as composições dos concretos comuns

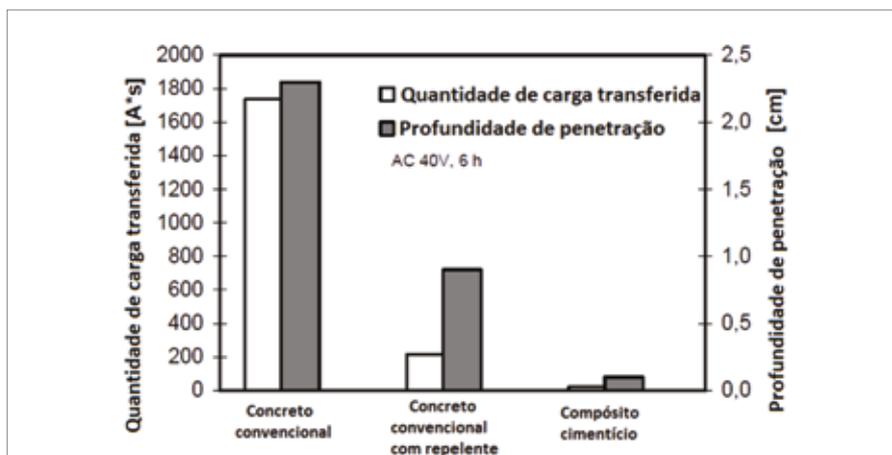
e dos compósitos cimentícios. Nota-se que a maior parte da composição do concreto de alto desempenho é constituída pelos agregados, já nos compósitos cimentícios a maior parte do material é constituída pelos aglomerantes, que não se restringem ao cimento, mas incluem também os materiais pozzolânicos (Figura 4).

Devido à elevada compacidade e reduzida existência de vazios, os compósitos cimentícios apresentam excelentes propriedades mecânicas e de durabilidade. Tais características relacionam-se diretamente com os parâmetros de dosagem e sua otimização granular. A Figura 5 apresenta uma comparação da porosidade entre o CAD com resistência à compressão de 105 MPa, o concreto convencional com resistência à compressão de 50 MPa e dois compósitos cimentícios, um com resistência à compressão de 180 MPa, com agregados graúdos de dimensões de até 8 mm, e outro com resistência de 240 MPa e agregados miúdos de dimensões menores do que 0,5 mm.

Observa-se que a porosidade dos compósitos cimentícios é muito inferior à do CAD e do concreto convencional.

A porosidade dos materiais interfere diretamente na durabilidade do concreto armado, já que as ações deletérias são mais acentuadas em concretos mais porosos. Os compósitos cimentícios são materiais de baixíssima porosidade, favorecendo seu comportamento e sua expectativa durável. A Figura 6 mostra um estudo comparativo entre um concreto convencional, concretos com hidrofugantes (repelentes de água) e compósito cimentício diante do ensaio de penetração de íons cloreto.

Pode-se perceber que os com-

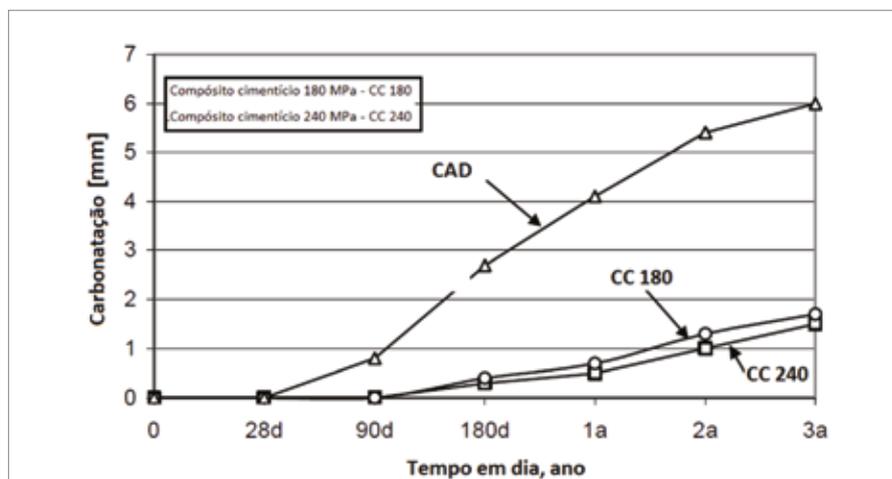


► **Figura 6**
Resultados do ensaio de ataque de cloretos em diferentes concretos e compósito cimentício (Schmidt, 2003)

pósitos cimentícios apresentam uma menor probabilidade de penetração de íons cloretos comparados com concretos convencionais e concretos que tenham em sua composição alguma espécie de repelente que não diminuem a quantidade de poros, mas sim a quantidade de água no composto. De maneira análoga, a Figura 7 apresenta um comparativo do ensaio de carbonatação acelerada entre compósito cimentício avançado e concreto de alto desempenho.

Denota-se que o compósito cimentício apresentou melhor comportamento durável em relação aos concretos de alto desempenho, sendo a frente de carbonatação menor naqueles materiais, dada sua reduzida porosidade, já citada.

Tal superioridade do compósito cimentício avançado atesta sua evolução, fazendo com que seu uso transpasse as barreiras acadêmicas e laboratoriais, sendo almejada a viabilidade de sua produção e comércio em



► **Figura 7**
Resultados de ensaio de carbonatação em concreto de alto desempenho e em dois compósitos cimentícios (Schmidt, 2003)

larga escala. Pesquisadores de diferentes países desenvolveram compósitos com baixo consumo de cimento e com elevada resistência mecânica e de elevada durabilidade. Este fato torna o material competitivo, sendo uma opção viável e vantajosa para utilização em obras públicas e privadas, dada sua reduzida necessidade

de manutenção. Países como Alemanha, Canadá, Coréia do Sul, Estados Unidos, entre outros, possuem estruturas viárias e de fluxo de pedestres com a utilização deste tipo de material estrutural.

4. CONCLUSÃO

O compósito cimentício avan-

çado passa a ser uma excelente opção para estruturas de concreto em obras especiais, por apresentar elevada durabilidade, mesmo em ambientes altamente agressivos. Cada vez mais pesquisadores e profissionais vêm utilizando este material e, em futuro breve, terá um uso mais difundido. ▀

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] AÏTCIN, P. C. High Performance Concrete. 2004. Canadá. ISBN 0419192700.
- [02] FIDJESTOL, P.; THORSTEINSEN, R. T.; SVENNEVIG, P. Making UHPC with local materials – The way forward. 3rd International Symposium on UHPC and nanotechnology for High Performance Construction Materials, Kassel, 2012.
- [03] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. . Concreto microestrutura, propriedades e materiais. 2^oed. São Paulo: Ibracon, 2014.
- [04] NAAMAN, A. E.; WILLE, K. The Path to Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHP-FRC): Five Decades of Progress. 3rd International Symposium on UHPC and nanotechnology for High Performance Construction Materials, Kassel, 2012.
- [05] RESPLENDINO, J. Les bétons fibrés ultra performance (BFUP). Perspectives offertes vis-à-vis de la pérennité et la maintenace des ouvrages. In Colloques sur les Ouvrages d'Art, Toulouse, 2006.
- [06] SCHMIDT, M. Ultra-Hochleistungsbeton – Ausgangsstoffe, Eigenschaften und Leistungsfähigkeit. Planung und Bau der ersten Brücke mit UHPC in Europa. Kassel. 2003.
- [07] TUTIKIAN, B. F.; ISAIA, G. C.; HELENE, P. Concreto de Auto e Ultra-Alto Desempenho. Concreto: Ciência e Tecnologia. G.C. Isaia. 1. ed. São Paulo, IBRACON, 2011. 2v.



Simpósio em Modelagem Computacional de Estruturas de Concreto

30 de outubro | Centro de Convenções de Bonito

Divulgar novas técnicas numéricas para análise e projeto de estruturas, que sejam capazes de assegurar uma melhor compreensão do comportamento das estruturas de concreto

PALESTRAS DE DESTAQUE

AS FERRAMENTAS DE ANÁLISE ESTRUTURAL NÃO LINEAR E OS PADRÕES DE SEGURANÇA

Alfred Strauss (Universidade de Recursos Naturais e das Ciências da Vida, Viena, Áustria)

TENDÊNCIAS PASSADAS, PRESENTES E FUTURAS SOBRE A MODELAGEM COMPUTACIONAL DA FISSURAÇÃO NO CONCRETO

Javier Oliver (Universidade Técnica da Catalunha, em Barcelona, Espanha)

NOVO MODELO COMPUTACIONAL PARA SIMULAÇÃO DO ENVELHECIMENTO E DA DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

Gianluca Cusatis (Universidade Northwestern, Estados Unidos)

RECENTES AVANÇOS NA MODELAGEM DISCRETA DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS

John Bolander (Universidade da Califórnia, em Davis, Estados Unidos)

INFORMAÇÕES
www.ibracon.org.br

ORGANIZAÇÃO



APOIO



Agressividade de solos e água em contato com estruturas enterradas de concreto

ARNALDO FORTI BATTAGIN – GEÓLOGO E GERENTE DO LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP)

I. INTRODUÇÃO

De uma maneira geral, as estruturas de concreto apresentam desempenho satisfatório quando expostas a variadas condições ambientais, incluindo o contato com água e solos contendo agentes agressivos. Entretanto, determinadas condições de exposição podem comprometer a vida útil de uma estrutura, caso não sejam tomadas medidas adequadas para prevenir ou reduzir o risco potencial de deterioração. A frequência cada vez maior de solos contaminados resultantes de atividades industriais no passado, quando as preocupações com o meio ambiente e a legislação eram brandas ou inexistentes, leva à necessidade nos dias atuais de estudos mais abrangentes desses terrenos. A Figura 1 esquematiza o ataque de íons agressivos, mostrando as condições para ocorrência de danos ao concreto

Para serem nocivos ao concreto, os agentes químicos agressivos devem estar numa determinada proporção, diluídos nas soluções aquosas, uma vez que normalmente o concreto não é atacado por substâncias sólidas (ACI, 2008). Por esse motivo, para estruturas enterradas de concreto tem



importância a análise da água e da parte solúvel dos solos em contato com a estrutura. Diversas normas internacionais e também nacional (ABNT NBR 12655:2015) estabelecem critérios para classificar o grau de agressividade da água e do solo ao concreto e a partir dessa classificação projetar para o concreto determinadas propriedades, entre elas as decorrentes da relação água/cimento e da resistência característica à compressão (f_{ck}), com vistas a aumentar a sua durabilidade e vida útil.

Assim, segundo essas normas, devem ser considerados os seguin-

tes componentes para definir o grau de agressividade:

- **Água:** determinação do pH, CO_2 agressivo, magnésio, amônia, teor de sólidos e íons sulfatos; é necessário também conhecer o teor de álcalis por conta da reação alcali-agregado, caso o agregado constituinte do concreto a ser aplicado seja comprovadamente reativo e, para, então, tomar as medidas cabíveis de prevenção;
 - **Solos:** determinação do grau de acidez e teor de sulfatos.
- As normas europeias EN-206-1 e

► Tabela 1 – Grau de agressividade em função dos compostos dissolvidos na água

Condições de exposição em função da agressividade	pH	CO ₂ agressivo mg/L	Íon magnésio mg/L	Íon amônia mg/L	Resíduo sólido mg/L	Sulfato solúvel (SO ₄) mg/L
Fraca	7 a 6	< 30	< 100	< 100	> 150	0 a 150
Moderada	6 a 5,5	30 - 45	100 - 200	100 - 150	150 a 50	150 a 1.500
Severa	< 5,5	> 45	> 200	> 150	< 50	Acima de 1.500

Fonte: Adaptação da ABNT NBR 12655:2015

suas versões nacionais estabelecem critérios para definir o grau de agressividade, com pequenas variações ou com adoção de normas específicas complementares, como, por exemplo, a BS 8500 (inglesa), a Instrucción de Hormigón Estructural EHE (espanhola) e a ACI 318 (norte-americana). A versão de 2015 da ABNT NBR12655 está bem completa, com inclusão de todos os agentes agressivos citados em anexo próprio e considerando os mesmos compostos tratados na EN 206-1.

A Tabela 1, adaptada da ABNT NBR 12655:2015, mostra os critérios para classificação do ambiente, em função dos componentes dissolvidos na água.

A água do mar é considerada para efeito do ataque de sulfatos como condição de agressividade moderada, embora o seu conteúdo de SO₄ seja acima de 1500 ppm, devido ao fato de que a etringita é solubilizada na presença de cloretos.

Para solos, as exigências da Tabela 2 são as mais comumente estabelecidas, sendo que, no Brasil, a ABNT NBR 12655: 2015 não estabelece exigência quanto ao grau de acidez do solo, focando apenas no seu teor de sulfatos.

Para água, a norma Europeia EN-206 considera os mesmo parâmetros, com exceção da limitação de resíduos sólidos para estabelecer o grau de pu-

reza da água. Considera-se bastante oportuno a norma brasileira ter incluído esse parâmetro, pois as águas puras correntes têm forte efeito na lixiviação dos compostos hidratados da pasta de cimento. Por outro lado, apesar de parâmetros idênticos, os valores são divergentes, sendo a norma brasileira de maneira geral mais rigorosa; a exceção são os íons NH₄⁺. Isso se deve ao fato de que ambas as normas não estabelecem a limitação em função da combinação dos cátions (Mg e NH₄) com ânions (cloretos, sulfatos e nitratos), mas sim da limitação isolada de íons e cátions. Algumas combinações são mais danosas ao concreto do que outras. Por exemplo, é conhecido o fato do sulfato de magnésio ser muito mais agressivo que o sulfato de sódio ou potássio e o sulfato de amônio ser o mais agressivo de todos. Outro exemplo são os cloretos, sendo o cloreto de magnésio mais agressivo que o cloreto de sódio. Não fosse sua ação

deletéria de despassivação das armaduras, os cloretos até seriam desejáveis quando da presença de sulfatos, pois poderiam impedir o ataque destes ao concreto.

A Tabela 3 mostra os critérios estabelecidos pela norma europeia EN 206-1 para classificação dos graus de agressividade.

2. AS RAZÕES DA LIMITAÇÃO DOS COMPOSTOS CONSIDERADOS AGRESSIVOS AO CONCRETO

2.1 Por que limitar os Sulfatos?

O ataque da pasta de cimento por águas sulfatadas é bastante conhecido e, se medidas preventivas não forem tomadas, pode ocorrer o comprometimento da obra decorrente da expansão causada pela formação de componentes deletérios.

Embora o mecanismo efetivo do

► Tabela 2 – Grau de agressividade em função das características do solo

Condições de exposição em função da agressividade	Norma Europeia EN 206-1		ABNT NBR12655
	Grau de acidez BAUMANN-GULLY (ml/kg)	Sulfato solúvel em ácido (SO ₄) no solo % em massa	Sulfato solúvel em água (SO ₄) no solo % em massa
Fraca	> 200	0,2-0,3	0,00 a 0,10
Moderada	–	0,3-1,2	0,10 a 0,20
Severa	–	1,2-2,4	Acima de 0,20



► Tabela 3 – Classificação dos graus de agressividade da água segundo EN 206-1

Condições de exposição em função da agressividade	pH	CO ₂ agressivo mg/L	Íon magnésio mg/L	Íon amônia mg/L	Resíduo sólido mg/L	Sulfato solúvel (SO ₄) mg/L
Fraca	6,5 - 5,5	15 - 40	300 - 1.000	15 - 30	–	200 - 600
Moderada	5,5 - 4,5	40 - 100	1.000 - 3.000	30 - 60	–	600 - 3000
Severa	4,5 - 4,0	> 100 até saturação	> 3000 até saturação	60 - 100	–	3.000 - 6.000

Fonte: Adaptação da EN 206-1

ataque do concreto por sulfatos não esteja totalmente esclarecido até hoje, os pesquisadores são unânimes em considerar que as fases de aluminato de cálcio do clínquer são as principais responsáveis pelo fenômeno.

De fato, o ataque por sulfatos se dá em duas fases sequenciais. Primeiramente ocorre a lixiviação dos componentes cálcicos: Ca(OH)₂ e C-S-H da pasta hidratada do cimento, que concorre para deixar o concreto mais poroso e que, reagindo com os sulfatos disponíveis, leva à formação de gipsita secundária. O aumento da porosidade repercute no aumento da permeabilidade e difusividade do concreto, tornando-o mais vulnerável aos agentes agressivos. Na sequência tem início a segunda fase, quando há formação da etringita (trissulfoaluminato cálcico hidratado), à custa da reação dos aluminatos hidratados com a gipsita. (ver Figura 2). BAKKER (1981) resume as seguintes reações genéricas do ataque dos sulfatos:

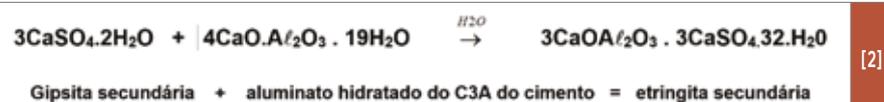
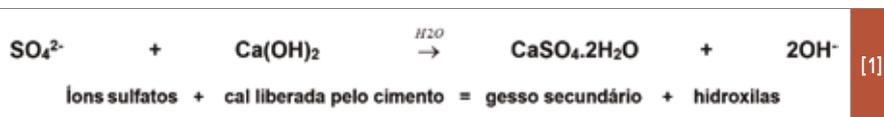


► Figura 2

Formação de cristais aciculares de etringita (parte clara central), denotando ataque de sulfatos no concreto. Observação sob microscópio estereoscópico, ampliação 25 x (crédito: Ana Livia Silveira, ABCP)

A precipitação da etringita secundária pode conduzir a expansões e fissurações consideráveis no concreto. Para sua formação é imprescindível que

o cimento seja fonte expressiva de aluminatos cálcicos, razão pela qual o uso de cimentos resistentes a sulfatos tem sido uma das medidas necessárias para garantir a durabilidade do concreto em ambientes sulfatados. Muitas teorias têm surgido para explicar o mecanismo de expansão da etringita, dentre elas a pressão de cristalização, absorção de água da etringita coloidal, aumento de volume, etc. A etringita que precipita nos poros não é expansiva, pois estes cons-



tituem espaços livres para seu crescimento, sendo expansiva apenas aquela mal cristalizada, que, quando exerce pressões superiores à resistência à tração do concreto, leva à sua fissuração.

Por fim, é necessário esclarecer que o grau de agressividade dos sulfatos vai depender fundamentalmente do cátion a que esteja associado, se cálcio, sódio, potássio, magnésio, amônio, etc. (BRE, 2005).

- ▶ Os sulfatos de cálcio, presentes nos solos sob a forma de gipsita e anidrita ou em águas subterrâneas, são agressivos diante do concreto apesar de sua baixa solubilidade, constituindo um processo mais lento que o observado com os sulfatos de magnésio e de amônio;
- ▶ Os sulfatos de sódio ou de potássio, muito mais solúveis, conduzem a degradação mais rápida pela formação de gipsita e de etringita, bem como a lixiviação da cal da portlandita e do C-S-H;
- ▶ Os sulfatos de magnésio, muito solúveis, são extremamente agressivos, com mecanismo detalhado no item 2.3;
- ▶ O sulfato de amônio é provavelmente o mais agressivo dentre todos os sulfatos frente à pasta de cimento Portland, sendo tratado no item 2.5.

Cumpra esclarecer que há uma lacuna na ABNT NBR 12655: 2015, pois não estabelece a metodologia aplicada na determinação do íons sulfatos solúveis em água, tanto para a água quanto para solos. Na falta dessa indicação tem se adotado a metodologia prevista pelas ABNT NBR 15900- 7: 2009 e UNE 83956:2008.

2.2 Por que limitar o pH?

O pH da água indica o seu caráter ácido ou básico. A água é classificada

como ácida quando apresentar $\text{pH} < 7$, ou seja, se contiver dióxido de carbono livre, ácidos minerais ou orgânicos (ácidos húmicos), ou ainda sais de ácidos fortes e bases fracas. A água é classificada como básica quando apresentar $\text{pH} > 7$, ou seja, se contiver carbonatos, bicarbonatos ou íons hidroxila OH^- . A norma de metodologia prescrita pela ABNT NBR 12655:2015 para determinação do pH é a norma espanhola UNE 83954:2008. As águas ácidas são agressivas ao concreto. O efeito principal de qualquer tipo de ataque ácido no concreto é a dissolução da pasta de cimento, deteriorando a região afetada, mas, ao contrário do ataque de sulfato, essa degradação não envolve fenômenos de expansão. Uma explicação para esse comportamento liga-se ao fato de que a etringita não é estável em soluções ácidas, de modo que o principal produto de reação de um ataque de ácido sulfúrico será sulfato de cálcio (ESCADEILASS et al, 2012). Em concreto com agregados silicosos, granitos ou basaltos, o ataque da superfície do concreto terá a aparência de agregado exposto. No entanto, em concreto contendo agregados calcários, estes podem ser atacados a uma velocidade semelhante à da pasta de cimento, deixando a superfície mais lisa.

Os ácidos mais comumente encontrados em águas subterrâneas naturais são o ácido carbônico, ácido húmico e ácido sulfúrico. Os dois primeiros são moderadamente agressivos e não irão produzir um pH inferior a 3,5, ao contrário do ácido sulfúrico que pode resultar em um pH inferior a 2. Outros tipos de ácidos minerais poderão ser encontrados ocasionalmente em terrenos contaminados por processos industriais (BRE, 2005). Interessante notar que a Tabela 1 classifica a água

como de agressividade severa quando apresentar pH já abaixo de 5,5. Isso se deve ao fato do grau de ataque depender expressivamente da velocidade de movimento da água, ou seja, de seu poder de renovação do ataque.

- ▶ Águas subterrâneas que não são móveis parecem ter pouco efeito sobre a estrutura enterrada de concreto;
- ▶ Águas com pH próximo de 5,5 atacam significativamente o concreto, mas a taxa de ataque é extremamente lenta; isso ocorre geralmente quando os ácidos são de origem orgânica, como os húmicos, cujos produtos da reação na superfície do concreto são insolúveis, formando uma camada que dificulta o prosseguimento do ataque.

2.3 Por que limitar o Magnésio?

O magnésio é um elemento comum em solos e águas subterrâneas, sendo danoso ao concreto quando presente em concentrações elevadas ou em combinação com determinados agentes químicos, dentre os quais se destacam os sulfatos. É bem difundido na literatura técnica que o sulfato de magnésio (MgSO_4) em concentrações equivalentes de sulfato de sódio (Na_2SO_4) é muito mais agressivo que este último. Quando combinado com cloretos também se revela bastante prejudicial ao concreto. Assim, sua limitação no concreto como medida preventiva para evitar manifestações patológicas não deveria levar em conta apenas o seu teor, mas também a forma de combinação. Na prática altos teores de magnésio são encontrados apenas em soluções aquosas em contato com solos contaminados por determinados resíduos industriais. Um dos modelos propostos para explicar a ação



degenerativa do magnésio no concreto é a sua substituição do cálcio no principal produto de hidratação da pasta de cimento, o silicato cálcico hidratado, representado por C-S-H. A formação de M-S-H, fase extremamente porosa, causa perda das propriedades ligantes (BATTAGIN,1990). Paralelamente, o magnésio substitui o cálcio da portlandita Ca(OH)_2 , formando Mg(OH)_2 (brucita). Por essa razão, um dos elementos de diagnose de ataque do magnésio na pasta de cimento é a presença de silicatos hidratados de magnésio e brucita. A norma de metodologia prescrita pela ABNT NBR 12655: 2015 para determinação de íons magnésio é a UNE 83955:2008.

2.4 Por que limitar o CO_2 agressivo?

O dióxido de carbono (CO_2) agressivo corresponde ao dióxido de carbono dissolvido na água que, sob a forma de ácido carbônico (H_2CO_3), apresenta potencial para atacar o concreto. O ácido carbônico reage com a pasta de cimento ou até com os agregados, quando estes forem de origem calcária. É necessário enfatizar que o CO_2 total corresponde a somatória do CO_2 combi-

nado como carbonatos e bicarbonatos mais o CO_2 livre (ver Figura 3).

Existem, por sua vez, duas formas de CO_2 livre:

- ▶ CO_2 livre de equilíbrio da reação $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, que corresponde ao necessário para manter os bicarbonatos em solução;
- ▶ CO_2 livre agressivo.

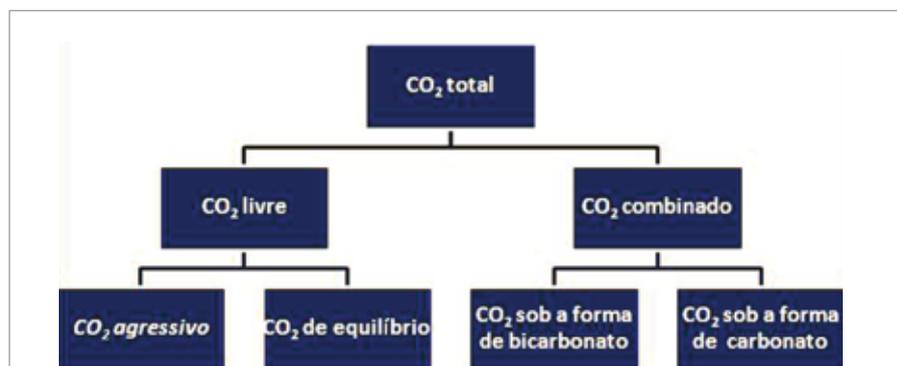
O dióxido de carbono agressivo representa o dióxido de carbono livre em excesso em relação ao dióxido de carbono em equilíbrio, disponível para formar ácido carbônico, sendo responsável pela dissolução do carbonato, daí o nome de dióxido de carbono agressivo.

Ao contrário, se o teor de dióxido de carbono livre for inferior ao teor de dióxido de carbono de equilíbrio, há precipitação de carbonato. Neste caso, a água é incrustante, ao contrário do caso anterior, em que é dissolvente (CINCOTTO, 1995). Daí a importância de adotar uma metodologia adequada para a determinação do dióxido de carbono agressivo. Não existe norma brasileira de determinação do dióxido de carbono agressivo, sendo que o meio técnico recorre à norma espanhola UNE 13577:2007, que é a prescrita pela ABNT NBR 12655: 2015.

Por fim, é necessário esclarecer que o dióxido de carbono agressivo está geralmente presente apenas em águas naturais puras. Como as águas geralmente contêm sais dissolvidos, a presença de carbonato de cálcio é suficiente para combinar com o dióxido de carbono, formando bicarbonato de cálcio, que, ao contrário do CO_2 agressivo, não é danoso ao concreto.

2.5 Por que limitar o Amônio?

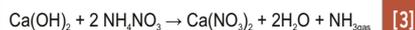
Os íons NH_4^+ são considerados raros em águas subterrâneas, a menos que se tratem de interação destas com solos contaminados por resíduos industriais ou em caso mais específico de atividades ligadas ao uso de fertilizantes em agricultura (BRE, 2015). Por esse motivo análises rotineiras para definir o grau de agressividade de águas e solos são raramente realizadas quanto aos íons NH_4^+ , embora a normalização nacional e internacional preveja essa possibilidade. Os sais de amônio atuam como agentes de troca catiônica com o cálcio, transformando os produtos cálcicos insolúveis da hidratação da pasta endurecida de cimento em sais de cálcio solúveis que são lixiviados pela água (CETESB,1988). Simultaneamente há desprendimento de gás amônia que resulta num aumento da porosidade do concreto, deixando-o vulnerável a outros ataques. Os sais de amônio comportam-se como ácidos fracos e colaboram para atacar a pasta endurecida, removendo o hidróxido de cálcio, embora numa taxa lenta. Não se deve negligenciar a presença de sulfato de amônio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) em ambientes sujeitos a derramamento de fertilizantes, pois é considerado um dos agentes mais agressivos ao concreto, sendo que esse ataque pode ser duplo pelos



▶ **Figura 3**

Esquema dos tipos de CO_2 em água em contato com estruturas de concreto

íons NH_4^+ e pelos íons SO_4^{2-} . Outros sais de amônio como os nitratos, cloretos, acetatos e fosfatos são também agressivos. Por exemplo, o nitrato de amônio, também presente nos fertilizantes, apresenta a seguinte reação:



Forma-se nitrato de cálcio muito solúvel e simultaneamente com desprendimento gasoso de amônia. A redução da basicidade devida ao desprendimento de amônia impede a reação de atingir seu equilíbrio. Como consequência ocorre lixiviação progressiva da cal da portlandita e do C-S-H, comprometendo as propriedades mecânicas do concreto. O mesmo ocorre com cloreto de amônio, formando cloreto de cálcio muito solúvel e com mecanismo de degradação similar. A norma de metodologia prescrita pela ABNT NBR 12655:2015 para determinação de amônio é a norma espanhola UNE 83954:2008.

2.6 Por que limitar os Álcalis?

A reação álcali-agregado é uma das reações químicas indesejáveis que podem ocorrer no concreto, ao contrário das reações de hidratação do cimento, que sempre ocorrem e que levam a formação dos silicatos cálcicos hidratados, responsáveis pelas suas características ligantes de desenvolver resistência, mesmo embaixo d'água.

A reação álcali-agregado envolve os hidróxidos alcalinos, normalmente derivados dos álcalis presentes no cimento anidro usado no concreto, e fases reativas de sílica presentes no agregado. Essa reação química, de natureza muito lenta (chega a demorar até 10-15 anos para se manifestar) também requer



► **Figura 4**

Formação de gel esbranquiçado compacto como produto da reação álcali-agregado. Observação sob microscópio estereoscópico, ampliação 25 x (crédito: Ana Livia Silveira, ABCP)

água para que possa produzir o gel de silicato alcalino que aumenta de volume com a absorção de umidade (ver Figura 4). A quantidade de gel formada e as pressões exercidas são muito variáveis, dependendo da temperatura ambiente, tipo e proporções dos materiais, composição do gel e de outros fatores. As pressões são suficientemente elevadas para induzir o desenvolvimento e propagação de microfissuras no concreto que, por sua vez, podem conduzir a sua expansão e mesmo rompimento do concreto nas regiões afetadas.

Os principais efeitos deletérios da reação álcali-agregado são a expansão e fissuração, com consequente desalinhamento de elementos estruturais, fragmentação da superfície com formação de "pop-outs" e a presença do gel nas fraturas, que garante a continuidade da patologia (ver Figura 5)

A fonte principal de álcalis está no cimento, mas compostos alcalinos po-

dem ser provenientes das adições, dos agregados, da água de amassamento e, para o que mais interessa neste caso, do meio aquoso em contato com o concreto (BATTAGIN et al., 2009).

A norma ABNT NBR 12655:2015, quando faz referência aos álcalis, estabelece que devem ser obedecidos os requisitos da ABNT NBR 15577-1:2008. Esta norma, por sua vez, estabelece a realização de análise de risco da ocorrência da reação álcali-agregado e, para o caso de fundações de concreto em contato com água, a ação preventiva a ser aplicada deve ser sempre a forte. Esse fato implica que se o agregado for potencialmente reativo há necessidade de tomada de medidas de mitigação de possível expansão.

As medidas de mitigação para ação preventiva forte estão bem estabelecidas e incluem a necessidade de utilização de materiais inibidores da reação álcali-agregado, dentre os quais se





► **Figura 5**

Bloco de fundação com fissuras (salientadas por giz) de edifício no Recife, PE decorrentes da reação álcali-agregado. Uma das fontes de álcalis é a água salobra do lençol freático (Crédito: autor)

destacam os cimentos CPIII e CPIV, ou a substituição parcial do cimento por materiais pozolânicos, como sílica ativa e metacaulim. Pode se defrontar com situações em que esses materiais não estejam disponíveis, então uma apreciação do teor de álcalis no concreto, com aporte de todos seus componentes, deve ser apreciado. Nesse caso não deve ser negligenciada a análise da água subterrânea em contato com o elemento de concreto. Sódio e potássio são en-

contrados nas águas e solos, principalmente sob a forma de sulfatos e, por serem muito solúveis, podem estar disponíveis para o ataque por sulfatos e também para a reação com os agregados álcali-reativos do concreto, fato que exige projetar o concreto com determinadas propriedades, para aumentar a sua durabilidade, assunto a seguir tratado no item 3.

3. CARACTERÍSTICAS RECOMENDADAS PARA O CONCRETO EM FUNÇÃO DA CLASSE DE AGRESSIVIDADE

A ABNT NBR6118: 2014 – Projeto de estruturas de Concreto prevê critérios para o estabelecimento da classificação da agressividade do meio, em função do tipo de ambiente, por exemplo, rural, atmosfera urbana, ambiente industrial, zona de influência de marés, etc. Em função da classe de agressividade do ambiente são estabelecidos requisitos mínimos para cobrimentos das armaduras, bem como classes mínimas de resistência estrutural. Isso se deve ao fato de que ABNT NBR 6118: 2014 preconiza que, quando atendidos os critérios estabelecidos pelo projeto, a durabilidade das estruturas é diretamente dependente das características do concreto. Adicionalmente, a ABNT NBR 12655:

2015 preconiza consumos mínimos de cimento, também em função do grau de agressividade do ambiente. Especificamente para estruturas enterradas de concreto, somente em sua versão de 2015, a ABNT NBR 12655 começou a abordar o tema de maneira mais ampla, antes restrito à influência dos sulfatos apenas. De fato, o concreto, quando em contato com águas e solos com certas características, também deve apresentar determinadas propriedades, entre elas as decorrentes da relação água/cimento e da resistência característica à compressão (f_{ck}). Essas características impostas ao concreto são função da condição de agressividade do meio com vistas a aumentar a sua durabilidade e vida útil.

A Tabela 4, compilação de procedimentos e normas internacionais e adaptação da norma ABNT NBR 12655:2015, mostra algumas propriedades recomendadas para estruturas enterradas de concretos em função dos níveis de agressividade ambiental, como medidas preventivas para evitar a deterioração precoce das estruturas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Determinados compostos químicos presentes em solos e águas subterrâneas quando em contato com

► **Tabela 4 – Características recomendadas para concreto armado exposto a soluções aquosas agressivas**

Grau de agressividade	ABNT NBR 12655		Norma Europeia EN-206			
	Máxima relação água/cimento	Mínimo f_{ck} MPa	Máxima relação água/cimento	Mínimo f_{ck} MPa	Consumo mínimo de cimento	Penetração máxima de água (mm) (*)
Fraca	0,65	20	0,50	30	325	50
Moderada	0,50	35	0,50	35	350	50
Severa	0,45	40	0,45	35	350	30

(*) Requisito da versão espanhola da EN 206-1 (MUNÖZ SALINAS et al, 2012)

estruturas de concreto podem ser agressivos e resultar em deterioração precoce dessas estruturas, com perda de sua vida útil.

A prevenção dessas manifestações patológicas deve proceder por ações já na fase projeto. Normas internacio-

nais e, particularmente a ABNT NBR 12655: 2015, estabelecem critérios para classificar o grau de agressividade a que as estruturas enterradas estão sujeitas, bem como impõem requisitos mínimos para o concreto para a garantia da durabilidade.

O tema assume importância crescente, tendo em vista a ocorrência cada vez maior de águas subterrâneas e solos contaminados, principalmente em ambientes urbanos que experimentaram mudanças de ocupação. ➤

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 201.2R Guide to Durable Concrete, reported by ACI Committee 201. 2008. p. 1-53.
- [02] BATTAGIN, I.L.S. et al. A norma técnica brasileira de reação álcali-agregado faz seu primeiro aniversário. Concreto & Construções, v 54, abril- junho 2009, IBRACON. São Paulo.
- [03] BAKKER, R.F.M. About the case of resistance of blastfurnace cement concrete to the alkali silica reaction-In: International conference on alkali aggregate reaction in concrete, 5th cape town, south africa, 1981
- [04] BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. BRE Special Digest 1 – Concrete in Agressive Ground. Third edition, London. 2005.
- [05] SCADEILLAS, G. et HORNAIN, H. La durabilité des betons vis-a-vis des environnements chimiquement agressifs. In Olivier, J.P. et Vichot, A. La Durabilité des Bétons, Presses Pont et Chaussées, cap.11 2ª Ed., 2008
- [06] COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. CETESB L1.007 – Determinação do grau de agressividade do meio aquoso ao concreto – Procedimento. São Paulo. 1988
- [07] CINCOTTO, M. A. - Avaliação do grau de agressividade do meio aquoso em contato com o concreto. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. IPT: 2332. São Paulo. 1995.
- [08] BATTAGIN, A.F. Contribuição ao conhecimento das propriedades do Cimento Portland de Alto Forno. ESTUDO TECNICO 90, ABCP, SÃO PAULO, 1990.
- [09] SALINAS, F. M.; ESCOBEDO, C. J. M. La durabilidad en las estructuras de concreto reforzado desde la perspectiva de la norma española para estructuras de concreto. IMCYC: Concreto y Cemento, v. 4, nº 1, p. 63-86. México. 2012.



Revista CONCRETO & Construções

A revista CONCRETO & Construções é o veículo impresso oficial do IBRACON.

De caráter científico, tecnológico e informativo, a publicação traz artigos, entrevistas, reportagens e notícias de interesse para o setor construtivo e para a rede de ensino e pesquisa em arquitetura, engenharia civil e tecnologia.

Distribuída em todo território nacional aos profissionais em cargos de decisão, a revista é a plataforma ideal para a divulgação dos produtos e serviços que sua empresa tem a oferecer ao mercado construtivo.

PARA ANUNCIAR

Tel. 11- 3735-0202

arlene@ibracon.org.br

Periodicidade	Trimestral
Número de páginas	104 (mínimo)
Formato	21 x 28 cm
Papel	Couché 115 g
Capa plastificada	Couché 180 g
Acabamento	Lombada quadrada colada
Tiragem	5.500 exemplares
Distribuição	Circulação controlada, auditada pelo IVC

Consulte o perfil dos profissionais e o ramo de atuação das empresas do mailing:
www.ibracon.org.br (link "Publicações")



Formatos e investimentos

Formato	Dimensões	R\$
2ª Capa + Página 3	42,0 x 28,0 cm	9.650,00
Página Dupla	42,0 x 28,0 cm	8.550,00
4ª Capa	21,0 x 28,0 cm	6.530,00
2ª, 3ª Capa ou Página 3	21,0 x 28,0 cm	6.290,00
1 Página	21,0 x 28,0 cm	5.860,00
2/3 de Página Vertical	14,0 x 28,0 cm	4.390,00
1/2 Página Horizontal	21,0 x 14,0 cm	3.190,00
1/2 Página Vertical	10,5 x 28,0 cm	3.190,00
1/3 Página Horizontal	21,0 x 9,0 cm	2.750,00
1/3 Página Vertical	7,0 x 28,0 cm	2.750,00
1/4 Página Vertical	10,5 x 14,0 cm	2.380,00
Encarte	Sob consulta	Sob consulta

Durabilidade de armaduras enterradas sob processo de corrosão natural

CARLOS EDUARDO TINO BALESTRA – ENGENHEIRO MSc

MARYANGELA GEIMBA DE LIMA – PROFESSORA DOUTORA

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM INFRAESTRUTURA AERONÁUTICA,
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

RONALDO ALVES DE MEDEIROS-JUNIOR – PROFESSOR DOUTOR

DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÃO CIVIL, UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

I. INTRODUÇÃO

O emprego de armaduras no concreto, dando origem ao compósito denominado concreto armado, possibilitou superar a limitação daquele como material prioritariamente resistente à compressão, permitindo a construção de estruturas mais esbeltas e capazes de vencer vãos maiores graças ao melhoramento das propriedades mecânicas, garantindo, assim, a difusão de seu uso em diversos segmentos da construção civil, abrangendo desde obras de uso residencial até obras de infraestrutura. Todavia, problemas relacionados à corrosão das armaduras são observados com uma alta frequência, sendo uma das principais causas de degradação em estruturas de concreto armado, envolvendo aportes financeiros significativos para a reabilitação das mesmas.

O pH da solução presente nos poros do concreto propicia condições à estabilidade de um filme de passivação que reveste as armaduras no interior do concreto, protegendo-as frente à corrosão, porém agentes externos, como cloretos



Armaduras de espera das fundações da Ala Zero do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), em São José dos Campos

e o dióxido de carbono presentes no ambiente, penetram através da camada de cobertura do concreto atingindo a região das armaduras e destruindo este filme, criando condições para o desencadeamento de um processo corrosivo delas, havendo, conseqüentemente, a formação de produtos de corrosão de caráter expansivo. Estes produtos de corrosão depositam-se no entorno das

armaduras exercendo tensões radiais ao eixo das barras, que não são suportadas pela limitada deformação plástica do concreto, levando, assim, à fissuração e posterior destacamento da camada de cobertura.

A corrosão das armaduras não apenas gera um impacto visual pela formação de fissuras, destacamento do revestimento e aparecimento de manchas nas

superfícies das estruturas, mas também acaba levando a uma perda do monolitismo entre a armadura e o concreto e a uma redução da capacidade portante das estruturas, devido à redução da seção transversal das armaduras com a concentração de tensões nestes pontos, que, em casos extremos e de avançada degradação, podem levar ao colapso repentino delas.

Embora haja um número expressivo de pesquisas sobre a corrosão das armaduras, pouco enfoque é dado à corrosão de armaduras em estruturas de concreto que permanecem em contato direto com o solo, como no caso das fundações, reservatórios enterrados ou semienterrados, estruturas de cascas de túneis e outras, fato este possivelmente relacionado às dificuldades de acesso, inspeção e manutenção dessas estruturas. A falta de planos de monitoramento, aliada a uma lacuna de conhecimento sobre o estado de degradação deste tipo de estrutura, pode comprometer seu desempenho, com consequente redução de vida útil.

Desta forma, o presente trabalho visa contribuir no âmbito da discussão sobre a durabilidade de armaduras extraídas de um bloco de fundação, executado em concreto armado, e de armaduras de espera que permaneceram em contato direto com o solo por 60 anos, sendo corroidas naturalmente. Assim, serão discutidos resultados referentes à agressividade do solo como meio corrosivo, à verificação da proteção química oferecida pela solução dos poros do concreto às armaduras no bloco de fundação, às tipologias, velocidades e grau de corrosão das armaduras de espera, e uma análise da resistência ao escoamento das armaduras de espera segundo seu grau de corrosão por meio de ensaios de tração.



Detalhe da fundação

Os materiais utilizados nesta pesquisa são provenientes de um antigo conjunto de fundações da denominada Ala Zero do Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, em São José dos Campos. As fundações destas edificações eram compostas por estacas, blocos de fundação e armaduras de espera, que foram executadas na década de 50, porém, devido à impossibilidade de continuar as obras na época, essas armaduras permaneceram enterradas por um período de 60 anos. No ano de 2008, este conjunto de fundações foi desenterrado para avaliar a possibilidade de seu uso na retomada das obras, porém, devido ao estado de degradação destes elementos, essa possibilidade foi descartada e novas fundações foram executadas para a continuidade das obras, sendo as armaduras de espera e as armaduras de um dos blocos de fundação coletadas para pesquisas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Avaliação da agressividade do solo por meio da resistividade

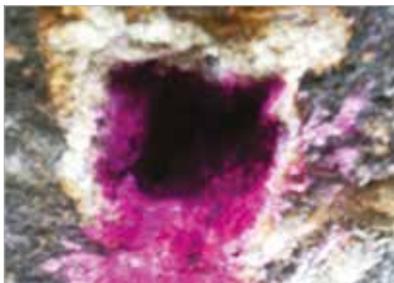
O solo é reconhecidamente um dos principais e mais complexos meios corrosivos, tendo em vista a atuação de diversos fatores, como a resistividade, pH, atividade de microrganismos, umidade, aeração, entre outros. Sob esta perspectiva, a resistividade do solo é apresentada na literatura como uma alternativa para avaliar a corrosão de metais em contato direto com o solo. Desta forma, a Tabela 1 apresenta os valores de resistividade e sua correlação com a agressividade do solo segundo *National Association of Corrosion Engineers – NACE (2014)*, sendo estes os critérios utilizados nesta pesquisa.

Para avaliar a resistividade do solo foi utilizado um terrômetro analógico, sendo escolhidos cinco pontos na área

▶ Tabela 1 – Agressividade do solo segundo sua resistividade (NACE, 2014)

Resistividade do solo ($\Omega \cdot \text{cm}$)	Índice de agressividade
>20000	Essencialmente não corrosivo
10000 a 20000	Moderadamente agressivo
5000 a 10000	Moderadamente corrosivo
3000 a 5000	Corrosivo
1000 a 3000	Altamente corrosivo
< 1000	Extremamente corrosivo





► **Figura 1**
Verificação da alcalinidade que envolve as armaduras no bloco de fundação

onde as fundações estavam presentes (R1-R5) em função do tamanho da área. Foram feitas duas medidas em cada um dos pontos, variando a distância das estacas do terrômetro em 5 e 10 metros.

2.2 Armaduras do Bloco de Fundação

As armaduras tomadas dos blocos de fundação visaram à obtenção de corpos de prova para o ensaio de tração, cujas propriedades mecânicas fossem utilizadas como parâmetro referencial para comparações junto às propriedades mecânicas obtidas a partir das armaduras de espera corroídas naturalmente pelo solo. Esta premissa surge tendo em vista a proteção química oferecida pela solução alcalina presente nos poros do concreto, que propiciam a formação do filme de passivação que reveste a armadura. Com o objetivo de validar esta hipótese, uma solução de Fenolftaleína foi preparada e pulverizada sobre o concreto recém-fraturado no ato da extração das armaduras do bloco de fundação, segundo prescreve a recomendação da EN-14630 (2006).

A coloração rosa/carmim observada imediatamente após a pulverização da solução é mostrada na Figura 1, atestando que o concreto do bloco de

fundação mostrou-se como um meio protetor às armaduras frente à corrosão sob uma perspectiva da alcalinidade, permitindo, assim, utilizar as propriedades mecânicas dos corpos de prova tomados a partir destas armaduras como referência.

Das armaduras presentes no bloco de fundação foram extraídos cinco corpos de prova (BL1 – BL5) com diâmetro original de 15,88 mm, aptos ao ensaio de tração.

2.3 Armaduras de espera

A tipologia, a velocidade e o grau de corrosão das armaduras de espera foram avaliadas a partir de corpos de prova extraídos delas. Neste caso, foram analisados vinte corpos de prova com diâmetro original de 15,88 mm segundo os projetos originais de fundação (PB1- PB20). Estes corpos de prova foram primeiro submetidos a um procedimento de decapagem química segundo a Norma ASTM G1 (2003), para a remoção dos produtos de corrosão aderidos à sua superfície. Após isso, micrografias com aumento de 10x foram obtidas com um microscópio digital visando detectar a presença de corrosão por pites ao longo deles.

Para a determinação da velocidade de corrosão, a menor seção transversal dos corpos de prova foi medida com uso de um micrômetro dotado de ponteiras cônicas com precisão de 0,004 mm, sendo feitas, no mínimo, trinta medidas ao longo do comprimento dos corpos de prova. A velocidade de corrosão foi calculada através da Equação 1, sendo V_{corr} a velocidade de corrosão (mm/ano), DC_x a menor seção transversal da barra (mm) e n o número de anos em que a armadura permaneceu enterrada (igual a 60 anos). Segundo CEMCO (2001), um valor aci-

ma de 0,01 mm/ano indica uma alta taxa de corrosão.

$$V_{corr} = \frac{\left(\frac{DC_x}{2}\right)}{n} \quad [1]$$

O grau de corrosão dos corpos de prova (G_c) foi determinado através da Equação 2, onde M_0 corresponde a massa do corpo de prova não corroído e M_c , à massa do corpo de prova corroído. A massa M_0 foi calculada segundo o produto entre o diâmetro original das barras, obtido através do projeto das antigas fundações ($\varphi = 15,88$ mm), o peso específico das barras, definido pelas normas da época como $7,850 \times 10^{-6}$ kg/mm³ (NB1, 1940*), e o comprimento dos corpos de prova em milímetros. A massa M_c foi obtida diretamente através da pesagem dos corpos de prova em uma balança com precisão de 0,01 gramas.

$$G_c (\%) = \frac{M_0 - M_c}{M_c} * 100 \quad [2]$$

2.4 Ensaio de tração

Os corpos de prova foram submetidos a um ensaio de tração em uma máquina universal com capacidade de 20000 kgf. Os resultados de resistência ao escoamento foram analisados, sendo que o valor médio obtido dos corpos de prova provenientes das armaduras presentes no bloco de fundação foi utilizado como referência para fins comparativos com as propriedades dos corpos de prova das armaduras de espera, conforme justificativa já discutida.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

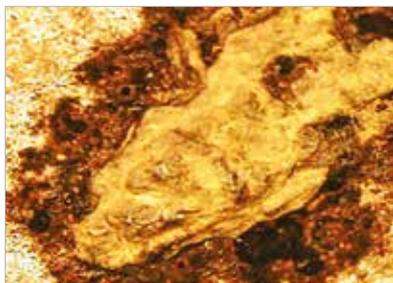
3.1 Resistividade do solo

Os valores de resistividade do solo

variaram de 24.300 à 100.000 Ohm.cm em todos os pontos. Foi observado que, mesmo dobrando a distância entre as estacas de medição, os valores de resistividade apresentaram uma variação inferior a 5%, sendo que os valores obtidos são superiores aos valores propostos pela NACE (2014), caracterizando o solo como essencialmente não agressivo em todos os pontos determinados, representando que o solo local apresenta boa resistência ao fluxo iônico. Assim, como o solo local foi caracterizado como essencialmente não corrosivo pelo critério proposto, era esperado que as armaduras de espera não apresentassem um estágio de corrosão acentuado.

3.2 Tipologias de corrosão verificadas nas armaduras de espera

Por meio das micrografias foi possível observar a presença de pites em todos os corpos de prova obtidos das armaduras de espera, conforme observado pela Figura 2. Os pites tem como características produzir pequenas variações de massa, porém danos consideráveis às seções transversais das barras, com decréscimos significativos das propriedades mecânicas delas. Neste



► **Figura 2**
Exemplo de pite observado na superfície das barras – aumento de 10x



► **Figura 3**
Formação de produtos de corrosão de coloração distinta sobre a superfície das armaduras

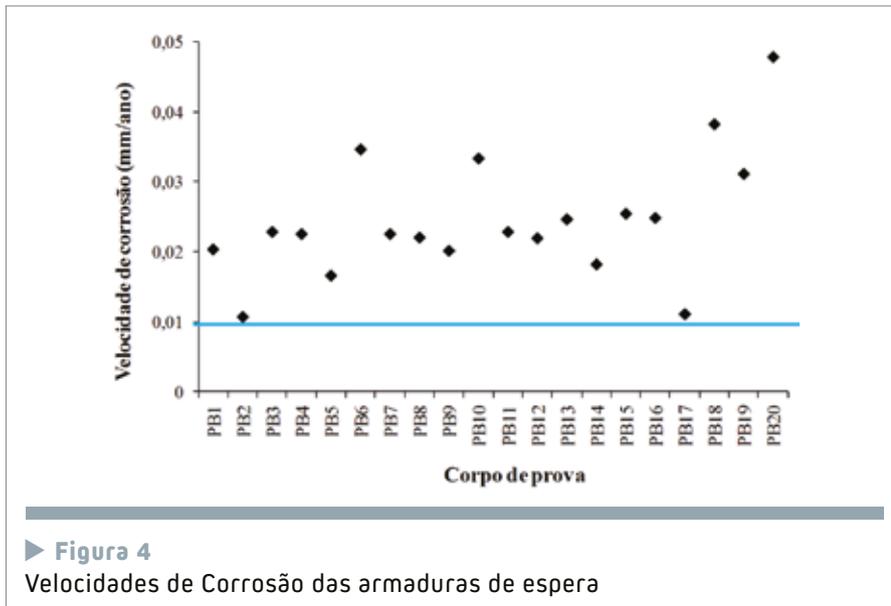
sentido, os pites produzem excentricidades entre o eixo da seção transversal original da barra e o eixo da seção corroída por pites, sendo que, quanto maior esta excentricidade, maior o impacto sobre as propriedades mecânicas das armaduras. Portanto, embora pequenas variações de massa possam ser verificadas, os pites causam um grave impacto à durabilidade das estruturas de concreto armado, com a conseqüente redução de seu desempenho e vida útil.

As armaduras de espera apresentaram diferentes produtos de corrosão aderidos à sua superfície conforme observado na Figura 3. Neste caso, a coloração apresentada pelos produtos de corrosão está associada à formação de um determinado tipo de óxido, sendo que colorações mais escuras indicam condições de baixa aeração na formação dos óxidos e colorações que tendem ao avermelhado/alaranjado indicam condições de boa aeração. Isto demonstra que, mesmo presentes em um mesmo meio corrosivo, diferentes condições de aeração podem levar à formação de diferentes produtos de corrosão; dessa forma, o microambiente também pode ser um fator importante para contribuir com a durabilidade de armaduras enterradas. A determinação química dos produtos de corrosão encontrados não faz parte do objetivo deste artigo; portanto, a análise aqui realizada é qualitativa, baseada nas colorações observadas.

3.3 Velocidades de corrosão

As velocidades de corrosão dos corpos de prova são apresentadas na Figura 4, onde é possível observar altas velocidades de corrosão segundo o critério do CEMCO (2001).

As velocidades observadas demonstram que, mesmo o solo sendo caracterizado como essencialmente não corrosivo pelo critério da resistividade, uma alta taxa de corrosão das armaduras de espera foi observada ao longo do período em que estas permaneceram enterradas. Tal fato pode estar associado a duas hipóteses. (1) A classificação da agressividade do solo. Neste caso, uma classificação unicamente pelo critério da resistividade pode ser insuficiente, uma vez que a ação de outros fatores não é levada em consideração, assim como uma análise pontual do microambiente onde as fundações estão presentes, ou, por outro lado, a classificação proposta pelo CEMCO (2001) apresenta-se com valores restritivos. (2) A presença dos pites observada nas barras tem sua formação associada a fontes externas de íons cloreto. Neste caso, deve ser pontuado que o entorno da área onde as antigas fundações estavam presentes apresentam edificações construídas; assim, o uso e descarte no solo de materiais de limpeza a base de cloro denota uma potencial fonte externa de íons cloreto que contribui para o surgimento dos pites. Os íons cloreto são responsáveis



► **Figura 4**
Velocidades de Corrosão das armaduras de espera

por reduzir drasticamente a vida útil de estruturas de concreto armado devido à corrosão localizada nas armaduras.

3.4 Propriedades mecânicas e grau de corrosão dos corpos de prova

O valor médio correspondente à resistência ao escoamento dos corpos de prova tomados como referência foi de 262 MPa. As relações entre o grau de corrosão e a resistência ao escoamento dos corpos de prova provenientes das armaduras de espera é apresentada na Figura 5.

De acordo com a Figura 5, é possível observar que mesmo corpos de prova com grau de corrosão de até 7% apresentam valores de resistência ao escoamento equiparáveis ao valor médio observado nos corpos de prova de referência, fornecendo, assim, um possível indicativo a respeito de um grau de corrosão tolerável, onde a variação das propriedades mecânicas das armaduras corroídas não foi muito diferente em relação às propriedades mecânicas das armaduras de referência.

Por outro lado, é possível observar que, a partir de um grau de corro-

são de 12%, há uma tendência geral de decréscimo das propriedades mecânicas, com uma redução maior em valores resistentes à medida que o grau de corrosão atinge 25%, indicando, assim, que a partir de um grau de corrosão da ordem de 12% há uma aceleração progressiva no decréscimo das propriedades mecânicas de barras submetidas à tração.

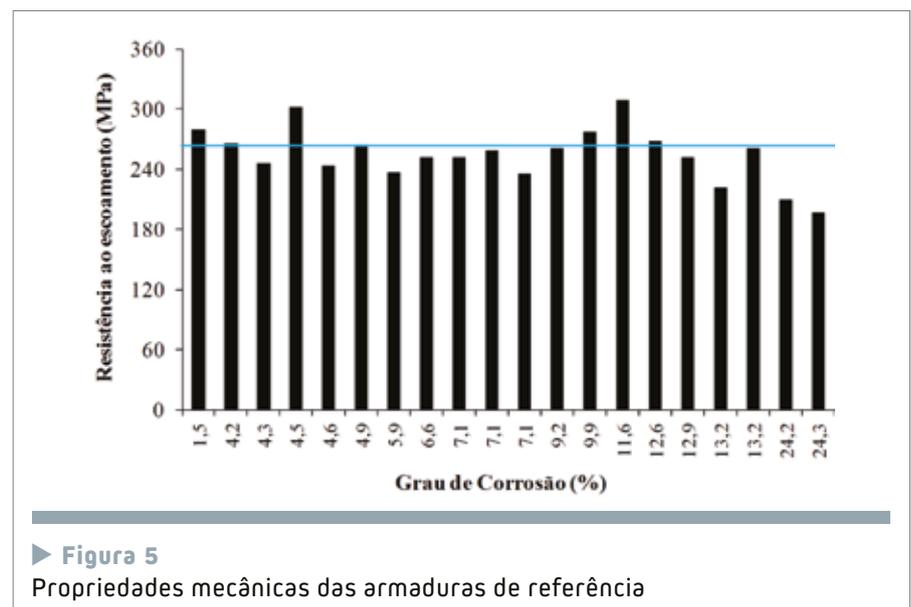
Deve ser ressaltado que trata-se de um conjunto de corpos de prova limitado para o estabelecimento de um grau de corrosão tolerável para as armadu-

ras, entretanto, a possibilidade de avaliação de propriedades mecânicas de corpos de prova corroídos naturalmente por décadas se mostra como uma oportunidade ímpar de estudo, sendo necessários mais pesquisas nesta área para validação de um valor tolerável.

4, CONCLUSÕES

Foram discutidos neste artigo aspectos a respeito da agressividade do solo como meio corrosivo, além das tipologias de corrosão e seus efeitos sobre as propriedades mecânicas de armaduras de espera corroídas naturalmente por um período de 60 anos. As principais conclusões apresentadas são:

- Mesmo com medidas de resistividade do solo superiores aos níveis recomendados, altas velocidades de corrosão foram evidenciadas nas armaduras de espera. Tal fato pode estar associado a: (1) sinergia de diversos fatores atuando em conjunto, demonstrando que classificar o solo unicamente segundo o critério da resistividade pode ser insuficiente, ou ainda que o limite proposto para determinar a alta velocidade de corrosão assumido neste artigo é muito



► **Figura 5**
Propriedades mecânicas das armaduras de referência

restritivo; (2) fontes externas de íons cloretos, capazes de desencadear um processo corrosivo nas armaduras, foram preponderantes;

- ▶ As micrografias obtidas indicaram a presença de pites notáveis nos corpos de prova, possíveis de serem observados com aumento microscópico de 10x. A presença de pites gera pequenas variações de massa nas barras, conforme verificado na maioria das barras que apresentaram um

grau de corrosão da ordem de 5%; além disso, as diferentes tonalidades de cor dos produtos de corrosão observados indicam condições de boa e má aeração no solo do local;

- ▶ Armaduras com grau de corrosão de até 7% apresentaram resistência ao escoamento equiparável à resistência ao escoamento média apresentada por corpos de prova de referência (não corroídos), indicando um valor possível que represente um

grau de corrosão tolerável; por outro lado, um decréscimo progressivo das resistências medidas foi observada nos corpos de prova com grau de corrosão superior à 12%.

Finalmente, o grau de corrosão verificado em armaduras corroídas naturalmente aliado à dificuldade de inspeção em elementos estruturais enterrados elevam a importância deste tipo de investigação quanto aos impactos na vida útil e durabilidade deste tipo de estrutura. ◀

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM G1 – Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test, Pennsylvania, United States of America, 2003.
- [02] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT - NB-1 – Cálculo e execução de obras de concreto armado – Rio de Janeiro, 1940, 23p.
- [03] CEMCO – Durabilidad del Hormigón y Evaluacion de Estructuras Corroídas – Instituto de Ciências de la Construcción Eduardo Torroja, CSIC, 2001.
- [04] European Standards - EN 14630 - Products and systems for the protection and repair of concrete structures – test methods – determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method- Committee B/517/8, Brussels, 2006.
- [05] NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS - NACE – Soil Corrosion – Disponível em: <http://www.nace.org/StarterApps/Wiki/Wiki.aspx?wiki=141>; Acessado em 24 de setembro de 2014.

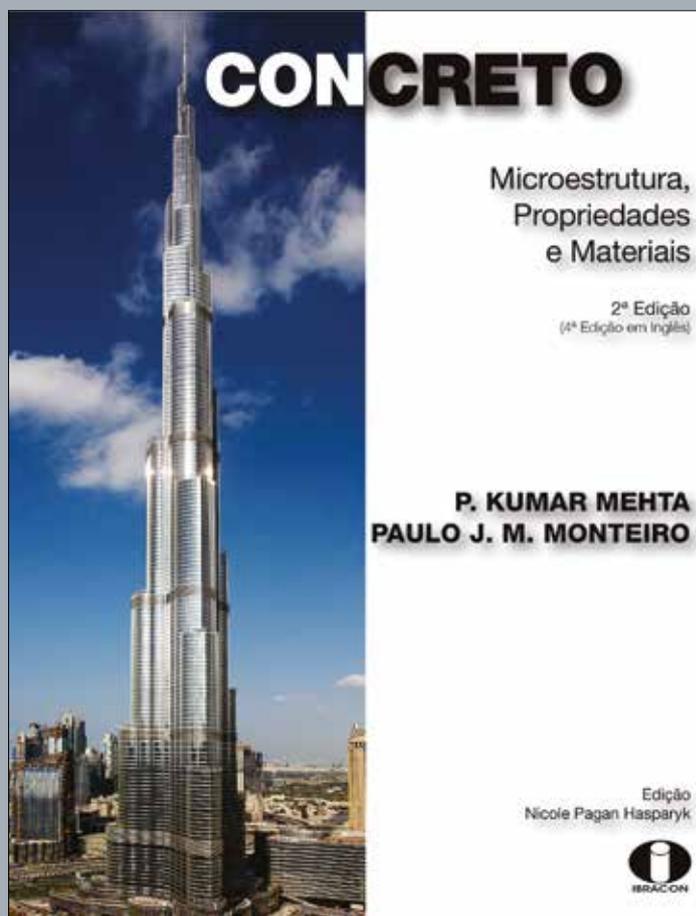
Livro

Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais

- **Autores** P. Kumar Mehta e Paulo J. M. Monteiro (Universidade da Califórnia em Berkeley)
- **Coordenadora da edição em português** Nicole Pagan Hasparyk (Eletrobras Furnas)
- **Editora** IBRACON
4ª edição (Inglês)
2ª edição (português)

Guia atualizado e didático sobre as propriedades, comportamento e tecnologia do concreto, a quarta edição do livro "Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais" foi amplamente revisada para trazer os últimos avanços sobre a tecnologia do concreto e para proporcionar em profundidade detalhes científicos sobre este material estrutural mais amplamente utilizado. Cada capítulo é iniciado com uma apresentação geral de seu tema e é finalizado com um teste de conhecimento e um guia para leituras suplementares.

→ **Informações:** www.ibracon.org.br



Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios

ELTON BAUER – PROFESSOR-DOUTOR

ELIER PAVÓN – DOUTORANDO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E
CONSTRUÇÃO CIVIL, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL, UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

I. INTRODUÇÃO

Cada vez mais é necessário empregar técnicas que permitam conhecer, identificar e avaliar os materiais empregados na construção civil. Quando é necessário investigar tanto a questão da durabilidade quanto dos estudos das manifestações patológicas, fazemos uso de técnicas, muitas vezes não destrutivas que nos permitem inferir sobre causas, comportamentos e anomalias, bem como identificar e mapear regiões de danos nas estruturas e nos demais sistemas dos edifícios (alvenarias, revestimentos, impermeabilização, dentre outros).

Entre os métodos não destrutivos, a termografia de infravermelho vem ao encontro da necessidade de estudos para estabelecer parâmetros e índices que contribuam com a realização de inspeções com diferentes finalidades, de forma rápida e mais eficiente.

Com a inspeção termográfica é possível localizar elementos estruturais, observar e delimitar fissuras e

regiões de umidade, identificar heterogeneidades superficiais, dentre outras aplicações. A inspeção é feita coletando-se imagens termográficas (distribuição das temperaturas sobre a superfície dos elementos, por exemplo, sobre a superfície da fachada), que pode ser feita a distâncias significativas (até 20 metros com equipamentos usuais), e de forma instantânea. Ou seja, a mensuração das temperaturas na imagem (termograma) é feita sem contato e em tempo real: o que ocorre no objeto alvo é observado na câmera termográfica [1] [2]. O conjunto de informações fornecidas por esta abordagem pode auxiliar na inspeção de edifícios e no diagnóstico e mapeamento de patologias, a partir da mensuração e identificação das diferenças de temperatura observadas na superfície dos elementos e componentes do edifício (o Delta-T é um dos critérios para identificar a existência de anomalias).

Embora essa técnica seja de uso consagrado na engenharia, na construção civil brasileira ainda ela é pouco

empregada, principalmente pelos elevados custos dos equipamentos. Para aplicação no estudo da degradação e das patologias dos elementos e materiais, ainda é necessário estabelecer um conjunto importante de critérios e padrões que permitam identificar as anomalias com segurança. Todavia, a técnica tem grande potencialidade, principalmente com técnica para identificação de anomalias principalmente pela agilidade e simplicidade na inspeção, possuindo um leque significativo de possíveis outras novas aplicações.

2. TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA

A termografia infravermelha emprega termovisores (câmeras infravermelhas), que coletam e medem a intensidade da radiação infravermelha emitida pela superfície dos objetos e a converte em sinais elétricos, os quais através de softwares apropriados permitem obter imagens térmicas [1]. Esta técnica, com base na análise do campo de temperaturas, permite identificar

anomalias internas aos materiais (defeitos), porque a presença de defeitos causa uma resistência térmica, influenciando o transporte de calor no material, que pode ser detectada na superfície [2]. A abordagem é similar ao que acontece no ensaio de ultrassom, onde a velocidade de onda muda pela presença de defeitos internos dentro do elemento. No caso da inspeção termográfica, os defeitos também causam uma perturbação, só que no fluxo de calor (entre o elemento e o meio ambiente). Essa perturbação gera pequenas diferenças de temperatura que são identificadas na superfície permitindo a identificação e análise das anomalias. Embora possam ser detectadas anomalias internas, a termografia de infravermelho é considerada, em geral, uma técnica superficial, já que as anomalias que podem ser facilmente identificadas são as que ficam próximas da superfície.

O resultado da medição termográfica é a distribuição da temperatura em um plano em tempo real (termograma). É necessário conhecer ou determinar vários parâmetros termográficos, os quais são tratados pelos algoritmos específicos do equipamento, de modo a se ter a adequada precisão das temperaturas apresentadas no termograma. Regiões com temperaturas diferentes em um termograma são resultado da presença de heterogeneidades na superfície ou perto dela ou resultado de ações recentes. Na figura 1, pode-se observar a diferença de temperatura gerada pelo impacto de um esclerômetro na superfície do concreto, em uma imagem feita instantes posteriores ao impacto. A energia de impacto eleva a temperatura do ponto instantaneamente em cerca de 5° C.

A termografia pode ser classificada em ativa ou passiva, de acordo com



► **Figura 1**

Diferenças de temperaturas geradas pelo impacto do esclerômetro em uma superfície de concreto

a metodologia de emprego da técnica. Considera-se termografia passiva quando existe um diferencial natural de temperatura entre a amostra (objeto alvo) e o meio no qual se encontra, ou seja, o caso onde não é utilizada uma estimulação térmica artificial para a detecção de anomalias. Já para a termografia ativa, um estímulo externo é indispensável para induzir os contrastes térmicos na amostra, capazes de identificar falhas ou defeitos [6]. Os estímulos térmicos empregados podem ser os pulsos, os ciclos de pulsos, os ciclos de calor, a vibro-termografia, entre outros.

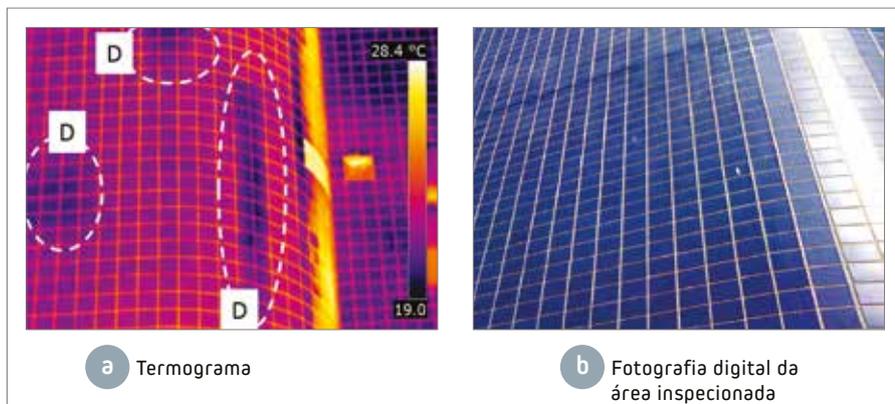
A obtenção e a correta interpretação dos termogramas vão depender da adequada aquisição da imagem pelo termografista e do conhecimento e mensuração das variáveis envolvidas nas medições termográficas. É necessário que as análises sejam feitas tendo uma base científica sólida sobre termografia.

As variáveis termográficas podem ser divididas em dois grupos: as que têm a ver com o equipamento e as relacionadas com o alvo. As variáveis relacionadas ao equipamento (foco, lente

e resolução geométrica) estabelecem o alcance das inspeções, definindo o tamanho das anomalias a serem analisadas e a distância a que pode ser feito o estudo (precisão da imagem). A mensuração das variáveis temperatura ambiente, umidade relativa, temperatura aparente refletida e emissividade (associadas ao alvo) vão permitir obter termogramas com os valores reais e precisos das temperaturas. Todas essas variáveis afetam em maior ou menor medida a qualidade dos resultados e a sua interpretação; por isso é de muita importância conhecer ou mensurar cada uma delas. Também é necessário que o termografista evite os problemas de reflexão e que respeite os ângulos limites de modo a não induzir erros no termograma.

3. APLICAÇÕES DA TERMOGRAFIA A PATOLOGIAS DE EDIFÍCIOS

A termografia passiva é utilizada em monitoramentos nas áreas de engenharia elétrica, metalúrgica, mecânica e de processos, além de ter aplicações na indústria médica e na segurança.



► **Figura 2**
Detecção de destacamentos em uma fachada com revestimento cerâmico com termografia infravermelha (termografia passiva)

Na engenharia civil, os principais estudos desenvolvidos com aplicação da termografia de infravermelho são os relativos à avaliação das características térmicas da envolvente de edifícios e a eficiência energética, e os relativos ao estudo de anomalias e manifestações patológicas em edificações. A identificação e quantificação de anomalias e manifestações patológicas em edificações com termografia é bem complexa, porque as diferenças de temperatura entre as zonas com e sem anomalias são relativamente pequenas, se comparadas com outras áreas da engenharia onde se estudam componentes e equipamentos que geram calor durante

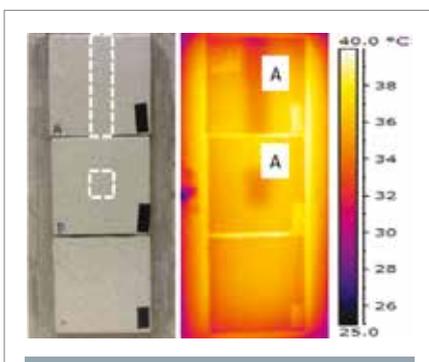
seu funcionamento. Um componente elétrico defeituoso que emite calor excessivo é muito facilmente detectável pela termografia.

Com a termografia infravermelha podem-se detectar somente anomalias associadas a modificações mensuráveis das características térmicas (fluxo de calor e temperaturas resultantes) e patologias com profundidades limitadas (próximas à superfície). Com base nessas características e limitações, têm sido estudadas diferentes incidências patológicas nas edificações, principalmente em fachadas. A figura 2 mostra como é possível detectar na imagem

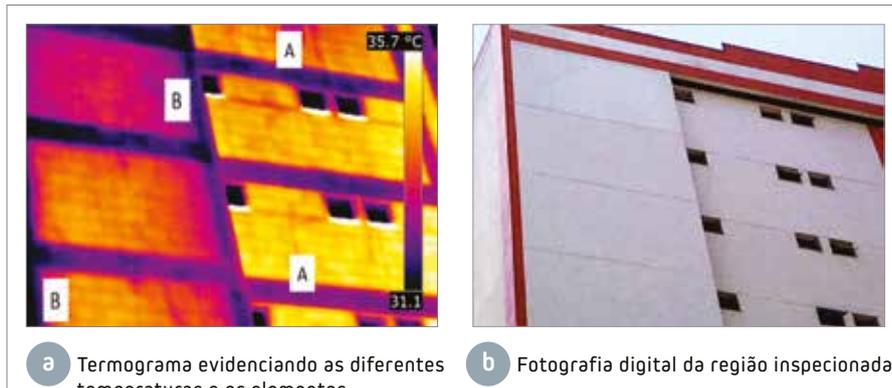
térmica de uma fachada com revestimento de placas cerâmicas, a presença de destacamentos (Fig 2-a) (D), não visíveis na inspeção visual (Fig 2-b). Essa inspeção foi efetuada à noite, com fluxo de calor reverso (da fachada para o ambiente), sendo a região destacada identificada por temperaturas mais baixas (mais escuras no termograma)

Em estudos de laboratório, onde são controladas cada uma das variáveis relacionadas com a técnica e com o defeito, comprovou-se que falhas de aderência ou ausência de argamassa por trás da cerâmica são facilmente identificáveis e quantificáveis com essa técnica (Bauer et al., 2015). Na figura 3, observa-se, em um estudo realizado em placa de argamassa revestida com cerâmica, como a ausência de material por trás da cerâmica (A) é identificável com precisão no termograma, quando a placa é aquecida artificialmente. Neste caso o fluxo de calor é da placa para o meio ambiente (fluxo reverso).

Os elementos estruturais de uma edificação, por ser geralmente de materiais diferentes da alvenaria, ou por ter inércia térmica diferente, são regiões facilmente identificáveis nos termogramas. Um exemplo de localização de elemen-



► **Figura 3**
Detecção da falta de argamassa por trás da cerâmica em placas de laboratório



► **Figura 4**
Identificação dos elementos estruturais de concreto com termografia infravermelha

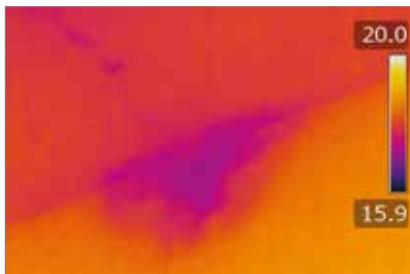


► **Figura 5**
Identificação e mapeamento de fissuras em fachadas com revestimento em argamassa e pintura

tos estruturais em uma fachada revestida com argamassa e pintada pode ser observado na figura 4. Note-se, neste caso, como são facilmente identificadas as vigas (A) e os pilares (B) que formam a estrutura porticada de concreto da edificação. Aparecem aqui como zonas mais frias na imagem térmica.

Para o caso de fachadas revestidas com argamassa e pintura, é possível identificar também outros tipos manifestações patológicas, como as fissuras. A figura 5 mostra a imagem térmica com a localização das fissuras (A) na fachada em um estudo de mapeamento de anomalias. Observa-se que, na inspeção visual, essas anomalias não são detectáveis (aspecto similar ao da figura 4(b)). Na análise da inspeção global efetuada, constatou-se que essa fissuração ocorreu na alvenaria, sendo as mesmas mapeadas pela inspeção termográfica.

Com a termografia infravermelha também podem ser detectados problemas de umidade em diferentes elementos da edificação. Isso ocorre porque a evaporação da água causa uma redução da temperatura superficial, sendo essa alteração captada no termograma. Note-se, na figura 6, que



► **Figura 6**
Avaliação de problemas de umidade no interior de uma edificação com termografia infravermelha

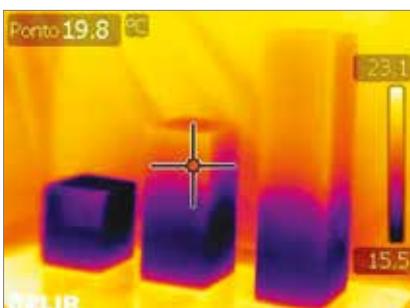
no termograma se conseguiu avaliar a magnitude do problema de umidade (A) na união entre a laje e a parede (cortina em concreto). As inspeção foi feita na face inferior de uma laje, no encontro com a cortina de concreto, em uma garagem em subsolo que apresentava problemas de infiltração na laje (falha da impermeabilização). A evaporação de água na superfície do objeto alvo (superfície de concreto) faz com que diminua a temperatura na superfície, sendo essa diferença de temperatura detectada no termograma.

Os problemas de umidade causados por capilaridade são detectados também com o uso da termografia infravermelha. Quando este problema é

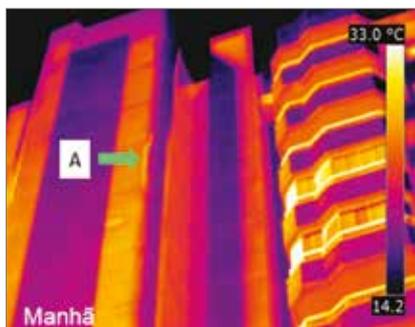
analisado com esta técnica, além de ser identificado, é possível definir sua magnitude. A figura 7 mostra um estudo de absorção de água por capilaridade (A) onde se define claramente a altura da franja de água no corpo de prova prismático. Note-se aqui que embora a franja seja relativamente visível na fotografia digital (o que nem sempre ocorre), no termograma ela passa a ser identificada e mensurada pela redução de temperatura superficial que a evaporação proporciona.

4. ERROS E DIFICULDADES NA APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA

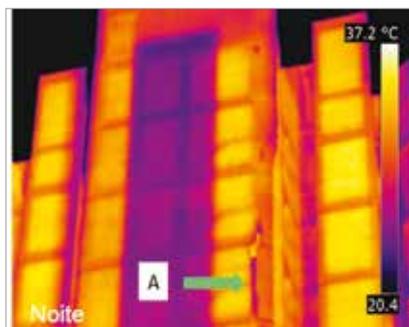
A aplicação da termografia infravermelha na detecção de patologias



► **Figura 7**
Avaliação da capilaridade em amostras de concreto celular



a Inspeção efetuada pela manhã



b Inspeção efetuada pela noite

► **Figura 8**

Visualização de um destacamento em diferentes horários do dia [5]

torna-se difícil e complexa pela grande quantidade de variáveis envolvidas no processo de inspeção e análise de resultados. As dificuldades e a não mensuração das principais variáveis levam a se cometer importantes erros, que podem conduzir a incorretas interpretações ou a diagnósticos equivocados. Uma das principais dificuldades na aplicação da termografia é a definição do momento do dia (ou da noite) para a realização da inspeção. Esta dificuldade é devida ao fluxo térmico, o qual não é controlado nas medições em campo (termografia passiva). A forma e o momento em que aparecerá o defeito dependerá do sentido e magnitude do fluxo de calor [3]. Na figura 8, mostram-se as imagens térmicas de uma fachada com presença de um destacamento na placa cerâmica. A imagem térmica da esquerda (Fig. 8-a)

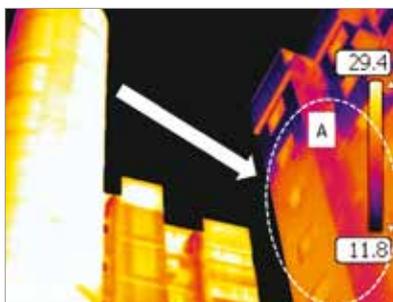
foi realizada no começo da manhã e a imagem térmica da direita (Fig. 8-b), no início da noite. Note-se que, na manhã, o mesmo defeito aparece como uma zona mais quente e, pela noite, como uma zona mais fria. O diagnóstico, portanto, não é evidente a partir de uma simples observação direta do termograma, mas da análise do fluxo térmico e da adequação de critérios para identificação das patologias [5]. Seguramente, entre os dois momentos das imagens da Figura 8 ocorre um momento em que o defeito não é identificável no termograma, ou seja, ele tem a mesma temperatura da região circunvizinha [3].

A reflexão é outra das dificuldades da termografia, principalmente nas medições em campo. Materiais e elementos de construção com acabamentos muito lisos e com brilho refletem a radiação infravermelha de outros corpos (edifícios vizinhos, veículos, instalações e redes elétricas, dentre outros), causando uma interpretação incorreta dos termogramas. Por isso, o termografista deve ser experiente para eleger cuidadosamente a posição da qual irá fazer a aquisição do termograma, para evitar as reflexões. Além disso, deve saber identificar na imagem térmica a ocorrência deste problema. Este problema nas avaliações de fachadas de edifícios (reflexão) é muito frequente, principal-

mente quando os estudos são feitos sobre uma forte incidência solar, podendo limitar a aplicação da técnica. Na figura 9, pode ser observada uma situação de grande reflexão em edifícios. Observa-se a reflexão da torre do prédio da esquerda (que não era objeto de análise) na imagem termográfica do prédio da direita (objeto alvo). Na região onde se identifica a reflexão (A), aparecem falsos valores de temperaturas no termograma, neste caso, superiores aos reais.

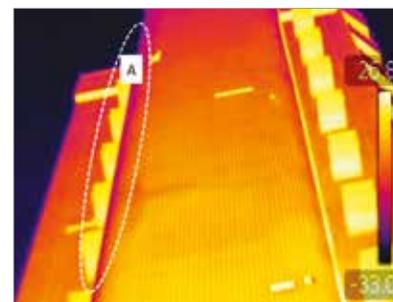
O ângulo e a geometria do alvo são outras dificuldades que se apresentam na realização das inspeções termográficas. Os valores de temperaturas em zonas com ângulo muitos altos (>45°) e superfícies arredondadas apresentam falsos valores de temperatura nos termogramas. Na figura 10, pode-se observar este problema. Note-se que o canto esquerdo da fachada tem forma arredondada e que o ângulo, no qual foi feita a imagem em relação à parte superior do edifício, é alto. Por esses motivos, os valores de temperatura nessa área (A) aparecem menores ao que realmente são.

Outra dificuldade nas inspeções termográficas é a presença de materiais e elementos de composição



► **Figura 9**

Problemas da reflexão em termogramas de fachadas de edifícios



► **Figura 10**

Problemas com o ângulo da aquisição do termograma e geometria do alvo

diferente (metais, polímeros, dentre outros) e também com textura superficial diferenciada na fachada (lisos, rugosos, polidos). Nestes casos, o valor da emissividade é diferente, obviamente em função da natureza de cada material, o que pode levar a incorretas interpretações dos termogramas caso não se busque corrigir essa informação na análise. Pela utilização de um único valor de emissividade na análise da imagem térmica, podem aparecer zonas quentes ou zonas frias geradas pelos erros na emissividade, tornando difícil a análises para a determinação de anomalias. Este problema pode ser observado na figura 11, correspondente à imagem térmica de uma fachada no horário da manhã, onde aparecem zonas muito quentes não reais, possivelmente geradas pelos menores valores de emissividades desses materiais (polímeros constituintes dos toldos na imagem).

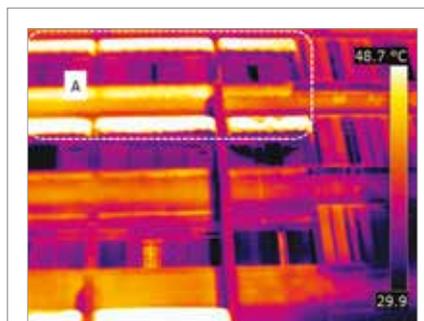
O ângulo, os diferentes tipos de materiais e a textura superficial causam alterações da emissividade, a qual é considerada uma das variáveis de maior importância na obtenção dos termogramas. Outras variáveis mensuráveis em campo, como a temperatura ambiente, a temperatura aparente refletida e a distância, quando desconsideradas ou somente es-

timadas, levam a erros significativos nos valores de temperatura e posterior interpretação dos termogramas. A utilização de valores incorretos desses parâmetros pode gerar grandes diferenças de temperatura comparadas com o valor real. Em estudos recentes foram quantificadas estas diferenças em revestimento com placas cerâmicas e revestimentos em argamassa [4], comprovando-se que os maiores erros aparecem quando são utilizados valores incorretos de emissividades e quanto maior for a temperatura média da superfície estudada.

5. CONCLUSÕES

Após a análise das potencialidades e limitações da termografia infravermelha aplicada ao estudo de manifestações patológicas de edificações, pode-se concluir que:

- ▶ Para este tipo de estudo, é necessário ter formação de termografista e uma forte base teórica sobre termografia para a realização das inspeções e posterior análise dos resultados dada a quantidade de variáveis e dificuldades que apresenta a aplicação desta técnica;
- ▶ Com a termografia infravermelha, pode-se detectar somente patologias superficiais ou anomalias perto da superfície associadas a modifi-



▶ **Figura 11**
Imagem térmica de uma fachada com diversos materiais

cações mensuráveis das características térmicas, como destaques, fissuras e umidades;

- ▶ As principais dificuldades da aplicação da termografia infravermelha estão relacionadas com o fluxo de calor e a reflexão; é fundamental a mensuração das variáveis, como a emissividade, temperatura aparente refletida, umidade relativa e distância;
- ▶ Em função da rapidez e versatilidade na aquisição das imagens, a inspeção termográfica é uma técnica de inspeção de grande potencialidade, desde que corretamente efetuada e adequadamente analisada; vários fenômenos de degradação podem ser monitorados e quantificados; também o mapeamento de anomalias pode ser muito agilizado com o emprego da termografia. 🏠

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] BARREIRA, E.; DE FREITAS, V. P. Evaluation of building materials using infrared thermography. *Construction and Building Materials*, v. 21, n. 1, p. 218–224, jan. 2007.
- [02] BAUER, E.; CASTRO, E. K.; HILDENBERG, A.; PAVON, E. Critérios para a aplicação da termografia de infravermelho passiva como técnica auxiliar ao diagnóstico de patologias em fachadas de edifícios. *Revista Politécnica (Instituto Politécnico Bahia)*, v. 26, p. 266–277, 2014.
- [03] BAUER, E.; FREITAS, V. P.; MUSTELIER, N.; BARREIRA, E.; FREITAS, S. Infrared thermography – evaluation of the results reproducibility. *Structural Survey*, v. 31, n. 3, p. 181–193, 2015a.
- [04] BAUER, E.; PAVON, E.; HILDENBERG, A. Erros na utilização de parâmetros termográficos da argamassa e da cerâmica na detecção de anomalias em revestimentos. *XI Simpósio Brasileiro de tecnologia das Argamassas. Anais...Porto Alegre: SBTA, 2015b.*
- [05] BAUER, E.; CASTRO, E.K.; PAVON, E.; OLIVEIRA, A.H.S. Criteria for application and identification of anomalies on the facades of buildings with the use of passive infrared thermography. In: Freitas VP, editor. *1st Int. Symp. Build. Pathol.*, Porto, Portugal: 2015c, p. 12.
- [06] MALDAGUE, X. *Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Evaluation*. Michigan: Wiley Series, 2001. p. 704.



Análise comparativa da eficiência de transferência de cargas em pavimentos de concreto simples e continuamente armados

LUCIO SALLES DE SALLES – CANDIDATO A DOUTORADO

JOSÉ TADEU BALBO – PROFESSOR ASSOCIADO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

I. INTRODUÇÃO

A construção de rodovias e vias urbanas de alto tráfego no Brasil, antes inteiramente baseada em pavimentos asfálticos, começa lentamente a demonstrar interesse por tecnologias mais duradouras com concreto. Para uma comparação rápida do número de pavimentos de concreto no Brasil e em outros países, confrontam-se informações de Balbo (2009). Nos EUA, em números de 1999, estima-se que a porcentagem de rodovias de concreto seja de aproximadamente 20%. Na Alemanha, constam incríveis 40% (em quilômetros totais, valor inferior ao dos EUA). Já no Brasil, há algo em torno de 2% de rodovias em concreto do total pavimentado. Pavimentos de concreto são mais comumente encontrados em nações altamente industrializadas, como os países da Comunidade Europeia e da América do Norte, tendo os EUA como principal precursor e incentivador da técnica. Existem exceções: países em desen-

volvimento, como o Chile e a Indonésia, apresentam também uma vasta malha rodoviária em concreto. Portanto é interessante para o desenvolvimento da infraestrutura rodoviária do país o investimento pesado em estruturas que apresentem alta durabilidade, como os pavimentos de concreto.

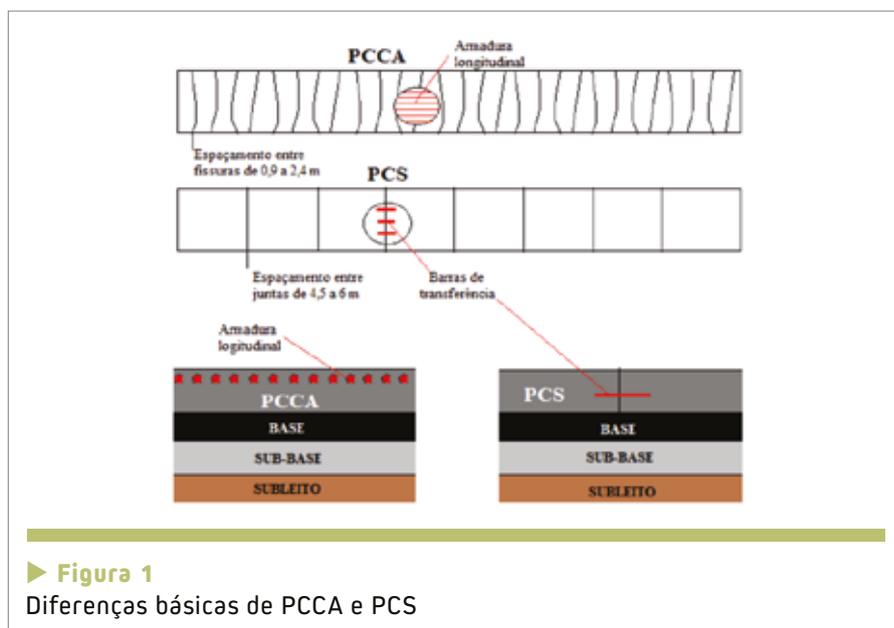
Entretanto, o já pouco incentivo nacional na pavimentação em concreto é totalmente baseado em pavimentos de concreto simples (PCS), ou seja, pavimentos de concreto em placas com juntas de retração. Devido à liberação de calor durante a hidratação do concreto, grandes massas do material fazem com que o grau de concentração de tensões durante a cura seja muito grande. Para aliviar tais tensões, surgem fissuras de retração aleatórias nas placas, o que é bastante problemático visto que a estrutura antes contínua passa a ser seccionada, inviabilizando a perfeita resistência às cargas dos veículos. Com o objetivo de contornar essa situação, são criados pontos de

enfraquecimento do concreto (serragem) de forma que a concentração de tensões durante a cura ocorra exatamente naquele ponto, gerando a fissura. Em relação à descontinuidade física gerada pela fissura, são projetadas e instaladas barras de transferência abaixo do corte, fazendo a união das placas e provendo a transferência de carga entre elas. Esse é o conceito das juntas de retração em PCS, são elementos estruturais que induzem a fissura e dos quais depende todo o desempenho do pavimento.

Contudo, a eficácia de tais elementos é extremamente dependente da perfeita execução das juntas (posicionamento correto das barras de transferência e serragem na profundidade e no tempo certo), o que corriqueiramente não acontece na pavimentação nacional. Erros na serragem levam ao aparecimento de fissuras fora do local projetado e barras mal posicionadas dificultam a transferência de carga levando ao surgimento de esborcinamento

e escalonamento entre placas. Casos, como o do rodoanel Mario Covas em São Paulo, onde houve a fissuração irregular de algumas placas, são exemplos do problema. Balbo (2009), por fim, cita que, de cada seis defeitos mais comuns na pavimentação em concreto, quatro estão relacionados com as juntas de retração. Com isso, se o problema dos pavimentos de concreto está nas juntas, por que não construir um pavimento de concreto sem juntas?

É nessa premissa que se insere a ideia do Pavimento de Concreto Continuamente Armado (PCCA): um pavimento de concreto sem juntas. Explica-se: o concreto no PCCA apresenta a mesma tendência à fissuração do concreto no PCS, porém no PCCA não existe a indução da fissuração, o concreto fissura livremente; o controle está no espaçamento e, principalmente, na abertura das fissuras que irão surgir. Para isso, existe uma armadura longitudinal, acima da linha neutra da placa, em altas taxas, cujo único papel é manter as fissuras fortemente apertadas de modo que se tornem imperceptíveis ao tráfego e que mantenham altos níveis de transferência de carga pelo intertravamento de agregados. Diferentemente dos pavimentos de concreto armado (PCA), a armadura do PCCA não possui papel estrutural no pavimento, portanto, a espessura de concreto das placas é similar àquela corriqueiramente empregada em PCS. Pela quantidade de aço necessário, o custo inicial do PCCA é de aproximadamente 40% superior do que o do PCS, porém a baixa necessidade de manutenção e a durabilidade recompensam o investimento inicial. Pode-se afirmar, numa visão prática e simplificada, que as fissuras que irão surgir no PCCA de-



sempenham um papel semelhante às juntas do PCS, entretanto, frisa-se que o desempenho das primeiras é muito menos suscetível a erros construtivos do que o da segunda. A Figura 1 compara as seções longitudinais e transversais do PCS e do PCCA.

I.I PCCA: durabilidade e mínimo de manutenção

A primeira aplicação do PCCA data de 1938 e foi realizada no estado norte-americano de Indiana. Nos próximos dez anos, vários trechos experimentais foram executados em diversos estados do país, com dedicação especial do Texas e de Illinois. Porém, foi somente em meados dos anos 1950 que a técnica começou a ganhar popularidade; em 1958, existiam 127 km de rodovias com o PCCA. Foi a partir também dos anos 1950 que a ideia do PCCA migrou para o continente Europeu, tendo a Bélgica como sua precursora. Atualmente, só nos EUA existem em operação mais de 50 mil quilômetros de rodovias construídas com o PCCA.

O PCCA tem fama de apresentar alta durabilidade com um mínimo de

manutenção frente à cargas de tráfego pesado e à condições ambientais intimidantes. Para exemplificar as qualidades do PCCA, a Tabela 1 traz uma compilação de resultados que Tayabji et al. (1998 – 2012) investigaram nos estados norte-americanos, em alguns países da Europa e no Canadá.

Deve ser notado que alguns projetos iniciais apresentaram problemas com o PCCA; de modo geral, o tipo de base, a taxa de armadura e a posição da armadura têm influência no comportamento da estrutura e no surgimento das fissuras, como será discutido no decorrer do artigo. Porém, perante os anos de sucesso comprovado do pavimento no exterior e da possibilidade de uma rodovia ou corredor urbano com durabilidade de mais de 30 anos, decidiu-se importar a técnica e construir quatro seções experimentais desse pavimento no campus da Universidade de São Paulo (USP). Esse artigo apresenta os conceitos fundamentais do PCCA, além de trazer o relato do projeto e da construção das seções experimentais e comparar a eficiência de transferência

de carga nas fissuras/juntas (LTE) do PCCA com um PCS experimental.

2. PROJETO E CONSTRUÇÃO DO PCCA

As seções da pista experimental foram construídas entre julho e setembro de 2010, no período seco do inverno paulistano, localizadas na Av. Prof. Almeida Prado, no campus da USP em São Paulo. Como o objetivo inicial era simular uma parada de ônibus, a extensão das seções foi de 50 m, curta em relação ao PCCA tradicional que pode alcançar mais de 400 m, dependendo do período de concretagem contínua. Não há ancoragem no final das seções, dando liberdade ao deslocamento longitudinal das placas de concreto, como seria no caso de construções em para-

das de ônibus em corredores urbanos (sem laje de transição ou ancoragem).

O tráfego diário na avenida é composto de aproximadamente 800 ônibus urbanos, junto com algumas dúzias de caminhonetes médias e 1.500 carros. O antigo pavimento asfáltico, que havia sido construído quase 40 anos antes, foi completamente removido. As seções possuem largura constante de 5,05 m, que coincide com uma faixa de rolamento em vias de pista simples do campus (10 m de largura aproximadamente). As seções são compostas de placas de concreto com 240 mm de espessura. A espessura foi definida com base no tráfego e também com experiência internacional da utilização desse pavimento em vias urbanas. A resistência à tração na flexão de projeto

do concreto foi fixada em 4,5 MPa (aos 28 dias); o concreto comercialmente disponível empregou agregados granílicos e consumo de cimento de 350 kg/m³. A Tabela 2 traz o controle tecnológico do concreto na obra.

Nota-se que, salvo a porcentagem de armadura longitudinal, as quatro seções possuem as mesmas características de projeto. A armadura longitudinal possui taxa variável (0,4 a 0,7% da seção transversal da placa); a armadura transversal é composta de barras espaçadas 0,9 m entre si, com barras de diâmetro de 20 mm. Todo o aço empregado foi do tipo CA-50. A decisão das diferentes taxas foi tomada com referência aos PCCA citados na literatura técnica. Sabe-se que maiores taxas de armadura causam uma maior

► Tabela 1 – Experiência internacional com PCCA

Local	Experiência
Texas	PCCA construídos entre 1967 e 1994 suportaram um tráfego maior do que aquele de projeto.
Texas	PCCA com 33 anos apresentando LTE nas fissuras sempre maior do que 90%.
Califórnia	Ótimo desempenho de seções construídas nos anos 1970.
Califórnia	Durabilidade e baixo custo de manutenção compensa o investimento inicial.
Califórnia	Projetos para tráfego pesado e locais de difícil acesso para manutenção.
Connecticut	Rodovias construídas nos anos 1960 só apresentaram defeitos após suportar o dobro do tráfego de projeto.
Georgia	PCCA com 20 anos de operação em ótimo desempenho.
Georgia	Sucesso com recapeamento de pavimentos asfálticos e de PCS com PCCA.
Illinois	PCCA da década de 1960 suportando um tráfego maior do que aquele de projeto.
Illinois	Recapeamento de PCCA com asfalto não apresenta reflexo de fissuras.
Mississippi	Desempenho altamente satisfatório das 89 seções com PCCA.
Oklahoma	De 36 seções construídas nos anos 1970, somente duas precisaram de reabilitação.
Oregon	Desempenho excelente; anos em operação maiores do que o tempo de projeto.
Virginia	PCCA com 25 anos de serviço em ótimo estado.
Canadá	Sucesso do PCCA, apesar das variações de mais de 60 °C de uma estação para a outra .
França	Poucas seções se aproximando dos 15 anos de serviço sem defeitos.
Bélgica	Projetos de 1970 recebendo os primeiros recapeamentos 30 anos depois
Reino Unido	Alguns PCCA em operação desde 1980. Técnica abandonada pelo alto custo inicial (primeiro fator de decisão)
Espanha	Construção desde 1975 com ótimo desempenho e exigindo um mínimo de manutenção
Holanda	Experiência excelente com seções construídas durante os anos 1980

► Tabela 2 – Parâmetros obtidos com corpos de prova moldados durante a concretagem

Seção	Resistência à compressão* (MPa)	Módulo de ruptura* (MPa)	Módulo de elasticidade** (MPa)
2	38.4	5.02	21,526 / 28,614 / 28,350
3	34.5	–	–
4	29.5	–	–

* Valores médios; ** Valores individuais.

fissuração, diminuindo o espaçamento, o que pode ser prejudicial pelo potencial de intersecção de fissuras. Entretanto, altas taxas também provêm uma abertura de fissuras mínima. No início dos anos 1990, houve uma mudança no foco das análises de desempenho do PCCA; anteriormente, todo o dimensionamento era baseado no espaçamento de fissuras (ideal de 0,9 a 2,4 m); com isso, as taxas ficavam entre 0,5 e 0,6%; porém, observou-se que, embora as fissuras estivessem mais bem espaçadas, a transferência de carga entre elas era pouco satisfatória, levando ao acúmulo de tensões na placa e causando o aparecimento de fissuras longitudinais por fadiga. Passou-se, então, a focar o projeto na abertura da fissura (máxima de 1 mm) e na utilização de taxas mais altas (entre 0,7 e 0,8%).

A posição da armadura longitudinal também é muito discutida. Sabe-se que, quanto mais perto da superfície, mais apertadas ficam as fissuras e melhor é a transferência de carga entre elas. Todavia, normas internacionais regulam um cobrimento mínimo de 76 mm para evitar a corrosão da armadura pela infiltração de água. Em relação à perda da seção da armadura pela oxidação, alguns estudos se empenharam em quantificar tal perda pelo tempo de serviço do pavimento. A conclusão da grande maioria deles é que, devi-

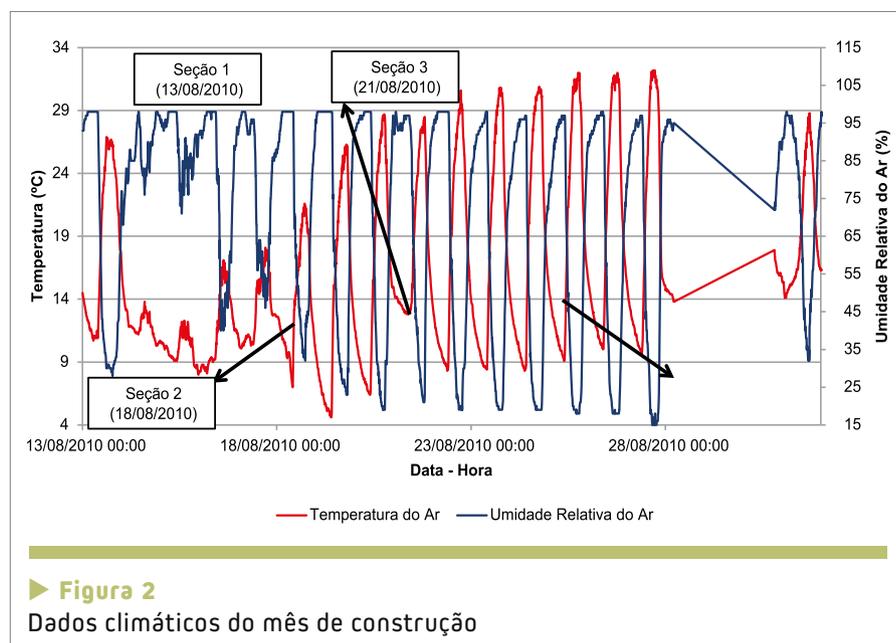
do à pequena abertura das fissuras, o PCCA não sofre corrosão da armadura; em dados de pavimentos de mais de 20 anos de operação na Holanda e Bélgica, a perda média da seção foi de menos de 0,04%, ou seja, irrisória. No projeto aqui descrito, a profundidade da armadura está a 100 mm da superfície, 20 mm da meia altura da placa.

Segundo alguns estudos, bases asfálticas apresentam um melhor desempenho do que bases granulares e em concreto para o PCCA pelo baixo potencial de erosão que elas apresentam. Por isso, deliberou-se pelo uso do material asfáltico como base em todas as seções; a camada possui 60 mm de espessura.

Devido à fissuração ocorrer pela re-

tração do concreto, o processo de cura no PCCA é bastante importante. Alguns estudos aconselham a execução da concretagem ao final do dia ou à noite para evitar uma rápida secagem da massa de concreto. Em geral, as especificações internacionais limitam a execução da placa de PCCA entre temperaturas de 10 e 32 °C. O umedecimento da base asfáltica aliada à utilização de compostos químicos de cura e mantas úmidas na placa também são apontados como procedimentos adequados de cura. No caso das seções experimentais aqui descritas, utilizou-se manta úmida durante os primeiros dias após a concretagem. Na Figura 2, são apresentados os dados de temperatura e umidade relativa do ar durante o mês de construção. Nota-se que as seções 3 e 4 sofreram variações de temperatura nos dias seguintes à construção muito mais severas do que as seções 1 e 2. Supõe-se que este fato ajude a explicar o menor número de fissuras visíveis na superfície nas seções 1 e 2. A Figura 3 traz o resumo geral do projeto das seções experimentais.

As imagens das Figuras 4 e 5 mostram detalhes do processo construti-



vo das seções experimentais e a pista em operação.

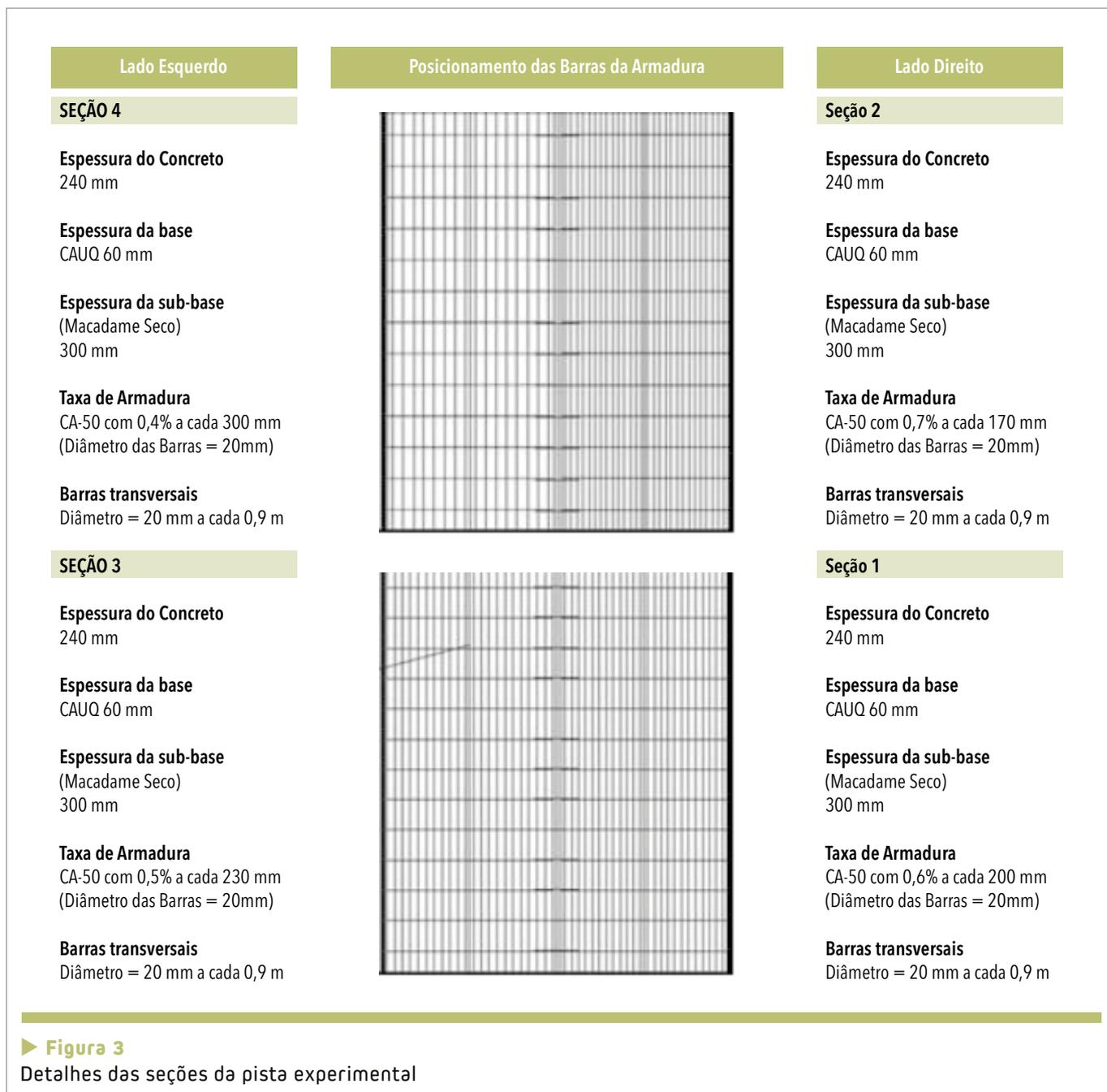
3. ESPAÇAMENTO E ABERTURA DE FISSURAS

A falta de ancoragem permitiu uma maior movimentação do volume de concreto durante a retração inicial. Isso, aliado a pouca aderência da base asfáltica e ao efeito de amarração da armadura longitudinal, fez com que pou-

cas fissuras emergissem na superfície da placa. Como resultado, o mapa de fissuração (Figura 6) do PCCA de curta extensão foi muito diferente daquele encontrado em PCCA tradicionais. A seção 1, por exemplo, ainda não apresenta nenhuma fissura.

O conhecimento básico de concreto diz que uma superfície de 50 m sem fissuras ou juntas é altamente improvável; supõe-se, então, que as

fissuras estejam em todas as placas, porém imperceptíveis na superfície. As Figuras 7 e 8 mostram a evolução do espaçamento médio entre fissuras através do tempo e a distribuição percentual do espaçamento nas seções 3 e 4, respectivamente; na Figura 7, o comprimento total da seção (50 m) foi considerado como o espaçamento inicial; este valor só foi modificado com a visualização da primeira fissura



em outubro de 2011 na seção 3, quase 400 dias após a construção. Com o aparecimento da primeira fissura, o espaçamento médio entre fissuras

começou a diminuir mais rapidamente nas seções 3 e 4 até que alcançou um aparente patamar em dois anos. Na seção 2, a primeira fissura

visível só foi identificada após 500 dias da construção e diferentemente das seções 3 e 4, o decréscimo do espaçamento tem sido mais lento.



Armadura longitudinal (seção 1)



Base asfáltica (seção 4)



Cura



Concretagem (seção 2)



Adensamento (seção 4)



Concretagem (seção 2)

► **Figura 4**
Detalhes da execução da pista experimental

O espaçamento médio entre fissuras do PCCA curto (seções 3 e 4) é mais que o dobro daquele encontrado em PCCA tradicionais; uma diferença

agravada pelo fato de que o último patamar de espaçamento é alcançado em menos de um ano. As linhas vermelhas e verticais na Figura 8 mar-

cam o intervalo de espaçamento recomendado por estudos internacionais; o gráfico mostra que somente 27% do espaçamento da seção 3 pode



Acabamento (seção 3)



Texturização (seção 1)



Junta entre a pista e o pavimento intertravado (seção 1)



Armadura longitudinal (seção 4) e cura (Seções 1 e 2)

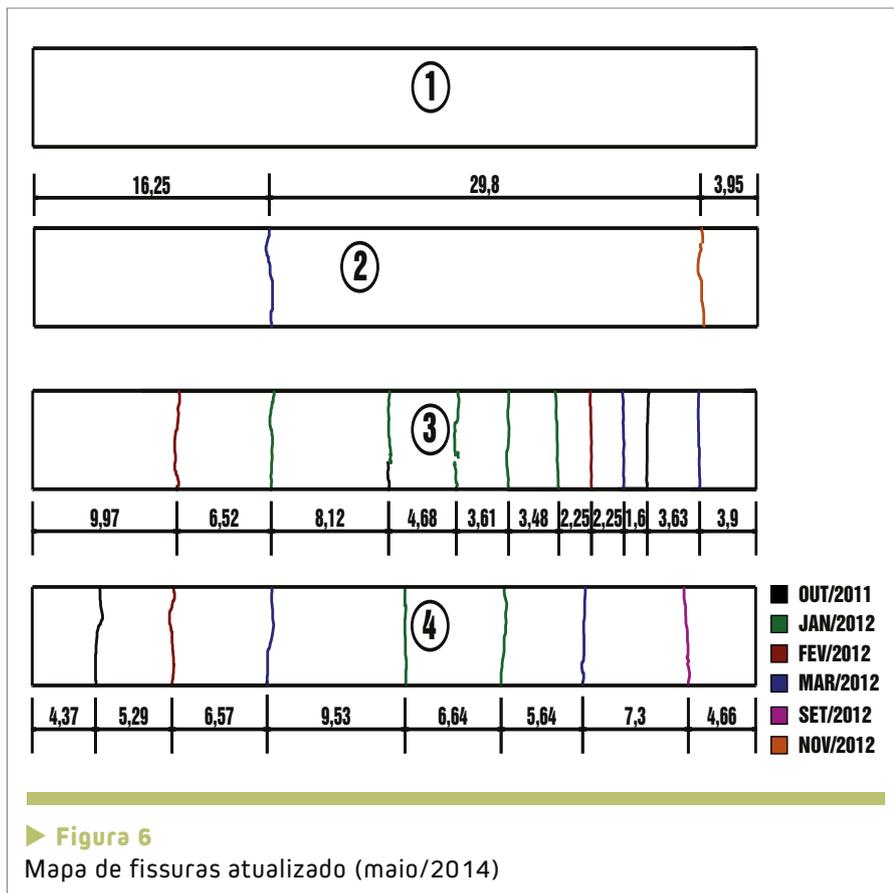


Pista em operação (vista da seção 4)



Pista em operação (vista da seção 3)

► **Figura 5**
Detalhes da execução da pista experimental



que as seções 3 e 4 apresentaram 0,55 e 0,33 mm, respectivamente; a temperatura média durante o levantamento foi de 16 °C. Em contraste, em um dia quente de verão em janeiro de 2013, as médias foram de 0,1 mm (seção 2), 0,37 mm (seção 3) e 0,26 mm (seção 4). A temperatura alcançou os 27 °C naquele dia em particular; as duas fissuras na seção 2 estavam quase invisíveis.

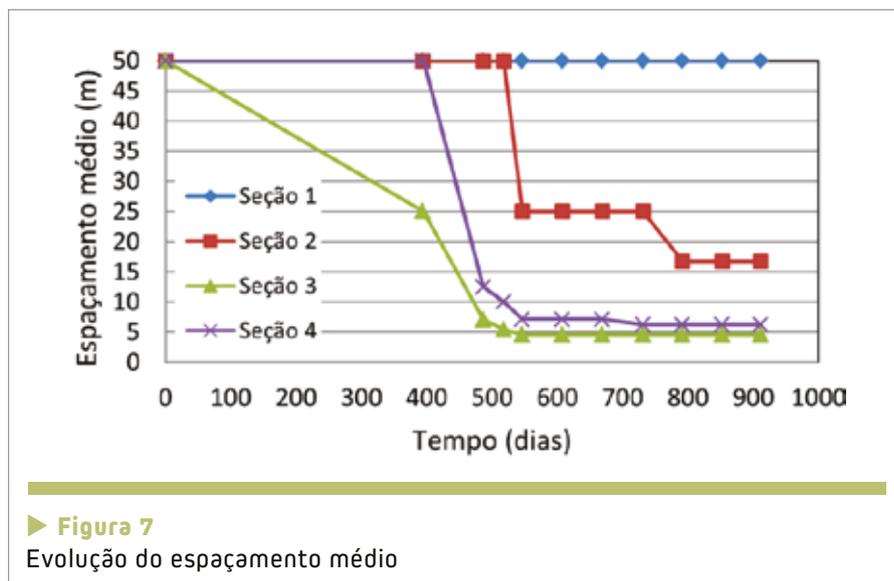
4. TRANSFERÊNCIA DE CARGA EM FISSURAS E JUNTAS

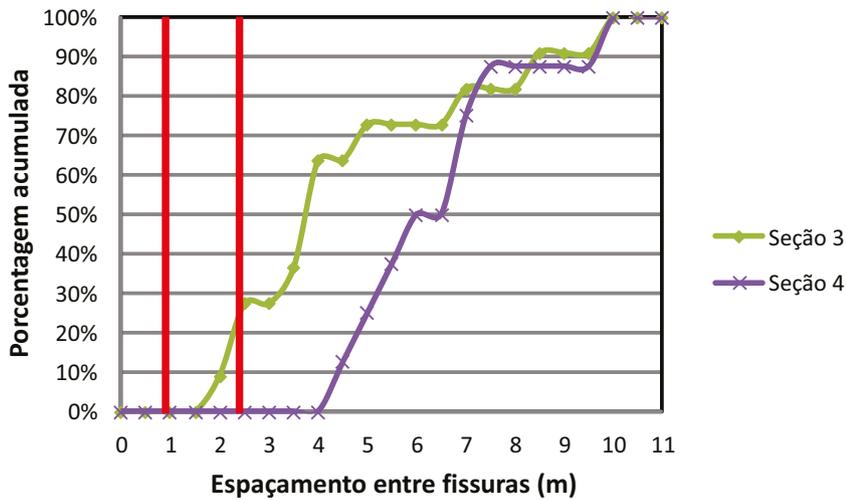
O método mais usual para aferir a transferência de carga entre fissuras/juntas (LTE) é a utilização de um teste com o *Falling Weight Deflectometer* (FWD). O FWD é classificado como um ensaio não destrutivo onde, através de sensores em posições preestabelecidas, é possível captar as ondas de acelerações verticais (deslocamentos) que ocorrem na superfície, decorrentes de uma carga. Para a determinação das deflexões (descolamentos verticais) sofridas pelo pavimento, essas ondas de deslocamento são duplamente integradas por um software acoplado ao equipamento. O

ser considerado como ideal; também é visível que, para ambas as seções, não existem espaçamentos menores do que 1,5 m, o que implica uma pequena possibilidade de aglomeração de fissuras e conseqüentes intersecções de fissuras. A experiência com PCCA tradicionais mostra que a porcentagem cumulativa do espaçamento entre fissuras atinge 100% com um espaçamento menor que 3,0 m para pavimentos com dois anos de idade e que, para pavimentos com um desempenho satisfatório, os limites recomendados englobam de 50 a 90% do espaçamento.

Por outro lado, de maneira análoga aos PCCA tradicionais, os levantamentos de abertura da fissura comprovaram a influência da porcentagem de armadura e principalmente da temperatura nesse parâmetro. A mensuração da abertura foi realizada

com uma régua (Figura 9); este método, embora rápido, permite somente a determinação da abertura na superfície do pavimento. A abertura média das fissuras no último levantamento, realizado em maio de 2013, foi de 0,17 mm para a seção 2, enquanto





► **Figura 8**
Espaçamento nas seções 3 e 4

equipamento surgiu como uma solução muito mais precisa e de excelente repetitividade na medida de deflexões em comparação com a Viga Benkelman, justamente pela mínima influência do operador nas leituras.

Para determinar a LTE das fissuras, a maneira mais simples e mais corriqueiramente utilizada é a relação entre deflexões antes e depois da fis-

sura/junta; nela, a porcentagem de transferência de carga é determinada por meio de testes com aplicação de carga adjacente à fissura/junta, sendo mensuradas a deflexão na placa sob a carga aplicada e a deflexão na placa sem o carregamento, ou seja, à mesma distância da fissura, sendo consideradas deflexões em simetria. O cálculo é realizado através da Equação 1.



► **Figura 9**
Medição da abertura da fissura

$$LTE = \frac{\delta_2}{\delta_1} \times 100 [\%]$$

[1]

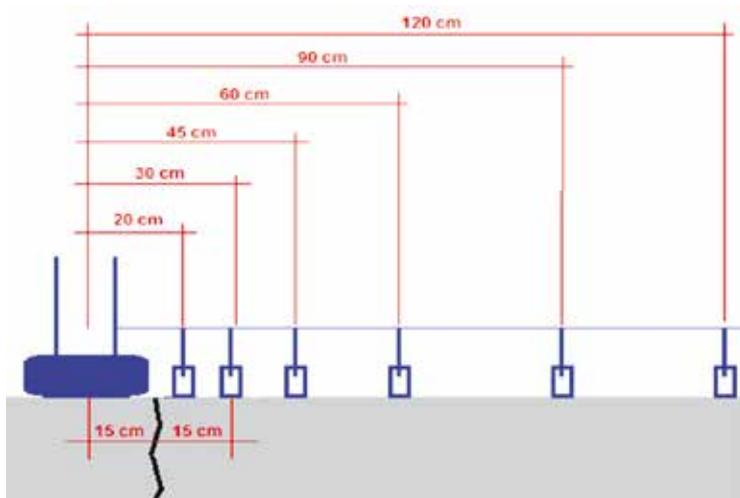
Onde:

δ_1 = Deflexão na placa carregada;

δ_2 = Deflexão na placa sem carregamento.

Nos estudos aqui comparados, descritos anteriormente por Salles e Balbo (2014) e Colim et al. (2011), a configuração de sensores do equipamento utilizado era de 0, 20, 30, 45, 60, 90 e 120 cm, sendo o prato de aplicação de carga com diâmetro de 30 cm posicionado no primeiro sensor, decidiu-se utilizar as deflexões medidas pelo sensor nos pontos 0 e 30, conforme mostra a Figura 10. A carga estipulada previamente foi de 60 kN em função da necessidade de um melhor detalhamento das leituras de deflexões, o que uma carga menor poderia não fornecer visto a elevada rigidez de um pavimento de concreto com altas taxas de armadura.

O PCS experimental descrito por Colim et al. (2011) é composto de 15 placas em uma área de estacionamento bastante próxima à pista experimental de PCCA. São placas com



► **Figura 10**
Posicionamento do equipamento para medir a LTE da fissura/junta

► Tabela 3 – Seções de pavimento de concreto simples na USP

Seção	Placa	Comp. (m)	Esp. (mm)	Base	Esp. da base (mm)	Barras
A	A1	4	150	GRA	200	Em ambas as juntas
	A2	5.5	150	GRA	200	
	A3	7.5	150	GRA	200	
B	B1	4	150	CCR	200	
	B2	5.5	150	CCR	200	
	B3	7.5	150	CCR	200	
C	C1	4	250	CCR	100	
	C2	5.5	250	CCR	100	
	C3	7.5	250	CCR	100	
D	D1	4	250	GRA	100	
	D2	5.5	250	GRA	100	
	D3	7.5	250	GRA	100	
E	E1	5.5	250	GRA	100	Somente nas placas E1 e E2
	E2	5.5	250	GRA	100	
	E3	5.5	250	GRA	100	

espessura de 150 e 250 mm sobre bases granulares ou de concreto compactado com rolo (CCR). Somente uma das placas não apresenta barras de transferência nas juntas. A tabela 3 traz a descrição das seções.

4.1 Resultados de LTE

Na Figura 11, são apresentados os valores individuais de LTE para as fissuras do PCCA (numeradas conforme a Figura 6) e para as juntas do PCS. Nos PCA foram coletados dados em junho de 2006 e março de 2007 contemplando estações climáticas diferentes. Nota-se um pequeno aumento da LTE média quando as temperaturas estão mais quentes, resultado da expansão natural do concreto, que aumenta o contato entre agregados facilitando a transferência de carga. Para o PCCA, somente foram obtidos dados de julho de 2013. Como visto, todas as fissuras do PCCA apresentam valo-

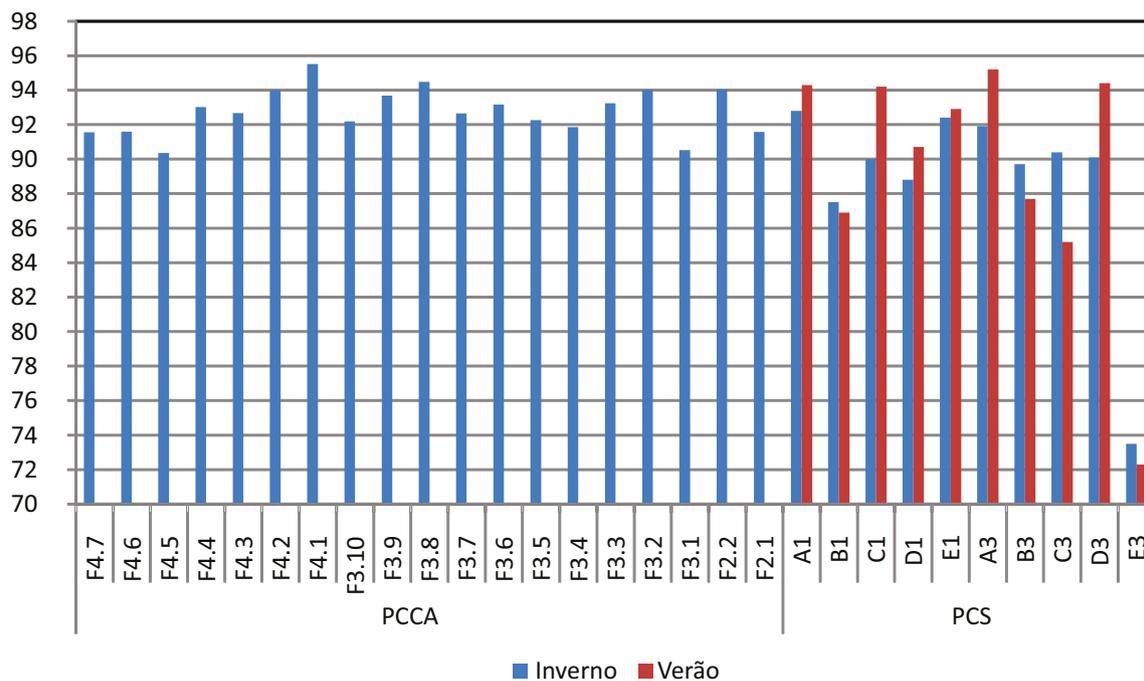
res de LTE acima de 90%, ou seja, altamente satisfatórios. Nas juntas com barras de transferência do PCS, os valores também são altos, porém algumas juntas (B1, B3 e C3) apresentam valores abaixo de 90%, o que pode ser um indicativo de problema construtivo leve. Nas juntas sem barras de transferência, o LTE foi baixo justamente porque nesses pontos a transferência de carga dá-se somente por intertravamento de agregados. A superioridade das fissuras do PCCA está no conceito de que nesta estrutura a transferência de carga também ocorre unicamente por intertravamento de agregados; a armadura longitudinal somente mantém as fissuras apertadas. Portanto, mesmo sem barras de transferência e no inverno, onde as fissuras ficam mais abertas, o PCCA apresenta valores de LTE maiores que 90%. Além disso, devido ao processo construtivo do PCCA ser mais homogêneo do que no PCS, erros localizados no posicio-

namento das barras de transferência, tão comuns no segundo, são evitados no primeiro.

5. CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentado o pavimento de concreto continuamente armado (PCCA) com destaque ao reconhecido sucesso internacional da estrutura devido a sua elevada durabilidade e baixa necessidade de manutenção. Os detalhes construtivos de quatro seções experimentais de curta extensão mostram que a ausência de juntas de retração facilita o processo de execução desse pavimento e o torna menos suscetível a erros de projetos típicos do pavimento de concreto simples (PCS).

A análise do padrão de fissuração do PCCA de curta extensão mostra que a falta de ancoragem, aliada à rigidez da base e à presença de uma elevada taxa de armadura, faz com que nem todas as fissuras fiquem aparentes na superfície da placa. Como



► **Figura 11**
Comparação de LTE em juntas e fissuras

resultado disso, o espaçamento entre fissuras é muito maior do que aquele comumente encontrado em referências internacionais. Porém, apesar das diferenças no número de fissuras, o principal parâmetro de avaliação do PCCA – a abertura de fissuras – apresenta valores mínimos condizentes com exemplos de pavimentos com ótimo desempenho.

Testes com FWD nas fissuras permitiram o cálculo da transferência de carga entre fissuras (LTE). Os resultados apontam uma LTE bastante elevada para todas as fissuras. Comparati-

vamente, foram analisados dados de LTE de um PCS experimental localizado nas proximidades do PCCA. O efeito da expansão natural do concreto faz com que haja mais contato entre os agregados na junta, favorecendo a transferência de carga em dias quentes. A comparação de valores mostra que, apesar das fissuras do PCCA não apresentarem barras de transferência, a LTE é maior do que nas juntas dos PCS com esses elementos. Além disso, a uniformidade de valores da LTE comprova a superioridade construtiva do PCCA em relação ao po-

tencial de erros em juntas do PCS.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte fornecido ao estudo por meio do processo # 98/11629-5, ao Prof. Dr. Antonio Marcos de Aguirra Massola, da EPUSP (Prefeito do Campus USP, Campus da Capital do Estado de São Paulo entre 2008 e 2010, responsável pelo projeto de implantação dos pavimentos experimentais) e a CAPES (Ministério de Educação) pela bolsa concedida ao primeiro autor. ◀

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] BALBO, J. T. (2009). Pavimentos de concreto. Oficina de Textos, São Paulo.
- [02] COLIM, G. M.; BALBO J. T.; KHAZANOVICH, L. (2011) Effects of temperature changes on load transfer in plain concrete pavement joints. *Ibracon Structures and Materials Journal*, Vol. 4, p. 405-437.
- [03] SALLES, L. S.; BALBO, J. T. (2014) Experimental short continuously reinforced concrete pavement: crack pattern and load transfer efficiency across cracks. *Anais do 12th International Symposium on Concrete Roads, EUPAVE, Praga*.
- [04] TAYABJI, S. D. (2012) Continuously reinforced concrete pavement performance and best practices. *TechBrief. FHWA-HIF-12-039*.
- [05] TAYABJI, S. D.; STEPHANOS, P. J.; VEDEREY, J. R.; GAGNON, J. S.; ZOLLINGER, D. G. (1998) Performance of Continuously Reinforced Concrete Pavement. Volume I, II and III: Field Investigations of CRC Pavements. *FHWA-RD-94-149, FHWA, U.S. Department of Transportation*.

Grau de saturação nos modelos de durabilidade do concreto armado para ataque por cloretos

ANDRÉ T. C. GUIMARÃES – PROFESSOR-DOUTOR

JORGE L. S. BANDEIRA – MESTRANDO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE (FURG)

JESUS M. B. CAMACHO – PROFESSOR-DOUTOR

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA – MÉXICO

I. INTRODUÇÃO

Os modelos deterministas de penetração de agentes agressivos no concreto normalmente levam em consideração a segunda lei de Fick.

$$\frac{C_{Cl} - C_o}{C_{Seq} - C_o} = \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{D.t}} \quad [1]$$

Sendo:

C_{Cl} : concentração de cloretos na profundidade x , no tempo t ;

C_o : concentração inicial de cloretos no interior do concreto do componente estrutural;

C_{Seq} : concentração de cloretos na superfície do componente estrutural de concreto, admitida constante;

D : coeficiente de difusão, admitido constante;

$\operatorname{erfc}(z)$: função complementar de erro de Gauss.

Na equação 1 a profundidade de penetração de teor de cloretos (normalmente considerado ao redor de 0,4% em relação à massa de cimen-

to, por ser aproximadamente o teor de despassivação do aço no interior do concreto) depende da concentração de cloretos na superfície da estrutura, da temperatura, do tempo de exposição e do coeficiente de difusão do concreto. Por sua vez, o coeficiente de difusão do concreto depende das características do concreto e do meio ambiente em que está inserido.

GUIMARÃES e HELENE (2000), CLIMENT et al. (2002) e NIELSEN e GEIKER (2003) demonstraram que o grau de saturação do concreto (GS) tem grande influência na difusão de cloreto.

GUIMARÃES e RODRIGUES (2010), ao estimar o coeficiente do concreto, considera a influência do tipo de cimento, da temperatura média por estação do ano, do GS e da posição da superfície de ataque em relação à superfície de concretagem sobre o coeficiente de difusão do cloreto, aplicando coeficientes de redu-

ção R_c , R_T , R_{GS} , R_{SC} , respectivamente, a partir de coeficientes de difusão obtidos em laboratório executados com cimento Portland comum e com GS de 100%:

$$D_{const.Cl^- (ef)} = D_{const.Cl^- (lab.)} \cdot R_c \cdot R_T \cdot R_{GS} \cdot R_{SC} \quad [2]$$

Sendo:

$D_{const.Cl^- (ef)}$: coeficiente de difusão considerando as condições de exposição no micro-ambiente;

$D_{const.Cl^- (lab.)}$: coeficiente de difusão obtido em laboratório na condição de concreto saturado (GS =100%), executado com cimento Portland comum;

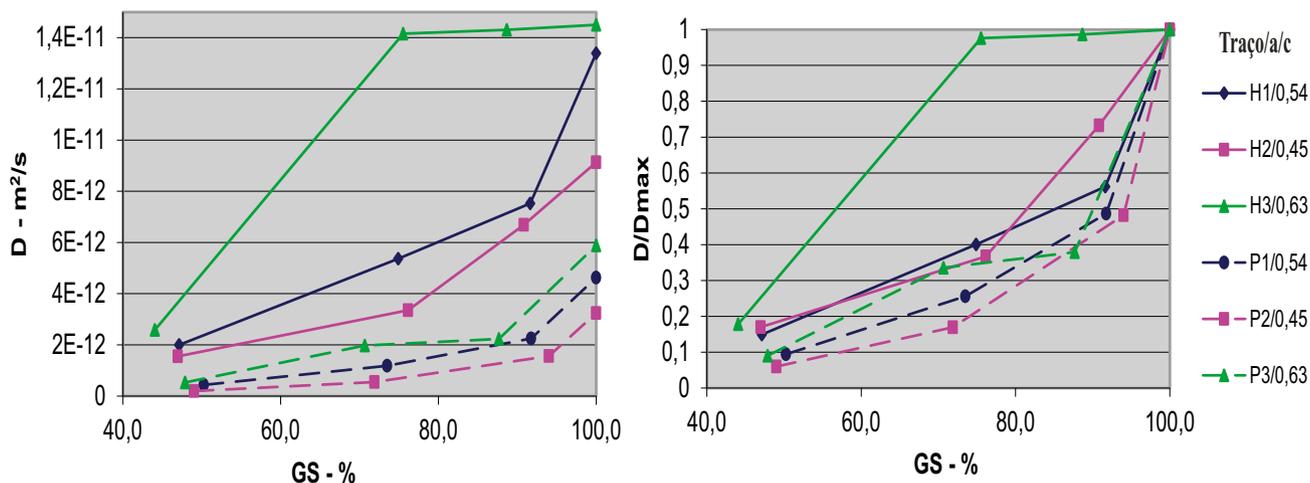
R_c : coeficiente relacionado ao cimento;

R_T : coeficiente relacionado à temperatura;

R_{GS} : coeficiente relacionado ao GS;

R_{SC} : coeficiente relacionado à superfície.

Este trabalho tem o objetivo de mostrar os avanços obtidos em pesquisas realizadas até a presente data sobre a influência do GS na vida útil de projeto.



► **Figura 1**

Variação do coeficiente de difusão em relação ao GS de concretos executados com cimento de alta resistência inicial com adição de fábrica de 12% de cinza volante, com abatimento de 10 ± 1 cm – H (RODRIGUES e GUIMARÃES, 2008) e com cimento pozolânico - P (GUIMARÃES e HELENE, 2007)

2. MODELOS DE INFLUÊNCIA DO GS NA DIFUSÃO DE CLORETOS

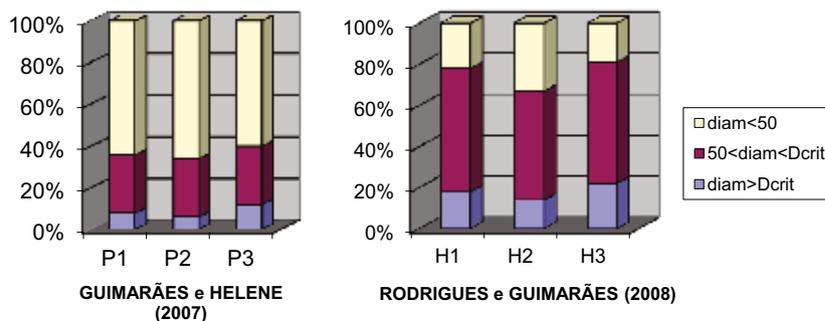
2.1 Cimento Portland pozolânico e cimento de alta resistência inicial

GUIMARÃES e HELENE (2007) mostram a influência do GS na difusão de cloretos em diversos traços de concreto com cimento pozolânico. RODRIGUES e GUIMARÃES (2008) utilizam concreto com cimento de alta resistência inicial – ARI, com adição de fábrica de 12% de cinza volante, e apresentam modelo da variação de D/D_{max} em função do GS (Fig. 1), sendo D o coeficiente de difusão para um GS e D_{max} o maior valor de coeficiente de difusão do concreto.

GUIMARÃES e HELENE (2007) utilizam corpos de prova de argamassa peneirada do concreto de aproximadamente 30 mm de diâmetro e 45 mm de altura e tempo de cura de 6 meses no mínimo. Os corpos de prova saturados são mantidos parcialmente submersos em recipiente hermeticamente fechado.

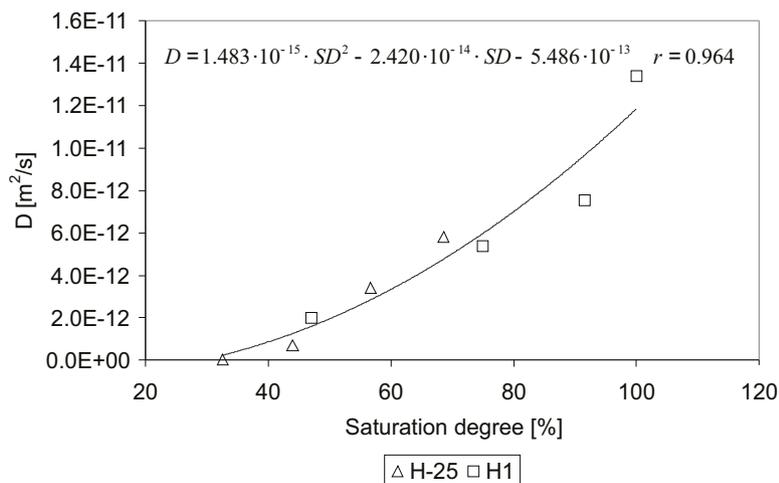
Os corpos de prova não saturados são mantidos em sacos plásticos (no mínimo 2) com massa relativa à umidade do GS desejado, sendo o excesso de ar retirado e os sacos plásticos lacrados. Após aproximadamente 30 dias, os corpos de prova são contaminados no topo com cloreto de sódio finamente moído e novamente armazenados até as idades de desgaste para obtenção do perfil de cloretos.

O melhor desempenho do concreto executado com cimento pozolânico em relação ao cimento ARI, conforme Fig. 1, é confirmado pelo ensaio de distribuição de poros por intrusão de mercúrio (PIM), apresentado na Fig. 2. Os concretos executados com cimento pozolânico apresentam um refinamento de poros, obtendo valores de percentual de poros mais interligados ($D > D_{crit}$) bem inferiores aos concretos executados com cimento ARI.



► **Figura 2**

Distribuição de poros conforme ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio – diâmetro crítico (D_{crit}) de 106 nm, 110 nm e 110 nm, respectivamente, para P1, P2 e P3 (GUIMARÃES e HELENE, 2007); e 141 nm, 119 nm e 163 nm, respectivamente, para H1, H2 e H3 (RODRIGUES e GUIMARÃES, 2008)



► **Figura 3**

Comparação entre coeficientes de difusão para o concreto H1 e de CLIMENT et al. (2002), para concreto H25 (GUIMARÃES e RODRIGUES, 2010)

2.2 Comparação com resultados de CLIMENT et al. (2002)

CLIMENT et al. (2002) utiliza corpos de prova de concreto de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura., sendo curados por aproximadamente 6 meses. Os corpos de prova são mantidos em câmaras com umidade relativa controlada para obtenção do GS desejado e a contaminação do topo é feita em câmara de queima de PVC. Após tempos pré-determinados, os corpos de prova são desgastados e obtidos os

perfis de cloretos.

GUIMARÃES e RODRIGUES (2010) comparam valores de coeficiente de difusão em função do GS para o concreto H1 e valores obtidos por CLIMENT et al. (2002) para concreto similar (H-25) (Fig. 3). Embora os métodos utilizados apresentem significativas diferenças, a curva ajustada apresenta boa correlação.

2.3 Comparação com resultados de NIELSEN e GEIKER (2003)

NIELSEN e GEIKER (2003) utilizam

corpos de prova de 70 x 100 x 100 mm³ de argamassa executada com cimento de alta resistência inicial e curados por 6 meses. A contaminação dos corpos de prova, após estabilização do GS, é obtida por imersão em solução de 26% de NaCl por duas horas e secos com secador de cabelo, sendo novamente armazenados por 60 dias, quando são obtidos os perfis de cloretos. Os corpos de prova saturados são de 60 x 100 x 100 mm³, os quais são mantidos em uma solução de 3% de NaCl por 30 dias, quando são desgastados para obtenção dos perfis de cloreto.

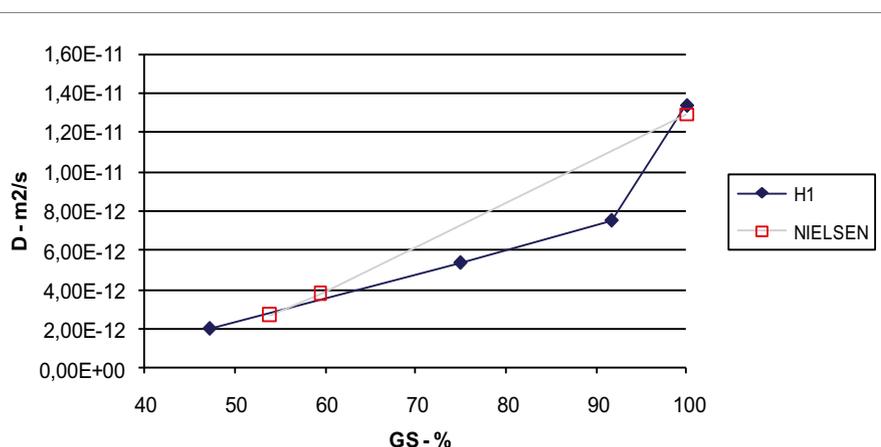
Na Fig. 4 são comparados os resultados de concretos similares de RODRIGUES e GUIMARÃES (2008) e NIELSEN e GEIKER (2003). Os resultados são muito próximos, sendo os métodos de ensaio diferentes.

2.4 Comparação com resultados de BANDEIRA et al. (2014)

BANDEIRA et al. (2014) realizam ensaios seguindo o método de GUIMARÃES e HELENE (2007), utilizando corpos de prova de aproximadamente 100 mm de diâmetro e 50 mm de altura. Utilizam concretos denominados M1, M2 e M3, todos executados com cimento espanhol ARI, sendo M2 e M3 com adição, conforme Tab. 1.

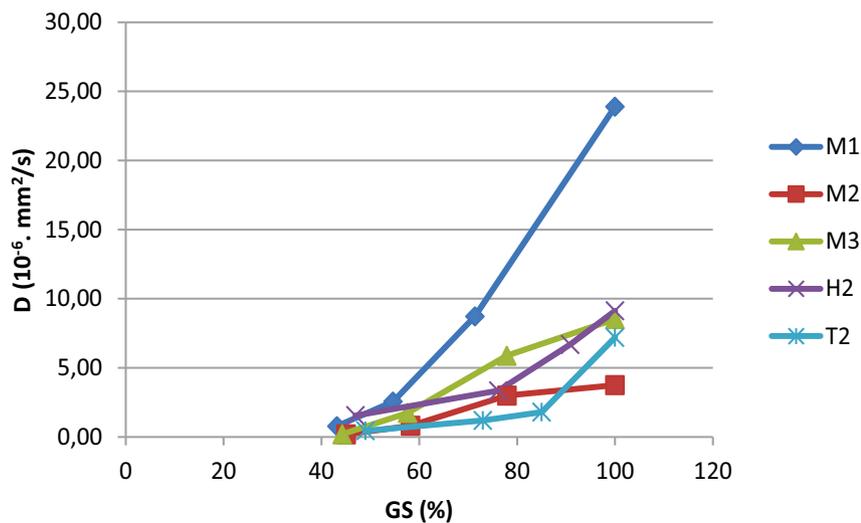
A Fig. 5 apresenta a comparação dos resultados de BANDEIRA et al. (2014) com concreto H2 de RODRIGUES e GUIMARÃES (2008) e P2 de GUIMARÃES e HELENE (2007), aqui denominado T2, ambos com relação a/c de 0,45, sendo H2 executado com cimento ARI e P2 com cimento CP IV – 32.

O concreto H2, executado com cimento ARI com resistência de 48 MPa e 12% de cinza volante apresenta



► **Figura 4**

Comparação entre coeficientes de difusão para o concreto H1 (RODRIGUES e GUIMARÃES, 2008) e de NIELSEN GEIKER (2003), ambos com cimento ARI e traços similares



► **Figura 5**
Coeficiente de difusão em função do GS e tipo de cimento (BANDEIRA et al.; 2014)

desempenho aproximado ao concreto M3, com cimento ARI com 52,5 MPa de resistência e com adição de 20% de escória de alto forno. O concreto M1, com cimento ARI, mesmo com relação a/c de 0,40, apresentou desempenho bem inferior aos demais concretos. Já o M2, com 10% de micros-sílica, aproximou-se em desempenho do concreto T2, com cimento CP IV – 32, sendo seu desempenho inferior para grau de saturação abaixo de aproximadamente 90%.

3. MEDIÇÕES DE GS

GUIMARÃES e HELENE (2007) apresentam método para medição do GS do concreto por gravimetria (Fig. 6a), sendo utilizado para monitoramento de testemunhos de concreto para pesquisa (testemunhos em rack) (Fig. 6b) ou para monitoramento de estruturas existentes (Fig. 7). A Fig. 8 apresenta alguns valores de GS (GUIMARÃES e RODRIGUES, 2010).

Observa-se que concretos de melhor qualidade apresentam GS maiores em relação a concretos mais pobres, quando se compara concreto executado com cimento pozolânico com concreto executado com cimento ARI de mesmo traço (Fig. 8), para um mesmo

ambiente. O mesmo observaram RODRIGUES e GUIMARÃES (2008) para concretos utilizando o mesmo aglomerante, ou seja, quanto menor a relação

a/c, maior o GS. Possivelmente isso se deve ao refinamento dos poros, restando a umidade no interior do concreto por mais tempo.

Concretos expostos a uma distância maior da água do mar apresentam GS menores, como pode ser observado na Figura 8, comparando os testemunhos PS expostos no pavilhão do TECON (Fig. 7d) e Rack-Poz-L, que apresentam características similares e foram executados com cimento pozolânico CP IV - 32. Os testemunhos PS expostos no paramento do cais, junto ao ponto de extração (Fig. 7a), apresentaram GS menores que testemunhos PS expostos no pavilhão, possivelmente devido à grande movimentação de navios, ficando os testemunhos confinados junto ao

► **Tabela 1 – Dosagem dos concretos utilizados no estudo experimental**
BANDEIRA et al. (2014)

Materiais	Unidade	M1	M2	M3
		CP	CPHS	CPEAH
Cimento CEM I 52,5 R (UNE-EM 197-1, 2000)	Kg/m ³	400	320	320
Sílica Ativa (10% e K=2)	Kg/m ³	0	40	0
Escória de alto forno (20% e K=1)	Kg/m ³	0	0	80
SP (%) * superplastificante	%	1,5	1,5	1,1
Fator água/cimento**	–	0,40	0,45	0,45

(*) % referente ao peso do material cimentício; (**) M1=a/c, M2 e M3= a/(c+KF), onde F=adição.



a



b

► **Figura 6**
a) Medição de GS por Gravimetria, b) exposição de testemunhos em rack a 1.200 m de distância da água do mar, no extremo sul do Brasil (GUIMARÃES e HELENE, 2007)

cais e, portanto, parcialmente protegidos de intempérie.

4. ESTUDOS DE CASO

A seguir são apresentados resultados de estudos de caso onde foram obtidos perfis de cloretos em estruturas em uso com idade superior a 20 anos. Foram comparados os perfis medidos na idade da extração das amostras com os resultados do modelo determinístico baseado na segunda lei de Fick não considerando o GS e considerando o GS.

A Figura 9 apresenta valores de coeficiente de penetração de íons cloreto (k), conforme equação 3, para o ponto PS – TECON (GUIMARÃES e RODRIGUES, 2010), relativo à viga de paramento de cais marítimo no extremo sul do Brasil (Fig. 7a). O concreto desta estrutura foi executado com cimento pozolânico.

$$c = k(t)^{1/2}$$

[3]

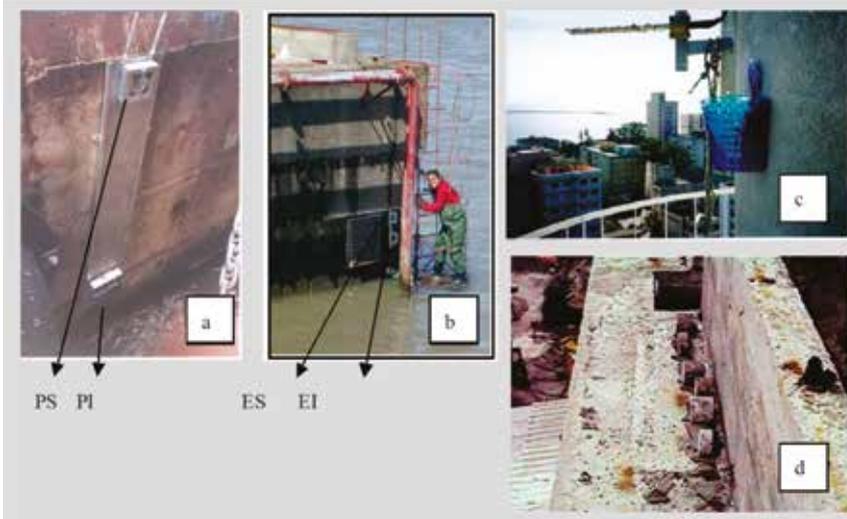
c : profundidade de ataque - mm;

k : coeficiente de penetração do cloreto – $\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1/2}$;

t : tempo de ataque – ano.

Conforme equação 3, k é proporcional a profundidade de ataque, sendo k_{medido} obtido diretamente no perfil de cloretos obtido na estrutura (Figura 9a) e K_{estimado} , considerando ou não o GS, obtido através das equações 1, 2 e 3, sendo $D_{\text{const.Cl}^-}$ (lab.) o coeficiente de difusão para concreto saturado (HELENE;1994) (Figs. 9b, 9c e 9d).

Observa-se que o modelo apresenta um erro de 128% quando não considerado o GS (Fig. 9d) e que este erro cai para 3,6% quando considerado o GS (Fig. 9b), em relação ao valor obtido no perfil medido aos 22 anos (Fig. 9a). Para o ponto ES do mesmo

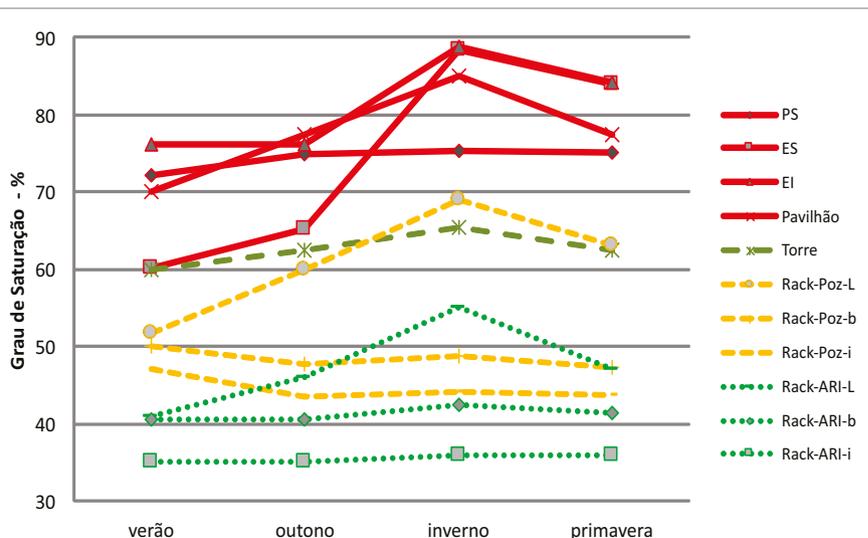


► **Figura 7**

Medição de GS no extremo sul do Brasil: a) Cais do Terminal de Containers - TECON- pontos PS e PI – cimento CP IV-32, b) Cais do TECON – pontos ES e EI – cimento CP IV-25, c) Torre de telecomunicações – medição a 40 m de altura e à 500 m do mar – cimento Portland comum, d) Testemunhos do ponto PS expostos em pavilhão no TECON, ponto a 10 m de altura e à 120 m do mar (GUIMARÃES e RODRIGUES, 2010)

cais, relativo a estacas prancha (Fig. 7b), o erro não considerando o GS e considerando o GS foram de 141% e 45%, respectivamente. Para o ponto EI (Fig. 7b), o erro, não considerando

o GS, foi de 150% e, considerando o GS, este erro baixa para 61%. Para os pontos ES e EI, os erros considerando o GS ainda são altos, embora tenha reduzido muito em relação ao modelo



*L – testemunho com superfície lateral, em relação à superfície de concretagem, exposta para o sul;
b – testemunho com superfície exposta para baixo (ambiente aberto protegido de intempérie);
i – testemunho exposto ao ambiente de laboratório (interno).

► **Figura 8**

Valores de GS para os pontos PS, ES, EI; testemunhos de PS expostos no pavilhão do TECON; Torre; rack para o traço P1(Poz) e para o traço H1(ARI) (GUIMARÃES e RODRIGUES, 2010)

não considerando o GS, provavelmente porque as estacas pranchas foram executadas com cimento CP IV – 25 e os modelos da influência do GS sobre a difusão de cloretos foram realizados com concretos executados com cimento CP IV – 32.

Para um ponto situado a 40 m de altura da Torre de telecomunicações em ambiente marítimo (Fig. 7c), o erro não considerando o GS foi de 106%, diminuindo para 17% quando considerado o GS.

Observa-se uma grande influência do GS na difusão de cloretos no concreto, sendo, portanto, muito importante a sua consideração nos modelos de vida útil.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mesmo utilizando métodos diferentes, as pesquisas de GUIMARÃES e HELENE (2007), CLIMENT et al. (2002) e NIELSEN e GEIKER (2003) obtiveram resultados muito próximos considerando cimentos similares, sendo que, nas duas últimas pesquisas foram utilizadas as equações de Fick, considerando a massa total que sofre difusão como uma constante, enquanto na primeira pesquisa, o valor do teor de cloretos na superfície do concreto é que foi consi-

derado constante, devido aos métodos de ensaios desenvolvidos.

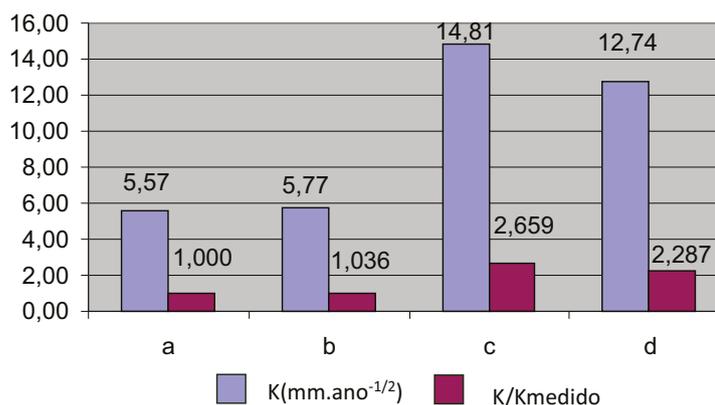
Considerando os materiais e concretos utilizados nesta pesquisa, o cimento pozolânico apresentou coeficientes de difusão mais baixos em relação aos cimentos ARI, mesmo considerando a maior resistência do Cimento ARI. O concreto executado com cimento ARI com 10% de microsilica foi que mais se aproximou em desempenho do concreto executado com cimento pozolânico de mesma relação a/c.

Concretos de melhor qualidade apresentam grau de saturação maior

em relação a concretos inferiores, quando expostos a um mesmo ambiente.

Concretos de melhor qualidade, como os executados com cimento pozolânico, têm o coeficiente de difusão significativamente reduzido entre 100% e 90% de GS. Os piores, com cimento ARI, podem ter seu coeficiente de difusão diminuído significativamente para valores de GS menores que 75%, como o concreto H3.

Devido à influência do GS no coeficiente de difusão do concreto, considera-se muito importante considerar este fator nos modelos de vida útil. ↩



► **Figura 9**

Coeficiente de penetração de íons cloretos – K (mm.ano^{-1/2}) – Ponto PS - a) Medido aos 22 anos: obtido através da curva teórica por regressão; b) Modelo: considerando o modelo com os fatores (f_{ck} – variação da resistência; Cimento – tipo de cimento; T – variação da temperatura; GS – variação do Grau de saturação; SE – posição da superfície exposta em relação à superfície de concretagem); c) Não considerando SE e GS; d) Não considerando somente GS (GUIMARÃES e RODRIGUES, 2010)

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] GUIMARÃES, A.T.C.; HELENE, P.R.L. The moisture effect on the diffusion of chloride ion in hydrated cement paste. In: Marine Corrosion in Tropical Environments, ASTM STP 1399, S.W. Dean, G. Hernandez-Duque Delgasillo, and J.B. Bushman, Eds. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2000.
- [02] CLIMENT, M. A.; VERA, G.; LÓPEZ, J. F.; VIQUEIRA, E.; Andrade, C. A test method for measuring chloride diffusion coefficients through nonsaturated concrete – Part I: The instantaneous plane source diffusion case. Cement and concrete Research, v 32, p. 1113-1123, 2002.
- [03] NIELSEN, P. E.; GEIKER, M. R. Chloride diffusion in partially cementitious material. Cement and Concrete Research, v33, p. 133-138, 2003.
- [04] GUIMARÃES, A.T.C.; RODRIGUES, F.T. Influência do grau de saturação na difusão de cloretos no concreto: visão geral de sua importância na estimativa de vida útil. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.15, p.11-18, 2010.
- [05] GUIMARÃES, A.T.C.; HELENE, P.R.L. Models of variation of chloride ion diffusion as a function of changes in the saturation degree (SD) of concrete mixes prepared with pozzolanic cement. Integral Service Life Modelling of Concrete Structures - RILEM Workshop TC-MAI, - Guimarães, p. 63-70, 2007.
- [06] RODRIGUES, F.T.; GUIMARÃES, A.T.C. Influência do grau de saturação na difusão de cloretos para concreto executado com cimento ARI-RS. 50º Congresso Brasileiro do Concreto, Salvador, 2008. CD.
- [07] BANDEIRA, J.L.S.; CAMACHO, J.M.B.; GUIMARÃES, A.T.C. Influência do grau de saturação na penetração de cloretos em concretos executados com cimento de alta resistência inicial - 1º Encontro Luso-Brasileiro de Degradação em Estruturas de Concreto Armado, Salvador, 2014.
- [08] HELENE, P. R. L. Contribuição à normalização: A resistência sob carga mantida e a idade de estimativa da resistência característica; Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto armado. São Paulo, 1994. (Monografias. EPUS).

Resistência ao ataque por cloretos em concreto com cinza do bagaço da cana de açúcar

ROMEL DIAS VANDERLEI – PROFESSOR DOUTOR E COORDENADOR

HUGO SEFRIAN PEINADO – ENGENHEIRO CIVIL, MESTRE E PESQUISADOR

MARISA FUJIKO NAGANO – ENGENHEIRO CIVIL, MESTRE E PESQUISADORA

GRUPO DE DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DO CONCRETO
ESTRUTURAL DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

I INTRODUÇÃO

Brasil é o maior produtor de cana de açúcar no mundo e também o principal exportador de seus derivados (etanol e açúcar). A Política Nacional de Biocombustíveis assegura ao setor a expectativa de grande desenvolvimento por meio do incentivo à participação dos biocombustíveis na matriz de combustíveis brasileira, por serem resultantes de fontes renováveis e, também, por trazerem contribuições econômicas, sociais e ambientais (BESSA, 2011).

Assim como o vinhoto, torta de filtração, palha, levedura, dentre outros, o bagaço da cana de açúcar é um subproduto das agroindústrias sucroalcooleiras. Estima-se que toda energia necessária para o funcionamento do processo da usina (mecânico, elétrico, acionamento das bombas, moendas e para o processo de destilação e concentração do caldo) pode ser abastecido pelo sistema de cogeração de energia usando somente o bagaço de cana queimado nas caldeiras como fonte energética, o que pode tornar a usina energeticamente autossuficiente (FREITAS, 2005). Ainda, Freitas (2005) destaca que, mesmo que o pro-

cesso de cogeração de energia libere dióxido de carbono (CO_2) para a atmosfera, a quantidade de emissões é significativamente menor, comparada com outras fontes de energia como o petróleo, em função da produção da mesma quantidade de energia, o que acaba por corroborar estudos relacionados à produção de energia com processos alternativos e também estudos que abordem sobre possíveis aplicações técnicas com valor agregado para os resíduos oriundos de tais atividades.

A geração da cinza do bagaço de cana de açúcar (CBC) ocorre na queima do bagaço nas caldeiras durante o processo de cogeração de energia, sendo essa uma fase complementar do aproveitamento do bagaço de cana de açúcar no processo de obtenção do açúcar e álcool (FREITAS, 2005).

Após o processo de queima do bagaço da cana de açúcar, o principal destino para a CBC são os depósitos junto ao local de saída, de onde serão removidas por caminhões tendo como destino a disposição em lavouras. No entanto, conforme destacam Paula (2006) e Altoé (2013), esta aplicação é inadequada e não atribui valor agre-

gado à cinza do bagaço da cana de açúcar, uma vez que a CBC não possui características fertilizantes.

Dependendo das condições de queima do bagaço, podem ser geradas CBC com atividade pozolânica (estado amorfo) ou não (estado cristalino). As CBC no estado amorfo podem ser utilizadas como materiais pozolânicos e substituir parte do cimento, enquanto que as CBC no estado cristalino são inertes e podem ser utilizadas como filer na produção de concretos.

Assim, no estudo da cinza do bagaço da cana de açúcar, além do desenvolvimento da tecnologia de agregados alternativos para a indústria do concreto e de substituintes parciais para o cimento, valoriza-se também a utilização de um subproduto agroindustrial gerado nas usinas sucroalcooleiras, agregando novos valores há um subproduto que é descartado em lavouras.

II Resistência do concreto ao ataque por cloretos

Um concreto durável, conforme destacam Mehta e Monteiro (2008), deverá preservar sua forma, qualidade

► Tabela 1 – Composição do concreto para os diversos teores de substituição

% CBC	Cimento	Areia	CBC	Brita
0	1,000	2,120	0,000	2,880
5	1,000	2,014	0,106	2,880
10	1,000	1,908	0,212	2,880
15	1,000	1,802	0,318	2,880
20	1,000	1,696	0,424	2,880
25	1,000	1,590	0,530	2,880
30	1,000	1,484	0,636	2,880
40	1,000	1,272	0,848	2,880
50	1,000	1,060	1,060	2,880

e capacidade de usos originais quando submetido aos ambientes para o qual foi projetado. De acordo com a ACI 201.2R – *Guide to Durable Concrete* (2008), a durabilidade do concreto de cimento Portland é determinada por sua capacidade de resistir à ação de intempéries, ataques químicos (sulfatos e cloretos, por exemplo), à abrasão ou a qualquer outro tipo de deterioração. Aitcin (2000) destaca que a expressão “durabilidade do concreto” caracteriza-se pela resistência deste material ao ataque de agentes físicos e químicos.

Conforme destaca Figueiredo (2005), a literatura sobre durabilidade de estruturas em concreto armado frequentemente aborda a temática de cloretos, ressaltando que esse é um dos maiores causadores de problemas relacionados à corrosão de armaduras. Segundo o autor, são diversos os fatores que influenciam na velocidade de penetração e profundidade dos íons cloreto (até que atinjam a armadura), sendo esses a composição, tipo e quantidade de cimento, a relação água/cimento, o adensamento e a cura, dentre outros.

Segundo Almeida e Sales (2014), a porosidade e a permeabilidade apresentam uma parcela relevante na facilitação da penetração de cloretos no concreto. Segundo os autores, alguns estudos evidenciam que a incorporação de agregados mais finos ou adições minerais levam à diminuição na distribuição do volume de poros na matriz cimentícia, podendo resultar na redução significativa da penetração de íons cloreto.

Desse modo, estudos a respeito da durabilidade de concretos com incorporação desses agregados mais finos e adições minerais devem ser elaborados, no intuito de verificar se o concre-

to formado apresenta maior resistência ao ataque de agentes agressivos físicos e químicos.

2. OBJETIVO

O presente estudo se propôs a avaliar a resistência ao ataque por cloretos em paralelo à resistência à compressão do concreto, com substituição parcial da areia natural por CBC em percentuais de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 e 50%.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a elaboração do presente estudo, procedeu-se ao rompimento das amostras para obtenção da resistência característica à compressão e à realização do ensaio de penetração de cloretos por aspersão de Nitrato de Prata (EPCANP), proposto pela AASHTO T259 – *Rapid determination of Chloride Permeability of Concrete – Standard Specification for Transportation of Materials and Methods of Sampling and Testing* (1980), que fornece o coeficiente de difusão de cloretos do concreto a partir da profundidade de penetração destes íons no corpo de prova (CP) ao longo do tempo.

A dosagem de concreto utilizada para execução dos CPs e posterior realização do rompimento e do ensaio de penetração de cloretos foi desenvolvido para que atingisse resistência caracte-

rística à compressão de 30 MPa, com traço unitário, em massa, de 1: 2,12: 2,88 (cimento: areia: brita), sendo a relação água/cimento definida pelo ensaio de *Slump Test*, segundo a ABNT NBR NM 67 - Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (1998), para um abatimento de 50 ± 10 mm.

Foram moldados 6 CPs para cada um dos teores de substituição da areia pela CBC, conforme se observa na Tabela 1, sendo os teores de substituição de 0% (concreto sem CBC), 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 e 50%. Empregaram-se CPs cilíndricos (10x20cm) para avaliar a resistência ao ataque por cloretos (3 CPs por teor de substituição) e a resistência característica à compressão (3 CPs por teor de substituição).

Este ensaio consistiu basicamente dos procedimentos a seguir descritos, de acordo com o método EPCANP da AASHTO T259 (1980) e conforme também se observa na Figura 3.

- Após o período de cura em câmara úmida de cada série, o CP cilíndrico 10x20cm correspondente foi cortado com serra diamantada em duas partes iguais, cada uma com as medidas de 10x10cm (Figura 3 a);
- As superfícies superior e inferior dos CPs foram pintadas com 3 demãos de verniz a base de poliuretano, no intuito de que apenas as laterais



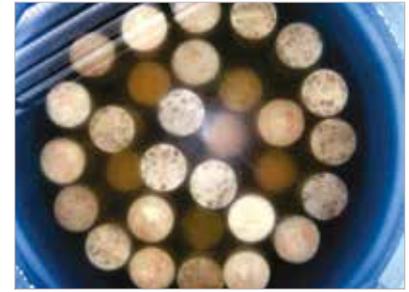
► **Figura 1**
Impermeabilização de topo e base de CPs com verniz

dos CPs estivessem em contato com a solução de cloreto de sódio, conforme ilustra a Figura 1;

- Foram imersos os CPs em tanque contendo solução salina com concentração de cloreto de sódio semelhante à encontrada na água do

mar (19.380 ppm) (Figura 2), até que atingissem a idade dos ensaios (91 dias de imersão);

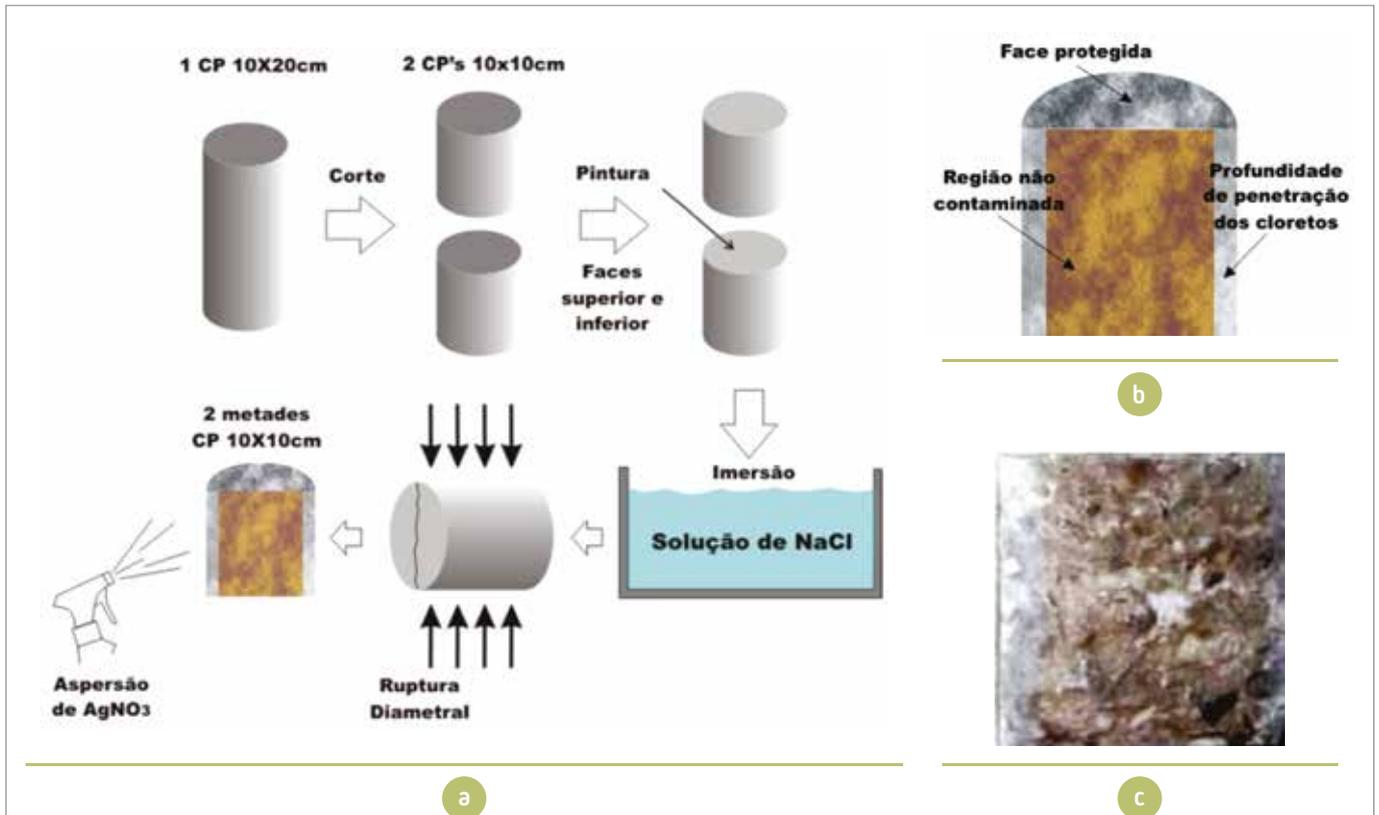
- Na data de cada ensaio, os CPs 10x10cm foram retirados do tanque e rompidos diametralmente (Figura 3 a), resultando em duas amostras. Sobre a superfície de ruptura foi realizada aspersão de uma solução de AgNO_3 (Nitrato de Prata). Desse modo, as regiões do CP que contém uma concentração superior a 0,15% de cloretos livres em relação à massa do cimento, quando em contato com o nitrato de prata, adquirem coloração esbranquiçada; nos locais onde não há cloretos livres (isenta de cloretos ou com cloretos combinados), a coloração é marrom-avermelhada, semelhante



► **Figura 2**
Tanque com solução salina e CPs completamente imersos

à ferrugem, devido a formação do óxido de prata, conforme se observa na Figura 3c;

- Com paquímetro de precisão foram realizadas as medidas da profundidade de penetração dos íons cloreto, sendo a profundidade média de



► **Figura 3**
Metodologia do EPCANP – a) Procedimentos de Ensaio. b) Representação da face rompida do CP, demonstrando a região onde é medida a profundidade de penetração dos íons cloreto. c) Fotografia de um CP em que foi borrifada a solução de AgNO_3 . A região mais clara (laterais) representa a parte do CP com cloretos livres (Saciloto (2005))

► Tabela 2 – Penetração média dos íons cloreto no concreto em função dos teores de substituição de areia por CBC e respectivas resistências características à compressão

% CBC em substituição ao agregado miúdo	Penetração média de íons cloreto (mm)	Resistência à compressão aos 28 dias (sem imersão na solução de cloretos) (MPa)
0	30,60	28,72
5	28,66	28,48
10	26,15	29,77
15	22,98	29,98
20	19,91	30,60
25	23,45	29,75
30	24,03	27,42
40	24,20	28,19
50	24,23	26,00

penetração da amostra calculada pela média de 10 leituras.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos rompimentos à compressão dos corpos de prova e dos procedimentos adotados pelo EPCANP, com a aspersão de nitrato de prata nos CPs rompidos diametralmente e com o auxílio de um paquímetro digital para tomada de cinco medidas de cada lado de cada CP (referente à camada do concreto em que houve contaminação por íons cloreto), os resultados médios são observados na Tabela 2.

Com base nos resultados observados na Tabela 2, verifica-se que substituição de areia por CBC em 20% para o concreto utilizado na presente pesquisa resultou na menor penetração de íons cloreto nos CPs analisados, seguidos dos percentuais de 15 e 25%. Ainda, vê-se que a partir dos teores de substituição de areia por CBC no concreto em 30%, a penetração média obtida de íons cloreto foi aproximadamente a mesma. Observa-se também que todas as amostras de concreto com qualquer percentual de substituição apresentaram menor penetração média de íons cloreto que a amostra de concreto em que não

houve substituição da areia por CBC.

No que se refere à resistência à compressão dos CPs, observa-se que as maiores resistências foram observadas na faixa de substituição de areia por CBC entre 10 e 25%, sendo a substituição em 20% aquela que apresentou maior resistência à compressão.

5. CONCLUSÕES

Os ensaios de penetração de cloretos evidenciaram que concretos com substituição parcial de areia por CBC podem apresentar maior resistência ao ataque por cloretos, uma vez que a espessura referente à penetração média por cloretos nos concretos analisados com substitui-

ção de areia por CBC, na faixa entre 15 a 25%, apresentou os menores resultados.

Ressalta-se também que concretos com teores de substituição de areia por CBC entre 10 e 25% apresentaram os melhores resultados no que se refere à resistência à compressão.

Acredita-se que esse aumento da resistência à compressão do concreto e a diminuição da espessura média de penetração de cloretos na faixa de substituição entre 15 e 25% se dá em função do melhor empacotamento dos agregados miúdos, tornando a microestrutura da argamassa menos permeável, aumentando a resistência à compressão e diminuindo a penetração de cloretos. 📌

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] AÏTCIN, Pierre-Claude. Concreto de alto desempenho. Tradução: Geraldo G. Serra. 1. ed. São Paulo: PINI, 2000.
- [02] ALMEIDA, F.C.R.; SALES, A. Efeitos da ação do meio ambiente sobre as estruturas de concreto. In: RIBEIRO, D.V. (Org.). Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. P.51-73.
- [03] ALTOÉ, S.P.S. Estudo da potencialidade da utilização da mistura de cinza do bagaço de cana-de-açúcar e resíduos de pneus na confecção de concretos e pavimentos para pavimentação. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.
- [04] BESSA, S. A. L. Utilização Da Cinza Do Bagaço Da Cana-De-Açúcar Como Agregado Miúdo Em Concretos Para Artefatos De Infraestrutura Urbana. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.
- [05] FIGUEIREDO, E.P. Efeitos da Carbonatação e de Cloretos no Concreto. In: ISAIA, G.C. (Org.). Concreto. Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. vol. 2. p. 829-855.
- [06] FREITAS, E. S. Caracterização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar do município de campos dos Goytacazes para uso na construção civil. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- [07] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.
- [08] PAULA, M. O. Potencial da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. 2006. 60f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- [09] SACILOTO, A.P. Comportamento frente à ação de cloretos de concretos compostos com adições minerais submetidos a diferentes períodos de cura. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

Influência do teor de cloretos na resistividade elétrica do concreto como parâmetro de durabilidade

LÍGIA VITÓRIA REAL – MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL

MARCELO HENRIQUE FARIAS DE MEDEIROS – PROFESSOR DOUTOR

DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÃO CIVIL, UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

I. INTRODUÇÃO

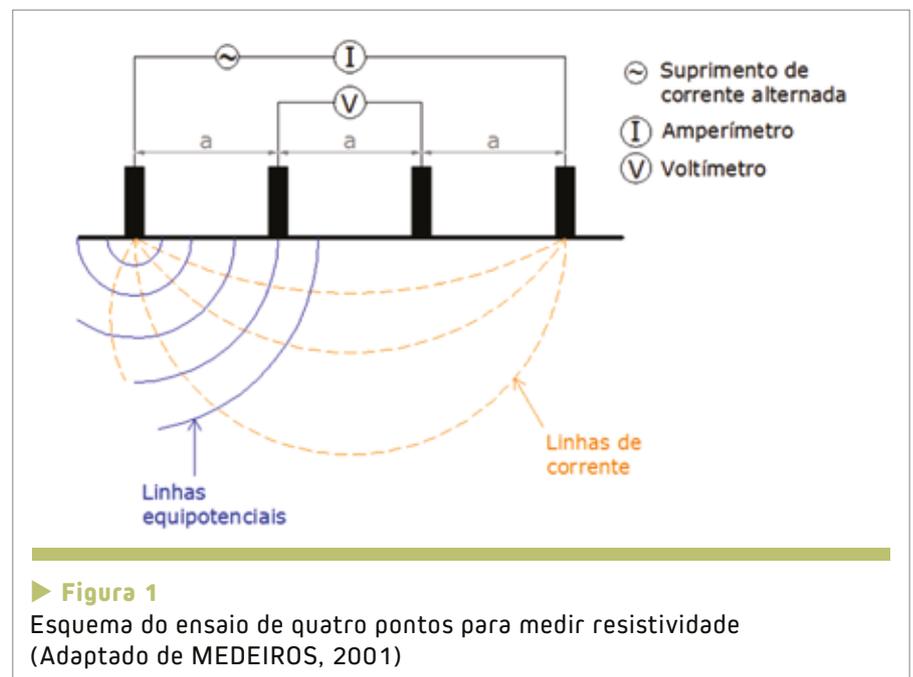
As maiores densidades demográficas brasileiras (acima de 100 habitantes/km²) ocorrem em torno dos eixos intensamente urbanizados e nas áreas litorâneas (IBGE, 2010). Isso leva à urbanização e industrialização de uma região onde há forte agressividade às estruturas de concreto (ABNT NBR 6118: 2014), tanto pelo processo de carbonatação quanto pelo ataque por cloretos. Atualmente, a resistência à compressão é utilizada como principal parâmetro de controle de qualidade do concreto (ABNT NBR 1265: 2006). Porém, nem sempre a avaliação da durabilidade com base nos resultados de resistência mecânica é adequada. Neste contexto, surge a necessidade de avaliar e quantificar parâmetros relacionados diretamente com a durabilidade do concreto armado.

O ensaio de Resistividade Elétrica Superficial (RES) é não destrutivo e de fácil execução, que permite contínuo monitoramento da qualida-

de do concreto, sem comprometer a integridade física da estrutura (MEDEIROS JR *et al.*, 2014). A RES é uma característica dos materiais em geral, sendo o inverso da condutividade elétrica e indica a habilidade de transporte de cargas elétricas no material avaliado.

A medida é realizada através da leitura de uma corrente elétrica gera-

da pela aplicação de uma diferença de potencial entre eletrodos posicionados sobre a superfície do concreto. Dentre os métodos de ensaio existentes, destaca-se o de Wenner ou dos quatro eletrodos. Originalmente era utilizado para solos e mais tarde foi adaptado para uso no concreto. O ensaio consiste em colocar quatro eletrodos em contato direto



► **Figura 1**

Esquema do ensaio de quatro pontos para medir resistividade (Adaptado de MEDEIROS, 2001)

com a superfície do concreto, úmida ou seca. O equipamento imprime uma corrente entre os dois eletrodos externos e, conseqüentemente, uma voltagem é captada pelos eletrodos internos (IccET, 1989), como apresentado na Figura 1.

Os resultados do ensaio de resistividade elétrica podem ser comparados aos limites prescritos pelo Boletim 192 do CEB (1989), indicando o risco de corrosão de uma estrutura de concreto armado (Tabela 1).

Além disso, a resistividade elétrica pode ser utilizada para controle de qualidade de pré-fabricados e para modelagem da vida útil de estruturas de concreto armado sujeitas à corrosão por penetração de íons cloreto.

Alguns fatores podem influenciar o resultado da RES, tais como: a relação água/cimento, a porosidade da pasta, a origem e dimensão dos agregados utilizados, a hidratação e tipo de cimento, a presença de adições minerais, a geometria da peça, a temperatura e a umidade do ambiente e a presença de íons cloreto (LENCIONI, 2011).

Os íons cloreto presentes no concreto armado podem provir de fontes internas ou externas, como, por exemplo, do uso da água do mar no concreto fresco, de agregados contaminados ou do uso de aditivos aceleradores de pega que contém cloreto de cálcio, amplamente utilizados até meados de 1970 (FIGUEIREDO; 1994). No concreto endurecido, os cloretos podem penetrar na estrutura pelo contato direto com a água do mar, pela presença de maresia, pelos sais de degelo ou em estruturas que armazenem sal, como tanques de salmoura e

aquários (BROMMFIELD, 2007). Esses íons são encontrados na matriz cimentícia de duas formas: livres (dissolvidos na água dos poros) ou combinados com o C_3A e C_4AF (produtos da hidratação do cimento), formando cloroferratos e cloroaluminatos (sal de Friedel). Os realmente nocivos às armaduras são os livres.

Esses íons cloreto livres destroem de forma localizada a película passivante das armaduras do concreto, provocando a corrosão por pite (em pontos localizados). Estes pontos formam o ânodo da pilha de corrosão e, devido à sua progressão em profundidade, podem até provocar a ruptura da barra de aço. No Brasil, a ABNT NBR 12655 (2014) limita o teor de cloretos solúveis em água (cloretos livres) de acordo com a classe de agressividade ambiental.

O efeito dos íons cloreto na resistividade elétrica do concreto ainda é contraditório (LENCIONI, 2011). Em 1982, Gjorv et al., apud Tuutti, afirmaram que a resistividade elétrica do concreto se reduz em 50% quando o teor de $CaCl_2$ passa de 0 a 4% em relação à massa de cimento (CASCUDO, 1997). De acordo com Brommfield (2007), a presença de cloretos não afeta fortemente a resistividade elétrica do concreto, pois, como já há uma abundância de íons dissolvidos na água dos poros, os cloretos não fariam diferença. No entanto, como podem ser higroscópicos, os íons cloreto são frequentemente responsabilizados por reduzir a RES. Em concordância com tal fato, Lencioni (2011) acrescentou ao concreto fresco 3% de cloretos em relação à massa de cimento e não encontrou variação significativa

► Tabela 1 – Probabilidade de corrosão conforme resistividade elétrica do concreto (CEB, 1989)

Valores de resistividade elétrica (kΩ.cm)	Risco de corrosão
< 5	Muito alta
< 10	Alta
< 20	Baixa
> 20	Negligenciável

ao comparar as resistividades elétricas de concretos com e sem cloretos. Entretanto, em 2006, Santos incorporou 0,4 e 1,0% de cloreto em relação à massa de cimento e, após 7 dias, constatou uma redução de 28% na resistividade elétrica para o traço com adição de 0,4% de Cl em relação à mistura isenta de cloretos e de 47% para a contaminação com 1% de Cl.

Tendo em vista o exposto e a falta de um consenso entre os pesquisadores, o objetivo deste artigo é avaliar a influência do teor de cloretos internos na resistividade elétrica superficial do concreto.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

A fim de analisar a influência do teor de cloretos incorporados ao concreto na resistividade elétrica superficial, foram moldados corpos de prova com um traço padrão, que diferem entre si devido às concentrações de cloretos: 0 (referência), 1, 2, 3 e 4% de cloretos em relação à massa de cimento. Para isso, foi adicionado cloreto de sódio (NaCl) ao concreto fresco. Os traços estão descritos na Tabela 2.

Para avaliar a resistência à compressão foram moldados 6 corpos de prova cilíndricos (10x20cm) por

► Tabela 2 – Traços de concreto utilizados

Traço	CP V - ARI (kg)	Areia média (kg)	Brita 1 (kg)	Água (kg)	NaCl (g)	Ccimento (kg/m ³)	Slump (mm)
*0%	33,1	70,1	95,3	19,5	0,0	348	130±20
*1%	33,1	70,1	95,3	19,5	542,2	348	130±20
*2%	33,1	70,1	95,3	19,5	1084,5	348	130±20
*3%	33,1	70,1	95,3	19,5	1626,7	348	130±20
*4%	33,1	70,1	95,3	19,5	2168,9	348	130±20

* As porcentagens dos traços se referem à quantidade de cloretos em relação à massa de cimento.

dosagem, sendo rompidos 3 aos 28 dias e 3 aos 63 dias. Para mensurar a resistividade elétrica superficial do concreto foram moldados 4 corpos de prova cúbicos de aresta

25 cm (Figura 2), os quais foram dimensionados com base nas recomendações de Gowers e Millard (1999) e Medeiros (2001). Dimensões semelhantes já foram adota-

das por outros autores (LEOCINI, 2011), a fim de simular um meio infinito que não influenciasse a RES devido à geometria da peça. As leituras foram realizadas aos 63 dias, com o Eletrodo de Wenner de espaçamento igual a 50 mm, em cada uma das faces do paralelepípedo, totalizando 24 resultados por concreto executado (Figura 3). A fim de não influenciar nas leituras de RES, não foram utilizados óleos ou ceras desmoldantes para as moldagens. As amostras foram desformadas com 24 horas de idade e submetidas à cura submersa saturada com cal por 7 dias e, em seguida, permaneceram em uma câmara úmida (a 23±2°C, umidade relativa acima de 90%) até o momento das rupturas e leituras. Assim, todas as medições de resistividade elétrica foram realizadas com o concreto saturado.



► Figura 2

a) Formas dos corpos de prova cúbicos b) Corpos de prova moldados



► Figura 3

Leituras de resistividade elétrica do concreto

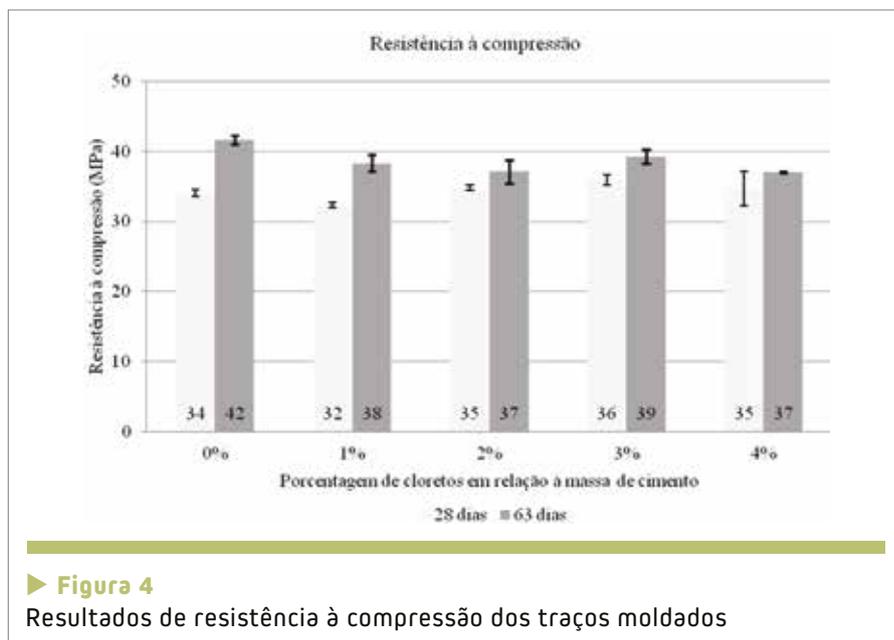
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como os traços unitários utilizados no programa experimental foram os mesmos (1: 2,12: 2,88: 0,59), variando apenas a concentração de cloretos, os concretos deveriam pertencer a mesma classe de resistência à compressão. Aos 28 dias, considerando os desvios

padrões propostos pela ABNT NBR 12655 (2006), os concretos utilizados puderam ser classificados como C30, segundo a ABNT NBR 8953 (2009). Observando os resultados de resistência à compressão aos 63 dias, pode-se dizer que houve um acréscimo de até 10% em relação aos resultados de 28 dias (Figura 4).

Comparando as resistividades elétricas superficiais obtidas para as amostras em estudo com os limites prescritos pelo Boletim 192 do CEB (1989) (Tabela 1), é possível observar que os concretos com 0, 1 e 2% de cloretos em relação à massa de cimento se encontram na faixa de baixo risco de corrosão, enquanto a dosagem com 4% está no intervalo de alto risco. O traço referente aos 3% de cloretos encontra-se no limite entre alto e baixo risco de corrosão (Figura 5). Apesar de alguns teores de cloreto terem se apresentado com igual risco de corrosão, uma análise de variância (ANOVA), com 95% de confiabilidade permitiu concluir que houve sim influência nos resultados de RES pela adição de cloretos ao concreto fresco (Tabela 3).

Também é possível observar na Figura 5 que, ao se acrescentar 1% de cloretos à massa de cimento, a RES aumentou 12% em relação ao traço de referência. Porém, ao se acrescentar 2%, a resistividade diminuiu a um valor equivalente ao traço sem adição de cloretos, conforme indica a Comparação de Múltiplas Médias (Tabela 4). Para a quantias de 3 e 4% de cloretos, as resistividades elétricas superficiais continuam se reduzindo, sendo 18 e 37% inferiores às RES obtidas para o concreto de referência, respectivamente. Se comparadas ao melhor



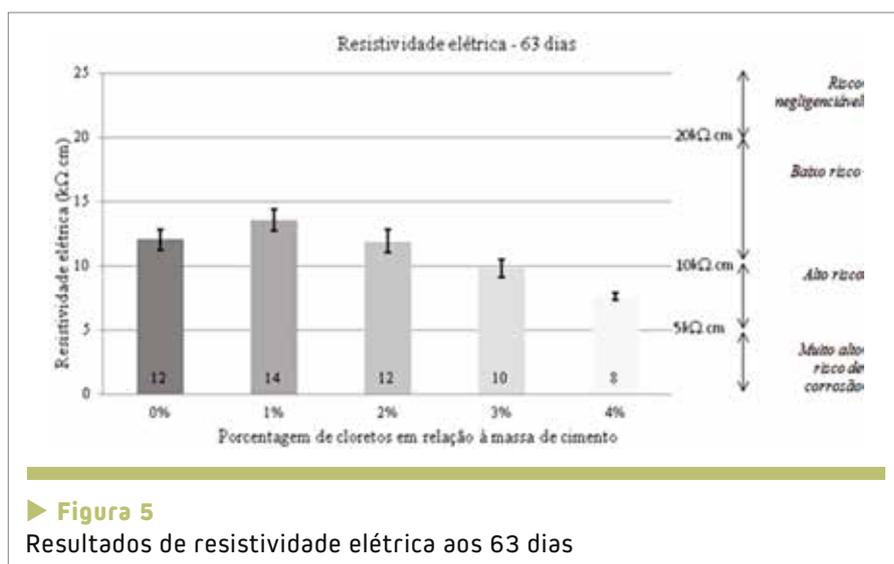
► **Figura 4**
Resultados de resistência à compressão dos traços moldados

resultado de RES (teor de cloretos igual a 1%), o traço de 3% apresentou resistividade 27% inferior e o 4% foi 44% menor. Ou seja, ao se adicionar 1% de cloretos em relação à massa de cimento, a resistividade elétrica superficial melhorou, entretanto, a partir de 3% de adição, a RES passou a se reduzir relação à série de referência.

O fato de a resistividade elétrica ter aumentado com a incorporação de 1% de cloretos ao se comparar com o traço de referência pode ter

ocorrido devido à formação de sal de Friedel, que tende a se depositar nos grandes poros (>60mm), reduzindo-os e os tornando descontínuos e mais tortuosos, como também defendem Wee et al. (2000). Além disso, a formação de sal de Friedel consiste em um processo de fixação dos cloretos, ou seja, uma reação do Cl⁻ com os aluminatos da pasta, não os deixando livres para ficarem na forma de íons dispersos na água de poro do concreto.

Outro efeito dos cloretos no



► **Figura 5**
Resultados de resistividade elétrica aos 63 dias

► Tabela 3 – Análise de variância para resultados de RES aos 63 dias

Fonte de variação	Soma dos quadrados (SQ)	Grau de liberdade (GDL)	Médias quadradas (MQ)	Teste F	F tab
% de cloretos	509	4	127	239,0	2,5
Erro (residual)	61	115	1	–	–
Total	570	119	–	–	–

$$F_{\text{calculado}} = 239,0 > F_{\text{tabelado}} = 2,5 \Rightarrow \text{Efeito da porcentagem de cloretos significativo.}$$

► Tabela 4 – Comparação de múltiplas médias dos resultados de RES aos 63 dias

Comparação entre as médias de RES	Consideração final
$y_{\text{REF}} - y_{1\%} = 1,50 > Ld = 0,45$	Diferença significativa entre as resistividades.
$y_{\text{REF}} - y_{2\%} = 0,12 < Ld = 0,45$	Diferença não significativa entre as resistividades.
$y_{\text{REF}} - y_{3\%} = 2,20 > Ld = 0,45$	Diferença significativa entre as resistividades.
$y_{\text{REF}} - y_{4\%} = 4,43 > Ld = 0,45$	Diferença significativa entre as resistividades.
$y_{1\%} - y_{2\%} = 1,62 > Ld = 0,45$	Diferença significativa entre as resistividades.
$y_{1\%} - y_{3\%} = 3,70 > Ld = 0,45$	Diferença significativa entre as resistividades.
$y_{1\%} - y_{4\%} = 5,93 > Ld = 0,45$	Diferença significativa entre as resistividades.
$y_{2\%} - y_{3\%} = 2,08 > Ld = 0,45$	Diferença significativa entre as resistividades.
$y_{2\%} - y_{4\%} = 4,31 > Ld = 0,45$	Diferença significativa entre as resistividades.
$y_{3\%} - y_{4\%} = 2,23 > Ld = 0,45$	Diferença significativa entre as resistividades.

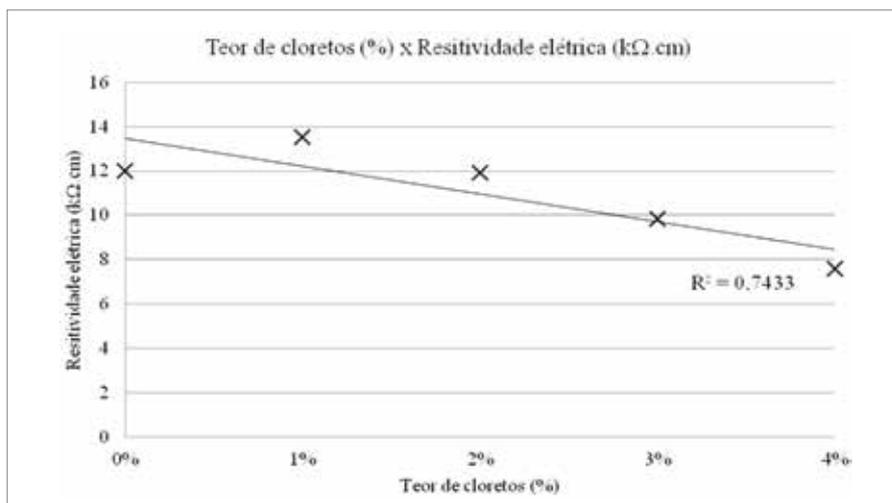
concreto é que haveria íons cloretos não combinados que ficariam adsorvidos às camadas dos sais formados, também não contribuindo para a elevação da condutividade elétrica do sistema compósito de cimento Portland (BROMMFIELD, 2007). Entretanto, a partir da adição de 2% de cloretos, o sistema se saturaria em relação à fixação de cloretos e adsorção nas superfícies, além de haver o esgotamento dos alumina-tos disponíveis para formação do sal de Friedel. Atingido esse ponto de saturação, os cloretos adicionados em excesso à mistura ficariam livres, em suspensão na água dos poros e, por serem íons e conduzirem eletricidade, contribuiriam para redução da resistividade elétrica do concre-

to. Além disso, todas as medições de RES foram realizadas nos corpos de prova saturados. Portanto, os re-

sultados encontrados são contrários à teoria proposta por Brommfield (2007) de que os íons cloreto reduzem a RES por serem higroscópicos e aumentarem o teor de umidade do concreto. Desse modo, existiu uma influência dos íons cloretos e sua condutividade inerente.

Com bases nos resultados obtidos neste estudo, é possível observar que há correlação entre a resistividade elétrica superficial e o teor de cloretos incorporado ao concreto, indicando que à medida que a porcentagem de cloreto aumenta, a RES tende a diminuir. O índice de regressão linear foi igual a 74% (Figura 6).

Porém, comparando a RES com a resistência à compressão, o índice de regressão linear (R^2) foi igual a 0,1066, indicando que houve baixa correlação entre os dois parâmetros (Figura 7). Ou seja, para este estudo, é possível dizer que não houve relação entre a resistência à compressão e a resistividade elétrica do concreto. Esse resultado era esperado, já que a resistividade é uma



► Figura 6

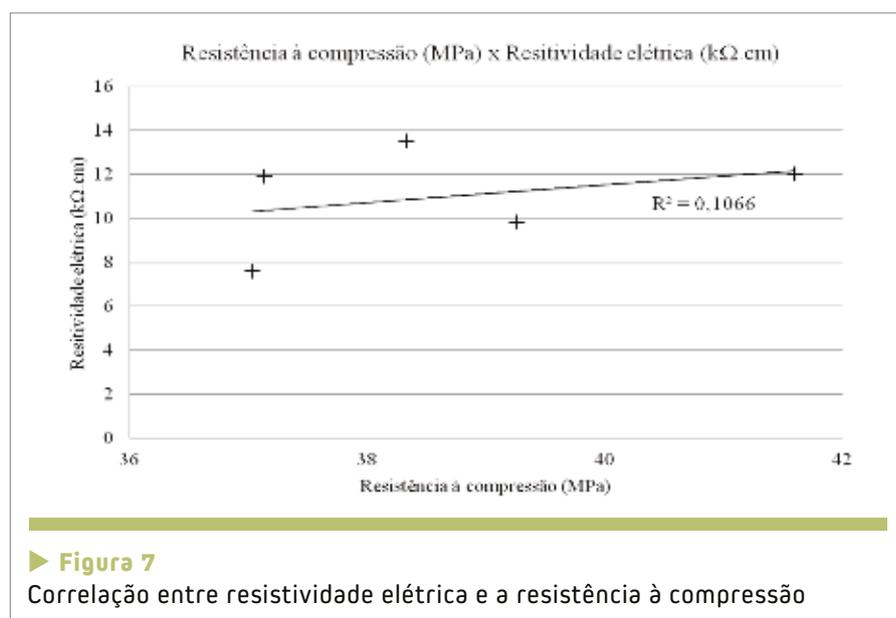
Correlação entre resistividade elétrica e teor de cloretos incorporado ao concreto

propriedade volumétrica do material, que indica a capacidade de transporte de cargas no concreto, ou seja, relaciona-se com a interconectividade entre os poros, enquanto a resistência à compressão é influenciada por seus tamanhos e volumes, não pela conexão entre esses. Tal fato reforça a necessidade da avaliação dos parâmetros de durabilidade e não apenas do controle de qualidade através da resistência à compressão, pois a resistência mecânica não garante a durabilidade do concreto em condições de serviço.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nesta pesquisa, é possível ressaltar que:

- ▶ A presença de cloretos incorporados no concreto não influenciou a resistência à compressão do material;
- ▶ A incorporação de 1% de cloretos em relação à massa de cimento aumentou a resistividade elétrica do concreto, comparada com a do traço de referência, que não tem adição de cloretos;



▶ **Figura 7**
Correlação entre resistividade elétrica e a resistência à compressão

- ▶ A partir de 2% de cloretos em relação à massa de cimento, a RES reduziu conforme o teor de cloretos incorporados aumentou;
- ▶ Há um teor máximo de cloretos que pode ser combinado ao material cimentício e, se existem cloretos no concreto acima desta capacidade de combinação, os íons cloretos ficam livres e afetam a resistividade elétrica causando sua redução;
- ▶ Existe correlação entre a resistivi-

dade elétrica superficial do concreto e a concentração de cloretos no seu interior, com índice de regressão linear igual a 74%;

- ▶ A correlação entre a resistividade elétrica superficial do concreto e resistência à compressão foi de apenas 10%, reforçando a necessidade da avaliação da durabilidade para controle de qualidade do concreto armado, além do clássico e simples controle da resistência à compressão. ➤

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] BROMMFIELD, J. P. Corrosion of steel in concrete – Understanding, investigation and repair. E & FN SPON, Londres, 2007.
- [02] CASCUDO, O. Controle da Corrosão de Armaduras em concreto: inspeções e técnicas eletroquímicas. 1ª Edição. Editora PINI. São Paulo. 1 v. 1997.
- [03] GOWERS, K. R.; MILLARD, S. G. Measurement of concrete resistivity for assessment of corrosion severity of steel using wenner technique. ACI materials journal, v. 96-M66, p. 536–541, 1999.
- [04] LEOCINI, J. W. Estudos sobre resistividade elétrica superficial em concreto: análise e quantificação de parâmetros intervenientes nos ensaios. Tese (doutorado), Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2011.
- [05] INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN EDUARDO TORROJA. Manual de inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras. CSIC, Madrid, Coordinación Carmen Andrade, 1989, 122 p.
- [06] FIGUEIREDO, E. J. P. Avaliação do desempenho de revestimentos para proteção da armadura contra a corrosão através de técnicas eletroquímicas: contribuição ao estudo de reparo de estruturas de concreto armado. (Tese de doutorado). EPUSP, São Paulo, 1994. 423p.
- [07] MEDEIROS JR, R. A. Estudo da resistividade do concreto para proposta de modelagem de vida útil – corrosão de armaduras devido à penetração de cloretos. Tese (Doutorado), Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São Paulo, 2013.
- [08] MEDEIROS, M. H. F. Estudo de variáveis que influenciam nas medidas de resistividade de estruturas de concreto armado. Revista Engenharia Civil da Universidade do Minho, v.12, Guimarães, 2001.
- [09] WEE, T. H. SURYAVANSHI, A. K. TIN, S. S. Evaluation of rapid chloride permeability test (RCPT) results for concrete containing mineral admixtures. ACI Mater, Journal, v. 92, p. 221–231, 2000.

57º Congresso Brasileiro do Concreto foca sustentabilidade nas construções

O Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON promove, de 27 a 30 de outubro, em Bonito, Mato Grosso do Sul, o 57º Congresso Brasileiro do Concreto, sob o tema “O futuro do concreto para a sustentabilidade nas construções”.

Fórum nacional de divulgação e debates sobre a tecnologia do concreto e seus sistemas construtivos, o evento objetiva divulgar as pesquisas científicas e tecnológicas sobre o concreto e as estruturas de concreto, em termos de produtos e processos, práticas construtivas, normalização técnica, análise e projeto estrutural e sustentabilidade.

As inscrições para o evento estão abertas e podem ser feitas on-line a preços promocionais até 30 de setembro pelo site www.ibracon.org.br. Serão apresentados aproximadamente 500 trabalhos nas mais de dez sessões científicas por pesquisadores, profissionais e estudantes de instituições de ensino e pesquisa, de associações técnicas, de empresas e órgãos governamentais da cadeia produtiva do concreto no Brasil. Além disso, pesquisadores de conceituadas universidades e centros de pesquisa internacionais apresentarão os últimos avanços e descobertas científicas e tecnológicas sobre o concreto em seus campos de especialização. São eles:

- Alfred Strauss (Universidade de Recursos Naturais e das Ciências da Vida, Viena, na Áustria): “As ferramentas de análise estrutural não linear e os padrões de segurança”;
- Anne Beeldens (Universidade de



Auditorio Terena do Centro de Convenções de Bonito

Leuven, Bélgica): “Desafios para obtenção de pavimentos de concreto fotocatalíticos capazes de purificar o ar”;

- David Brill (Agência Federal de Aviação dos Estados Unidos - FAA): “Projeto e construção de pavimentos de concreto aeroportuários em face das novas diretrizes da Agência Federal de Aviação dos Estados Unidos (FAA)”;
- Franz-Josef Ulm (Instituto de Tecnologia de Massachussetts – MIT): “Desempenho da infraestrutura quanto ao gerenciamento do carbono”;
- Gianluca Cusatis (Universidade Northwestern, Estados Unidos): “Novo modelo computacional para simulação do envelhecimento e da deterioração das estruturas de concreto”;
- Javier Oliver (Universidade Técnica da Catalunha, em Barcelona,

Espanha): “Tendências passadas, presentes e futuras sobre a modelagem computacional da fissuração no concreto”;

- John Bolander (Universidade da Califórnia, em Davis, Estados Unidos): “Recentes avanços na modelagem discreta do concreto reforçado com fibras”
- Jussara Tanesi (American Concrete Institute – ACI, Estados Unidos): “Infraestrutura sustentável de concreto: já chegamos lá?”
- Liv Haselbach (Universidade Estadual de Washington, Estados Unidos): “Pavimentos permeáveis de concreto”;
- Luc Rens (Associação Europeia de Pavimentação em Concreto - Eupave): “Pavimentos de concreto de baixo ruído”;
- Maria del Carmen Andrade Perdrix (Instituto de Ciências da Construção

Eduardo Torroja - CSIC, Espanha): “Modelos de vida das estruturas de concreto em serviço”;

- Odd Gjørv (Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia - NTNU): “Projeto de estruturas de concreto em ambiente severo”.

Fazem parte ainda da programação os eventos paralelos, como a 3rd International Conference on Best Practices for Concrete Pavements, o Simpósio sobre Estruturas de Fundações, o Simpósio sobre Modelagem Computacional de Estruturas de Concreto e o II Simpósio sobre Durabilidade das Estruturas de Concreto. Neles serão apresentadas e discutidas as mais recentes pesquisas relacionadas ao comportamento físico, químico e mecânico do concreto, bem como as inovações em sua aplicação em obras de fundações, pavimentação, edificações e infraestrutura.

A cada edição do Congresso, é realizada a Feira Brasileira das Construções em Concreto - Feibracon, espaço de exposição para os produtos e serviços das empresas da cadeia produtiva do concreto e para o estreitamento de relacionamento dessas empresas com seus clientes e potenciais clientes. Adicionalmente, as empresas patrocinadoras do evento têm a chance de apresentar palestras técnico-comerciais no Seminário das Novas Tecnologias, que também compõe a programação.

À parte sua extensa programação técnica, o Congresso valoriza o aspecto social do conagraçamento e relacionamento dos profissionais, por meio de coquetéis, jantares, premiações e concursos estudantis, realizados durante os quatro dias do

evento. Particularmente, a agitação estudantil nas competições Aparato de Proteção ao Ovo (APO), Concrebol, Concreto Colorido de Alta Resistência (Cocar) e Ousadia deixa a cada ano suas impressões positivas nos congressistas por seu entusiasmo, espírito de competição e de respeito com os concorrentes.

O Congresso Brasileiro do Concreto é aberto aos profissionais em geral do setor construtivo, tecnologistas de concreto, projetistas de estruturas, professores e estudantes de Engenharia Civil, Arquitetura e Tecnologia, profissionais técnicos de construtoras, empresas de energia, fabricantes de equipamentos e materiais para construção, laboratórios de controle tecnológico, órgãos governamentais e associações técnicas, que queiram aprender mais, discutir e se atualizar sobre a tecnologia do concreto e de seus sistemas construtivos. Nas últimas edições, o evento contou com a participação de mais de mil inscritos.

Além de estar coordenando a organização local do 57º Congresso Brasileiro do Concreto, a Regional IBRACON de Mato Grosso do Sul apoia o Programa de Desenvolvimento de Construtoras, que tem o objetivo de aumentar a produtividade e melhorar o desempenho técnico das construtoras da região por meio da difusão das melhores práticas de projeto, planejamento e execução do sistema construtivo

“Paredes de Concreto”. Realizado pela Comunidade da Construção e ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), o evento acontece nos meses de agosto, setembro e outubro, no campus da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul.

A Regional apoia também, de 14 a 20 de setembro, o Congresso on-line de Estruturas de Concreto, voltado para estudantes de engenharia civil e profissionais do setor, com o propósito de difundir as boas práticas em projeto, sistemas construtivos, materiais e propriedades, gestão e normalização, e sustentabilidade. O evento conta com a participação de especialistas em projeto e dosagem de concreto de todo país. As inscrições são gratuitas e podem ser feitas pelo site <http://coneconc.com.br/>.



Prof. Odd Gjørv em sua palestra no último Congresso. Além de palestra, o Prof. Gjørv fará lançamento de seu livro sobre durabilidade no 57º Congresso Brasileiro do Concreto

Semana de Engenharia no Paraná

A diretoria regional do IBRACON no Paraná apoiou a Semana Acadêmica de Engenharia da Universidade Federal do Paraná, ocorrida de 24 a 28 de agosto último. Seus diretores, Cesar Henrique Daher e Luís César De Luca proferiram aos alunos as palestras “Concretizando sonhos: o empreendedorismo do concreto” e “Aspectos relevantes sobre patologia nas obras civis”, respectivamente. A Semana contou também com a participação do conselheiro do IBRACON, Prof. Enio Pazini Figueiredo,

que ministrou a palestra “Diagnóstico e reabilitação do Maracanã: desafiando o tempo”.

A Semana de Engenharia contou com a participação de cerca de 250 acadêmicos, oferecendo a oportunidade para os diretores sensibilizarem os estudantes sobre a importância de se filiar ao IBRACON, que reúne especialistas em concreto de todo território nacional e dispõe de um banco



Alunos numa das palestras da Semana Acadêmica de Engenharia da UFPR

com mais de 4000 artigos técnicos sobre o assunto, além de editar revistas e livros especializados.

Encontro Regional no Pará

Nos dias 01, 02 e 03 de setembro último, a Regional IBRACON no Pará realizou, na capital Belém, seu XXII Encontro Regional. O objetivo do Encontro foi disseminar conhecimentos sobre a utilização do concreto na área de materiais e estruturas e promover a integração do meio acadêmico e do meio técnico regional. Foram três dias intensos de muitas discussões sobre assuntos variados relacionados à engenharia das estruturas de concreto, entre os quais: como prever e garantir a vida útil preconizada na Norma de Desempenho; quantificação

de incertezas na engenharia estrutural; inovações construtivas pré-moldadas; vistoria e manutenção de pontes e viadutos; e desempenho das estruturas de concreto.

O evento, que ocorreu no Centro de Eventos Benedito Nunes na Universidade Federal do Pará, contou com a participação de cerca de 800 pessoas, entre estudantes e profissionais do setor, e teve o patrocínio das empresas Vedacit, Votorantim, WIN Construtora, Marcon Protensão, Impermeabilização e Serviços, Link da Amazônia Construtora, Consórcio Nova Saúde, Brasilit,



Centro de Eventos Benedito Nunes da UFPA

Votorantim Cimentos, Supermassa e Círculo Engenharia. Contou ainda com apoio do CREA-PA e Sinduscon-PA.

Eventos em Minas Gerais

A Regional IBRACON em Minas Gerais realizou, conjuntamente com o Sinduscon-MG (Sindicato da Indústria da Construção em Minas Gerais) e a Abece (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural), o seminário “O concreto não atingiu a resistência. O que fazer?” no último dia 18 de agosto, no auditório da Federação das Indústrias de Minas Gerais (FIE-MG). Seu objetivo foi debater as prováveis causas para o concreto dosado em central não atingir a resistência à

compressão especificada em projeto e as ações a serem tomadas pelo engenheiro de obras.

O Seminário confrontou a visão de tecnólogos, projetistas e construtores quanto ao tema e contou também com a palestra de um advogado quanto à divisão de responsabilidades entre os profissionais frente ao problema.

Tomando parte do “Programa de redução de riscos e aumento da vida útil de estruturas” (Programa Edificação + Segura), que visa fomentar a especia-

lização e a difusão do conhecimento referente à conservação de estruturas no Brasil, a Regional iniciou em 28 de agosto, no auditório da Arcelor Mittal em Belo Horizonte, a primeira turma do curso do Programa, que objetiva capacitar profissionais em inspeção de estruturas de concreto de edificações, sendo organizado conjuntamente pela Abece, Alconpat (Associação Brasileira de Patologia das Construções) e IBRACON.

Mais informações sobre o curso podem ser obtidas em www.edificacaomaissegura.org.

Congresso Internacional em Reabilitação de Construções (Conpat 2015)

- **Data:** 8 a 10 de setembro
- **Local:** Lisboa, Portugal
- **Realização:** Alconpat
- **Informações:** www.conpat2015.com

Conferência Internacional sobre Concreto Estrutural Sustentável

- **Data:** 15 a 18 de setembro
- **Local:** La Plata, na Argentina
- **Realização:** AATH, AAHES, LEMIT, RILEM
- **Informações:** www.sustainconcrete2015.com.ar

Seminário da Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição

- **Data:** 17 de setembro
- **Local:** São Paulo, São Paulo
- **Realização:** Abrecon
- **Informações:** www.acquacon.com.br/seminariorcld

ENECE 2015 – 18º Encontro Nacional de Engenharia e Consultoria Estrutural

- **Data:** 8 e 9 de outubro
- **Local:** São Paulo, SP
- **Realização:** ABECE
- **Informações:** www.abece.com.br

14º Congresso Internacional sobre Química do Cimento

- **Data:** 13 a 16 de outubro
- **Local:** Pequim, China
- **Realização:** ICCG
- **Informações:** www.iccc2015beijing.org

Seminário Desafios do projeto, produção e aplicação do concreto

- **Data:** 15 de outubro
- **Local:** São Paulo, SP
- **Realização:** ABCP
- **Informações:** www.abcp.org.br

57º Congresso Brasileiro do Concreto

- **Data:** 27 a 30 de outubro
- **Local:** Bonito, Mato Grosso do Sul
- **Realização:** IBRACON
- **Informações:** www.ibracon.org.br

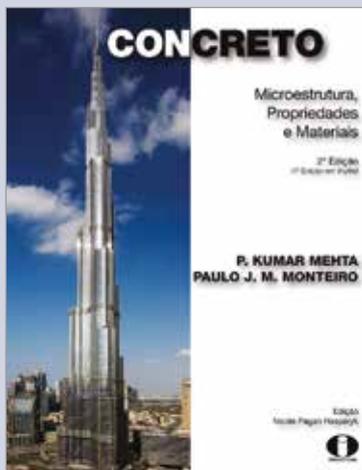
ACI Convention – Fall 2015

- **Data:** 8 a 12 de novembro
- **Local:** Denver, Estados Unidos
- **Realização:** ACI
- **Informações:** www.concrete.org

Publicações técnicas do IBRACON

O Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON está com u
sempre às mãos publicações técnicas de referência sobre

CONCRETO: Microestrutura, Propriedades e Materiais



Guia atualizado e didático sobre as propriedades, comportamento e tecnologia do concreto, a quarta edição do livro “CONCRETO: Microestrutura, Propriedades e Materiais”, dos professores Kumar Mehta e Paulo Monteiro (Universidade

da Califórnia, em Berkeley), foi amplamente revisada para trazer os últimos avanços sobre a tecnologia do concreto e para proporcionar em profundidade detalhes científicos sobre este material estrutural mais amplamente utilizado. A segunda edição brasileira foi coordenada pela Enga. Nicole Pagan Hasparyk (Furnas).

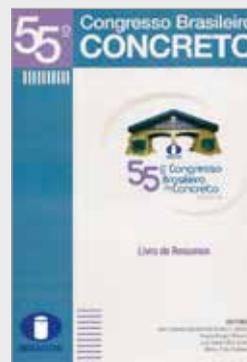
Durabilidade do concreto



Esforço conjunto de 30 autores franceses, coordenados pelos professores Jean-Pierre Ollivier e Angélique Vichot, o livro “DURABILIDADE DO CONCRETO: bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente” condensa um vasto conteúdo

que reúne, de forma atualizada, o conhecimento e a experiência de parte importante de membros da comunidade científica europeia que trabalha com o tema da durabilidade do concreto. A edição brasileira da obra, coordenada pelos professores Oswaldo Cascudo e Helene Carasek (UFG), foi enriquecida com sua adaptação à realidade técnica e profissional nacional.

ANAIS do Congresso Brasileiro do Concreto



Faça a aquisição hoje pela

com preços promocionais

uma promoção imperdível. É a oportunidade para você ter a tecnologia do concreto e de seus sistemas construtivos.

CONCRETO & Construções



A revista CONCRETO & Construções é veículo oficial do IBRACON, de caráter científico, tecnológico e informativo, para a troca de ideias e informações sobre o concreto e seus sistemas construtivos entre os profissionais da construção civil, servindo de intermediário entre o desenvolvimento técnico-científico e o mercado construtivo brasileiro. As edições em promoção abordam, como tema principal, a ecoeficiência do concreto, as estruturas de edificações e o concreto para fundações e torres de aerogeradores.

PREÇOS PROMOCIONAIS

Sócios: R\$ 450,00

Não sócios: R\$ 550,00

Adquira os livros *“Concreto: microestrutura, propriedades e materiais”* e *“Durabilidade do concreto”*, os *Anais* das três últimas edições do Congresso Brasileiro do Concreto e três edições da *Revista CONCRETO & Construções* a preços promocionais.

Os Anais reúnem os artigos técnico-científicos que foram apresentados e debatidos nas 56 edições do Congresso Brasileiro do Concreto, desde a fundação do IBRACON. São mais de 4000 contribuições de especialistas nacionais e estrangeiros sobre os mais variados temas, constituindo-se numa verdadeira enciclopédia brasileira sobre o concreto. Os Anais em promoção reúnem os trabalhos apresentados nas edições 54ª, 55ª e 56ª do Congresso Brasileiro do Concreto.



57º Congresso Brasileiro do **CONCRETO** Bonito • MS • 2015

O futuro do concreto para a
sustentabilidade nas construções

27 a 30
de outubro

Bonito, Mato Grosso do Sul



**Ponto de encontro dos profissionais
e das empresas brasileiras da
cadeia produtiva do concreto**

R E A L I Z A Ç Ã O



IBRACON

Rua Julieta do Espírito Santo Pinheiro, nº 68 – Jardim Olímpia
CEP 05542-120 – São Paulo – SP – Brasil
Telefone (11) 3735-0202 | Fax (11) 3733-2190

 www.ibracon.org.br
 facebook.com/ibraconOffice
 twitter.com/ibraconOffice