

CONCRETO

& Construções

Ano L
109
JAN-MAR | 2023
ISSN 1809-7197
www.ibracon.org.br



CONCRETO MASSA

PROJETO ESTRUTURAL, ESTUDO TÉRMICO E PRÁTICAS EXECUTIVAS DE FUNDAÇÕES E BARRAGENS

JUBILEU DE OURO

LABORATÓRIOS PIONEIROS
NO CONTROLE TECNOLÓGICO
DO CONCRETO

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

RAA EM BARRAGENS
DE CONCRETO COM
AGREGADOS REATIVOS

PERSONALIDADE ENTREVISTADA

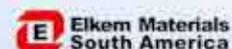
PAULO FERNANDO:
ALIANDO TEORIA E PRÁTICA
NA DOSAGEM DE CONCRETOS

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

ADITIVOS



ADIÇÕES



ARMADURA



RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL



EQUIPAMENTOS



ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



Escuela Politécnica - USP



ESCRITÓRIOS DE PROJETOS



JUNTE-SE A ELAS

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

CONTROLE TECNOLÓGICO



WWW.QUALIFY.ENG.BR

PRÉ-FABRICADOS



Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto

CONCRETO



FÓRMAS



CONSTRUTORAS



CIMENTO



LafargeHolcim



Associação Brasileira de Cimento Portland



CIMENTO NACIONAL



EVENTOS



1ª EDIÇÃO
CONCRETESHOW
A FEIRA DO CIMENTO E CONCRETOS PARA A CONSTRUÇÃO



TUBOS E CONEXÕES



TOPFUSION
TUBOS E CONEXÕES

SUMÁRIO

ESTRUTURAS EM DETALHES

17 Metodologia para análise paramétrica do fenômeno térmico do concreto massa de uma fundação de torre eólica

25 Fundação em radier de grandes dimensões: projeto estrutural e estudo térmico



35 Alternativas executivas para controle da elevação da temperatura do concreto massa de edificações

43 Desafios e práticas adotadas na execução de blocos de fundação de grandes volumes no Brasil

OBRAS EMBLEMÁTICAS

50 UHE Itapu: 40 anos - um resgate da história



PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

56 Reações expansivas em barragens de concreto causadas por agregados reativos

63 Estádio Nacional de Brasília: análise dinâmica por meio do método dos elementos finitos



JUBILEU DE OURO

70 Laboratórios de controle tecnológico do concreto foram pioneiros na gestão da qualidade de obras no Brasil



CRÉDITOS DE CAPA

LAJE DE FUNDO DO TÚNEL DE ACESSO DA LINHA 2 DO METRÔ DE SÃO PAULO.
CRÉDITO: CONCREMAT

Seções

- 5 EDITORIAL
- 7 COLUNA INSTITUCIONAL
- 9 DECLARAÇÃO SOBRE A SUSTENTABILIDADE DO CONCRETO
- 11 CONVERSE COM O IBRACON
- 12 PERSONALIDADE ENTREVISTADA: PAULO FERNANDO
- 78 ENCONTROS E NOTÍCIAS
- 82 ACONTECE NAS REGIONAIS



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: 2.500 exemplares | Publicação trimestral distribuída gratuitamente aos associados

JORNALISTA RESPONSÁVEL

→ Fábio Luis Pedroso – MTB 41.728
fabio@ibracon.org.br

PUBLICIDADE E PROMOÇÃO

→ Arlene Regnier de Lima Ferreira
arlene@ibracon.org.br

PROJETO GRÁFICO E DTP

→ Gill Pereira
gill@elementto-arte.com

ASSINATURA E ATENDIMENTO

office@ibracon.org.br

GRÁFICA

Duograph
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 2023 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.



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

PAULO HELENE
DIRETOR PRESIDENTE

JULIO TIMERMAN
DIRETOR 1º VICE-PRESIDENTE / 1º TESOUREIRO

ENIO JOSÉ PAZINI FIGUEIREDO
DIRETOR 2º VICE-PRESIDENTE

CLÁUDIO SBRIGHI NETO
DIRETOR 1º SECRETÁRIO

CARLOS JOSÉ MASSUCATO
DIRETOR 2º SECRETÁRIO

JESSIKA MARIANA PACHECO MISKO
DIRETORA 2ª TESOUREIRA

CARLOS AMADO BRITZ
DIRETOR TÉCNICO

CÉSAR H. SATO DAHER
DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS

ROBERTO CHRIST
DIRETOR DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

GUILHERME ARIS PARSEKIAN
DIRETOR DE PUBLICAÇÕES

ALEXANDRE AMADO BRITZ
DIRETOR DE EVENTOS

EMÍLIO MINORU TAKAGI
DIRETOR DE CURSOS

PATRICIA BAUER L. GASPARIAN
DIRETORA DE CERTIFICAÇÃO DE PESSOAL

BERNARDO FONSECA TUTIKIAN
DIRETOR DE MARKETING

JÉSSICA ANDRADE DANTAS
DIRETORA DE ATIVIDADES ESTUDANTIS

IBRACON

Av. Queiroz Filho, 1.700 – sala 407 / 408, Torre D – Villa Lobos Office Park
05319-000 - Vila Hamburguesa – São Paulo – SP – Tel. (11) 3735-0202

PRESIDENTE DO COMITÊ

Oswaldo Cascardo (concreto e durabilidade)

Paulo Helene (concreto e estruturas)

Pedro Teodoro França (obras subterrâneas)

Paulo Fernando Araujo da Silva (pavimentos)

Vinicius Caruso (saneamento)

Gibson Rocha Meira (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba)

Gláucia Maria Dalfré (Universidade Fed. de S. Carlos)

José Julio de Cerqueira Pituba (UFCA)

Maria del Carmen A. Perdrix (Universitat Politècnica de Catalunya)

María Josefina Positieri (Universidad Tecnológica Nacional)

Maria Teresa Paulino Aguiar (Universidade Federal de Minas Gerais)

Pedro Castro Borges (Centro de Investigación y de Estudios Avanzados)

Pedro Garcés Terradillos (Universidad de Alicante)

Rafael Alves de Souza (UEM)

Rodrigo de Melo Lameiras (Universidade de Brasília)

Selmo Kuperman (Deseq)

Sérgio H. Pialarissi Cavalari (Loughborough University)

PRESIDENTE DO COMITÊ CIENTÍFICO

Gláucia Maria Dalfré

COMITÊ CIENTÍFICO MEMBROS

Alessandra Castro (Universidade de São Paulo)

Andrielli Moraes de Oliveira (Universidade Federal de Goiás)

Eduardo Cabral (Universidade Federal do Ceará)

Eduardo Moraes Rêgo Fairbairn (Univ. Federal do Rio de Janeiro)

Enio Pazini Figueiredo (Universidade Federal de Goiás)

Fernando Branco (Universidade de Lisboa)

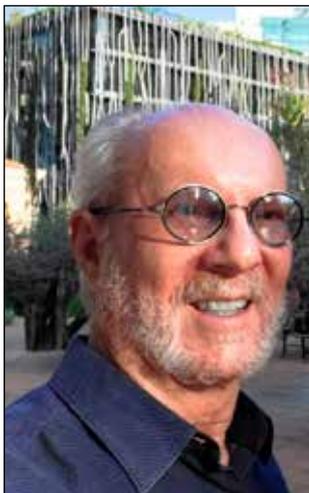
Fernanda G. da Silva Ferreira (Universidade Fed. de S. Carlos)

Lydio dos Santos B. de Mello (normalização técnica)

Maurício Linn Bianchi (sistemas construtivos)

Caro leitor,

Tragédias, forças da natureza e a Engenharia Civil



Paulo Helene,
Diretor Presidente

Em todos os ramos da atividade humana, a natureza, os acontecimentos e as circunstâncias deixam lições. Às vezes duras lições como as que o planeta está vivenciando com o terremoto da Turquia e Síria, e no litoral norte de São Paulo. No âmbito da Engenharia Civil é razoável dizer que essas lições estejam entre as mais tristes porque envolvem muitos indivíduos, além de expressivos prejuízos econômicos.

Essas tragédias, por outro lado, nos trazem grandes aprendizados e permitem evoluir com mais segurança no futuro. Por exemplo, a Engenharia empírica dos egípcios antes de construir a mais alta pirâmide do mundo, com 143m de altura, a Grande Pirâmide de Quéops, uma das sete maravilhas da antiguidade, aprendeu com o colapso das fundações de 3 pirâmides. Ao longo dos anos os engenheiros e arquitetos construíram centenas de milhares de pontes desde os tempos romanos, inclusive pontes emblemáticas como a Golden Gate em 1937 em São Francisco, hoje com 86 anos, e a ponte do Brooklin em Nova York, hoje com 140 anos, inaugurada em 1883.

No Brasil a ponte de grande porte considerada como a pioneira foi a ponte do Recife, construída em rocha e madeira de lei e que serviu a cidade por 170 anos, de 1644 a 1815. Sucedeu uma nova ponte, desta vez em aço, denominada ponte 7 de Setembro, inaugurada em 1865, que sucumbiu devido à elevada corrosão gerada pela atmosfera marinha. Em 1917 foi então substituída pela atual ponte de concreto armado, uma das mais antigas do país, projetada por Emilio Baumgart, atualmente denominada ponte Maurício de Nassau, em operação, ora com 106 anos de idade.

Nenhuma dessas pontes históricas e mais centenas de milhares de outras pontes construídas por séculos nos diferentes países, colapsaram por efeito da ressonância, até que houve o catastrófico colapso da ponte Tacoma Narrows. Inaugurada em 1940, a ponte colapsou poucos meses após, com um vento moderado, mas constante, que surpreendeu a Engenharia do mundo todo, pois esta apenas conhecia o poder destrutivo

dos furacões, das enchentes, da ação da gravidade, dos incêndios, mas não de um vento moderado. Na época, pouco se sabia de ressonância e frequência natural de uma estrutura. A geometria e sua pouca rigidez permitiram oscilações do tabuleiro de até 36 ciclos por segundo com grandes amplitudes, que destruíram aquela ponte metálica.

Tremenda lição rapidamente aprendida pela engenharia civil e incorporada aos novos projetos. A partir desse acontecimento nunca mais uma estrutura projetada e construída em conformidade com as normas técnicas e com os procedimentos de bem construir viria a colapsar por ressonância e *flutter* aerodinâmico.

Sobre os trágicos acidentes hidrológicos e geológicos a ABGE Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, vem frequentemente se manifestando, explicando e recomendando providências para mitigar os riscos. Vale a pena consultar a carta aberta da ABGE publicada na edição 105 desta revista, e à recente carta de fevereiro de 2023.

Outra lição recente aprendeu-se com o Edifício Wilton Paes de Almeida, obra emblemática dos anos 60, que colapsou em 2018, após sofrer um incêndio de apenas 80 minutos. Até então a engenharia entendia que as estruturas de concreto armado, quando adequadamente projetadas e bem construídas, são muito seguras e capazes de resistir e suportar a ação nefasta do calor, pelo menos por algumas horas, para viabilizar a evacuação dos residentes e o acesso e trabalho de salvamento dos bombeiros. Em caso similar de incêndio, a estrutura metálica das Torres Gêmeas, no ano de 2001, em Nova York, colapsou precocemente em cerca de 60 minutos, acarretando a morte de mais de 400 bombeiros, além dos milhares de usuários que não conseguiram sair a tempo.

Esses acontecimentos ensinaram duras lições de como melhorar o projeto e construção de estruturas considerando a possibilidade de um incêndio de grandes proporções. Nenhum edifício atual, projetado e construído dentro das normas e exigências nacionais e internacionais, corre risco de colapsar subitamente sob um incêndio.

Agora vejamos o caso dos terremotos. Em 1755, ocorreu em Lisboa, um grande terremoto que vitimou fatalmente cerca de 100 mil pessoas. Na China, em 1976, um tremor de 8,2 graus na escala Richter com duração de apenas 14 s, vitimou cerca de 240 mil pessoas. No Chile, em 1960, ocorreu o abalo de maior intensidade já registrado na história da humanidade com 9,5 graus na escala Richter.

Os sismos da Turquia e Síria ocorreram em 6 de fevereiro de 2023. A estimativa de mortes até agora é de mais de 50.000 pessoas, sendo desalojadas cerca de 1,3 milhões de pessoas e quase 7 mil edifícios colapsados. Não há como evitar que a natureza se manifeste, através de sismos, furacões, maremotos, entre outros.

Para nos proteger existe a Engenharia Civil que tem a responsabilidade e o dever de dominar as forças da natureza, protegendo e dando qualidade de vida aos povos a quem serve. Vários edifícios permaneceram de pé, enquanto outros, vizinhos, colapsaram. Vale registrar as palavras de Mahir Ulutaş, Presidente do Conselho da Câmara de Engenheiros da Turquia: “Ciência e engenharia são suficientes para construir estruturas que sobreviverão mesmo em um terremoto tão grande, sem, nem sequer trincar os vidros.”

Concluindo cabe repetir que existe uma grande diferença entre acontecimentos desconhecidos, únicos e precursores, portanto inevitáveis, dos acontecimentos previsíveis, frequentes, recorrentes, conhecidos e evitáveis. Não se pode creditar todas as catástrofes a forças ocultas e desconhecidas da natureza ou do acaso.

A arquitetura, engenharia e geologia, sabem hoje muito mais que há alguns anos atrás. Aprenderam a duras penas, muitas vezes com calamidades. Mas atualmente é inadmissível que

estruturas e edifícios colapsem por sismos, por incêndios, por ventos moderados e furacões, porque aprendemos e incorporamos o conhecimento de forma democrática, consensual e abrangente disponibilizando-o nas normas técnicas e nas práticas recomendadas.

Todos os profissionais têm acesso ao conhecimento gerado e devem segui-lo, sem subjugar-se a pressões comerciais de investidores inescrupulosos. Da mesma forma hoje se conhece muito mais de áreas de risco e o poder público deve gerir o uso e ocupação do solo respeitando o conhecimento geológico e geotécnico.

O Instituto Brasileiro do Concreto, solidariza-se com todas as vítimas e famílias destes terríveis eventos, e reforça a importância da boa engenharia para diminuir perdas. Catástrofes, infelizmente, continuarão acontecendo em todo o mundo, e é responsabilidade e desafio dos engenheiros, arquitetos e geólogos criar soluções que provoquem o mínimo impacto ambiental, e que ao mesmo tempo, confirmem segurança, proteção, durabilidade e robustez, ajudando na evolução dos rumos da humanidade.

Vamos em frente.

PAULO HELENE
DIRETOR PRESIDENTE



PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

Controle da qualidade do concreto reforçado com fibras

Elaborada pelo CT 303 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE sobre Uso de Materiais não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras, a Prática Recomendada “Controle da qualidade do concreto reforçado com fibras” indica métodos de ensaios para o controle da qualidade do CRF utilizado em estruturas de concreto reforçado com fibras e estruturas de concreto reforçado com fibras em conjunto com armaduras.

A Prática Recomendada aplica-se tanto a estruturas de placas apoiadas em meio elástico quanto a estruturas sem interação com o meio elástico.

AQUISIÇÃO

www.ibracon.org.br (Loja Virtual)

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-30-5

Edição: 1ª edição

Formato: eletrônico

Páginas: 31

Acabamento: digital

Ano da publicação: 2017

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio

Patrocínio



A Qualificação das Revistas do IBRACON e a Biblioteca Virtual



Guilherme Parsekian, Diretor de Publicações

O IBRACON edita, sem custos aos autores e leitores, duas revistas: uma estritamente científica, o *IBRACON Structures and Materials Journal (ISMJ)*, e outra técnica-científica, esta Revista CONCRETO & Construções (C&C). Juntas, essas revistas cumprem o papel de estímulo à divulgação de novas fronteiras do conhecimento internacional (ISMJ) e de inovações e técnicas aplicadas já em uso ou que serão em breve absorvidas pelo meio produtivo (C&C).

Recentemente, a CAPES divulgou nova classificação de periódicos para avaliação de programas de pós-graduação (PPG), o Qualis. O *IBRACON Journal* recebeu a classificação A3, honroso resultado quando se considera o correto rigor nos critérios definidos pela área de Engenharias I, na qual está incluída a maioria dos PPGs que contribuem e se beneficiam de nossas revistas. Pelos critérios definidos nessa área, as correspondentes revistas americanas do ACI, o *Structural Journal* e o *Materials Journal*, receberam classificação A2 e A4, respectivamente. Esse resultado reforça o reconhecimento do *IBRACON Journal* no meio científico, contando ainda que estamos sempre em processo de melhoria, caminhando para maior internacionalização e indexação em bases como Scopus e Web of Science.

Ocorre que, na atual versão do Qualis, os periódicos têm a classificação definida por uma área-mãe e válida para todas as áreas. Esse novo critério, que até onde entendemos tem por intenção padronizar avaliações, acabou por ter efeito inverso, levando a grande discrepância. É possível a um pesquisador de engenharia civil publicar em revistas A1 ou A2 que foi avaliada pela área de Arquitetura, Educação, Administração. Se essas mesmas revistas fossem avaliadas pela área de Engenharias I, a classificação seria menor.

Comparando a base de 2013-16 com a de 2017-20, é possível perceber caso de revista que saiu de B5 para A1, pelo fato da aplicação de critérios distintos.

Do ponto da avaliação do PPG, da avaliação individual do pesquisador e da atratividade do periódico o A1/A2 vale mais que o A3. Sob o ponto de vista do desenvolvimento científico, é muito mais

benéfico que o pesquisador divulgue suas pesquisas em periódicos que tenham uma maior inserção nacional e internacional entre os pares de sua área e não apenas busque uma classificação obtida por critérios diferentes.

Ao buscar a classificação atualizada da C&C, nos deparamos com a inusitada e surpreendente retirada desta revista no Qualis! Só podemos entender que houve uma falha involuntária e que essa deve ser corrigida.

Na Revista Concreto & Construções C&C, em levantamento realizado entre 2017 e 2022, foram publicados artigos provenientes das seguintes universidades e institutos de pesquisa: USP, UFSCar, UFG, UNISINOS, PUC-Rio, PUC-Campinas, PUC-Goiás, PUC-Minas, UFMG, UFABC, UNILA, IPT, UDF, ITA, UFES, UFPE, UTFPR, UNICAMP, Mackenzie, UFRJ, UERJ, FURB, FADEP, e IFSP, UFT, URI, UFF, UFRN, UFU, UFAL, UFPR, Santa Cecília, São Judas Tadeu, UnB, UFERSA, CEFET, UFMT, FANORTE, UFC, UFRGS, IFRS, UNIFEB, UFAM, IMT, UEFS, FURG, UFSM, IF-Goiano, UNESP, UNIPAM, IFS, UFSC, UFBA, UFV, UEM e IFCE. Estes dados dão uma noção da grande amplitude de atuação e interesse da Revista, entre os entes da comunidade científica nacional. É possível adicionar a essa lista autores internacionais do Canadá, Argentina, México, Espanha, Estados Unidos, Portugal, entre outros.

Todos os artigos técnico-científicos são revisados por membros do comitê editorial e do comitê científico e possuem uma identificação digital única (DOI) desde 2020.

Esta Revista, a C&C, é publicada regularmente há mais de 30 anos (desde 1991), cumpre com louvor os requisitos para ser considerado um periódico do grupo B - "Revistas Brasileiras não dirigidas prioritariamente à comunidade acadêmico-científica", conforme documento expedido pela CAPES em 30 de agosto de 2019 aos coordenadores de Programas de Pós-Graduação, sobre a classificação de revistas brasileiras. É uma das mais importantes e longevas revistas técnico-científicas brasileiras.

Posso registrar aqui dois recentes casos pessoais que corroboram a importância da C&C para a pós-graduação brasileira. No final do ano passado, atuei como membro de uma banca de doutorado de um PPG de excelência, nota 7. Durante sua apresentação sobre alvenaria estrutural em situação de incêndio, o então candidato apresentou dados de um artigo da C&C, reconhecendo a importância do periódico como fonte de informação para seu trabalho. Em outro caso, publicamos recentemente artigo sobre concreto reforçado com fibras. Não muito tempo depois, recebemos contatos de colegas de outros PPGs sobre o trabalho e indicações para parceria. Esses dois recentes relatos pessoais servem para ilustrar como é corriqueira a participação e importância da C&C na engenharia civil nacional.

A atual não-classificação é um enorme (e incompreensível) prejuízo que precisa ser corrigido. A expectativa é que esta revista volte ao Qualis e seja classificada na melhor posição do grupo B.

Em ambas revistas, ISMJ e C&C, o IBRACON investe grande recurso financeiro para sua produção. Uma grande quantidade de profissionais, nacionais e internacionais, dedica seu tempo de forma voluntária colaborando como editores, membros de comitê científico, revisores, e também confiando seus trabalhos como autores. Todo esse trabalho, reconhecido e contínuo há quatro décadas, não pode ser penalizado, ainda mais de supetão e sem justificativa, para o bem da pós-graduação brasileira e da engenharia civil.

Entendemos e respeitamos os critérios da Área de Engenharias I, parabenizamos toda a comissão que trabalhou nas avaliações, porém entendemos que essa distorção precisa ser corrigida na atual classificação, e potencialmente eliminada em eventos futuros. Esperamos que classificação do ISMJ possa ser revista para cima, e que a C&C tenha sua correta avaliação e classificação reincorporada ao Qualis.

Outro assunto a comentar refere-se à evolução das formas de disponibilização de livros didáticos. Se, no passado, as grandes universidades se orgulhavam de seus vistosos edifícios-biblioteca para guardar seu valioso acervo de publicações impressas, hoje o acervo é em sua maioria digital, acessível à comunidade acadêmica de qualquer lugar.

As bibliotecas virtuais são hoje de uso corrente, sendo comum e necessário que a universidade assine o acervo específico de

sua área de atuação. O aluno não precisa ir à biblioteca procurar (e disputar) o exemplar do livro que precisa para estudar determinada disciplina. Basta que esse digitalmente faça parte do acervo da biblioteca virtual.

Nessa linha, o IBRACON acaba de realizar parceria com a Editora Oficina de Textos para disponibilizar digitalmente o livro “Estruturas de Concreto Armado – Volume 1” na biblioteca virtual da Pearson, da qual várias universidades possuem assinatura.

A Coleção Estruturas de Concreto foi projetada para servir de referência no ensino, conta com a dedicação e competência de cerca de sessenta autores, renomados engenheiros (as), coordenadores de norma ABNT, professores, pesquisadores (as) e profissionais atuantes em escritório. O segundo volume deve ser finalizado este ano.

Ao docente universitário fica nossa recomendação para que adote o livro em suas aulas, indique a todos alunos da turma que podem consultá-lo de forma digital acessível (sem custo ao aluno no caso de várias universidades) para estudar para disciplina. Aos alunos mais interessados em estruturas, indico a compra do livro impresso no custo de associado pelo site do IBRACON, como forma de ter sempre a mão esse rico conteúdo!

Muito obrigado.

GUILHERME PARSEKIAN
DIRETOR DE PUBLICAÇÕES

KIT de PRÁTICAS RECOMENDADAS sobre ENSAIOS de DURABILIDADE das ESTRUTURAS de CONCRETO

O conjunto de **Práticas Recomendadas Sobre os Ensaios de Durabilidade das Estruturas de Concreto** é fruto do trabalho do **Comitê Técnico IBRACON/ALCONPAT 702 Procedimentos para Ensaios de Avaliação da Durabilidade das Estruturas de Concreto**.



PROMOÇÃO: Kit com 5 Práticas + Guia de Prevenção da Reação Álcali-Agregado **SÓCIOS:** R\$ 300,00 | **NÃO SÓCIOS:** R\$ 550,00

Patrocínio



Adquira o seu na
Loja Virtual
do IBRACON:
<http://lojaibacon.org.br>

Declaração IBRACON sobre a Sustentabilidade do Concreto

A sustentabilidade é um valor fundamental para a sociedade atual e também para o IBRACON.

O IBRACON tem visão holística e foco na necessidade de desenvolvimento de informações, documentos e ferramentas a serem utilizados pela cadeia produtiva do concreto e pela sociedade em geral para alcançar metas de sustentabilidade.

O IBRACON é uma associação sem fins lucrativos, declarada de Interesse Público Estadual e Federal, cuja missão é criar, divulgar e defender o correto conhecimento sobre materiais, projeto, construção, uso e manutenção de obras de concreto, desenvolvendo seu mercado, articulando seus agentes e agindo em benefício dos consumidores e da sociedade em harmonia com o meio ambiente.

O IBRACON foi criado em 1972, como uma sociedade independente de profissionais que atuam no campo do concreto simples e estrutural, que inclui usuários das construções, concessionárias e empresas públicas, pesquisadores de várias áreas, arquitetos, engenheiros, acadêmicos, empresas de projeto, fabricantes, empresários, industriais do setor, construtores, laboratoristas e até outras Entidades.

Assim sendo, entende que deve investir na defesa e orientação de atividades que promovam o de-

sempenho social, econômico e ambiental da cadeia produtiva do concreto, visando a neutralização do carbono, alinhada com os conceitos atuais e consagrados identificados pelas siglas ODS e ESG.

O conhecimento desenvolvido e compartilhado pelo IBRACON (livros, congressos, FEIBRACON, cursos, concursos, seminários, práticas recomendadas, revista científica e revista técnica) é inteiramente resultado do trabalho de voluntários dedicados à inovação e desenvolvimento das estruturas de concreto.

Historicamente, o IBRACON iniciou a discussão do tema da sustentabilidade no fim da década de 80 e nos livros técnicos introduziu o conceito de rendimento ou eficiência ambiental através do índice de MPa/kg de cimento. Vem colaborando forte com a ABNT e, mais recentemente, foi decisivo na alteração das prescrições da norma ABNT NBR 6122, visando sustentabilidade.

O IBRACON, em 1997, criou um Comitê Técnico dedicado à sustentabilidade do concreto estrutural. Denominado CT 206, posteriormente alterado para CT MAB e, atualmente, **CT 101 Comitê Técnico de Sustentabilidade do Concreto**.

Este CT, inicialmente, atuou disseminando conhecimento, tecnologia e as melhores práticas para a reciclagem e usos de resíduos de

construção e demolição, em face da implementação da Resolução CONAMA 307, que requeria que os geradores dessem uma destinação adequada aos resíduos de seus processos industriais. Neste período, foram realizadas nove edições do Seminário “Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil”, que trouxeram ao Brasil um legado importante de práticas realizadas na Europa e nos Estados Unidos no campo das pesquisas, normalizações e políticas ambientais.

O IBRACON, por meio desse Comitê Técnico, colaborou, decisivamente, para a elaboração das seguintes normas técnicas:

- ▶ ABNT NBR 15113:2004 Resíduos Sólidos da Construção Civil e Resíduos Inertes - Aterros: diretrizes para projeto, implantação e operação;
- ▶ ABNT NBR 15114:2004 Resíduos Sólidos da Construção Civil - Áreas de Reciclagem: diretrizes para projeto, implantação e operação;
- ▶ ABNT NBR 15115:2004 Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação: procedimentos;
- ▶ ABNT NBR 15116:2004 Agregados Reciclados para uso em argamassa e concreto de cimento Portland: requisitos e métodos de ensaios.

Há anos a sustentabilidade foi incorporada entre os temas dos trabalhos técnico-científicos para as edições do Congresso Brasileiro do Concreto CBC. Duas edições do Congresso tiveram as construções sustentáveis como norte das discussões, o 52º CBC2010 e o 53º CBC2011, além de terem sido promovidas três edições do Seminário de Sustentabilidade na Cadeia Produtiva do Concreto nos CBCs de 2009, 2010 e 2011. As revistas “CONCRETO & Construções” e “RIEM” também publicaram vários artigos técnicos e científicos sobre o tema da sustentabilidade das construções em concreto.

Em outras palavras, o tema da sustentabilidade sempre esteve na agenda das atividades do IBRACON, assim como todos os temas correlatos: reaproveitar e reciclar materiais e componentes, reduzir consumo de matérias-primas (hoje conhecido por desmaterializar), declarações ambientais de produtos e análise do ciclo de vida.

Este conjunto de ações tem promovido o desenvolvimento de pesquisas científicas e tecnológicas que buscam contribuir para melhorar o desempenho ambiental do uso do concreto na construção, o que tem rendido a publicação de artigos em periódicos nacionais e internacionais, impulsionando a divulgação das melhores práticas sustentáveis no setor construtivo. Elas contribuíram também para fornecer subsídios para que as normas técnicas nacionais sustentem práticas construtivas ecoeficientes.

Como entidade técnica aglu-

tinadora de todos os segmentos da cadeia produtiva do concreto, o IBRACON está em posição privilegiada para promover uma visão de sustentabilidade sistêmica e integradora de todas as etapas do processo construtivo:

- ▶ **Concepção:** subsidiar o setor com critérios e parâmetros orientativos e balizadores para a correta concepção de estruturas sustentáveis do concreto;
- ▶ **Projeto:** prover o setor com metodologias para avaliação do consumo de energia, de água e de insumos, e para quantificação da emissão de gases tipo estufa e de resíduos a partir de escolhas de tipologias de projeto e sistemas construtivos. Construir um banco de projetos em colaboração com outras Entidades;
- ▶ **Materiais:** aportar metodologias de produção e dosagem de concretos com foco na sustentabilidade. Construir um referencial de traço de concreto e as suas principais variáveis;
- ▶ **Construção:** promover procedimentos construtivos de baixo consumo de energia, baixa emissão de gases estufa, baixa geração de resíduos e alta durabilidade;
- ▶ **Durabilidade:** investir em metodologias que assegurem vida útil das estruturas de concreto com baixa ou desprezível manutenção;
- ▶ **Uso:** apoiar e valorizar as Entidades que trabalham a sustentabi-

lidade durante a operação e uso ao longo da vida útil das estruturas de concreto;

- ▶ **Reutilização:** endossar metodologias e sistemas construtivos que viabilizem reutilização, reciclagem e reaproveitamento e que sejam aderentes a uma visão de economia circular;
- ▶ **Normas:** colaborar com a ABNT, propondo novas normas e apoiando a atualização de normas relativas ao concreto e suas estruturas tendo em vista a sustentabilidade como elemento direcionador de parâmetros normativos.

O IBRACON entende que a supressão de gargalos na cadeia do concreto com informação de qualidade que chegue aos seus intervenientes é uma das condições necessárias para se alcançar a sustentabilidade no setor.

Contribuir para disseminar ferramentas, metodologias e informações sobre as melhores práticas sustentáveis no setor é o compromisso do IBRACON, que continuará e intensificará a colaboração com empresas e entidades que visam à redução da emissão de carbono.

Entre outras iniciativas, o IBRACON apoia o *Global Consensus on Sustainability in the Built Environment GLOBE* (RILEM, cib, ECCS, fib (CEB.FIP), IABSE,iaSS), o *Concrete Future* (GCCA), o SIDAC (CBCS) e o CECarbon (SindusCon-SP).

IBRACON | Setembro de 2022 

CONVERSE COM O IBRACON

EM RELAÇÃO AO CIMENTO BRANCO, PERGUNTO:

Maytê Russo
FAU-USP

1 — COMO ANDA A PRODUÇÃO NO BRASIL SOBRE ESSE MATERIAL?

Com o fechamento das fábricas de cimento branco da Irajá, no Rio de Janeiro, e da Interement, em Minas Gerais, o cimento branco é praticamente todo importado. Existem algumas iniciativas da Provale, no Espírito Santo, e da Royal White Cement, em São Paulo, mas em volumes pequenos, menor que o consumo nacional.

2 — HÁ DEMANDA DE MERCADO PARA SEU USO?

O mercado variou muito nos últimos anos, estimando-se que o consumo esteja por volta de 6 mil toneladas por mês. As empresas geralmente importam diretamente. Os principais fornecedores são do Egito, México, Argélia, Dinamarca, Turquia e Espanha. O segmento de argamassas industrializadas é o maior consumidor, mas há aplicações do cimento branco em concretos estruturais e não estruturais, pavers (peças pré-fabricadas de pavimentação), ladrilhos hidráulicos, telhas de concreto. Por responderem melhor que o cimento cinza quando usados com pigmentos, oferecem muitas possibilidades arquitetônicas.

3 — ALÉM DO MUSEU IBERÊ CAMARGO, HÁ OUTRAS OBRAS BRASILEIRAS QUE TENHAM USADO ESSE MATERIAL COMO ESTRUTURA EM CONCRETO ARMADO?

No Brasil, no início dos anos 2000, em Sorocaba, São Paulo, foi executada a primeira edificação utilizando painéis pré-moldados de concreto branco e, em São Paulo, surgiu um condomínio totalmente em concreto branco. Mas as obras mais emblemáticas brasileiras indubitavelmente são o Museu Iberê Camargo, em Porto Alegre, inaugurado em 2008, a Ponte Irineu Bornhausen, em Santa Catarina, o Museu da Imagem e Som, no Rio de Janeiro e Museu do Amanhã, também no Rio de Janeiro, inaugurado em 2015.

Na Europa, o concreto estrutural com cimento branco é mais difundido e arquitetos reconhecidos, entre os quais se destacam Santiago Calatrava, Richard Meyer e Álvaro Siza, entre outros, têm utilizado o concreto branco estrutural para imprimir um estilo arquitetônico diferenciado. São exemplos: o conjunto da *Ciudad de las artes e la Ciencia*, em Valência, na Espanha; o Pavilhão da Expo 98, em Lisboa; a Igreja *"Dives in Misericórdia"*, em Roma, entre outras obras. Nos Estados Unidos, além dessas

aplicações arquitetônicas, são utilizadas barreiras de concreto branco em auto-estradas, que, pela maior refletividade, dão maior segurança aos motoristas.

A ausência de fabricação de cimento branco no Brasil, a dependência de produtos importados, seu maior preço por exigirem condições muito especiais de fabricação e a perda da disseminação da "cultura do conhecimento" do concreto branco têm desestimulado sua aplicação em concretos estruturais, restringindo, atualmente, seu uso nas aplicações mencionadas anteriormente.

4 — QUAIS CIMENTEIRAS NO BRASIL PODEM FORNECER ESSE MATERIAL EM QUANTIDADE SUFICIENTE PARA GRANDES OBRAS?

Antigamente, havia um ex-fabricante brasileiro de cimento branco que importava cimento e distribuía a seus clientes, mas essa prática parece que cessou e as empresas consumidoras de cimento branco em grandes quantidades fazem uso da importação direta. Contudo, há, em São Paulo, uma empresa que distribui o cimento mexicano da marca Tolteca a seus potenciais clientes.

ARNALDO BATTAGIN

MEMBRO DO CONSELHO EDITORIAL

A PARTIR DE ESTUDOS REALIZADOS ACERCA DA ABNT NBR 16868-2:2020, ITEM "8.2.3 - CONTROLE DE RESISTÊNCIA DA ALVENARIA POR ENSAIO DE PRISMA: APÓS O ENSAIO DE PELO MENOS QUATRO LOTES, COM OBTENÇÃO DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO INFERIOR A 15% EM TODOS OS LOTES E ATENDIDAS AS CONDIÇÕES EM 8.2.3.1 C), D), E), PODE SER DISPENSADA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DOS PRISMAS, JÁ CONSTRUÍDOS. NO CASO DE NÃO ATENDIMENTO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS OU TIJOLOS, ARGAMASSA E GRAUTE, ESSES PRISMAS DEVEM SER ENSAIADOS", CHEGAMOS À INTERPRETAÇÃO DE QUE CASO ENSAIARMOS 4 LOTES, OU SEJA, 26 AMOSTRAS DO PRISMA OCO E CHEIO E CASO NOSSO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO FOR INFERIOR A 15% E NOSSOS BLOCOS, ARGAMASSA E GRAUTE ATINGIREM A RESISTÊNCIA MÍNIMA, NÃO É MAIS NECESSÁRIO A REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE PRISMA.

NOSSA INTERPRETAÇÃO ESTÁ DE ACORDO COM O ESTABELECIDO PELA NORMA?

Laura Cristina Sousa Luiz

EXCEL CONSTRUTORA E INCORPORADORA LTDA.

Este item da norma foi pensado para casos de empreendimentos que contemplam vários edifícios iguais, possibilitando redução do número de ensaios de prisma de forma criteriosa.

A indicação de que não é necessário mais ensaio de prisma depois de quatro lotes, cujo resultado das amostras tenha coeficiente de variação inferior a 15%,

está correta, desde que atenda o item 8.2.3.1 da ABNT NBR 16868-2:

c) Todos os lotes tenham "blocos ou tijolos do mesmo fabricante, classe de resistência, espessura e família". Se forem edifícios de vários andares com especificação de f_{bk} distinto por andar, o critério acima deve ser aplicado individualmente para cada f_{bk} . Se mudar o fornecedor do bloco, deve-se voltar a fazer ensaios de prisma até atender ao critério novamente.

d) Respeitar "um ano de produção". Se a construção do empreendimento tomar um prazo maior que um ano, deve-se voltar a fazer ensaios de prisma até atender ao critério novamente, a cada novo ano.

e) Atender ao critério "e) alvenarias que utilizem os mesmos materiais e procedimentos para a execução". Se mudar o fornecedor, a equipe de produção, a dosagem, o equipamento de mistura, ou qualquer outra alteração no recebimento e/ou produção da argamassa e do graute, e também nas equipes de construção das alvenarias, deve-se voltar a fazer ensaios de prisma até atender ao critério novamente.

Uma vez atendido ao critério, não é necessário ensaiar os prismas, porém deve-se construir na obra amostras de prismas para cada lote. Se houver alguma não aceitação dos ensaios de blocos, graute e argamassa, que continuam sendo feitos regularmente, então esses prismas devem ser ensaiados.

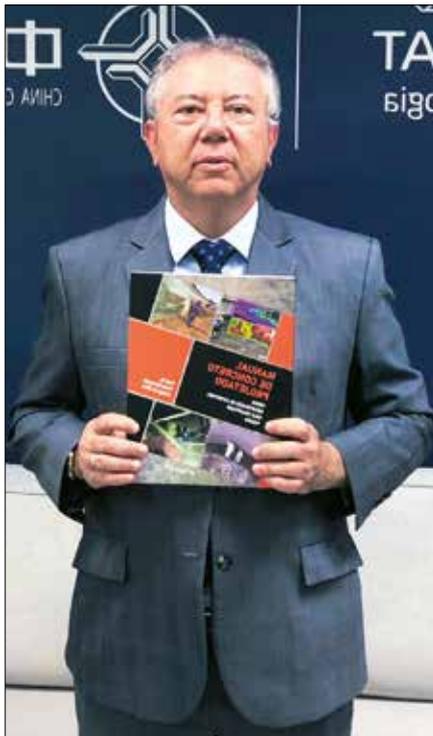
O critério de norma é especialmente interessante para algumas situações. Como exemplo, imagine um empreendimento com 10 edifícios de quatro andares, onde todos os pavimentos têm as mesmas especificações de materiais. Se não for alterado nada nos fornecedores e procedimentos para produção, e se depois de quatro lotes ensaiados dos edifícios iniciais atendendo ao critério acima, não haverá mais necessidade de ensaios de prisma nessa obra. Essa dispensa se mantém caso todos os ensaios de blocos, grautes e argamassas sejam aceitos, a obra não dure mais de um ano, e não haja troca de fornecedores, equipes e procedimentos na construção das alvenarias.

Exemplos de planejamento do controle de obras em alvenaria estrutural segundo a ABNT NBR 16868-2 estão disponíveis em: https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2021/11/Alvenaria_Estrutural_Parametros_Projeto_2ed.pdf.

GUILHERME PARSEKIAN

DIRETOR DE PUBLICAÇÕES DO IBRACON

Paulo Fernando Araújo da Silva



Paulo Fernando Araújo da Silva é engenheiro civil, formado pela Universidade Federal de Juiz de Fora. Mestre em engenharia da construção pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP) e doutor em infraestrutura pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).

Atua na Concremat desde 1986, quando ingressou como engenheiro logo após a graduação, passando pelos cargos de fiscal de obra, engenheiro de controle da qualidade, coordenador de laboratório, gerente de obras, diretor adjunto, diretor de operações, diretor técnico-comercial, sendo atualmente diretor executivo-comercial na empresa, com participação em projetos sobre pavimentação e obras de infraestrutura.

Foi professor da disciplina de patologia das construções na FAAP (1994-2010), tem artigos publicados em revistas e congressos, atua nas comissões de estudo da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e é autor de quatro livros técnicos.

IBRACON QUAIS MOTIVAÇÕES E EPISÓDIOS O LEVARAM CURSAR ENGENHARIA CIVIL NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA?

| PAULO FERNANDO ARAÚJO DA SILVA | Meu tio José Maria, formado em engenharia civil, havia conquistado os cargos mais altos na Usiminas. Eu admirava aquilo! Como eu gostava de matemática, química e física, resolvi fazer engenharia civil. Na época, eu morava em Juiz de Fora. Como venho de uma família pobre, minha única opção era entrar numa universidade federal ou estadual. Escolhi a Universidade de Juiz de Fora.

Sou um exemplo de que o estudo pode mudar completamente a vida da pessoa. Por isso, avalio qualquer governo por suas propostas na área da educação.

IBRACON ASSIM QUE SE FORMOU, EM 1986, VOCÊ FOI TRABALHAR NA CONCREMAT, EMPRESA ONDE ATUALMENTE É DIRETOR EXECUTIVO COMERCIAL. COMO FOI SUA TRAJETÓRIA PROFISSIONAL DENTRO DA EMPRESA?

| PAULO FERNANDO ARAÚJO DA SILVA | No dia seguinte à minha diplomação, comecei a trabalhar na Concremat de Belo

Horizonte, como engenheiro fiscal de uma obra de mineração da MBR (Mineração Brasileira Reunida). Sete meses depois, fui ser fiscal de obra da barragem da Usina de Itacarambi, no norte de Minas Gerais, passando a ganhar o dobro.

Tempo depois, fui convidado a vir trabalhar na Concremat de São Paulo, como engenheiro de controle da qualidade de obras. A princípio, não queria vir, pois o custo da moradia era alto, mas fui convencido por ser um profissional novato na empresa, com um futuro pela frente.

Após passar pelo cargo de engenheiro coordenador dos laboratórios da Concremat, assumi o cargo de gerente de obras de concreto, prestando serviços para as obras do Metrô, da Sabesp (Companhia de Saneamento de São Paulo), do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte), bem como obras de barragem no sul do país. Uma obra que gostaria de destacar é a do Bank Boston, em São Paulo. A obra foi concluída em 2000, com paredes de concreto espessas moldadas no local, com mais de 50cm de espessura. Como o projeto dessa obra era norte-americano, a especificação do concreto seguiu a norma norte-americana. Quando a primeira parede de concreto ficou pronta, ela



NO DIA DA DESFORMA DO CONCRETO [BANK BOSTON],
TINHA CERCA DE 30 ENGENHEIROS NA FRENTE DA PAREDE
PARA VER O RESULTADO: A PAREDE DE CONCRETO MOLDADA
NO LOCAL NÃO APRESENTOU NENHUMA FISSURA!



apresentou fissuras verticais a cada 2,5m. Fizemos a segunda parede de concreto e aconteceu a mesma coisa. Pararam a obra. Fui chamado para reunião com os engenheiros norte-americanos que questionavam as causas das fissuras. Aí expliquei que o problema devia ser o excesso de cimento especificado no projeto (de 385 kg/m³), bem como a especificação errada do tipo de cimento, e que havia faltado refrigeração na concretagem. Apesar de ter diagnosticado o problema, não tinha certeza sobre sua solução, pois, até aquele momento, não havia no país um único caso de paredes de concreto moldadas no local, em grandes obras, que não apresentassem fissuras. Eu usava meus conhecimentos adquiridos no mestrado, particularmente com o Prof. Paulo Helene e o Prof. Selmo Kuperman, e os aplicava nas obras com às quais eu estava profissionalmente envolvido. Sugeri aos engenheiros norte-americanos do projeto de construção do Bank Boston que autorizasse a Concremat a baixar o consumo de cimento, mudasse a especificação do tipo de cimento e refrigerasse o concreto no momento de seu lançamento. Autorizaram. Fiz novo estudo de dosagem do concreto com as novas especificações. Como havia baixado a quantidade de cimento (para menos de 330 kg/m³), para manter o mesmo fator água/cimento, precisei baixar o consumo de água. Com isso, se compromete o abatimento do concreto. Por isso, usei pela primeira vez no Brasil o aditivo superplastificante à base de policarboxilato, que foi importado.

E o que aconteceu? No dia da desforma do concreto, tinha cerca de 30 engenheiros na frente da parede para ver o resultado: a parede de concreto moldada no local não apresentou nenhuma fissura! Alguns ainda achavam que as fissuras apareceriam depois de um tempo. Mas, não apareceram. Porque eu usei a estratégia certa, informada pelo conhecimento correto.

A partir daí, tudo o que eu falava, os engenheiros norte-americanos acreditavam. Era Deus no céu e eu na Terra! Porque eu havia resolvido o problema e oferecido uma solução mais barata, sem necessidade de reparação com injeção nas trincas.

IBRACON COMO ESSAS ESCOLHAS PROFISSIONAIS ESTÃO LIGADAS AO MESTRADO NA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP E AO DOUTORADO NO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA?

| **PAULO FERNANDO ARAÚJO DA SILVA** | Para pessoas de origem pobre, como eu, o mestrado era coisa fora de cogitação, pois o negócio era trabalhar, ganhar um pouco de dinheiro para comprar um apartamento para a família e ir tocando a vida. Uma vez perguntei a um profissional do IPT que visitava o laboratório da Concremat o que era esse negócio de mestrado. Ele me explicou e me incentivou a fazer. Um dia fui até a Escola Politécnica da USP e fiz minha inscrição.

Durante o mestrado, eu trabalhava, não podia deixar o emprego, porque tinha que ajudar meus pais e tinha um compromisso com minha esposa. Estudava e trabalhava na Concremat como coordenador dos laboratórios. Não foi fácil! Pesquisei sobre a durabilidade do concreto aparente, com a orientação do Prof. João Gaspar Djanikian. Aprendi muito: como pesquisar, quais fontes consultar, de modo que o mestrado me ajudou a convencer os clientes, a dar os argumentos certos para suas escolhas. Concluí o mestrado em 1993.

Em seguida, comecei o doutorado na Poli, mas, como achei que não estava agregando, parei. Tinha terminado os créditos e parei.

Depois de um tempo, fui fazer o doutorado no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), o que, para mim, era um sonho completamente distante. Lá, estudei com o melhor professor de pavimentação do Brasil, o Prof. Régis Martins. Pesquisei sobre durabilidade do pavimento flexível, como aumentar a vida útil do pavimento. Terminei o doutorado em 2008.

Eu sempre procuro ensinar as pessoas aqui na Concremat: primeiro, vai entender a teoria, consulte o livro tal, antes de lidarmos com o problema na obra. Eles têm uma oportunidade que não tive.

IBRACON QUANDO VOCÊ TERMINOU O DOUTORADO, QUAL ERA SEU CARGO NA CONCREMAT?

| **PAULO FERNANDO ARAÚJO DA SILVA** | Diretor. Em 1999 me tornei o mais novo diretor da empresa, com 35 anos, devido ao meu extenso relacionamento comercial e desempenho operacional.

Um tempo depois, o presidente da Concremat à época, Mauro Viegas Filho, me convidou para ser diretor de operações.

IBRACON ESTA EDIÇÃO TRATA DO CONCRETO EM GRANDES VOLUMES, ASSUNTO EM RELAÇÃO AO QUAL VOCÊ PRESTA CONSULTORIA. COMO ORIENTAÇÃO GERAL AO LEITOR DA REVISTA, QUAIS

AS RECOMENDAÇÕES MAIS IMPORTANTES PARA ASSEGURAR QUE O CONCRETO MASSA SEJA MAIS DURÁVEL?

| PAULO FERNANDO ARAÚJO DA SILVA

Para registro, nos últimos quatro meses tenho dado consultoria para a concretagem de lajes de fundo, parte das obras da Linha 2 do Metrô de São Paulo. São 5 mil metros cúbicos de concreto em cada uma. Fizemos também blocos de fundação de sete metros de altura, concretados de uma só vez, que não apresentaram fissuração. Como há preocupação para a temperatura não ultrapassar 65°C, para que não haja formação de etringita tardia, a temperatura máxima de hidratação chegou a 62°C. O primeiro cuidado é fazer uma dosagem do concreto que atenda às especificações de resistência e

durabilidade. Para isso, tem-se que escolher o cimento da região que apresenta o menor calor de hidratação.

O segundo passo é reduzir o consumo de cimento, colocando o mínimo necessário de cimento no concreto. Mas, não é reduzir de maneira arbitrária, ou copiando o que foi feito em outra região. É realmente fazer um estudo de dosagem.

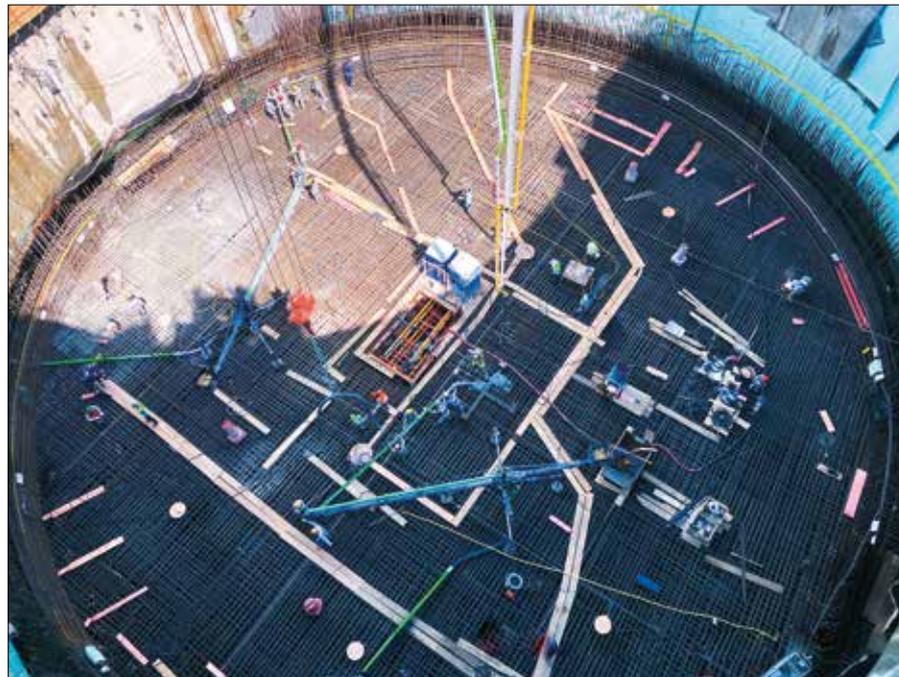
O terceiro cuidado é fazer a adequada refrigeração do concreto. Pode-se fazer a concretagem em camadas menos espessas, para dispensar a refrigeração? Sim, mas na prática o cliente quer concretagem de uma única vez, pois ele tem um cronograma para cumprir.

Em termos de custos, é melhor concretar de uma única vez. A concretagem em várias etapas requer fazer uma camada, verificar a temperatura, esperar a cura, fazer tratamento de superfície para que haja aderência entre as camadas. Ou seja, se perde em tempo e produtividade.

No Metrô de São Paulo, a Concremat deu consultoria para a primeira concretagem com refrigeração com nitrogênio, que planejei. Era um bloco de fundação da Linha 5 do Metrô.

É melhor que a refrigeração do concreto com gelo? Com gelo, consegue-se reduzir a temperatura de concretagem de 35°C para 23°C. Com o nitrogênio, leva-se a temperatura para 12°C.

O problema com a refrigeração do concreto com nitrogênio é o custo. Ele só se torna viável em grandes concretagens.



Concretagem da laje de fundo de túnel de acesso da Linha 2 do Metrô de São Paulo

Em todas as obras que tenho trabalhado na Concremat, não tenho tido dificuldade para usar gelo para refrigerar o concreto, pois os clientes têm entendido os benefícios.

IBRACON ATUANDO HÁ MAIS DE 40 ANOS EM EMPRESA ESPECIALIZADA NO GERENCIAMENTO DE GRANDES OBRAS DE INFRAESTRUTURA E NO CONTROLE TECNOLÓGICO DE MATERIAIS, COMO VOCÊ ANALISA AS MEDIDAS PRATICADAS NAS DIFERENTES ESFERAS DE GOVERNO PARA QUE TENHAMOS OBRAS MAIS DURÁVEIS E COM MENOR INCIDÊNCIA DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS?

| PAULO FERNANDO ARAÚJO DA SILVA | Precisa melhorar. As especificações são muito gerais e frequentemente não são específicas para a obra que se está contratando. Elas deveriam levar em conta o tipo de estrutura e o meio em que ela ficará inserida.

“

COM GELO, CONSEGUE-SE REDUZIR A TEMPERATURA DE CONCRETAGEM DE 35°C PARA 23°C. COM NITROGÊNIO, LEVA-SE A TEMPERATURA PARA 12°C

”



QUEM FAZ O EDITAL OU APROVA O PROJETO [DE OBRAS LICITADAS], SABE DE DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS, MAS GERALMENTE NÃO CONHECE TEORIAS E NORMAS RELACIONADAS À DURABILIDADE



Quem faz o edital ou aprova o projeto, sabe de dimensionamento de estruturas, mas geralmente não conhece teorias e normas relacionadas à durabilidade. Por isso, a importância de se contratar um engenheiro especialista em durabilidade já no momento de elaboração das normas do edital. Para que as diretrizes não sejam genéricas ou defasadas.

IBRACON QUANDO AS OBRAS SÃO ENTREGUES PARA A INICIATIVA PRIVADA CONSTRUIR, ESTE PROBLEMA DE ESPECIFICAÇÃO DA DURABILIDADE NO PROJETO NÃO É RESOLVIDO?

| **PAULO FERNANDO ARAÚJO DA SILVA** | Não. Porque falta o conhecimento teórico-prático dos profissionais. A especificação da resistência mecânica é o básico do básico. Se der problema de resistência na obra é porque muita bobagem foi feita. Outra coisa é a durabilidade da obra, cujas especificações poucas empresas no setor construtivo dominam. Eu vi traços de concreto com mais de 700kg/m³. Quer dizer, a empresa exagera no traço para assegurar resistência e esquece da durabilidade.

Na área rodoviária, as concessionárias focam na conservação, na manutenção do pavimento flexível, aquele com revestimento de asfalto, que, na realidade, é concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), pois o asfalto, o betume, é apenas um dos componentes, ao lado da brita e da areia. Por que, então, tantos defeitos são visíveis neste tipo de pavimento? A pista toda esburacada não é por causa das chuvas, mas por causa da carência de uma especificação adequada do CBUQ.

Por sua vez, nas obras de arte – viadutos e túneis – faltam profissionais especializados em durabilidade do concreto, que tenham mestrado, doutorado e experiência prática.

As próprias normas do DNIT são muito genéricas quanto à durabilidade.

IBRACON ESSES PROBLEMAS OCORREM PORQUE AS CONSTRUTORAS NÃO SE INTERESSAM EM FREQUENTAR EVENTOS TÉCNICOS, COMO O CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO?

| **PAULO FERNANDO ARAÚJO DA SILVA** | Sem dúvida, é um dos motivos. Mas, ocorre também porque tem consultor que gosta de agradar o cliente. Na Concremat, trabalhamos para ajudar o cliente com sua obra, para garantir qualidade. Como consequência, ele ficará grato. Não se deve aceitar o que o cliente pensa ser o certo, quando se sabe que ele está errado.

Uma vez eu fiz uma previsão de resistência do concreto aos 28 dias, recomendando ao empreiteiro mexer no traço do concreto. Num domingo, recebo uma ligação durante a missa. Era o engenheiro da empreiteira que me disse que se fosse economista eu quebraria o país. Alertei-o que o estava prevenindo, pois o valor estava muito próximo do limite, o que era um risco. Quer dizer: falta qualificação para os profissionais das empreiteiras, eles têm que fazer cursos de atualização profissional.

Eu fui convidado pelo Tribunal de Contas de União para dar um curso sobre pavimento de concreto e vi que é preciso focar nos conceitos, ao invés dos

cálculos, para que a teoria faça sentido para os profissionais do setor.

IBRACON VOCÊ TEM UMA PARTICIPAÇÃO ATIVA E FREQUENTE NAS EDIÇÕES DO CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. DESDE QUANDO FREQUENTA O EVENTO?

| **PAULO FERNANDO ARAÚJO DA SILVA** | Eu frequento desde 1988.

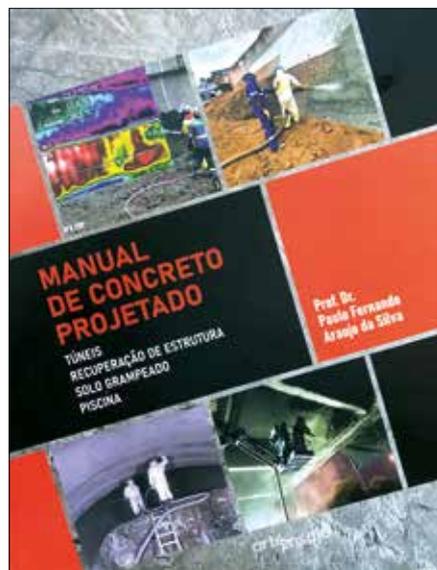
Faço minhas intervenções quando vejo a disseminação errada de algum conceito. Aí, eu tenho a preocupação de que o profissional novato vai ficar com aquele conceito errado.

Já vi professor fazendo avaliação errada da reação álcali-agregado no último Congresso do IBRACON. Aí, falei: “Deixa eu fazer uma ponderação? Precisa fazer um ajuste nesta etapa”. Eu fiz parte do grupo de trabalho que elaborou a Prática Recomendada IBRACON sobre a RAA, comandada pelo Cláudio Sbrighi, Arnaldo Battagin e Eduardo Quitete. Comentando posteriormente com um profissional da área química, ele me disse: “Paulo, a sociedade espera isto de você, ela precisa de seu conhecimento e espera que você intervenha”. Aquilo mexeu comigo. Porque eu fui beneficiado com os impostos pagos pela sociedade, pois cursei numa universidade federal, fiz USP, fiz ITA. Então, realmente, eu preciso dar um retorno para a sociedade, devolver para a sociedade o investimento que ela fez em mim.

IBRACON VOCÊ LANÇOU RECENTEMENTE UM NOVO LIVRO? QUAL É SEU TÍTULO? E SEU PROPÓSITO?

| **PAULO FERNANDO ARAÚJO DA SILVA** | Lancei ano passado no Instituto de Engenharia de São Paulo, que lotou o auditório com cerca de 250 profissionais no dia do lançamento.

É o único livro no Brasil sobre concreto projetado para túneis, taludes, piscinas e solo grampeado. Colho frutos do lançamento até hoje. Neste livro está toda minha experiência



Capa do último livro lançado por Paulo Fernando

com concreto projetado, onde busco responder as perguntas que me apareceram nesses 30 anos de consultoria em concreto projetado. É um livro importante para desfazer conceitos errados ainda em voga sobre o concreto projetado, que pode ajudar a minimizar problemas em obras, como a fissuração.

IBRACON QUANDO VOCÊ COMEÇOU A TRABALHAR COM CONCRETO PROJETADO?

| **PAULO FERNANDO ARAÚJO DA SILVA** | Na década de 1990, época das obras do Metrô e da Prefeitura de São Paulo. A Concremat fazia o controle da qualidade de um túnel em São Paulo. Havia um problema de não se conseguir atingir a especificação máxima de absorção (porosidade) do concreto projetado. Eu desenvolvi um traço de concreto, com estudo em laboratório, aplicando meus conhecimentos teóricos aliados com minha experiência prática, e consegui uma absorção menor que 8%, pela primeira vez no Brasil. Qual foi o segredo? Mudar a quantidade de argamassa no traço do concreto projetado e ajustar o fator água/cimento.

IBRACON O QUE FAZ NO SEU TEMPO FORA DO TRABALHO?

| **PAULO FERNANDO ARAÚJO DA SILVA** | Primeiro, eu sou fã do ser humano, eu gosto de uma conversa fiada. Mas, não para falar mal dos outros, e sim para contar piadas, causos. Gosto de encontrar com os verdadeiros amigos. Nos finais de semana, saio com minha esposa para ir dançar as músicas dos anos 70 e 80, como as do filme “Embalos de sábado à noite”. Gosto de caminhar aos domingos no Parque do Ibirapuera. Gosto de estudar, de ler artigos técnicos. E também de assistir séries no *streaming*, principalmente as séries mexicanas, com tiros para todo lado. ☹

NO PRUMO

Compartilhar teoria e prática da construção civil, com leveza, didatismo e criatividade. Esta é a proposta do livro “No Prumo”.

O livro é dividido em duas partes. A primeira traça a história da construção no Brasil e sua relação com a cultura. A segunda revela, na prática, os conceitos e as técnicas consolidadas ao longo dessa história.

A publicação oferece uma leitura atual de temas que vão do projeto e da análise de solo ao serviços de concretagem, sistemas construtivos e sustentabilidade.

Com textos de Paulo Helene, professor aposentado da Escola Politécnica da USP e diretor da PhD Engenharia, e de Guilherme Aragão, jornalista e escritor, especialista em formação política e econômica do Brasil.

FORMATO: 21 x 29 cm

PÁGINAS: 170

ANO: 2017

VENDAS: Loja virtual (www.ibracon.org.br)



PRODUÇÃO



PATROCÍNIO



REALIZAÇÃO



Metodologia para análise paramétrica do fenômeno térmico do concreto massa de uma fundação de torre eólica

EDUARDO DE AQUINO GAMBALÉ - ENG. - ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2351-7147> | ELETROBRÁS FURNAS;

LUCIANA DOS A. FARIAS - ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3830-4611> (luciana.farias@rheoworks.eng.br) | RHEOWORKS TEC. DA CONSTRUÇÃO;

PATRICIA G. GAMBALÉ - <https://orcid.org/0000-0001-8219-3616> (patricia.gambale@concrecon.com.br) | CONCRECON CONCR. E CONSTRUÇÕES

RESUMO

OS BLOCOS DE FUNDAÇÕES DAS EDIFICAÇÕES ATUAIS E AS FUNDAÇÕES DE TORRES EÓLICAS TÊM SE TORNADO ELEMENTOS DE GRANDE PREOCUPAÇÃO NO MEIO TÉCNICO DEVIDO AO GRANDE VOLUME DE CONCRETO. ESSES ELEMENTOS, CATEGORIZADOS COMO CONCRETO MASSA, EXIGEM ATENÇÃO QUANTO ÀS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ADVINDAS DO PROCESSO EXOTÉRMICO DE HIDRATAÇÃO DO CIMENTO. NESSE SENTIDO, É RECOMENDADO O CONTROLE DA TEMPERATURA MÁXIMA DO CONCRETO DE MANEIRA A MINIMIZAR A OCORRÊNCIA DE DEF (DELAYED ETTRINGITE FORMATION) E A GERAÇÃO DE TENSÕES DE TRAÇÃO PROVENIENTES DOS FENÔMENOS TÉRMICOS. TAIS REAÇÕES, COM TENSÕES EM NÍVEIS SUPERIORES À TRAÇÃO ADMISSÍVEL DO CONCRETO, PODEM CAUSAR FISSURAS. NESTE CONTEXTO, ESTE TRABALHO OBJETIVA MOSTRAR UMA METODOLOGIA VIÁVEL DE SER EMPREGADA PARA A ANÁLISE PARAMÉTRICA DO FENÔMENO TÉRMICO DEVIDO À HIDRATAÇÃO DO CIMENTO DA BASE DE UMA TORRE EÓLICA, QUE PODE SER ADOTADA, TAMBÉM, PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE BLOCOS DE FUNDAÇÕES DE EDIFICAÇÕES.

PALAVRAS-CHAVE: CALOR DE HIDRATAÇÃO, FISSURAS, CONCRETO MASSA, REAÇÕES EXPANSIVAS.

1. INTRODUÇÃO

O comportamento do concreto ao longo do tempo é dependente de vários parâmetros, sendo que alguns têm influência significativa no desempenho e na durabilidade de uma estrutura. Dessa forma, há de se considerar as influências

relacionadas ao comportamento químico, térmico ou físico-mecânico do concreto. Estruturas massivas de concreto demandam, em sua grande maioria, elevados consumos de cimento e, dependendo do tipo e de suas características, fissurações podem ocorrer.

O fenômeno da hidratação do cimento Portland tem sido intensamente pesquisado nos últimos anos. Ele decorre de reações exotérmicas, podendo ocasionar elevações consideráveis de temperatura. No dia a dia do tecnologista de concreto, é exigida a avaliação da temperatura máxima das estruturas com características massivas, tendo como principal objetivo a previsão de riscos e, a partir disso, são recomendadas medidas necessárias para a mitigação de ocorrência de fissuras decorrentes do fenômeno térmico da estrutura.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia que pode ser empregada para a análise paramétrica

do fenômeno térmico devido à hidratação do cimento da base de uma torre eólica. Essa análise pode ser estendida à avaliação do comportamento de blocos de fundações de edificações, com o foco de esclarecer os principais pontos de análise e os critérios adotados para a recomendação de melhorias construtivas para a minimização do risco de fissurações.

2. COMPORTAMENTO TÉRMICO DA FUNDAÇÃO DE TORRE EÓLICA

No controle tecnológico de bases de torres eólicas, cujas dimensões possuem magnitude suficiente para exigir que sejam tomadas medidas para controlar a geração de calor e a variação de volume decorrente, o tecnologista pode se deparar com diversos problemas relacionados aos fenômenos provenientes do processo de hidratação do cimento. A fissuração devido à geração de tensões de tração, por fenômenos térmicos ou provenientes de reações expansivas como a DEF, pode alcançar níveis superiores à tensão de tração admissível do concreto. Essa situação torna extremamente relevante o conhecimento dos métodos de mitigação desses tipos de manifestações patológicas no concreto massa.

O aumento do consumo de cimento, combinado com uma baixa relação água/cimento, tende a diminuir a permeabilidade, o que é uma condição interessante para

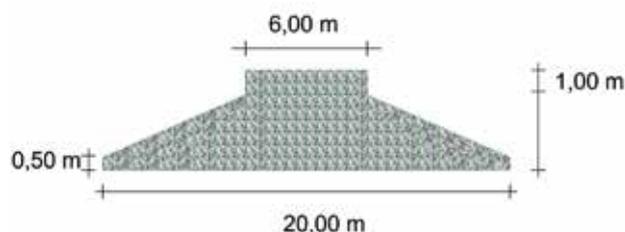


FIGURA 1

SEÇÃO TÍPICA DA MALHA COM PROPAGAÇÃO BIDIRECIONAL

o aumento da durabilidade do concreto. Por outro lado, esse aumento no consumo do cimento conduz a maior elevação de temperatura, que, em determinados níveis, pode prejudicar a formação da etringita “primária”, necessária para o desenvolvimento de pega e endurecimento do concreto. Com isso, existe maior disponibilidade de íons sulfatos na solução dos poros do concreto e, já no estado endurecido, contribui de forma mais expressiva para a ocorrência da DEF. Segundo Melo (2011), esse risco aumenta quando a estrutura atinge temperaturas máximas superiores a 60-65 °C.

Dessa forma, pelos motivos expostos anteriormente, é de suma importância que a temperatura interna do concreto não exceda o limite de 60-65 °C. Caso sejam verificados riscos para que isso ocorra, medidas preventivas devem ser adotadas, tais como: o resfriamento dos agregados, da água ou do próprio concreto e até mesmo interferências construtivas, como a concretagem em camadas e adoção de intervalos de lançamento mais prolongados, quando possível.

2.1 Modelo de simulações numéricas: o método de elementos finitos

De acordo com Carlson (1939), em meados da década de 1930, o pesquisador Douglas McHenry havia iniciado seus estudos para proposição de um modelo estrutural que pudesse ser avaliado matematicamente. A partir daí, ele idealizou o método da analogia das treliças, o que permitiu que diversos pesquisadores buscassem representar a estrutura em pequenos elementos, denominados de elementos finitos. Dessa forma, foi criado o Método dos Elementos Finitos, que hoje é largamente utilizado em diversos ramos da engenharia, como é apresentado por Gambale & Traboulsi (2015).

Segundo Carlson *et al.* (1979), muitos trabalhos foram escritos sobre o método dos elementos finitos a partir de 1953, mas não havia procura relevante desse método para um emprego prático. Contudo, no ano de 1962, Clough (1962) apresentou uma utilização bem sucedida dessa metodologia para análise da segurança da estrutura de Norfolk Dam, uma barragem com 70 metros de altura, ins-



FIGURA 2

MODELO ESQUEMÁTICO DA MALHA DO MODELO UNIDIRECIONAL DE PROPAGAÇÃO DE CALOR

talada no rio North Fork, norte do Arkansas — Estados Unidos. Nela foi observada a ocorrência de uma considerável trinca vertical, ao longo de praticamente toda sua altura, tipicamente decorrente do fenômeno térmico do concreto e que repartia a estrutura em duas. Dessa forma, buscou-se quantificar a segurança dessa barragem por meio da análise paramétrica por elementos finitos, com enfoque na solução de problemas decorrentes da variação volumétrica da estrutura a partir de suas características geométricas, viscoelásticas, térmicas e mecânicas. Além disso, seria possível a consideração dos coeficientes de restrição existentes na estrutura, provenientes das restrições externas ou internas às deformações do concreto decorrentes das variações de temperatura. De acordo com o ACI 207.2R, os coeficientes de restrição são resultantes de um ou mais fatores, que podem ser a ligação da estrutura com as fundações ou com outras estruturas ou do concreto com as armaduras ou da seção interna do próprio concreto.

Com a consideração dos fatores mencionados acima, é possível estabelecer uma análise capaz de promover a determinação das deformações e tensões térmicas atuantes e, assim, prever soluções para a preservação da integridade da estrutura, caso a avaliação seja realizada de maneira prévia, ou permitir a proposta de correções em situações em que o dano já tenha sido observado.

A atuação na análise da segurança da estrutura de Norfolk Dam (CLOUGH, 1962) registra uma das primeiras aplicações conhecidas de utilização do método dos elementos finitos para resolver um problema da engenharia.

2.2 Considerações para análise do comportamento térmico da base de torre eólica

As dimensões da fundação de uma torre eólica permitem a análise da propagação de calor considerando uma ou duas direções, basicamente. Poderia, até mesmo, ser considerada a avaliação tridimensional do seu comportamento por meio de ferramentas mais sofisticadas de análise, como o ANSYS®, por exemplo. Todavia, na prática da engenharia civil para esse tipo de estrutura, considerando o lançamento típico adotado para sua concretagem, tem-se que a propagação de calor é preferencialmente unidimensional. Com isso, a forma de propagação inerente à peça permite a análise a partir de qualquer um dos modelos. Dessa forma, neste trabalho foram contemplados os modelos de propagação de calor em uma e em duas direções, que atendem ao objetivo de análise dessa estrutura, considerando o concreto um material isotrópico.

Desses modelos de propagação de calor, sabe-se que:

- O modelo unidirecional de propagação de calor representa a situação mais próxima à condição real da estrutura;
- O modelo bidirecional de propagação de calor demonstra o comportamento térmico da peça, com uma de suas dimensões — a altura — bem inferior às demais.

A seção típica tomada para as simulações demonstradas neste artigo possui malha de elementos finitos para propagação bidirecional de temperatura, como a representada na Figura 1. Já o modelo de propagação de calor unidirecional é representado na Figura 2.

É importante destacar que, para a realização da análise do comportamento térmico do concreto das fundações de torres eólicas, algumas ressalvas foram estabelecidas. A primeira é dada pela limitação quanto à consideração da

energia de ativação, que, neste caso, é desprezada devido à complexidade das equações que representam o fenômeno.

Outro fator não considerado nos cálculos é a influência do vento nesse tipo de estrutura, principalmente no que diz respeito a uma eventual contribuição para minimização do risco térmico no concreto. Para fins desse tipo de análise, considera-se que a influência desse fenômeno da natureza é desprezível, mesmo sabendo que esse tipo de concretagem ocorre em regiões com grandes movimentos de vento, já que normalmente são recomendadas proteções à estrutura após a concretagem justamente para que não surjam fissuras de retração nas peças e causem maiores problemas no concreto em seu estado endurecido.

Em trabalhos de consultoria realizados pelos engenheiros Walton Pacelli de Andrade, Eduardo de Aquino Gambale e Luciana dos Anjos Farias para diversos complexos eólicos do nordeste do Brasil, as retroanálises realizadas indicaram efetiva aderência do comportamento térmico do concreto analisado previamente à concretagem com as leituras de temperatura realizadas no canteiro após a concretagem, com respostas similares às observadas na Figura 19. Essa constatação respalda a confiabilidade da resposta do cálculo térmico, mesmo ao desconsiderar qualquer influência que os fatores mencionados acima possam promover ao concreto.

3. PROPRIEDADES DO CONCRETO EMPREGADAS NA ANÁLISE TÉRMICA

A distribuição de calor está diretamente ligada às propriedades térmicas do concreto. Por isso, o conhecimento sobre elas é de fundamental importância para os estudos da propagação de calor gerado durante o processo de hidratação. De acordo com Calmon (1995), os parâmetros básicos que influenciam na análise no campo da temperatura do concreto são:

- Consumo e tipo de cimento, além do tipo de adição mineral componente do ligante, que influencia na elevação adiabática da temperatura do concreto;
- Temperatura de colocação do concreto na praça e temperatura ambiente;
- Altura e intervalo de lançamento das camadas de concretagem;
- Geometria da estrutura a ser analisada;
- Calor específico, condutividade térmica e difusividade térmica do concreto;
- Tipo litológico de agregado;
- Transmissão superficial de temperatura.

Em análises estatísticas conduzidas por Gambale *et al.* (2010), foi avaliada a distribuição dos valores e os parâmetros significativos das propriedades térmicas do concreto. Para tanto, foram realizados teste de normalidade, análise de variância e agrupamento de médias homogêneas. Como resultado, foi observado que os fatores mais significativos foram a elevação adiabática de temperatura, o

consumo de cimento, a temperatura de colocação do concreto e a altura das camadas de colocação do concreto na praça. Devido a isso, este artigo se concentrou principalmente nestes fatores relacionados.

Ressalta-se que as propriedades significativas relacionadas acima são suficientes para a previsão do desenvolvimento de calor na estrutura. Contudo, para a análise de tensões provenientes do efeito térmico, é necessário o conhecimento das propriedades viscoelásticas do concreto, como a fluência e o módulo de elasticidade, e da resistência à tração do concreto, preferencialmente, à flexão. O resultado tensional obtido é comparado à resistência à tração e, assim, é possível observar se o concreto tem propensão ou não de fissurar em decorrência do fenômeno térmico e em que momento do resfriamento essa manifestação ocorrerá (Fig 3).

No entanto, na realidade dos empreendimentos eólicos, dificilmente são realizados os ensaios para determinação das propriedades necessárias para a análise tensional. Em alguns casos, tendo as informações do traço, cimento e agregado, elas até podem ser estimadas, baseando-se em um banco de dados confiável, como o constante no livro de Furnas (1997). Contudo, em alguns casos, a estimativa pode incorrer em uma imprecisão, principalmente pelo tipo de concreto normalmente empregado nesse tipo de estrutura - com elevado teor de argamassa - e prejudicar a análise tensional. Dessa forma, para efeitos de fundações de torres eólicas, tem-se que, ao limitar a temperatura à necessária para minimização da ocorrência da DEF e considerando que se trata de uma estrutura densamente armada, o risco de fissuração por origem térmica, consequentemente, é bastante diminuído.

Com isso, para fins deste artigo, o entendimento é que a limitação existente é a temperatura necessária para minimização da ocorrência de DEF e a análise tensional, quando necessária, é realizada com as propriedades determinadas a partir de uma condição favorável, seja por ensaios laboratoriais, seja por estimativa das propriedades em condições próximas ao concreto lançado.

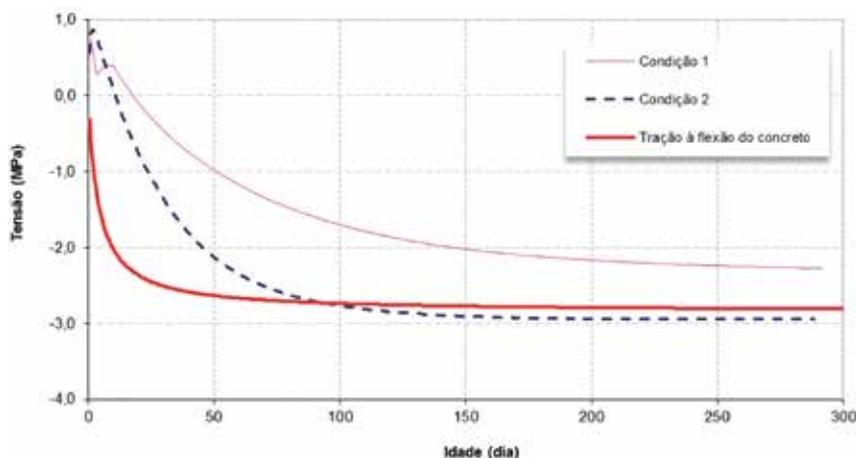


FIGURA 3

EXEMPLO GRÁFICO DO RESULTADO DE UMA ANÁLISE TENSIONAL DO CONCRETO

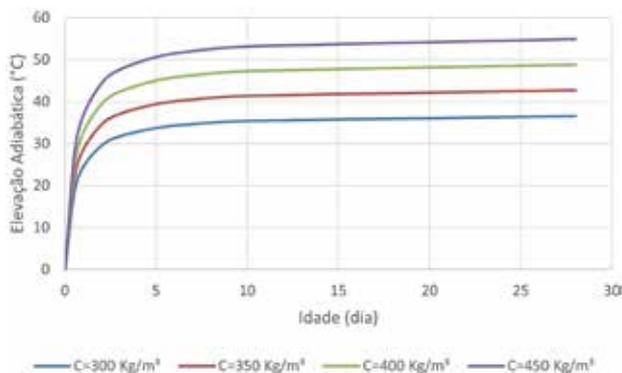


FIGURA 4
ELEVÇÃO ADIABÁTICA DE TEMPERATURA PRA DIFERENTES
CONSUMOS DE CIMENTO

3.1. Predição da elevação adiabática de temperatura

A determinação da elevação adiabática de temperatura do concreto é um dos parâmetros mais importantes, podendo ser obtida por meio de ensaio laboratorial realizado em calorímetro adiabático, que fornece a elevação da temperatura do concreto sem trocas de calor com o meio. Porém, não existe disponibilidade suficiente de laboratórios capazes de determinar essa propriedade, restando a sua previsão a partir das características do cimento e dos traços de concreto estabelecidos para a estrutura. A estimativa nessas condições fornece um resultado confiável e bastante aderente aos resultados obtidos nas leituras de campo.

A elevação adiabática de temperatura pode ser estimada, como segue:

- Por meio de resultados do calor de hidratação realizados em ensaios de laboratório ou pelos laudos fornecidos pelo fabricante. O ensaio pode ser realizado por meio da garrafa de Langavant (ABNT NBR 12006:1990), ou por outra metodologia confiável (calorimetria isotérmica, por exemplo), e fornece a evolução do calor com o tempo, normalmente para as idades de 24h, 41h, 72h e 168h, podendo ser consideradas outras idades caso seja necessário ou determinado pelo laboratório executor. Conhecendo a evolução do calor nesse intervalo e os consumos de cimento dos traços empregados na estrutura, é possível estabelecer um parâmetro para estimar a elevação adiabá-

tica do concreto, cujos cálculos matemáticos e banco de dados de apoio são demonstrados no livro da Equipe de FURNAS (1997);

- Por meio de um modelo de dados baseado em redes neurais artificiais apresentado por Étore, F. F. (2004).
- Por referências bibliográficas, onde alguns parâmetros, como a difusividade térmica e o calor específico, podem ser obtidos através das características do tipo litológico de agregado utilizado no concreto (Gambale *et al.*, 2008).

TABELA 1

SIMULAÇÕES COM PROPAGAÇÃO DE CALOR EM DUAS DIREÇÕES:
MODELO BIDIRECIONAL

Consumo (kg/m ³)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura máxima (°C)
300	15	47,80
	25	56,73
	35	66,02
350	15	52,99
	25	61,93
	35	71,22
400	15	58,19
	25	67,14
	35	76,43
450	15	63,39
	25	72,35
	35	81,65

Para as simulações indicadas neste artigo, foi tomado como base um cálculo térmico realizado para concreto produzido com cimento CP IV-32 RS, com adição de pozolana de argila calcinada e com resultado de ensaio de calor de hidratação fornecido pelo fabricante, que indica que o ligante possui baixo calor de hidratação conforme a norma NBR 16697:2018 (≤ 270 J/g, na idade de 41 h). A elevação

TABELA 2

SIMULAÇÕES COM PROPAGAÇÃO DE CALOR EM UMA DIREÇÃO: MODELO UNIDIRECIONAL
LANÇAMENTO EM DUAS CAMADAS DE 2 METROS

Consumo (kg/m ³)	Propagação de calor em uma direção		Intervalo de colocação (dia)		
	Temperatura inicial (°C)	Temperatura máxima (°C) Concretagem instantânea	1	2	5
300	15	48,08	47,61	46,97	45,63
	25	57,45	56,04	54,91	53,74
	35	66,88	64,59	63,42	62,00
350	15	53,38	52,58	51,69	50,10
	25	62,80	61,01	59,63	58,32
	35	72,22	69,46	68,21	66,55
400	15	58,72	57,54	56,42	54,68
	25	68,14	65,97	64,41	62,60
	35	77,56	74,43	73,00	71,12
450	15	64,08	62,53	61,16	59,26
	25	73,49	70,95	69,20	67,48
	35	82,92	79,40	77,79	75,70

TABELA 3

SIMULAÇÕES COM PROPAGAÇÃO DE CALOR EM UMA DIREÇÃO: MODELO UNIDIRECIONAL LANÇAMENTO EM QUATRO CAMADAS DE 1 METRO

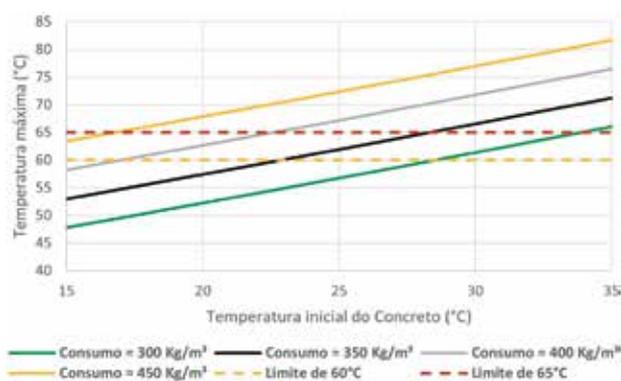
Propagação de calor em uma direção			Intervalo de colocação (dia)		
Consumo (kg/m ³)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura máxima (°C) Concretagem instantânea	1	2	5
300	15	48,08	47,35	45,04	41,67
	25	57,45	54,73	51,14	47,65
	35	66,88	62,17	57,39	54,31
350	15	53,38	51,95	48,90	44,46
	25	62,80	59,34	55,03	50,94
	35	72,22	66,77	61,27	57,63
400	15	58,72	56,52	56,42	48,25
	25	68,14	63,95	58,91	54,23
	35	77,56	71,39	65,16	60,95
450	15	64,08	61,14	56,63	51,54
	25	73,49	68,57	62,80	57,53
	35	82,92	76,01	69,05	64,27

adiabática de temperatura para esse caso é estimada conforme a condição a.

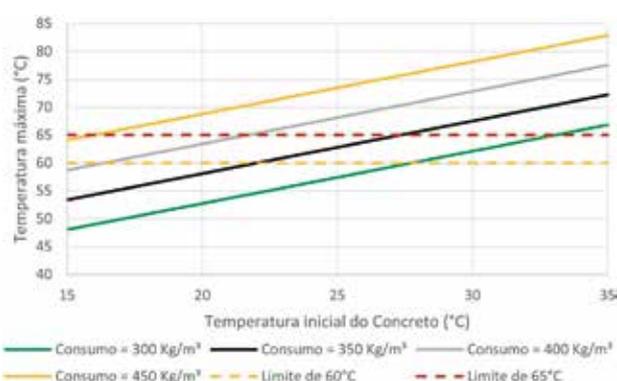
Na Figura 4, é apresentada a evolução da elevação adiabática de temperatura em função do tempo obtida para concretos com consumos de cimento de 300, 350, 400 e 450 kg/m³. As simulações foram realizadas considerando uma temperatura ambiente média de 30 °C.

4. HIPÓTESES SIMULADAS E TEMPERATURAS MÁXIMAS OBTIDAS

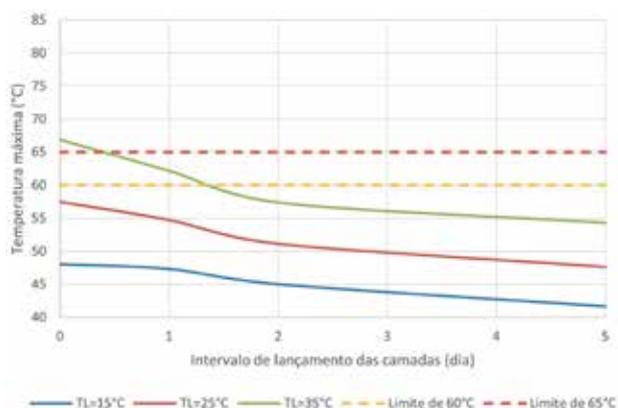
Foram simuladas as condições de propagação de calor em uma e em duas direções, com concreto sendo lançado a temperaturas iniciais de 15, 25 e 35 °C e consumos de cimento de 300, 350, 400 e 450 kg/m³. Além disso, foi considerado o lançamento do concreto em camadas de 2 metros de altura, com intervalos de colocação de 1, 2 e 5 dias.

**FIGURA 5**

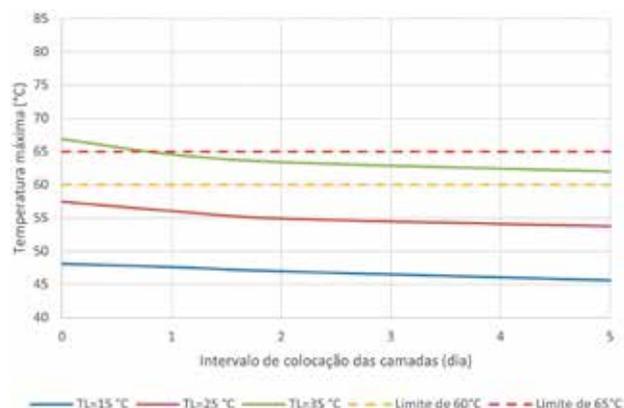
AValiação pelo modelo BIDIRECIONAL DE PROPAGAÇÃO DE CALOR

**FIGURA 6**

AValiação pelo modelo UNIDIRECIONAL DE PROPAGAÇÃO DE CALOR

**FIGURA 7**

CONSUMO DE CIMENTO DE 300 KG/M³: CAMADA DE 1 METRO

**FIGURA 8**

CONSUMO DE CIMENTO DE 300 KG/M³: CAMADA DE 2 METROS

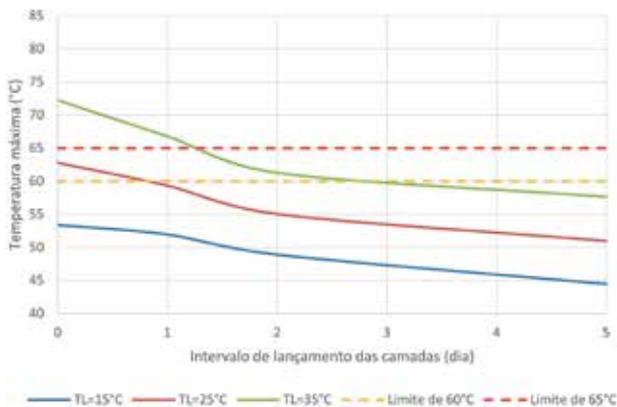


FIGURA 9

CONSUMO DE CIMENTO DE 350 kg/M³: CAMADA DE 1 METRO

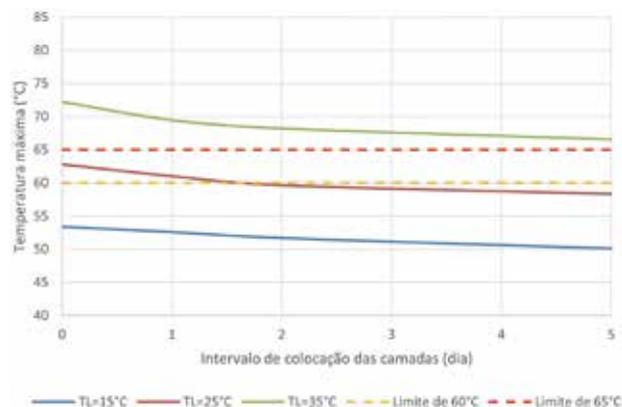


FIGURA 10

CONSUMO DE CIMENTO DE 350 kg/M³: CAMADA DE 2 METROS

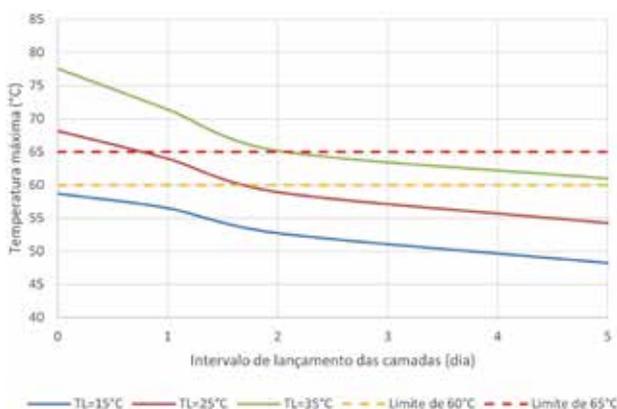


FIGURA 11

CONSUMO DE CIMENTO DE 400 kg/M³: CAMADA DE 1 METRO

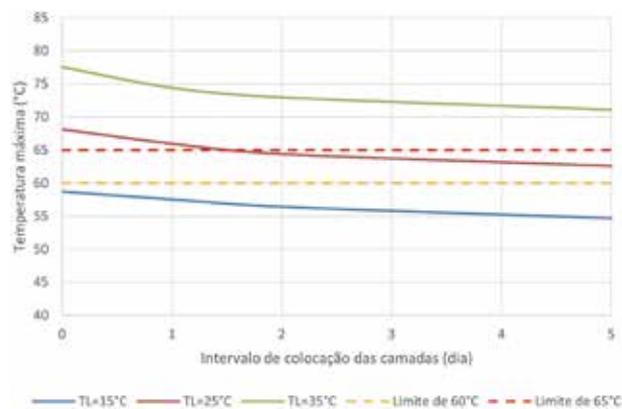


FIGURA 12

CONSUMO DE CIMENTO DE 400 kg/M³: CAMADA DE 2 METROS

Os resultados obtidos para as temperaturas máximas na estrutura estão registrados nas Tabelas 2 (modelo bidirecional), 3 (unidirecional em camadas de 2 metros) e 4 (unidirecional em camadas de 1 metro). São destacadas em vermelho as temperaturas acima de 65 °C, para o melhor entendimento em relação ao resultado obtido acima do nível recomendado.

Para melhor visualização dos resultados apresentados nas Tabelas 1 a 3, as Figuras 5 e 6 demonstram o comportamento da temperatura máxima em função do consumo de cimento.

Já, nas Figuras 7 a 14, é apresentada a influência do intervalo de colocação para duas camadas de 2 metros e para quatro camadas de 1 metro.

Por fim, as Figuras 15 a 18 mostram o comportamento da propagação do calor

na seção transversal para os consumos mínimo e máximo do estudo, de 300 kg/m³ e de 450 kg/m³ de cimento. Para tanto são consideradas as temperaturas mínima e máxima iniciais do estudo, de 15 °C e 35 °C, com o intuito de observar a temperatura máxima na estrutura conforme as simulações de propagação de calor pelo modelo bidirecional, em duas direções.

A Figura 19 ilustra o resultado do monitoramento executado em uma base de uma torre eólica implantada no Brasil.

5. CONCLUSÕES

Observa-se, nas Figuras 5 e 6, uma grande semelhança entre as simulações, considerando a propagação de calor em duas direções e em uma direção, o que é importante para a simplificação do pro-

cesso de cálculo. Em relação ao resultado apresentado nessas figuras, observa-se o comportamento linear da temperatura máxima em função da temperatura inicial do concreto. Esse comportamento facilita a definição de uma condição que não ultrapasse os limites das temperaturas máximas. Para ilustrar o que foi apresentado nesses gráficos, pode-se tomar um exemplo de uso: se a temperatura inicial do concreto for 27 °C, para um concreto de 300 kg/m³, a sua temperatura máxima não ultrapassa o limite de 60 °C, sendo uma condição segura de concretagem. Em exemplo contrário, em lançamento de um concreto de 450 kg/m³, no caso deste artigo, para todas as situações a temperatura máxima ultrapassa o limite de 60 °C, sendo necessário recorrer a medidas que

possibilitem a redução de temperatura como refrigeração, uso de adições minerais, redução do consumo de cimento, diminuição de camada de concretagem, entre outros. Com a facilidade de simulações de propagação de calor em uma direção,

pode-se fazer estudos paramétricos mais rápidos e com rápida implementação para decisões em campo.

Nas Figuras 7 a 14, é possível observar claramente a influência da altura de concretagem em camadas, tornando-se mais

crítica à medida que aumenta a altura de concretagem. Considerando as temperaturas de colocação indicadas, de 15 °C a 35 °C, é possível minimizar os efeitos adversos provenientes das camadas de alturas maiores e contribuir com a segurança

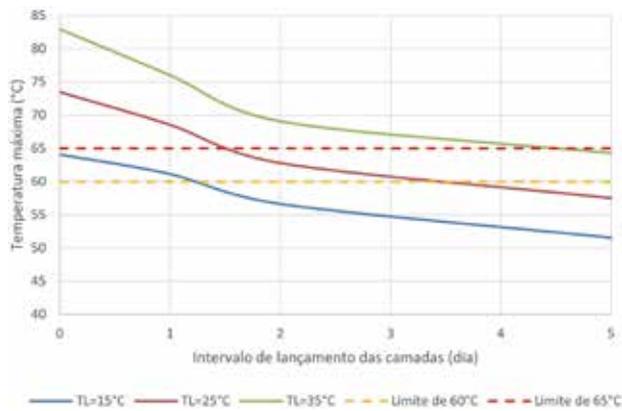


FIGURA 13

CONSUMO DE CIMENTO DE 450 kg/m^3 : CAMADA DE 1 METRO

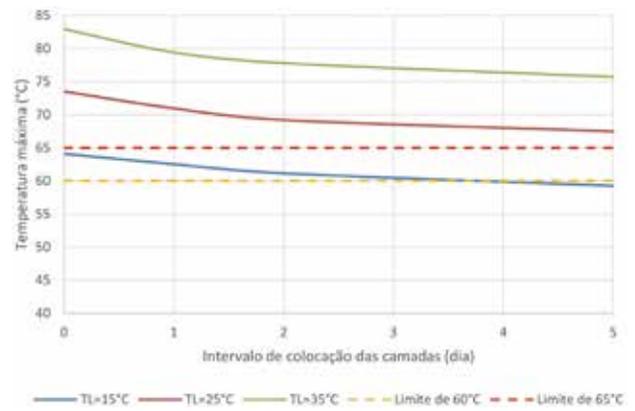


FIGURA 14

CONSUMO DE CIMENTO DE 450 kg/m^3 : CAMADA DE 2 METROS

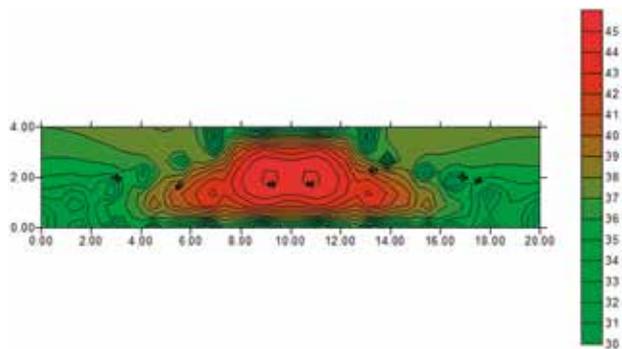


FIGURA 15

CONSUMO DE 300 kg/m^3 : TEMPERATURA INICIAL DE 15 °C

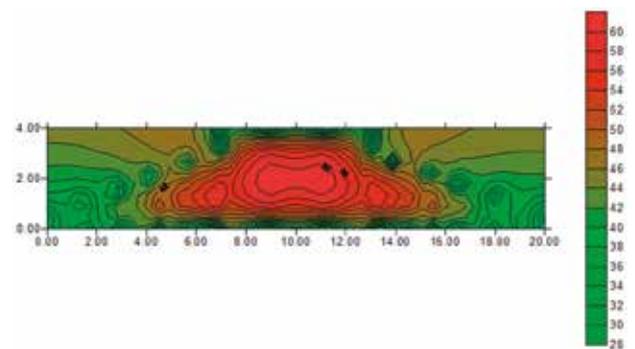


FIGURA 16

CONSUMO DE 300 kg/m^3 : TEMPERATURA INICIAL DE 35 °C

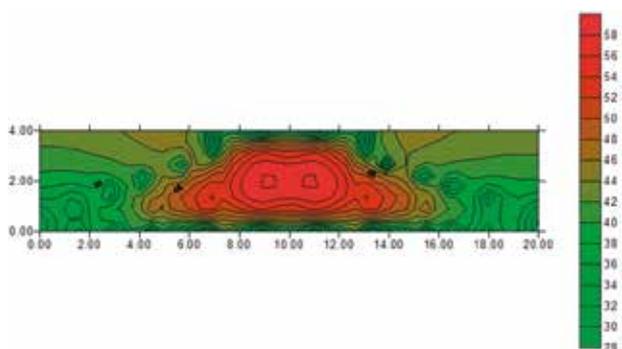


FIGURA 17

CONSUMO DE 450 kg/m^3 : TEMPERATURA INICIAL DE 15 °C

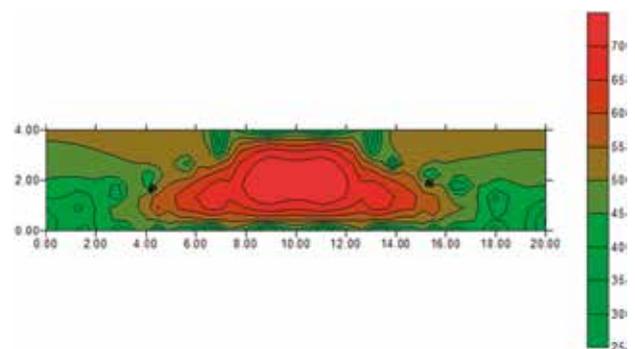


FIGURA 18

CONSUMO DE 450 kg/m^3 : TEMPERATURA INICIAL DE 35 °C

da peça no que diz respeito ao seu comportamento térmico, considerando-se a adequação dessa temperatura de lançamento com a minimização do risco de fissuração por origem térmica e do desenvolvimento da DEF. Logicamente que quanto menor a altura de concretagem, menor o nível de risco de fissuração de origem térmica. Contudo, deve-se levar o bom senso da prática construtiva e, nos casos que indiquem riscos de fissuração de origem térmica para uma determinada altura de camada, tomar as medidas necessárias para minimização dessas ocorrências, com sugestões expostas ao longo deste artigo.

As isotermas apresentadas nas Figuras 15 a 18 funcionam como um importante indicador para o posicionamento de termômetros, objetivando monitorar a evolução da temperatura de maneira mais assertiva e contribuir com maior precisão com os resultados de uma possível retro-análise. Esse recurso permite que o usuário empregue tantos termômetros forem necessários, principalmente nas regiões em que são visualizadas as previsões de maiores temperaturas e facilitar a tomada de decisões para minimização de riscos, caso seja necessário. As leituras dos termômetros podem ser plotadas, como apresentado na Figura 19, e, partir desses

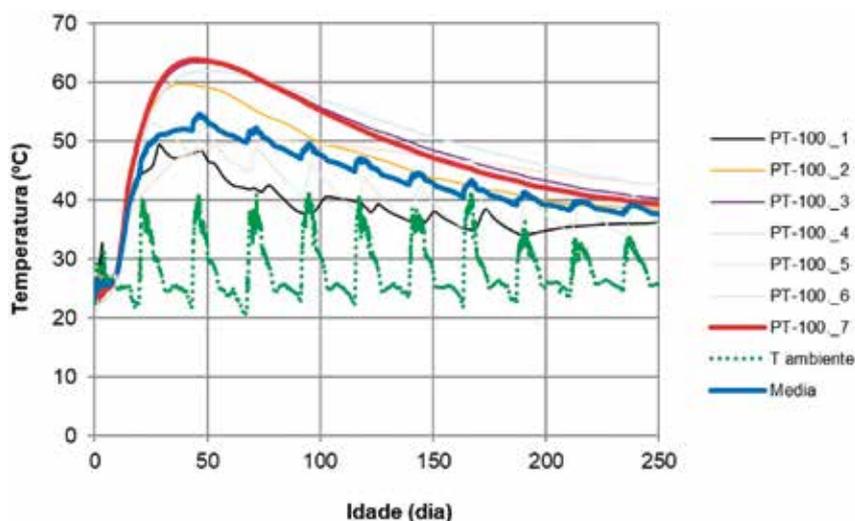


FIGURA 19

MONITORAMENTO DE UMA FUNDAÇÃO DE TORRE EÓLICA NO BRASIL. O EIXO X REPRESENTA A IDADE (DIAS) E EIXO Y A EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA (°C)

resultados, observar a aderência da análise matemática da previsão de temperaturas com os resultados reais obtidos em campo. Para observação dessa aderência, basta tomar as condições ambientais e de lançamento do concreto, inserir essas entradas nos resultados obtidos no mo-

delo matemático e, a partir daí, traçar a curva correspondente obtida pelo cálculo realizado. Com isso, com uso de gráficos comparativos, é possível demonstrar a correlação existente entre a teoria e a prática, garantindo, assim, a confiabilidade do modelo empregado para a análise. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MELO, S. K. et al.. "Influência do calor de hidratação na formação da etringita tardia (DEF) em concreto de cimento Portland pozolânico". 53º Congresso Brasileiro do Concreto - Florianópolis - SC, 2011.
- [2] CARLSON, R.W., "A simple method for the computation of temperatures in concrete structures", ACI Journal, V.34, 1937, pp.89-102
- [3] GAMBALE, E.A., TRABOULSI, M.A. "Avaliação da temperatura máxima em estruturas executadas com concreto massa". In: 57º Congresso Brasileiro do Concreto, 2015, Bonito-MS.
- [4] CARLSON, R.W., HOUGHTON, D.L., POLIVKA, M. "Causes and control of cracking in reinforced mass concrete", ACI Journal, 1979, pp.821-837
- [5] CLOUGH, R.W. "The stress distribution of Norfolk Dam", Structures and Materials Research, Series 100, Issue 19 - Institute of Engineering Research, University of California - Berkeley. Final Report to U.S. Engineer District, Little Rock Corps of Engineers. 1962, 152p.
- [6] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI COMMITTEE. Report on thermal and volume change effects on cracking of mass concrete - ACI 207.2R-07. Michigan - USA, ACI, 2007.
- [7] CALMON, J.L.N. "Estudio Térmico y Tensional en Estructuras Macivas de Hormigon. Aplicacion a Las Presas Durante la etapa de Construccion". Tesis Doctoral dirigida por Mirambell Arrizabalaga, Barcelona, mayo de 1995, 649p.
- [8] GAMBALE, E. A.CASTRO,A.,TRABOULSI M.A.,ANDRADE M.A.S. "Análise Estatística dos Parâmetros que intervêm no Fenômeno Térmico do Concreto Massa". 52º Congresso Brasileiro do Concreto - Fortaleza - CE, 2010.
- [9] Equipe de FURNAS - Editor Walton Pacelli de Andrade - Concretos: Massa, Estrutural, Projetado e Compactado com Rolo - Ensaios e Propriedades - Ed. Pini, São Paulo-SP, 1997.
- [10] ÉTORE, F.F., "Predição da exotermia da reação hidratação do concreto através de modelo termo-químico e modelo de dados" 130p. Tese (Mestre em Ciências) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.
- [11] GAMBALE, E.A., TRABOULSI, M.A., ANDRADE, M.A.S. "Análise paramétrica do fenômeno térmico do concreto massa". In: 50º Congresso Brasileiro do Concreto, 2008, Salvador-BA.
- [12] GAMBALE, P.G., "Estudo do calor de Hidratação do massa e contribuição ao cálculo térmico e à previsão de fissuras de retração". Tese Mestre em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil pela UFG, Goiânia,2017.

Fundação em radier de grandes dimensões: projeto estrutural e estudo térmico

GUSTAVO LICHT FORTES - ENG. - ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7303-9702>; JULIANO CARIA - ENG. | FRANÇA E ASSOCIADOS PROJETOS ESTRUTURAIIS
EDUARDO ISSAMU FUNAHASHI JR - ENG. - ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7516-4195>;
SELMO CHAPIRA KUPERMAN - ENG. - ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4186-2216> | DESEK LTDA.

RESUMO

ESTE ARTIGO APRESENTA DETALHES DE UM RADIER DE CONCRETO ARMADO DE GRANDES DIMENSÕES, PERTENCENTE A UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL LOCALIZADA NO MORUMBI (SÃO PAULO-SP). A MELHOR SOLUÇÃO NECESSITOU DIVERSAS INTEGRAÇÕES ENTRE AS EQUIPES ENVOLVIDAS NOS PROJETOS ESTRUTURAL E DE FUNDAÇÕES. O CÁLCULO ESTRUTURAL SEGUIU AS NORMAS ABNT NBR 6118: 2014 PARA O CÁLCULO DA ARMADURA DE FLEXÃO E CISALHAMENTO, E ACI 318: 2005 PARA O CÁLCULO DA ARMADURA DE PUNÇÃO. UM EXTENSO ESTUDO TÉRMICO E A ANÁLISE POR MEIO DO MÉTODO DA MATURIDADE (ASTM C1074-11) TAMBÉM FORAM CONDUZIDOS. OS PROJETOS DE FUNDAÇÃO E DE ESTRUTURAS, ALÉM DAS AVALIAÇÕES TECNOLÓGICAS DO CONCRETO, RESULTARAM EM UMA SOLUÇÃO ECONÔMICA, QUE NÃO APENAS ATENDEU ÀS NECESSIDADES DE RESISTÊNCIA DO RADIER, MAS GARANTIU O PRAZO DE EXECUÇÃO DA OBRA.

PALAVRAS-CHAVE: RADIER, CONCRETO MASSA, FORMAÇÃO DE ETRINGITA TARDIA, CONCRETO ARMADO.

1. INTRODUÇÃO

Radiers são utilizados como solução para a fundação de edifícios de múltiplos pavimentos quando o solo possui boa resistência na cota de assentamento, mas a proximidade dos pilares implica numa sobreposição dos elementos de fundação isolados. O radier não estaqueado é uma fundação rasa, apoiando-se diretamente no solo, compreendendo uma placa de concreto armado recebendo o carregamento de diversos pilares.

Hemsley (2000) e Gupta (1997) descrevem considerações no dimensionamento de radiers como, por exemplo, o deslocamento e a distorção máximos, a geometria

uniforme e o fenômeno da punção. Além das questões estruturais, um rigoroso estudo tecnológico do concreto deve ser feito para evitar fissurações de origem térmica e a formação de etringita tardia (*Delayed Ettringite Formation – DEF*).

O presente artigo discorre sobre o projeto estrutural e o estudo térmico de um radier de grandes dimensões (36 m x 33 m e altura de 2,8 m no trecho mais alto), que utilizou 2986,8 m³ e 292,6 ton de aço CA-50.

O projeto estrutural do radier e do edifício residencial ao qual pertence (localizado no Bairro do Morumbi, em São Paulo-SP) foi desenvolvido pelo escritório França e Associados Projetos Estruturais. Já, o projeto de fundações foi elaborado pelo escritório Portella Alarcon Engenheiros Associados e a DESEK foi responsável pelo estudo térmico do concreto.

O detalhamento do projeto e o estudo térmico do radier fornecem importantes informações a respeito dessa solução para fundação de torres altas.

2. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO ESTRUTURAL

O embasamento do edifício em questão conta com 5 pavimentos (entre subsolos e sobressolos), além de lojas no nível de acesso do 2º subsolo. A torre conta com dois conjuntos de pavimentos-tipo (um com 26 pavimentos e outro com 14) e um pavimento técnico (30º pavimento) com áreas técnicas e de lazer, totalizando cerca de 143 m acima do nível de acesso mais alto. A Figura 1 ilustra o edifício de múltiplos pavimentos objeto do presente estudo.



FIGURA 1

(A) MODELO ESTRUTURAL – REVIT; (B) MODELO DE CÁLCULO – TQS; (C) FOTO DA OBRA APÓS A FINALIZAÇÃO DA ESTRUTURA

2.1 Opções de fundação

A partir do primeiro estudo de cargas na fundação, ainda sem o ensaio em túnel de vento, foram feitas 3 opções de fundação:

- em radier (solução adotada);
- em estaca escavada com fluido estabilizante e barretes;
- em estaca em hélice contínua.

Na opção em hélice contínua (Figura 2a), a distribuição das estacas projetou-se em quase toda a área da torre, o que exigiria um bloco de coroamento com dimensões próximas à da solução com radier. A opção em estaca escavada e barretes (Figura 2b) apresentou uma distribuição de elementos de fundação mais racional. No entanto, a opção em radier foi tomada devido a menores custos e tempo de execução.

2.2 Geometria final do radier

O projetista de fundações definiu 36 m x 33 m como as dimensões em planta do radier. Para a pré-definição de suas alturas, foram consideradas distâncias entre pilares, regiões com maiores esforços e distâncias entre pilares e bordas do radier. A seguir, foi feita a modelagem do radier no *software* TQS V20.711, conforme item 3, resultando nas seguintes alturas:

- Altura geral de 2,8 m;
- Altura nas laterais de 1,8 m;
- Altura nos poços de elevadores de 1,0 m.

A altura reduzida nas laterais possibilitou a redução de cerca de 273 m³. A redução da altura na região dos poços, além de resultar em menor consumo de concreto, possibilitou uma grande redução no volume de escavação.

As Figuras 3a e 3b mostram a geometria final do radier. A geometria não convencional dos pilares decorre da geometria não convencional dos pavimentos-tipo e da altura da edificação.

Para concretar esse grande volume de concreto, o estudo tecnológico do concreto permitiu que a execução fosse feita em 2 etapas (ao invés das 3 etapas inicialmente previstas), conforme descrito no item 4.

3. MODELAGEM, CÁLCULO E DETALHAMENTO DO RADIER

O cálculo estrutural e detalhamento das armações do radier iniciaram-se com

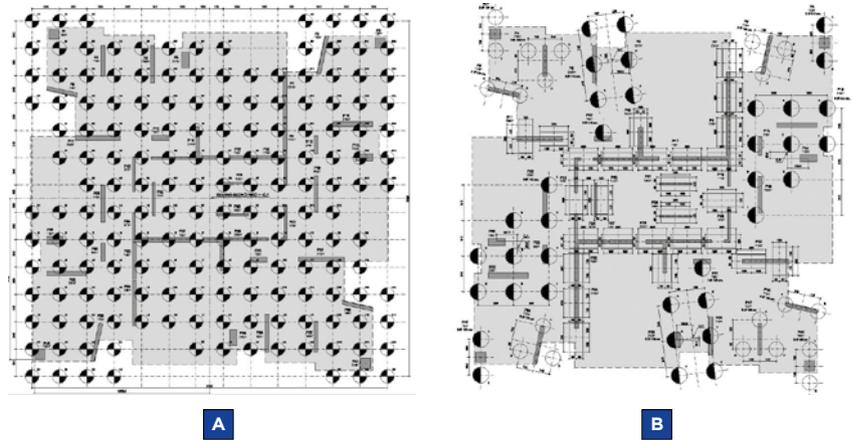


FIGURA 2

OPÇÕES DE FUNDAÇÃO. (A) OPÇÃO EM HÉLICE CONTÍNUA; (B) OPÇÃO EM ESTACA ESCAVADA E BARRETES

a confecção do modelo computacional, incorporando-o ao modelo da edificação. O radier foi modelado como uma placa de grande espessura sobre base elástica, ob-

tendo-se os deslocamentos nodais e os esforços (momentos fletores, forças cortantes e normais) por meio de uma grelha de elementos de barras (Figura 4).

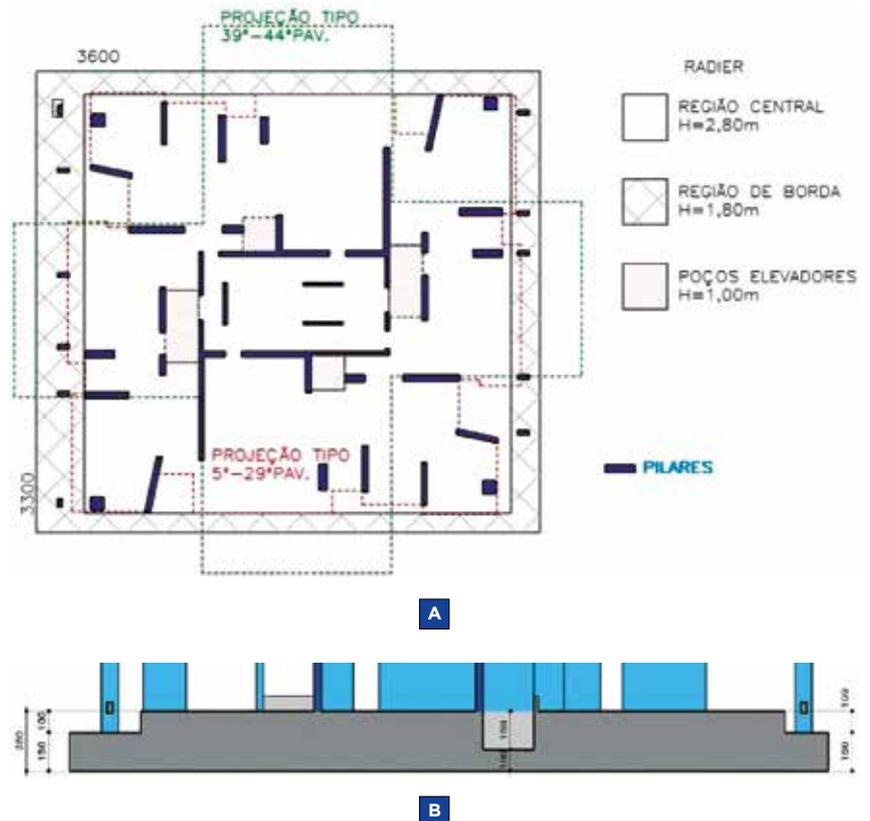


FIGURA 3

GEOMETRIA FINAL DO RADIER. (A) PLANTA E (B) CORTE ESQUEMÁTICO

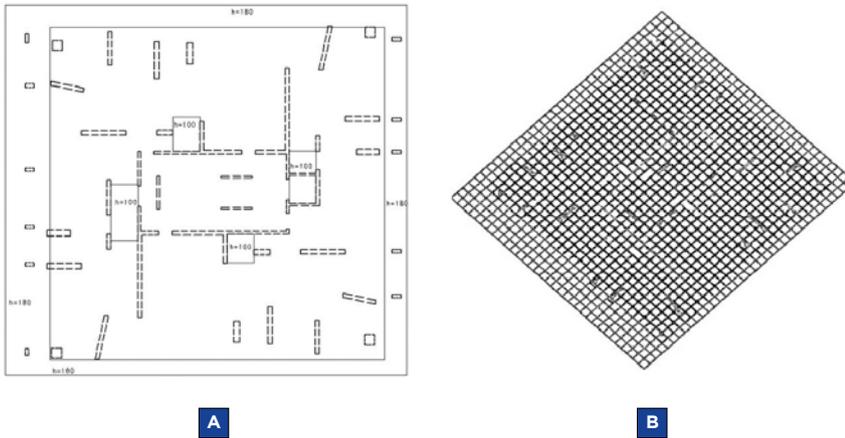


FIGURA 4

(A) MODELAGEM DO RADIER E (B) GRELHA DE BARRAS PARA CÁLCULO DOS DESLOCAMENTOS E ESFORÇOS

3.1 Compatibilização dos deslocamentos

A compatibilização entre os deslocamentos do modelo estrutural do radier e os deslocamentos previstos para o conjunto radier + solo foi considerada por meio da calibração de molas elásticas nos nós da grelha, buscando igualar o deslocamento de todas as cargas gravitacionais na combinação quase-permanente, com o deslocamento previsto e aceitável. Para isso, diversas iterações com alterações nos valores das molas verticais e horizontais foram

feitas até se obter o resultado desejado (Figura 5), validados com os geotécnicos responsáveis quanto ao deslocamento máximo e à distorção máxima. Ao incorporar o radier ao modelo do edifício, deslocamentos diferenciais entre os pilares ou entre diferentes trechos de um mesmo pilar foram analisados, de modo a confirmar o dimensionamento inicial dos elementos.

Outro modelo, utilizando-se elementos sólidos, foi feito no programa STRAP 2010, permitindo a comparação e validação dos resultados obtidos com o modelo de barras.

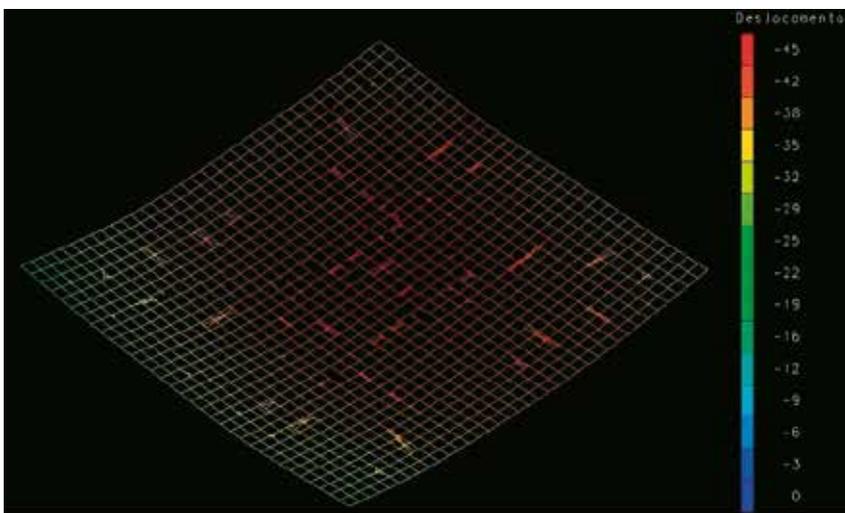


FIGURA 5

DESLOCAMENTOS [MM] PARA A COMBINAÇÃO QUASE-PERMANENTE

3.2 Dimensionamento ao momento fletor

Após as iterações, o modelo, adequado ao dimensionamento do radier e compatibilizado com os deslocamentos previstos, foi analisado em relação aos esforços solicitantes. 98 combinações foram analisadas para a obtenção dos momentos fletores máximos e mínimos nas seções do radier. Utilizou-se a formulação (Equação 1) proposta por Wood (1968), que considera o momento torsor na determinação do momento fletor atuante em duas direções ortogonais.

$$[1] \quad \begin{aligned} M_x^* &= M_x + |M_{xy}| \\ M_y^* &= M_y + |M_{xy}| \end{aligned}$$

Em que:

M_x = momento fletor na direção x;

M_y = momento fletor na direção y;

M_{xy} = momento torsor.

Caso M_x^* ou M_y^* resultem nulos ou negativos, a Equação 1 assume a forma da Equação 2:

$$[2] \quad \begin{aligned} M_x^* &= M_x + \left| \frac{M_{xy}^2}{M_y} \right|, \text{ com } M_y^* = 0 \\ M_y^* &= M_y + \left| \frac{M_{xy}^2}{M_x} \right|, \text{ com } M_x^* = 0 \end{aligned}$$

Tanto a Equação 1 como a Equação 2 foram apresentadas para momentos que tracionem as fibras inferiores da laje. A adição deve ser substituída pela subtração no caso de momentos que tracionem as fibras superiores.

Após a obtenção dos valores dos momentos fletores atuantes, que chegaram à

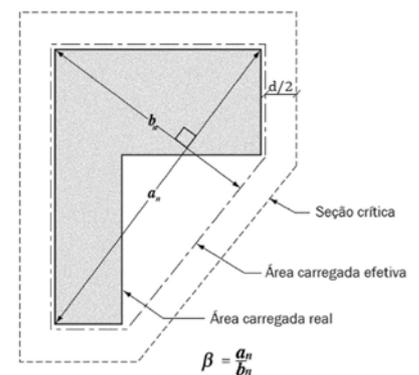


FIGURA 6

PERÍMETRO DE CONTROLE PARA PILARES NÃO RETANGULARES

FONTE: ACI 318: 2005, TRADUZIDA E ADAPTADA

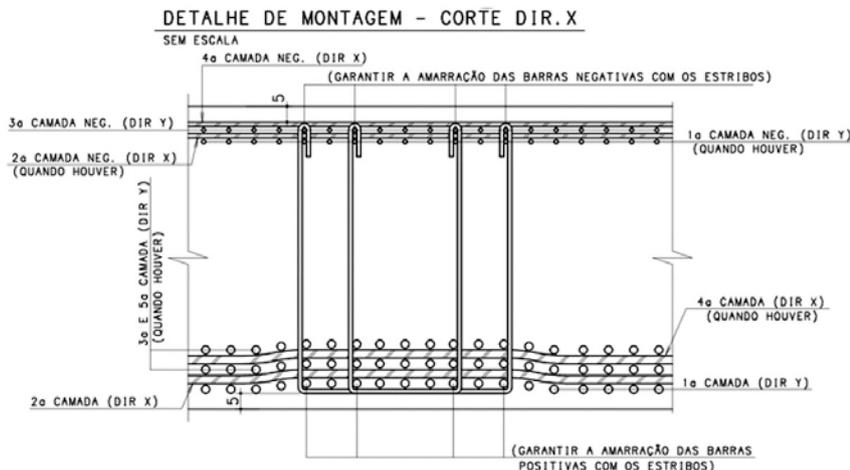


FIGURA 8

DETALHE EM CORTE DA ARMAÇÃO DO RADIER INDICANDO A SEQUÊNCIA DE MONTAGEM



FIGURA 9

PLANO DE CONCRETAGEM DO RADIER (DIMENSÕES EM CM)

Além disso, foi possível dispensar o uso de ganchos nas barras, devido à baixa tração nos trechos de barras próximas às bordas do radier, o que resultou na redução do comprimento total das barras e, assim, na economia no consumo de aço.

4. ESTUDOS TÉRMICOS

Concreto massa é qualquer volume de concreto com dimensões grandes o suficiente para requerer meios especiais para controlar o calor gerado pela hidratação do cimento e a mudança de volume para minimizar a fissuração. Devido às dimensões do radier, resistência característica de projeto (f_{ck}) e consumo de cimento da dosagem, foram realizados estudos térmicos para evitar fissuras de origem térmica e eventual DEF.

As mudanças de temperaturas têm como origem as reações exotérmicas de hidratação do cimento que, em razão das dimensões da estrutura, criam condições para que, durante o arrefecimento da tempera-

tura do concreto, surjam tensões de tração. Para reduzir a probabilidade de DEF, adotou-se o limite de temperatura interna do concreto de 65°C. Limitaram-se tensões de origem térmica a valores menores que a resistência à tração do concreto para evitar fissuração. Para reduzir o consumo de cimento do traço e a geração de calor, foi feita uma reavaliação estrutural, possibilitando o uso de concreto com $f_{ck} = 35$ MPa no primeiro metro de altura da 1ª etapa de concretagem (Figura 9).

Entre as etapas, foi adotado intervalo de lançamento de 7 dias. A junta de construção entre as etapas foi tratada com corte verde do concreto de modo que não fossem ocasionadas juntas frias entre elas. Para isto foi utilizado retardador de pega superficial aplicado por meio de pulverizador sobre a superfície do concreto fresco da junta após o fim da concretagem. No dia seguinte foi utilizado jato d'água sob pressão controlada de modo a remover toda a pasta de cimento e expor adequadamente os agregados do concreto.

Foi empregado cimento CP III 40 RS de baixo calor de hidratação fabricado com aproximadamente 60% de escória de alto forno, além da adição de 8% de sílica ativa em relação ao seu consumo no traço.

As simulações computacionais para definição do plano executivo foram realizadas com o uso do *software* b4cast v. 6.14, por modelagem 3D baseado no Método de Elementos Finitos (MEF) e Método da Maturidade, com o intuito de aproximar-se das condições reais da execução.

Os estudos térmicos possibilitaram definir as temperaturas máximas de lançamento do concreto pré-refrigerado com gelo. A quantidade de gelo em cubos para atender a temperatura especificada foi estimada por meio de balanço térmico dos traços, conforme Furnas (1997), e variou de 110 até 130kg/m³ dependendo da camada de concretagem e temperatura dos materiais e do ambiente durante a sua execução.

Para atender à especificação do zoneamento de temperaturas de lançamento do concreto pré-refrigerado, 4 centrais forneceram o concreto na 1ª etapa (Figura 10).



A



B

FIGURA 10

MONTAGEM DAS ARMADURAS (A) E EXECUÇÃO DA 1ª ETAPA DE CONCRETAGEM (B)

TABELA 1TRAÇOS DE CONCRETO – QUANTIDADES EXPRESSAS EM KG/M³

Altura da camada	1ª etapa: da base até 1,0 m	1ª etapa: entre 1,0 m até 1,8 m 2ª etapa: entre 1,8 m até 2,80 m
f _{ck} (MPa)	35	45
E _{cs} (GPa)	29	30
Tipo/Classe de espalhamento	Autoadensável (SF2 - 660 a 750 mm)	Autoadensável (SF2 - 660 a 750 mm)
Cimento CP III 40 RS	350	358
Areia de quartzo	526	497
Areia artificial	448	331
Brita 0	388	412
Brita 1	474	618
Água + gelo	180	170
Aditivo 1	1,40	2,45
Aditivo 2	2,45	2,80
Sílica ativa	28	28
Relação água/ligante	0,476	0,440
Massa específica teórica (kg/m ³)	2398	2391

TABELA 2

CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS ESTIMADAS PARA OS TRAÇOS DE CONCRETO

Altura da camada	1ª etapa: da base até 1 m	1ª etapa: entre 1 m e 1,8 m 2ª etapa: entre 1,8 e 2,8 m
f _{ck} (MPa)	35	45
E _{cs} (GPa)	29	30
Coefficiente de Poisson	0,20	0,20

Resistência à compressão, f_{cd} (MPa)

Idade	C35	C45
1	9,2	8,6
3	18,7	10,7
7	28,7	39,8
28	41,6	51,6

Resistência à tração, f_{ct} (MPa)

Idade	C35	C45
1	1,3	1,3
3	2,1	1,5
7	2,8	3,6
28	3,6	4,2

Módulo de elasticidade, E_{cs} (GPa)

Idade	C35	C45
3	20,9	
7	27,1	
28	31,7	
28	3,6	

4.1 Modelagem computacional pelo método dos elementos finitos

Vários fatores integram o modelo computacional para os estudos de evolução tridimensional de temperaturas e tensões como, por exemplo, a temperatura e velocidade de lançamento do concreto, condições ambientais (temperatura ambiente e velocidade do vento), características do cimento, dosagem do concreto, características térmicas e mecânicas do concreto, geometria da estrutura e condições de restrição, entre outros. A seguir, são expressos os traços adotados, as propriedades mecânicas e térmicas dos concretos e as simulações térmicas e de tensões realizadas no presente estudo.

4.1.1 CONCRETOS EMPREGADOS E PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os traços adotados na modelagem constam da Tabela 1.

Os valores da evolução da resistência à compressão e do módulo de elasticidade secante foram estimados com base em ensaios de laboratório. Adotaram-se os valores de resistência à tração calculados a partir dos resultados de resistência à compressão. Para o cálculo das ten-

sões de origem térmica, considerou-se, também, o efeito da fluência dos concretos. A Tabela 2 mostra as características mecânicas adotadas.

4.1.2 PROPRIEDADES TÉRMICAS

As características térmicas dos materiais constituintes do concreto utilizado na simulação foram estimadas (Tabela 3) a partir das dosagens estudadas, considerando agregado graúdo de granito e areia natural de quartzo.

O valor adotado para o coeficiente de dilatação térmica foi de 10x10⁻⁶/°C. A evolução do calor de hidratação do cimento CP III 40 RS foi estimada a partir dos dados de ensaios realizados pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) (Figura 11).

A elevação adiabática do concreto foi calculada através da equação de Rastrup (Equação 6).

$$[6] \Delta T = \frac{C \cdot (\text{calor de hidratação})}{\gamma \cdot c}$$

Em que:

ΔT = Elevação adiabática (°C);

γ = Massa específica (kg/m³);

c = Calor específico (kJ/kg °C);

TABELA 3

CALOR ESPECÍFICO E CONDUTIVIDADE TÉRMICA ESTIMADOS

Concreto	Consumo de cimento (kg/m ³)	Calor específico (kJ/kg°C)	Condutividade térmica (kJ/m.h.°C)
C35	350	0,94 ⁽¹⁾	10,4 ⁽²⁾
C45	358	0,94 ⁽¹⁾	10,5 ⁽²⁾

(1) GAMBALE *et al.* (2010); (2) FURNAS (1997).

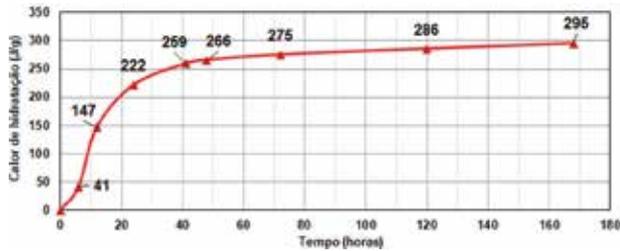


FIGURA 11

CALOR DE HIDRATAÇÃO PELO MÉTODO DA GARRAFA DE LANGAVANT
 FONTE: ABCP

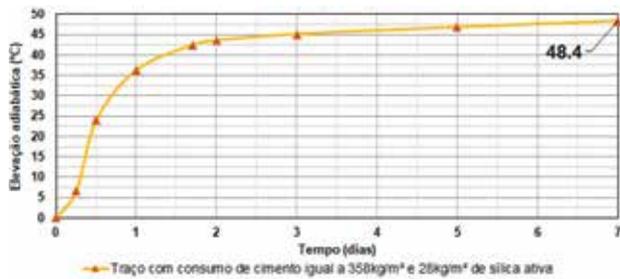


FIGURA 12

ELEVAÇÃO ADIABÁTICA DO CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM CONSUMO DE CIMENTO IGUAL A 358 kg/m³ E DE SÍLICA ATIVA IGUAL 28 kg/m³ (C45)

C = Consumo de ligante (kg/m³).

A elevação adiabática máxima estimada para o concreto C35 foi de 47,8°C. Para o concreto C45, foi estimada a elevação adiabática de 48,4°C, conforme mostra a Figura 12.

Foram consideradas a temperatura ambiente média variável ao longo do ano a partir de dezembro de 2019 (20°C a 35°C), a velocidade do vento variável de

3,0 m/s até 4 m/s e a concretagem “contra-barranco” (restrição lateral).

4.2 Especificação das temperaturas de lançamento

A partir das isotermas e isotensões, foram adotadas as regiões mais críticas da estrutura e com maior probabilidade

4.1.3 MODELO MATEMÁTICO 3D (MEF)

Foram simuladas as evoluções de temperaturas e tensões que ocorreriam em modelo tridimensional de elementos finitos, nas seções mais críticas da estrutura. A malha de elementos finitos (Figura 13) é automaticamente formada por elementos tetraédricos.

A Figura 14 apresenta as isotermas referentes a 32 horas após o início do lançamento do concreto, com a hipótese de temperatura de lançamento igual a 25°C para a 1ª etapa de concretagem.

de fissuração de origem térmica, para o zoneamento das temperaturas máximas de lançamento do concreto em cada etapa de concretagem. Para as análises das tensões de origem térmica, considerou-se um Fator de Segurança (FS) de 1,2.

Sendo a menor temperatura de lançamento, até 1 m de altura, de 20°C, as máximas seriam inferiores a 65 °C (Figura 15). No entanto, para esta mesma camada, as menores temperaturas no lançamento foram definidas a partir das análises das máximas tensões de origem térmica (Figura 16).

As máximas tensões verificadas para a camada com concreto C45 (2ª etapa), considerando as hipóteses de lançamento com concreto à temperatura de 15°C e 25°C, variaram de 1,7 até 2,7 MPa, resultando em menor risco de fissuras de origem térmica (Figura 17).

A Figura 18 mostra o zoneamento das temperaturas de lançamento do concreto pré-refrigerado.

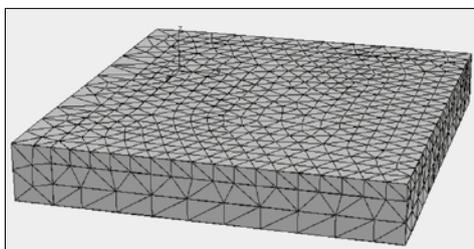
Para a estimativa da temperatura de lançamento do concreto pré-refrigerado com gelo, a temperatura do cimento foi considerada 50°C e, dos demais materiais, 30°C. Considerou-se a umidade da areia natural igual a 6,0% e da areia artificial de 3,1%.

A Tabela 4 apresenta um resumo da concretagem e a Figura 19 ilustra os procedimentos.

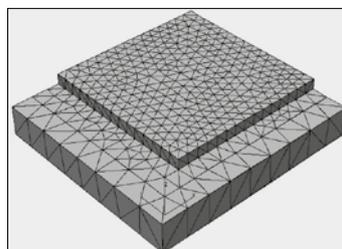
Foi realizado monitoramento térmico das 2 etapas de concretagem, com utilização de *data-logger* para aquisição automatizada das leituras a cada 1 hora (Figura 20).

A Figura 21 mostra os resultados do monitoramento térmico realizado para a 2ª etapa de concretagem, onde as temperaturas máximas variaram de 58,4°C a 65,8°C após 30-40 horas do início do lançamento do concreto, dependendo do local da instalação do termopar.

Segundo dados do monitoramento, o termopar T2 apresentou máxima temperatura 0,8°C superior ao limite especificado. Segundo ISA-MC96.1 (1982), pode ocorrer um erro nas medições para o termopar tipo “K” de ±1,1°C até ±2,2°C. Comenta-se ainda que diante das condições de umidade do meio e considerando a composição química



A



B

FIGURA 13

EXEMPLO DE MALHA DE ELEMENTOS FINITOS COM SIMETRIA GERADA CONSIDERANDO 1/4 DA ESTRUTURA: (A) 1ª ETAPA E (B) 2ª ETAPA

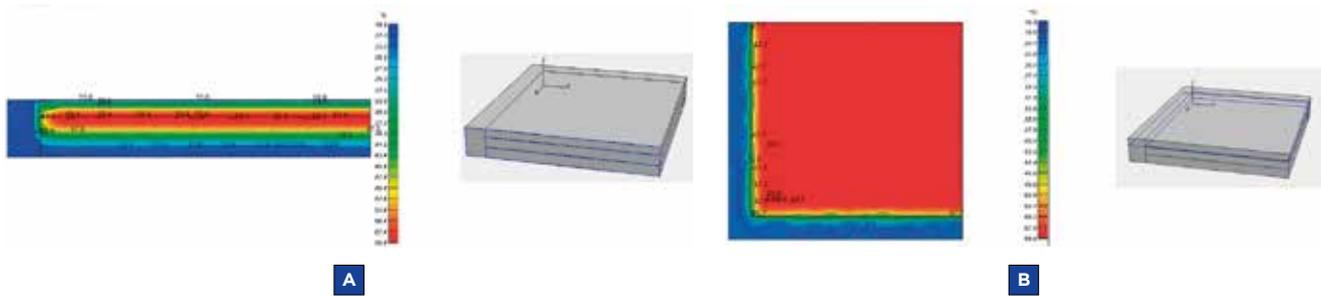


FIGURA 14

ISOTERMAS: (A) SEÇÃO TRANSVERSAL DO BLOCO (x = 16,50 m) E (B) SEÇÃO EM PLANTA DO RADIER (z = 0,90 m)

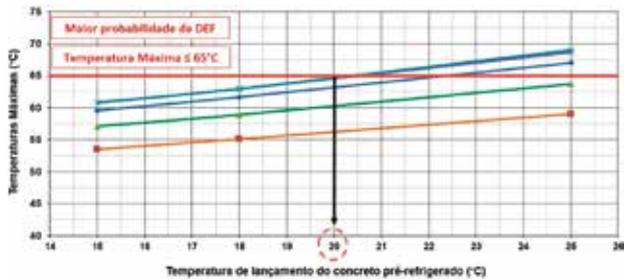


FIGURA 15

RESUMO DAS MÁXIMAS TEMPERATURAS – CONCRETO C35 – PONTOS A, B, C, D E E – PONTOS LOCALIZADOS NA REGIÃO CENTRAL DO BLOCO – 1ª ETAPA

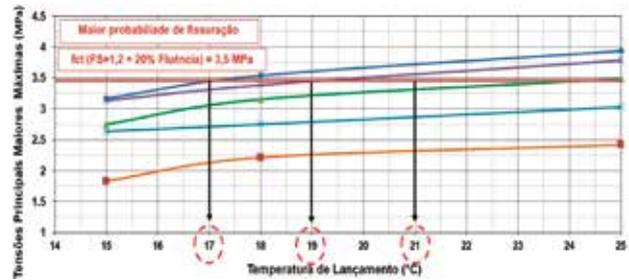


FIGURA 16

RESUMO DAS TENSÕES PRINCIPAIS MAIORES MÁXIMAS – CONCRETO C35 – PONTOS A, B, C, D E E – PONTOS LOCALIZADOS NA REGIÃO CENTRAL DO RADIER – 1ª ETAPA

TABELA 4

DADOS DA CONCRETAGEM DO RADIER

Etapa	Volume de concreto [m ³]	Consumo de gelo [kg/m ³]	Consumo total de gelo [ton]	Número de caminhões betoneiras	Velocidade média de concretagem [m ² /h]	Duração da concretagem [h]
1	2050	100 a 125	235	269	160	12
2	920	104 a 116	100	116	115	8

do cimento - com reduzido teor de SO₃ (igual a 2,05%) e menor relação SO₃/Al₂O₃ (igual a 0,27) –, o risco de eventual formação de DEF, para este caso específico, foi reduzido.

5. CONCLUSÕES

A partir de interações e da análise do comportamento conjunto da estrutura e

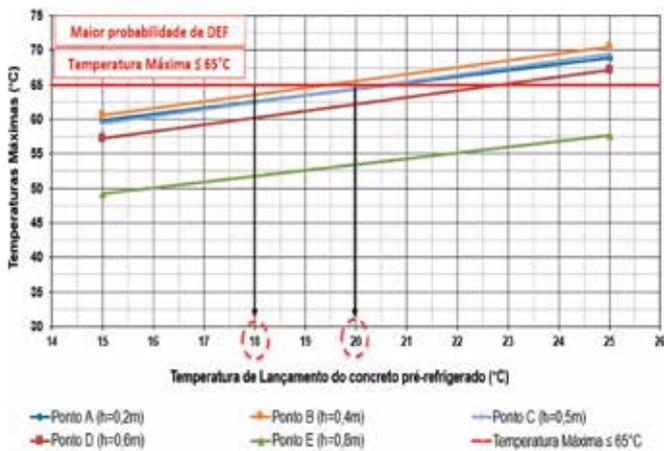


FIGURA 17

RESUMO DAS MÁXIMAS TEMPERATURAS – CONCRETO C45 – PONTOS A, B, C, D E E – PONTOS LOCALIZADOS NA REGIÃO CENTRAL DO RADIER – 2ª ETAPA

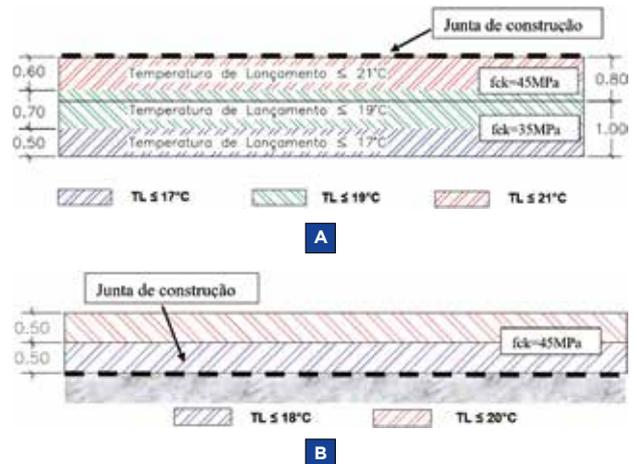


FIGURA 18

ZONEAMENTO DE TEMPERATURAS MÁXIMAS DE LANÇAMENTO DO CONCRETO – SEÇÃO LONGITUDINAL DO RADIER [M]: (A) 1ª ETAPA E (B) 2ª ETAPA



A



B



C

FIGURA 19

(A) PLATAFORMA TIPO TORRE PARA AJUSTE DO CONCRETO POR MEIO DE GELO E ADITIVO; (B) IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA DE CONCRETO PARA ENSAIOS NO ESTADO FRESCO; (C) COBERTURA PARA PROTEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA CONTRA AS INTEMPÉRIES



A



B



C

FIGURA 20

(A) DATA-LOGGER; (B) PROTEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS CONTRA INTEMPÉRIES; (C) TERMOPARES TIPO "K" INSTALADOS NO INTERIOR DO CONCRETO DA ESTRUTURA

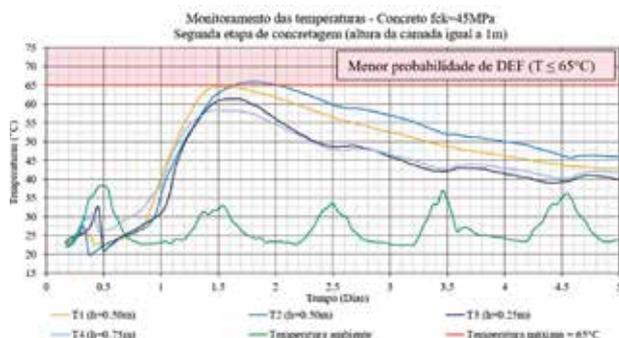


FIGURA 21

MONITORAMENTO TÉRMICO REALIZADO PARA A 2ª ETAPA DE CONCRETAGEM COM C45

do solo, foi possível a definição da geometria em planta, bem como a altura do radier de grandes dimensões em questão, de modo a garantir, além da estabilidade e capacidade resistente do elemento, economia no consumo de material.

A modelagem computacional permitiu a análise dos impactos dos deslocamentos diferenciais ao longo do elemento de fundação. A determinação dos esforços solicitantes foi feita por meio de uma modelo tridimensional de barras e os cálculos da armadura necessária foram feitos com base nas normas ABNT NBR 6118: 2014 e ACI318: 2005. Buscou-se uma solução de armadura que, além de garantir os Estados Limites Últimos e de Serviço, fosse econômica e facilitasse a montagem.

Além das preocupações com o desempenho estrutural, um extenso estudo foi feito para minimizar problemas com o concreto fresco. A partir dos estudos térmicos por

modelagem matemática-computacional 3D, com o emprego do método dos elementos finitos e método da maturidade, foi possível avaliar o plano executivo de

menor risco de fissuras de origem térmica e de DEF.

Os detalhes apresentados aqui não apenas enfatizam a importância de estudos

estruturais aprofundados, mas também mostram exemplos práticos fundamentais a serem seguidos na execução de fundações em radier de grandes dimensões. ☹

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 318—05: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318R—05). Farmington Hills, Michigan, 2005.
- [2] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM C1074—11: Standard practice for estimating concrete strength by the maturity method. West Conshohocken. ASTM, 2011.
- [3] International Society of Automation. ISA-MC96.1: Temperature Measurement Thermocouples. ISBN 0-87664-708-5, 1982.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto Armado. Rio de Janeiro, 2014.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12006: Cimento — Determinação do calor de hidratação pelo método da garrafa de Langavant — Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1990.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- [7] Equipe de FURNAS — Editor Walton Pacelli de Andrade. Concretos: Massa, Estrutural, Projetado e Compactado com Rolo — Ensaio e Propriedades — Ed. Pini, São Paulo—SP, 1997.
- [8] GAMBALE, E. A.; CASTRO, A.; ANDRADE, M. A. S.; TRABOULSI, M. A.. Análise estatística dos parâmetros que intervêm no fenômeno térmico do concreto massa. 52º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON. Fortaleza, 2010.
- [9] GUPTA, S. C. Raft Foundations Design and Analysis with a Practical Approach. New Delhi, India: New Age International (P) Limited, Publishers, 1997.
- [10] HEMSLEY, J.A. (editor). Design applications of raft foundations. London, UK: Thomas Telford, 2000.
- [11] SOUZA, R. A. de; BITTENCOURT, T. N. Definição de expressões visando relacionar f'_c e f_{ck} . In: IV Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura, 2003, Maringá. ENTECA 2003: Caderno de Resumos. Maringá, Universidade Estadual de Maringá, 2003.
- [12] WOOD, R. H. The reinforcement of slabs in accordance with a pre-determined field of moments, Concrete, USA, Vol. 2, nº 2, 1968.



GUIA DE PREVENÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON



COMITÊ TÉCNICO - CT-201
Coordenador: Cláudio Sbrighi Neto
Secretário: Eduardo Brandau Quitete

Guia de Prevenção da Reação Álcali-Agregado

COORDENADORES

Cláudio Sbrighi Neto, Eduardo Brandau Quitete
e Arnaldo Forti Battagin

Apresenta de forma didática a sequência de ações necessárias para a prevenção da reação álcali-agregado (RAA). São abordadas generalidades da RAA, avaliação de risco de sua ocorrência, medidas preventivas, classificação da ação preventiva, ensaios laboratoriais, medidas de mitigação e a tomada de decisão.

O trabalho é resultado das discussões ocorridas no **Comitê Técnico de Reação Álcali-Agregado do IBRACON (CT-201)** e seu lançamento segue a recente publicação das sete partes da norma **ABNT NBR 15577 Agregados – Reatividade álcali-agregado**.

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-31-2
Formato: 18,6 x 23,3cm
Páginas: 32

PATROCÍNIO



Aquisição: Acesse a Loja Virtual do IBRACON.

www.ibracon.org.br

Alternativas executivas para controle da elevação da temperatura do concreto massa de edificações

EDUARDO ISSAMU FUNAHASHI JR. - ENG. - ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7516-4195>;

THOMAS HIDEKI KUNINARI - ENG. - ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7632-5069>;

SELMO CHAPIRA KUPERMAN - ENG. - ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4186-2216>;

GRAZIELLE RIBEIRO VICENTE - ENG. - ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1349-1377>;

CAIO FARTO FARINACIO - ENG. - ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5590-796X> | DESEK LTDA.

RESUMO

OS RISCOS DE OCORRÊNCIA DE FISSURAS DE ORIGEM TÉRMICA E DEF (*DELAYED ETTRINGITE FORMATION*) EM ESTRUTURAS DE FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS SÃO CADA VEZ MAIS COMUNS. PARA CONTROLAR A ELEVAÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA DO CONCRETO MASSA, DEVEM SER ELABORADOS PLANOS EXECUTIVOS DURANTE A FASE INICIAL DE PROJETO. ESTE TRABALHO APRESENTA ALTERNATIVAS CONSTRUTIVAS ADOTADAS PARA EMPREENDIMENTOS NO SUDESTE DO BRASIL, COM CONCRETOS DE RESISTÊNCIA DE ATÉ 45 MPa. AS ALTERNATIVAS FORAM DEFINIDAS A PARTIR DE ESTUDOS TÉRMICOS POR MEIO DE MODELAGENS MATEMÁTICAS CONSIDERANDO AS CARACTERÍSTICAS LOGÍSTICAS E AMBIENTAIS DA OBRA, ALÉM DOS TIPOS DE MATERIAIS CONSTITUINTES DO CONCRETO DISPONÍVEIS NA REGIÃO. PARA OS CASOS APRESENTADOS, FORAM ADOTADAS DIFERENTES ALTERNATIVAS COMO A PRÉ-REFRIGERAÇÃO DO CONCRETO COM O USO DE GELO E NITROGÊNIO LÍQUIDO, DIVISÃO DA EXECUÇÃO EM ETAPAS COM PREVISÃO DE JUNTAS DE CONCRETAGEM

E ZONEAMENTO DO f_{ck} . ALÉM DISSO, FORAM REALIZADOS OS MONITORAMENTOS DAS TEMPERATURAS INTERNAS DOS CONCRETOS DAS ESTRUTURAS, COMPROVANDO A IMPORTÂNCIA DA REALIZAÇÃO DE ESTUDOS TÉRMICOS PRÉVIOS PARA ELABORAÇÃO DO PLANO EXECUTIVO COM MENOR RISCO DE FISSURAÇÃO.

PALAVRAS-CHAVE: FISSURAS DE ORIGEM TÉRMICA, DEF, ALTERNATIVAS EXECUTIVAS, NITROGÊNIO LÍQUIDO, GELO.

1. INTRODUÇÃO

Vem sendo cada vez mais comum a especificação de concretos de elevada resistência em projetos de edifícios residenciais e comerciais nos grandes centros urbanos. Na maioria das vezes, demandam maior consumo de cimento em sua produção. A utilização de dosagens de concreto sem estudos prévios, escolha inadequada dos seus materiais constituintes e a falta de um planejamento executivo para as estruturas

em concreto massa podem resultar em elevado risco de fissuração. Dependendo das dimensões de estruturas de blocos de fundação e sapatas, pilares, lajes e vigas espessas, as fissuras de origem térmica e etringita tardia (DEF, *Delayed ettringite formation*) podem ocorrer devido à falta de controle do seu comportamento térmico. Em alguns casos, a execução dessas estruturas sem um planejamento adequado pode resultar em riscos de fissuração, mesmo para aquelas de menor volume e altura.

Concreto massa é, por definição do ACI (2009), qualquer volume de concreto com dimensões grandes o suficiente que requeiram meios especiais para controlar o calor gerado pela hidratação do cimento e a consequente mudança de volume para minimizar a ocorrência de fissuração. Dependendo do consumo e tipo de cimento, da geometria da estrutura, das condições ambientais locais da obra e da temperatura de lançamento do concreto, poderão resultar em tensões de origem térmica superiores a resistência à tração do concreto. Isto ocorre quando da dissipação de calor para o meio ambiente e posterior retração, dependendo do gradiente térmico entre as diferentes partes da estrutura e condições de restrição. Além do risco de fissuração por origem térmica, é desejável evitar o risco de formação da DEF, que pode ocorrer em estruturas de concreto massa quando atingem temperaturas internas superiores a 65°C durante a hidratação do cimento, uma vez que os sulfatos internos podem incorporar outras fases do cimento. Este tipo de ataque interno por sulfatos pode ocorrer meses ou alguns anos após a execução da estrutura, ocasionando uma



A



B

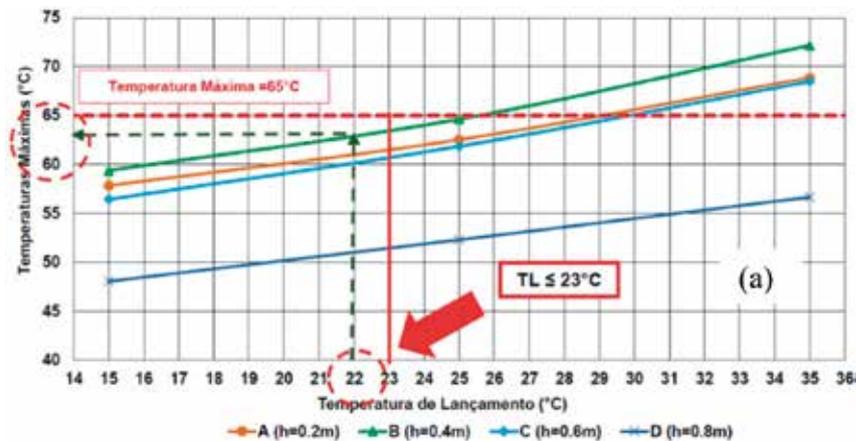
FIGURA 1

VISTA GERAL DA CONCRETAGEM DO BLOCO DE FUNDAÇÃO – CASO 1

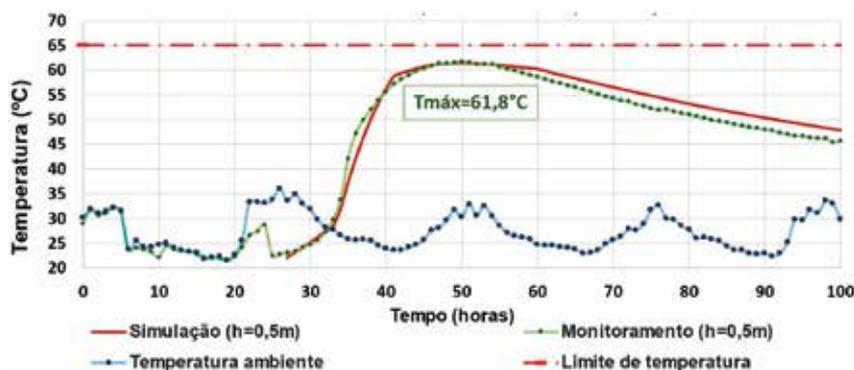
reação expansiva e progressiva que provoca um intenso quadro fissuratório no tempo. No caso da DEF, prejudica propriedades mecânicas, como o módulo de elasticidade e resistências à compressão e à tração, já tendo sido observadas inclusive reduções de mais de 50% (Schovanz *et al.*, 2021). A redução nas resistências causadas por DEF pode ser inclusive mais extrema que as causadas por reação álcali-agregado (Godart & Wood, 2022). Em condições propícias, Hasparyk *et al.* (2012) mostraram o ataque combinado de RAA e DEF em concreto de bloco fundação de edificação no Brasil.

É perfeitamente viável, no entanto, evitar este tipo de problema (Hasparyk & Kuperman, 2021) e, para isto, as alternativas executivas podem ser avaliadas por meio de estudos térmicos ainda na fase inicial de projeto. Funahashi *et al.* (2022) apresentaram estudo de caso realizado para sapata com volume de cerca de 1400 m³, executada em etapas de menor altura, considerando juntas de construção vertical e horizontal que propiciou menor consumo de gelo no concreto. Nesta fase é possível prever os custos para a pré-refrigeração de algum material e/ou pós-refrigeração do concreto, além da avaliação dos impactos no cronograma da obra, caso seja necessária a sua concretagem em mais de uma etapa. A redução da altura da camada, execução em etapas prevendo juntas de construção verticais e/ou horizontais, emprego de material pozolânico como substituição parcial do cimento e escolha de cimentos de baixo calor de hidratação contribuem para minimizar os riscos de fissuração devido ao calor. Além desses, o aumento da idade de controle do f_{ck} para idade superior a 28 dias, uso de agregados de menor módulo de elasticidade, redução da resistência característica à compressão e/ou zoneamento das classes de concreto contribuem para reduzir estes riscos.

Neste artigo são apresentados três estudos de casos, onde foram empregadas diferentes alternativas executivas em acordo com as condições logísticas e ambientais de cada obra, especificações de projeto, dosagens de concretos previamente estudadas com os materiais disponíveis na região e cronogramas elaborados ainda na fase inicial de projeto. As alternativas construtivas escolhidas para cada caso foram baseadas em estudos de evolução tridimensional de temperaturas e tensões, com o uso do *software*



A



B

FIGURA 2

(A) RESUMO DAS MÁXIMAS TEMPERATURAS CALCULADAS PARA DEFINIÇÃO DO ZONEAMENTO DAS TEMPERATURAS DE LANÇAMENTO E (B) TEMPERATURAS MONITORADAS X TEMPERATURAS SIMULADAS PARA A PRIMEIRA ETAPA DE CONCRETAGEM – CASO 1

b4cast, baseado no método dos elementos finitos. O cálculo tridimensional de temperaturas, no elemento de concreto, pressupõe que a propagação de calor ocorre na seção transversal e longitudinal simultaneamente, aproximando-se de uma situação real.

2. ESTUDOS DE CASO

2.1 Caso 1 – Ícone Planeta – Sorocaba | SP

O edifício Ícone (Figura 1) está em construção na cidade de Sorocaba – SP



FIGURA 3

ZONEAMENTO DAS TEMPERATURAS DE LANÇAMENTO DO CONCRETO DA SEGUNDA ETAPA DE CONCRETAGEM – CASO 1

TABELA 1

ESPECIFICAÇÕES PARA A CONCRETAGEM DA SEGUNDA ETAPA DO RADIER – CASO 1

Temperatura de lançamento do concreto fresco	Etapa 1	Etapa 2	
	≤ 22°C	≤ 17°C	≤ 23°C
Altura de concretagem (m)	Da base até 1,0 m	Entre 1,00 m e 1,86 m	Entre 1,86 m e 2,5 m
Volume aproximado (m ³)	420	315	245
Quantidade estimada de caminhões-betoneira	60	45	35
Consumo de gelo estimado por meio de balanço térmico (kg/m ³)	94	108	95
Temperatura dos agregados (°C)	22	25	30
Tempo de concretagem estimado com 3 bombas	6 horas	4 horas	3 horas
Alvenaria com tijolos	1,00	1,25	1,25

pela Construtora Planeta. A edificação residencial foi projetada pelo escritório França & Associados com 44 pavimentos e pouco mais de 140 m de altura, sendo considerado o edifício mais alto em construção no interior do estado.

Para a execução do radier com volume de cerca de 980 m³, no final de janeiro de 2021, foram estudados planos executivos em acordo com a capacidade de fornecimento da concreteira da região. Para garantir a maior velocidade de execução, o concreto foi fornecido por duas centrais e três pontos de carga, com fornecimento exclusivo neste dia.

Considerando as altas temperaturas para a época, inicialmente foi prevista a sua execução em três etapas distintas com camadas de 1 m de altura, cada, com intervalo de 7 dias, entre elas, e volumes iguais a 330 m³, aproximadamente. Após reavaliação estrutural ainda na fase inicial de projeto, foi possível uma redução da altura total do radier de 3 m para 2,5 m. Com isso, a primeira etapa com altura de camada igual a 1 m foi executada com concreto pré-refrigerado com substituição parcial da água por gelo, lançado a 22°C, no máximo, resultando em temperatura máxima monitorada igual a 62°C (Figura 2). A Tabela 1 mostra as especificações para concretagem do bloco. Com base na retroanálise a partir dos dados de monitoramento realizado para a primeira camada, verificou-se a possibilidade da sua execução em mais uma etapa de 1,5 m de altura, ao invés de mais duas, como previsto inicialmente.

A partir da alteração do plano executivo, foi definido novo zoneamento de temperaturas de lançamento do concreto, menores que as consideradas anteriormente,

com maior altura da camada (Figura 3). Assim, definiu-se o plano executivo para a segunda etapa de concretagem, com volume de 560 m³, lançada após sete dias da execução da primeira etapa.

Para garantir as menores temperaturas no lançamento, a operação de concretagem da segunda etapa foi iniciada às 4h30 da manhã, quando a temperatura ambiente e dos materiais são mais amenas e contribuem para alcançar os menores níveis de refrigeração do concreto. A menor temperatura especificada foi de 17°C até a altura de 86 cm em relação ao topo da camada anterior. As máximas temperaturas monitoradas no interior do concreto variaram de 56°C até 65°C, dependendo do seu local de instalação. Para o monitoramento, foi utilizado equipamento *datalogger* e termopares tipo “K” com aquisição automática das leituras a cada 1 hora. A Figura 4 mostra detalhes da execução da estrutura.

**A****B****C****D****FIGURA 4**

(A) CARREGAMENTO DE GELO NO CAMINHÃO BETONEIRA, (B) VISTA GERAL DA EXECUÇÃO COM INÍCIO NA MADRUGADA, (C) RETARDADOR DE PEGA SUPERFICIAL PARA REALIZAÇÃO DO CORTE VERDE DO CONCRETO E (D) TERMOPARES INSTALADOS PARA MONITORAMENTO DAS TEMPERATURAS NO CONCRETO – CASO 1

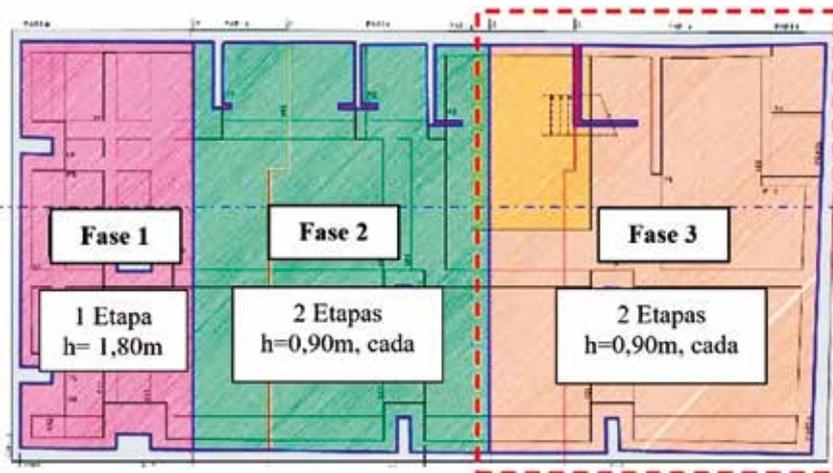


FIGURA 5

(A) SEÇÃO EM PLANTA DAS FASES EXECUTIVAS 1, 2 E 3 - CASO 2

2.2 Caso 2 - Hotel Marina - Rio de Janeiro | RJ

A edificação original é da década de 1980. Durante as obras de *retrofit* do Hotel Marina, da BHG, localizado na orla da praia do Leblon e projetado pelo escritório Pedreira Onix, foi realizada a execução de um radier com concreto pré-refrigerado com gelo e nitrogênio líquido. Este foi um dos primeiros casos em que se utilizou a pré-refrigeração do concreto por meio da injeção de nitrogênio líquido associado ao gelo em projetos de edificações no país.

Durante a fase inicial de projeto, foram realizadas visitas técnicas em três possíveis fornecedores de concreto da região para avaliação das suas instalações, qualidade, tipos de materiais e capacidade de fornecimento do concreto usinado. A partir das visitas, foram classificados dois fornecedores de concreto para serem realizados estudos laboratoriais para definição do traço do concreto massa. Foram coletadas amostras de cimentos diretamente dos silos das centrais escolhidas para realização de ensaios de determinação do calor de hidratação no laboratório da ABCP, em São Paulo/SP. Com base nos traços de concreto dos fornecedores, resultados dos ensaios mecânicos e de calor de hidratação, condições logísticas e ambientais da obra na época da construção, foram realizados estudos térmicos para definição dos planos executivos. Devido ao maior tempo de transporte entre a central e a obra, e a impossibilidade de se complementar a refrigeração com gelo na região do empreendimento, houve a necessidade da execução

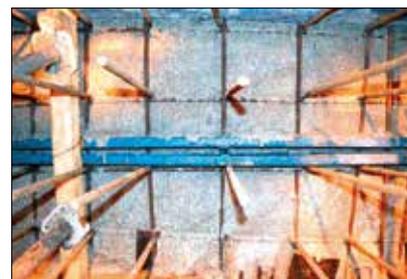
da estrutura em três fases distintas, prevendo juntas de construção verticais e horizontais, sendo: Fase 1 (área da base igual a 63 m² e volume de 101 m³, executada em única camada de concretagem com altura igual a 1,80 m); Fase 2 (área de 109 m² e volume de 172 m³, executada em duas camadas de 0,90 m de altura, cada) e Fase 3 (área de 121 m² e volume de 185 m³, execu-

tada em duas camadas com altura igual a 0,90 m, cada), conforme mostra Figura 5.

A partir dos estudos térmicos, verificou-se que para a execução da Fase 1 com altura de 1,80 m, a temperatura de lançamento do concreto deveria ser de, no máximo, 18°C até a altura de 1,2 m e de 25°C entre 1,20 m e 1,80 m de altura. Previamente à concretagem, realizou-se teste com o concreto pré-refrigerado simulando o percurso do caminhão betoneira até a obra empregando adição total de gelo (140 kg/m³), desconsiderando apenas a umidade dos agregados graúdos e miúdos, além da água do corte igual a 10 litros/m³. Através do teste, comprovou-se que não seria possível lançar o concreto apenas com substituição parcial da água por gelo, considerando o seu tempo de transporte de 1h30 min, aproximadamente, e as altas temperaturas ambientes superiores a 35°C no verão daquele ano. Para atender o cronograma e especificação de projeto, a execução da primeira fase foi realizada com o uso de gelo e nitrogênio líquido adicionados diretamente no caminhão



A



B



C



D

FIGURA 6

(A) INJEÇÃO DE NITROGÊNIO LÍQUIDO NO INTERIOR DO BALÃO DO CAMINHÃO
 (B) JUNTA DE CONSTRUÇÃO VERTICAL COM FÔRMA DE TELA DE METAL EXPANDIDO,
 (C) DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA DO CONCRETO NA USINA APÓS A INJEÇÃO DE NITROGÊNIO LÍQUIDO (3,2°C) E (D) REFRIGERAÇÃO DOS AGREGADOS GRAÚDOS NAS BAIAS COM O EMPREGO DA ASPERSÃO DE ÁGUA

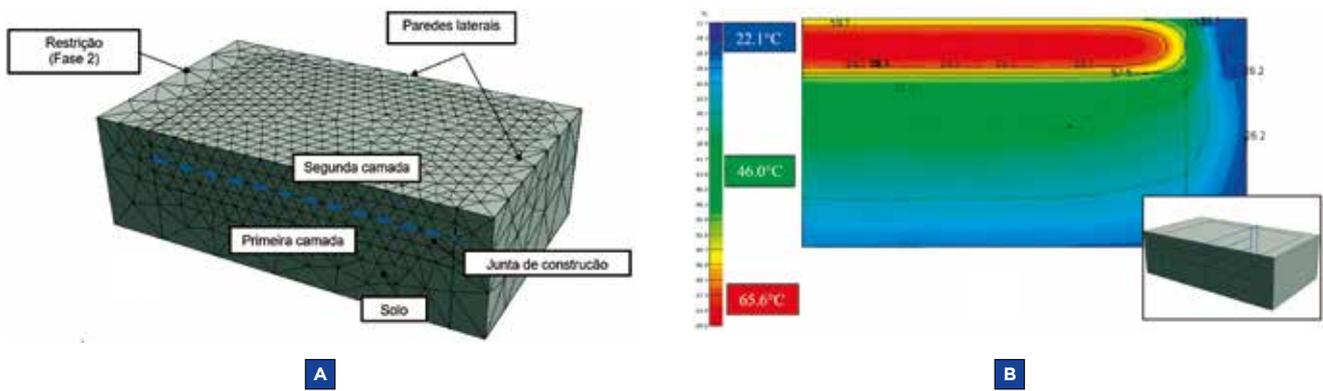


FIGURA 7

(A) MALHA DE ELEMENTOS FINITOS EM 3D (SOFTWARE B4CAST) E (B) ISOTERMAS NA SEÇÃO TRANSVERSAL CONSIDERANDO TEMPERATURA DE LANÇAMENTO IGUAL A 30°C – CASO 2

betoneira. Para que o concreto fosse lançado com temperatura inferior à especificada, este era liberado, na central, com temperatura inferior a 7°C após a injeção de nitrogênio. A Figura 6 mostra registros feitos durante a execução da primeira fase de concretagem.

A máxima temperatura monitorada atingida pelo concreto da Fase 1 com utilização de nitrogênio líquido e gelo foi de 61°C. Para a Fase 2, executada em duas camadas de concretagem de mesma altura, com emprego de concreto pré-refrigerado com gelo, foi de 56°C e 61°C para a primeira e segunda

camadas, respectivamente. Após período de paralisação da obra devido a pandemia da Covid-19, a terceira e última etapa de concretagem foi executada em maio de 2021 com outro fornecedor de concreto. Foi realizado novo estudo térmico para definição do plano executivo, onde a concretagem foi executada em duas camadas de 0,90 m, cada, com emprego de cimento CP III com adição de sílica ativa no traço e pré-refrigeração com gelo, no qual as máximas temperaturas internas no concreto da estrutura não ultrapassaram 50°C segundo o monitoramento

realizado. A Figura 7 (a) mostra malha de elementos finitos em 3D considerando simetria e, da Figura 7 (b), consta exemplo de isotermas considerando hipótese de lançamento do concreto a 30°C para a segunda etapa da Fase 3.

2.3 Caso 3 - Signature Eztec - São Paulo | SP

O empreendimento Signature em construção pela Construtora Eztec em dezembro de 2021 na cidade de São Paulo - SP é um edifício residencial de duas torres que possuem 24 e 28 pavimentos, com altura de 90 m, aproximadamente, na maior torre. O empreendimento foi projetado pelo escritório SRTC Engenharia e Projetos. Na fundação (Figura 8), o maior bloco projetado possui volume de 195 m³ com 3 m de altura, sendo o concreto especificado com f_{ck} de 45 MPa.

A partir dos cálculos térmicos realizados verificou-se que não seria possível executar a estrutura em única etapa de concretagem mesmo empregando cimento CP III e concreto pré-refrigerado com gelo, considerando a sua execução em época do ano com maiores temperaturas ambiente. Para viabilizar a execução do bloco de fundação em única etapa de concretagem, foi adotado o zoneamento das classes de resistência do concreto a partir de reavaliação estrutural da Projetista, conforme a Figura 9 (a). Com base no zoneamento de f_{ck} e utilização de adição pozolânica e aditivo superplastificante, foi possível reduzir o consumo de aglomerante em 26 kg/m³ para o traço de f_{ck} = 45 MPa, em 42 kg/m³ para o traço de f_{ck} = 40 MPa e em 20kg/m³ para o traço de f_{ck} = 35 MPa em relação aos traços inicialmente propostos pelo fornecedor de concreto. Esta alternativa



FIGURA 8

(A) VISTA GERAL DO TERRENO DO EMPREENDIMENTO E (B) LANÇAMENTO DO CONCRETO NO BLOCO DE FUNDAÇÃO COM ALTURA DE 3 M – CASO 3

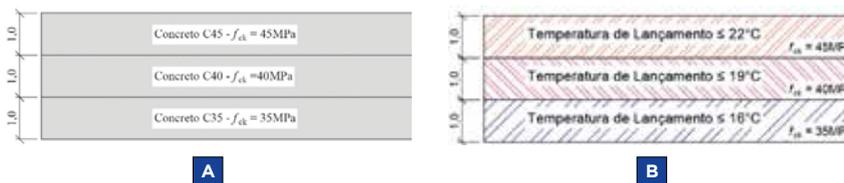


FIGURA 9

(A) ZONEAMENTO DAS CLASSES DE CONCRETO (f_{ck}) E (B) ESPECIFICAÇÃO DAS TEMPERATURAS DE LANÇAMENTO DO CONCRETO PRÉ-REFRIGERADO



FIGURA 10

(A) ARMAZENAMENTO DE GELO NO CAMINHÃO FRIGORÍFICO EM OBRA, PARA EVENTUAL AJUSTE; (B) PROTEÇÃO DO EQUIPAMENTO DATALOGGER PARA MONITORAMENTO DAS TEMPERATURAS DO CONCRETO POR MEIO DE TERMOPARES (C) ENSAIO DE ABATIMENTO COM TRONCO DE CONE (SLUMP) NO RECEBIMENTO DO CONCRETO PARA VERIFICAÇÃO DA TRABALHABILIDADE (18 CM) E (D) AFERIÇÃO DA TEMPERATURA DO CONCRETO NO SEU LANÇAMENTO (17,5°C)

permitiu que houvesse uma redução de 4°C na elevação adiabática estimada para as classes C40 e C45 e de 14°C para a classe C35, comparada a execução com único traço de concreto com $f_{ck} = 45$ MPa. Através deste zoneamento, foi possível reduzir as máximas temperaturas internas do concreto da estrutura e reduzir os riscos de fissuração. Além do zoneamento das classes de f_{ck} , foi realizado zoneamento das temperaturas de lançamento do concreto fresco conforme mostra a Figura 9 (b). A máxima temperatura monitorada no bloco foi de 60°C após aproximadamente 75 horas do início da concretagem, no centro da estrutura à 1,50 m de altura em relação ao lastro.

3. DISCUSSÃO SOBRE AS ALTERNATIVAS EXECUTIVAS

A Tabela 2 apresenta o resumo das alternativas adotadas para a execução das fundações de cada um dos casos estudados para estruturas projetadas com f_{ck} de 40 MPa e 45 MPa.

A Tabela 3 apresenta informações referentes aos cimentos utilizados para a produção dos traços de concreto.

A Tabela 4 mostra o resumo das alternativas executivas definidas por meio dos estudos térmicos e a Tabela 5 mostra dados do monitoramento térmico realizada para os casos 1, 2 e 3.

Para todos os casos estudados, a realização de estudos de dosagens prévios para a definição do traço do concreto focando na redução do consumo de cimento, independentemente do tipo, resultou em

menor aumento de temperatura interna do concreto da estrutura.

O conhecimento das propriedades mecânicas e térmicas dos concretos, condições ambientais e de logística de execução, além do conhecimento do calor de hidratação dos cimentos, possibilitaram definir, por meio

dos estudos térmicos, o plano executivo mais adequado para cada caso.

A elaboração do plano executivo na fase inicial de projeto com a participação do projetista, construtora, fornecedor de concreto e empresa de controle tecnológico foi fundamental para reduzir os

TABELA 2

RESUMO DOS CASOS ESTUDADOS

Empreendimento	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Características de projeto			
Localização	São Paulo (2021)	Rio de Janeiro (2019) ⁽¹⁾ (2021) ⁽²⁾	São Paulo (2021)
Volume total (m ³)	980	460	195
Altura total (m)	2,5	1,8	3,0
f_{ck} (28 dias)	45	40	35 ⁽³⁾ , 40 ⁽⁴⁾ e 45 ⁽⁵⁾
E_{cs} (28 dias)	30	24	—
Dosagem do concreto			
Tipo de cimento	CP II	CP II ⁽¹⁾ CP III ⁽²⁾	CP III
Fabricante	A	B ⁽¹⁾ e C ⁽²⁾	D
Consumo de aglomerante (kg/m ³)	335	361 ⁽¹⁾ 410 ⁽²⁾	318 ⁽³⁾ 330 ⁽⁴⁾ 385 ⁽⁵⁾
Adição de material pozolânico (kg/m ³)	25 ⁽⁶⁾	31 ⁽¹⁾ 35 ⁽²⁾	20 ⁽³⁾ 20 ⁽⁴⁾ 22 ⁽⁵⁾
Consumo de material pozolânico como substituição parcial do cimento (%)	4	8 ⁽¹⁾ 8 ⁽²⁾	— ⁽³⁾ 7 ⁽⁴⁾ 6 ⁽⁵⁾
Elevação adiabática estimada (°C)	52	51 ⁽¹⁾ 55 ⁽²⁾	46 ⁽³⁾ 48 ⁽⁴⁾ 56 ⁽⁵⁾
Coefficiente de elevação da temperatura teórico (°C/kg/m ³)	0,150	0,130 ⁽¹⁾ 0,123 ⁽²⁾	0,145 ⁽³⁾ 0,145 ⁽⁴⁾ 0,145 ⁽⁵⁾

NOTAS: (1) FASES 1 E 2 - CASO 2; (2) FASE 3 - CASO 2; (3) $f_{ck} = 35$ MPa - CASO 3; (4) $f_{ck} = 40$ MPa - CASO 3; (5) $f_{ck} = 45$ MPa - CASO 3; (6) SILÍCA DISPERSA EM ÁGUA, SENDO 50% EM MASSA DE ÁGUA-CASO 1.

cronogramas das obras e atender às especificações de projeto, além de reduzir os riscos de fissuração de origem térmica e formação da DEF. A realização de retroanálises por modelagens matemáticas, com os dados de monitoramento das temperaturas de estruturas de menor volume ou quando da primeira etapa de concretagem, possi-

bilitou a alteração dos planos executivos, viabilizando menos etapas de concretagem.

A utilização de nitrogênio líquido adicionado diretamente no balão do caminhão betoneira e/ou na esteira dos agregados é uma solução eficiente para a pré-refrigeração do concreto a níveis mais baixos que os possíveis com gelo. Estas alternativas

podem ser associadas dependendo das condições ambientais locais, tempo de transporte entre a central e obra e altura da camada de concretagem.

Quando possível, o zoneamento das classes de concreto, permitindo lançamento de concreto com menor f_{ck} próximo à sua base, onde geralmente a restrição é maior, diminui a probabilidade de fissuração de origem térmica, além de reduzir as máximas temperaturas internas no concreto devido à redução do consumo de cimento para os traços de classes de resistência menores.

TABELA 3

INFORMAÇÕES SOBRE OS CIMENTOS UTILIZADOS

Empreendimento	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Características do cimento			
Tipo de cimento	CP II	CP II ⁽¹⁾ CP III ⁽²⁾	CP III
Fabricante	A	B ⁽¹⁾ e C ⁽²⁾	D
Área específica (cm ² /g)	5225	4284 ⁽¹⁾ 4229 ⁽²⁾	4366
Calor de hidratação às 41h de idade (J/g)	323	289 ⁽¹⁾ 262 ⁽²⁾	265
Calor de hidratação às 168h de idade (J/g)	332	297 ⁽¹⁾ 292 ⁽²⁾	304
Data da coleta da amostra para ensaio de calor de hidratação	Jun/2020	ago/2019 ⁽¹⁾ jul/2020 ⁽²⁾	Set/2020

Notas: (1) FASES 1 E 2 - CASO 2; (2) FASE 1 - CASO 2

TABELA 4

RESUMO DAS ALTERNATIVAS EXECUTIVAS DEFINIDAS POR MEIO DOS ESTUDOS TÉRMICOS

Empreendimento	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Redução da altura das camadas?	Sim	Não ⁽¹⁾ Sim ⁽²⁾	Não
Divisão em etapas de menor volume (juntas de construção)?	Sim	Sim	Não
Pré-refrigeração do concreto	Gelo	Gelo+Nitrogênio ⁽²⁾ Gelo ⁽³⁾	Gelo

Notas: (1) FASE 1 DA EXECUÇÃO - CASO 2; (2) FASES 2 E 3 DA EXECUÇÃO - CASO 2

TABELA 5

CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO - MONITORAMENTO DAS TEMPERATURAS POR INSTRUMENTAÇÃO

Empreendimento	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Temperatura local ⁽¹²⁾ (°C)	20 - 35	25 - 35	18-34
Altura da camada (m)	1,0 ⁽¹⁾ 1,5 ⁽²⁾	1,80 ⁽³⁾ 0,90 ⁽⁴⁾	3
Temperatura de lançamento média do concreto (°C)	20 ⁽¹⁾ 15 ⁽²⁾	17 ⁽³⁾ 21 ⁽⁵⁾ e 22 ⁽⁶⁾ 20 ⁽⁷⁾ e 22 ⁽⁸⁾	15 ⁽⁹⁾ 18 ⁽¹⁰⁾ 20 ⁽¹¹⁾
Temperatura máxima monitorada no interior da estrutura (°C)	61 ⁽¹⁾ 65 ⁽²⁾	61 ⁽³⁾ 56 ⁽⁵⁾ e 61 ⁽⁶⁾ 44 ⁽⁷⁾ e 48 ⁽⁸⁾	60

Notas: (1) PRIMEIRA ETAPA DE CONCRETAGEM - CASO 1; (2) SEGUNDA ETAPA DE CONCRETAGEM, - CASO 1; (3) FASE 1 - ÚNICA ETAPA - CASO 2; (4) FASES 1 E 2 - ETAPAS 1 E 2 - CASO 2; (5) FASE 2 - PRIMEIRA ETAPA - CASO 2; (6) FASE 2 - SEGUNDA ETAPA - CASO 2; (7) FASE 3 - PRIMEIRA ETAPA - CASO 2; (8) FASE 3 - SEGUNDA ETAPA - CASO 2; (9) f_{ck} = 35 MPa - (ALTURA = 1 M) - CASO 3; (10) f_{ck} = 40 MPa - (ALTURA = 1M) - CASO 3; (11) f_{ck} = 45 MPa - (ALTURA = 1 M) - CASO 3; (12) TEMPERATURA LOCAL MONITORADA POR INSTRUMENTAÇÃO

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As metodologias para avaliar o risco térmico para execução de estruturas de concreto massa em edificações vêm sendo aprimoradas e levam em conta diversos fatores intrínsecos ao concreto, a geometria, logística e as condições ambientais locais. Além destas metodologias de avaliação, as próprias técnicas construtivas para mitigação de problemas de origem térmica estão sendo aperfeiçoadas considerando as maiores resistências mecânicas atualmente especificadas e maior finura do cimento que resultam em maior geração de calor. Em alguns casos, apenas a utilização de gelo como substituição parcial da água de amassamento para a sua pré-refrigeração não é suficiente.

As seguintes alternativas podem ser consideradas para execução das estruturas de concreto com menor risco de fissuras de origem térmica e DEF:

- ▶ Estudos prévios de dosagens para definição daquela com menor consumo de cimento: para a sua redução podem ser utilizados materiais pozolânicos como substituição parcial do cimento, além de aditivos redutores de água e/ou superplastificantes;
- ▶ Utilização de cimentos de baixo calor de hidratação, quando disponíveis na região, além do controle dos teores de C_3A , SO_3 e álcalis na sua fabricação;
- ▶ Aumento da idade de controle da resistência característica (f_{ck}) para 63 ou 90 dias dependendo do tipo cimento a ser adotado;
- ▶ Zoneamento das classes de resistência do concreto e especificação de menor módulo de elasticidade a partir de reavaliação estrutural da Projetista;

- ▶ Estudos térmicos com o uso de modelagens matemáticas 3D pelo método dos elementos finitos para definir plano de concretagem ainda na fase inicial de projeto;
- ▶ Quando possível, programação das concretagens das fundações para épocas do ano com menor temperatura ambiente. A realização de concretagens em períodos noturnos, dependendo da região, ou com início na madrugada, quando a temperatura dos materiais e ambiente são amenas, contribuem para atingir menores níveis de temperatura no lançamento do concreto;
- ▶ Pré-refrigeração do concreto usinado por meio substituição parcial da água de amassamento por gelo na central e/ou no canteiro de obras;
- ▶ Pré-refrigeração do concreto com o uso de nitrogênio líquido adicionado diretamente ao balão do caminhão betoneira e/ou na esteira dos agregados, podendo ser associado ao gelo dependendo da distância entre a central e a obra e temperatura ambiente;
- ▶ Emprego de água refrigerada adicionalmente às técnicas de pré-refrigeração do concreto com gelo e/ou nitrogênio;
- ▶ Redução da altura da camada de concretagem, subdivisão da estrutura em segmentos de menor volume e altura, com previsão de juntas de construção verticais e/ou horizontais;
- ▶ Emprego de pós-refrigeração com a utilização de tubulação embutida no interior do concreto com passagem de água gelada, além do emprego de pré-refrigeração do concreto associada para viabilizar execuções de camadas de concretagem de maior altura. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ACI Committee 207, Mass and Thermally Controlled Concrete. American Concrete Institute, 2009.
- [2] GODART, B.; WOOD, J. Interaction of DEF and AAR, a review. 16th ICAAR - International Conference of Alkali-Aggregates Reaction in Concrete, First Book of Proceedings of the 16th ICAAR. Lisboa, 2021.
- [3] Estudo de caso envolvendo ataque combinado de RAA e DEF em concreto de fundação de edificação. In: Anais do 54^o Congresso Brasileiro do Concreto, Maceió, AL, 2012;
- [4] HASPARYK, N.P.; KUPERMAN, S. Reações expansivas deletérias no concreto. In: Concreto & Construções, Ed. 102, 2021.
- [5] FUNAHASHI JR, E. I.; KUPERMAN, S.C; VICENTE, G. R.; GRAZIANO, F.; MENDES, S.; NAPOLITANO, R. Plano de execução da sapata do edifício Faria Lima Plaza. In: Anais do Jubileu de Ouro do Congresso Brasileiro do Concreto, Brasília, DF, 2022;
- [6] SCHOVANZ, D.; TIECHER, F.; HASPARYK, N.P.; KUPERMAN, S.; LERMEN, R.T. Evaluation of Delayed Ettringite Formation through the Physical, Mechanical, and Microstructural Assays. ACI Materials Journal, V. 118, 2021.



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

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-22-0
 Edição: 1^a edição
 Formato: 18,6 x 23,3cm
 Páginas: 615
 Acabamento: Capa dura
 Ano da publicação: 2014

Patrocínio



Desafios e práticas adotadas na execução de blocos de fundação de grandes volumes no Brasil

ABRAHÃO BERNARDO ROHDEN - PROF. - ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8652-5064> (abrcivil@gmail.com);
MARIA EDUARDA CORBELLA SANTOS - ENG. | FURB

RESUMO

A CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS ALTOS MUITAS VEZES DEMANDA BLOCOS DE FUNDAÇÕES DE GRANDE VOLUME. O OBJETIVO DESTES TRABALHOS FOI REALIZAR UM LEVANTAMENTO DAS PRINCIPAIS PRÁTICAS DE EXECUÇÃO DE BLOCOS DE FUNDAÇÃO DE GRANDES DIMENSÕES, ABORDANDO AS ETAPAS QUE ENVOLVEM ESTA EXECUÇÃO. PARA ISSO, ELABOROU-SE UM QUESTIONÁRIO ESTRUTURADO QUE FOI SUBMETIDO AOS ENGENHEIROS RESPONSÁVEIS DAS OBRAS QUE UTILIZARAM BLOCOS DE GRANDES DIMENSÕES. A PESQUISA FOI APLICADA EM QUATRO OBRAS DE EDIFÍCIOS ALTOS CONSTRUÍDOS EM BALNEÁRIO CAMBORIÚ/SC. A PESQUISA CONTEMPLA DOIS EDIFÍCIOS QUE JÁ OCUPARAM A CONDIÇÃO DE MAIS ALTOS DO BRASIL. COMO RESULTADOS, IDENTIFICOU-SE QUE O USO DE GELO E ADITIVOS RETARDADORES DE HIDRATAÇÃO, BEM COMO O USO DE PAREDES DIAFRAGMA, ESTÃO ENTRE AS PRINCIPAIS PRÁTICAS UTILIZADAS NAS OBRAS DE BLOCOS DE GRANDE VOLUME.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETOS DE GRANDES VOLUMES, BLOCO DE FUNDAÇÃO, CALOR DE HIDRATAÇÃO, EDIFÍCIOS ALTOS.

1. INTRODUÇÃO

Com a escassez de terrenos em regiões nobres e

cada vez com valores mais elevados, há a tendência da concepção de edifícios cada vez mais altos, para melhor aproveitamento do espaço, o que desafia os engenheiros de todas as áreas da construção civil. A esbelteza de um edifício provoca grandes cargas a serem transmitidas para o solo em uma área restrita. Com o avanço da tecnologia na engenharia civil e a possibilidade de construir edifícios cada vez mais altos, os projetos de fundações precisam acompanhar este

avanço e utilizar soluções especiais ou pouco tradicionais.

Em edifícios muito altos, os pilares acabam sendo mais robustos e próximos. Devido ao grande carregamento da estrutura que os edifícios esbeltos provocam em suas fundações, o projeto de fundações independentes para cada pilar se torna inviável, pois as fundações passariam a se sobrepor. No caso das fundações, particularmente, a definição da tecnologia a ser utilizada envolve o estudo das características do solo,

grandeza e natureza das cargas a serem suportadas, tecnologias disponíveis e aspectos econômicos. Além disso, deve-se chamar a atenção quanto ao dimensionamento das fundações, que deve atender não apenas aos critérios de resistência, mas também aos limites de recalques.

A tendência de solução para as fundações desses edifícios esbeltos são as fundações mistas, unindo bloco de fundação sobre estacas ou blocos de coroamento são elementos estruturais usados para transferir as ações da superestrutura



FIGURA 1

EDIFÍCIOS ESTUDADOS: (A) INFINITY COAST RESIDENCE; (B) YACHTHOUSE BY PININFARINA (TOWER 1); (C) OLYMPO TOWER; (D) EPIC TOWER

FONTE: VILLANOVA, 2022

para um conjunto de estacas (VELLOSO; LOPES, 2019). Quando, após todos os estudos necessários, chega-se a um projeto de fundação no qual a melhor solução técnica converge para um bloco de fundação de grandes dimensões, inicia-se, então, um desafio para a execução de tal elemento de fundação.

Neste trabalho foram apresentadas as etapas para execução do bloco de fundação de grandes dimensões sobre estacas através de estudos de caso que foram realizados por meio de questionários de quatro obras já executadas, com o objetivo de conseguir visualizar as diferenças e peculiaridades de cada execução.

O objetivo desta pesquisa foi realizar um levantamento das principais práticas de execução de blocos de fundação de grandes dimensões, abordando as etapas que envolvem esta execução. A pesquisa se delimita a edifícios construídos na cidade de Balneário Camboriú/SC.

2. APRESENTAÇÃO DOS EDIFÍCIOS

Na Figura 1, são apresentados os edifícios estudados no presente trabalho, em um total de 4 empreendimentos. Edifício *Infinity Coast Residence* (a) foi o primeiro edifício do Brasil a ultrapassar a altura de 200 metros de altura. Sua altura total é de 234,8 m. O Edifício foi concluído no ano de 2019 e executado pela Construtora FG Empreendimentos. O Edifício *Yachthouse by Pininfarina* (b) é composto por duas torres idênticas com altura de 280,3 m, tendo a Construtora Pasqualotto & GT Empreendimentos como responsável pela sua execução. Este Edifício foi concluído no ano de 2022 e tornou-se o edifício mais alto do Brasil de acordo como o portal *skyscrapercenter* (VILLANOVA, 2022).

O Edifício *Olympo Tower* (c) apresenta uma altura total de 157 m e o Edifício *Epic Tower* (d) apresenta altura total de 191,2 m, sendo ambos construídos pela Construtora FG Empreendimentos e entregues em 2020.

3. DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES ADOTADAS NAS FUNDAÇÕES E NOS ELEMENTOS DE TRANSIÇÃO

A seguir, são apresentadas (para cada empreendimento) as soluções adotadas para as fundações, acompanhadas de discussão, em especial voltada à execução

dos blocos de transição concebidos em cada situação.

3.1 Edifício *Infinity Coast Residence*

Como solução para fundação do edifício, foi concebido um bloco especial de fundação com uma altura de 5 m e volume de 5.450 m³ (volume de projeto). Para caracterização do solo, realizou-se sondagem a percussão (SPT), além de sondagem geofísica utilizando o método da eletrorresistividade.

A profundidade do lençol freático era de 2,5 m abaixo da cota superior do bloco, o que levou a um rebaixamento de 3,5 m de água (1,0 m a abaixo da cota inferior do bloco). O método utilizado para o rebaixamento foi o de ponteiros filtrantes. A contenção da escavação do bloco foi realizada com parede diafragma. A parede diafragma também serviu como fôrma perdida na concretagem do bloco.

A fundação profunda do bloco empregou 125 estacas do tipo escavadas com polímero, com diâmetro de 150 cm. Deste total, 59 estacas foram apenas escavadas e obtiveram uma média de 23,5 m de profundidade, chegando ao topo da rocha; a armadura foi colocada por toda a sua extensão. As 66 demais estacas tiveram comprimentos inferiores e, por isso, receberam 3 estacas raiz cada como reforço. Em cada estaca, foram colocados 3 tubos de aço com 50 cm de diâmetro junto com a armadura da estaca e, a partir desses 3 tubos, eram executadas estacas raiz, perfurando uma média de 12,8 m além do topo da rocha.

Entre os problemas encontrados na etapa de execução das estacas, pode-se destacar a baixa produtividade que a estaca raiz tem em sua execução - cerca de duas por dia de trabalho. Após algum tempo com alguns ajustes de produção, foi possível chegar à execução de 3 es-

tacas por dia. Para a execução e finalização das estacas, foram necessárias cerca de 30 pessoas envolvidas e cinco meses de trabalho.

Após o estaqueamento da área onde foi alocado o bloco, iniciou-se a escavação, que foi realizada concomitantemente com o arrasamento das estacas. Foram utilizadas três retroescavadeiras para realizar a escavação dos 5.450 m³ de solo. À medida que as estacas eram desobstruídas pelo solo, iniciava-se o arrasamento das cabeças, até chegar na armadura para a ancoragem no bloco. Foram utilizados martelletes rompedores pneumáticos, cerca de doze, a utilização do anel rompedor foi avaliada, porém, devido ao diâmetro das estacas, não foi possível a sua utilização. Para auxiliar na produtividade, o método utilizado foi a argamassa expansiva. Em dois meses foram finalizadas essas etapas, de escavação e arrasamento das estacas, com cerca de 50 pessoas envolvidas.

Finalizado a escavação e as estacas estando com as esperas na cota prevista, foi realizada a regularização do solo no fundo do bloco e lançado um lastro de "concreto magro", para que as armaduras não entrassem em contato com o solo (Figura 2).

Na armação do bloco foram utilizadas 625 toneladas de aço, uma grua e cerca de 35 trabalhadores foram empregados para concluir a etapa em dois meses. Essa armação tinha como característica uma densidade de armadura concentrada nas faces

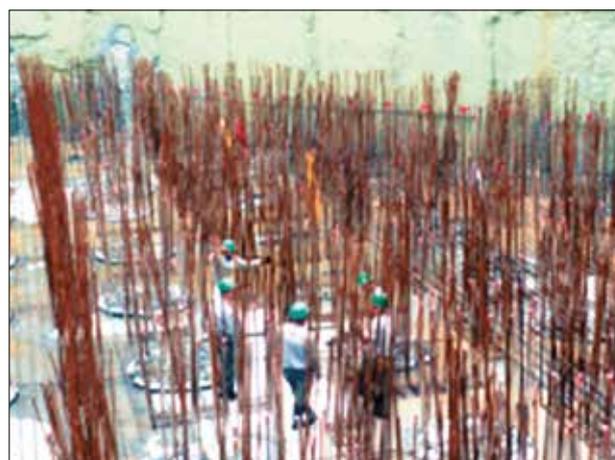


FIGURA 2
ESPERAS DAS ESTACAS PARA ANCORAGEM NO BLOCO



FIGURA 3

POÇO DO ELEVADOR REFORÇADO E PREENCHIDO COM ÁGUA PARA RESISTIR AO EMPUXO

FONTE: SALUM *et al.*, 2014



FIGURA 4

USO DE NITROGÊNIO LÍQUIDO PARA MANTER O GELO EM ESTADO SÓLIDO POR MAIS TEMPO

FONTE: SALUM *et al.*, 2014

do bloco, produzindo uma concepção de armação tipo “gaiola”. Devido à elevada altura do bloco, um desafio foi a sustentação da camada superior.

Na Figura 3, é mostrado o poço dos elevadores, para auxiliar no travamento das fôrmas, além do atirantamento. A parte interna do poço também foi sendo preenchida com água para diminuir a possibilidade de movimentação das fôrmas.

A resistência característica do concreto utilizado foi de 30 MPa e 45 MPa. O volume total de concreto utilizado foi de 5.507 m³, sendo que, em função da maior facilidade

de aplicação, optou-se pelo concreto autoadensável. Também em função do volume elevado, foi necessário o emprego de gelo e fibras para minimizar o calor de hidratação e o surgimento de fissuras. O bloco foi concretado no mês de fevereiro de 2014, com temperaturas do ambiente próximas a 40°C. Além do gelo em escamas previsto inicialmente, também foi empregado nitrogênio líquido (Figura 4) para ajudar no resfriamento, de modo complementar (SALUM *et al.*, 2014). Sabe-se que é possível obter-se temperaturas do concreto ainda mais baixas com o uso do nitrogênio (em relação

ao gelo), mas o custo de sua aplicação é maior.

O lançamento do concreto foi realizado ao longo de 5 dias das 07:00 às 19:00 horas, em virtude da legislação da cidade de Balneário Camboriú. Para evitar a ocorrência de juntas de concretagem, empregou-se aditivo estabilizador de hidratação em porcentagens decrescentes para cada dia de concretagem para que o endurecimento do concreto acontecesse apenas ao final do lançamento de todo o concreto.

Para a concretagem, foram utilizados 10 pontos de descarga, sendo 9 calhas



FIGURA 5

CAMINHÕES BETONEIRA DESCARREGANDO CONCRETO



FIGURA 6

CONCRETAGEM DO BLOCO CONCLUÍDA



FIGURA 7

EXECUÇÃO DAS ESTACAS DE HÉLICE CONTÍNUA PARA CONTENÇÃO DA ESCAVAÇÃO



FIGURA 8

UTILIZAÇÃO DE PERFIS METÁLICOS PARA SUPORTE DA CAMADA SUPERIOR DO BLOCO

metálicas distribuídas na borda do bloco e uma bomba tipo lança para lançar o concreto no centro do bloco (Figura 5). O canteiro foi preparado para o grande fluxo de caminhões, sendo utilizada brita nº4 e concreto para regularização dos pontos manobra e descarga dos caminhões. Na Figura 6, apresenta-se o bloco de fundação após a conclusão da concretagem.

3.2 Edifício Yachthouse by Pininfarina – Tower 1

O bloco de fundação do Edifício Yachthouse by Pininfarina (Tower 1) tem 3,5m

de espessura e um volume de 4.440 m³ de concreto. A caracterização do solo foi realizada a partir sondagem a percussão (SPT) e rotativa. O lençol freático foi identificado a 1,0 m de profundidade a partir da superfície do bloco. Para realização da obra, o lençol foi rebaixado com método de ponteiros filtrantes até a cota de 4,5 metros abaixo do topo do bloco.

Para escavação do bloco de fundação, realizou-se a estabilização do terreno com estacas de hélice contínua. Na fundação profunda da torre foram utilizadas 308 estacas de 100 cm de diâmetro. A escavação das estacas aconteceu a partir da escavação do

bloco de fundação (Figura 7) com estacas de hélice contínua de 20 metros de profundidade assentadas sobre superfície rochosa. A execução das estacas durou 4 meses de obra, onde trabalharam 10 operários.

O arrasamento das estacas foi realizado com retroescavadeira com anel arrasador, retroescavadeira com martelo rompedor e, para o acabamento, cerca de 12 rompedores pneumáticos manuais. Para esta etapa, que teve duração de 6 meses, foram utilizados cerca de 70 operários. Em função da falta de regularidade das estacas de justapostas, houve a necessidade de regularização das paredes internas do



FIGURA 9

CONCRETAGEM DO BLOCO SENDO FINALIZADA



FIGURA 10

CONCRETAGEM DO BLOCO, UTILIZANDO 2 BOMBAS LANÇA

bloco com formas de madeira, etapa que durou um mês e demandou 10 operários.

A regularização do solo na base do bloco foi realizada com lastro de “concreto magro”. Foram utilizadas 530 toneladas de aço na armadura do bloco de fundação, incluindo barras de aço com diâmetro de 40 mm. A armadura do bloco de função em formato de “gaiola” foi realizada com auxílio de perfis metálicos e grua, além de 30 operários, tendo-se uma duração de 2 meses (Figura 8).

O concreto utilizado na concretagem do bloco de fundação foi um concreto usual na região, com f_{ck} de 40 e 50 MPa. O concreto foi dosado com superplastificante e aditivos estabilizador de hidratação para evitar a formação de junta de concretagem. Para controle da temperatura, foi utilizado gelo na dosagem do concreto. O concreto foi vibrado (Figura 9), sendo utilizado 5 vibradores de imersão em toda a concretagem. O volume total de concreto lançado foi de 4.176 m³. A concretagem foi realizada ao longo de 5 dias em novembro de 2014. Foram utilizados dois pontos de descarga, contando com duas bombas tipo lança (Figura 10).

3.3 Edifício Olympo Tower

Este edifício conta também com um sistema de fundação misto, ou seja, bloco de fundação (transição) sobre estacas. O bloco em questão tem 2,5 m de altura nas regiões periféricas e na região central, do poço do

elevador, uma altura da ordem de 3,5 m, totalizando um volume nominal de 1.090 m³.

A investigação do solo, etapa para reconhecimento inicial, deu-se através de ensaios SPT e sondagem rotativa. Os ensaios indicaram, entre outras informações, o nível do lençol freático de 2,6 m abaixo da cota superior do bloco a ser executado; portanto foi realizado um rebaixamento de 1,5 m a partir da cota superior do nível de água, rebaixamento realizado através do método de ponteiros filtrantes.

Para a contenção do solo das laterais do bloco, foi utilizado o método executivo de estacas justapostas feitas em hélice contínua, sendo que a facilidade na execução foi o que determinou a escolha desta solução de contenção. Durante a etapa de escavação, no entanto, constatou-se que, entre as estacas justapostas, não houve uma vedação total e muita água percolava entre as estacas, obrigando que, a cada metro escavado dentro do bloco, fosse feita uma concretagem entre as estacas para impedir a passagem da água.

Para a fundação profunda do bloco foram executadas 103 estacas de 80 cm de diâmetro, realizadas com perfuratriz hélice contínua, atingindo a rocha com uma média de 12 m de cota de ponta. A etapa foi concluída em quatro meses envolvendo 10 operários.

Seguindo para a escavação do terreno onde estavam localizados o bloco e as

estacas, foram necessários duas retroescavadeiras e uma miniescavadeira para fazer toda a escavação, com cerca de 10 operários realizando os trabalhos em um mês. Para o arrasamento das estacas os equipamentos utilizados foram uma retroescavadeira com anel arrasador e uma miniescavadeira com rompedor acoplado. Para acabamento do arrasamento das estacas, foram empregados rompedores pneumáticos manuais. Cerca de 20 operários estavam envolvidos nesta etapa com duração de dois meses.

As fôrmas laterais do bloco não foram executadas em virtude dos vãos das estacas de contenção já terem sido concretados, sendo assim já regularizadas as paredes do bloco, servindo como forma. Em seguida, foi realizada a etapa de armação do bloco (Figura 11), em que cerca de 130 toneladas de aço formaram a armadura do bloco.

A concretagem foi realizada com a combinação de concreto autoadensável com concreto comum. Na região mais profunda do bloco no primeiro metro de espessura, foi utilizado o concreto autoadensável, em função da densidade de armadura desta região ser muito alta. No restante da altura do bloco empregou-se concreto com um abatimento alto (maior que 15 cm), sendo então adensado com vibrador de imersão. O lançamento do concreto levou 5 dias, nos dois primeiros dias foi empregada uma bomba com lança. A partir do terceiro dia de



FIGURA 11

ARMADURA MONTADA DO BLOCO



FIGURA 12

CONCRETAGEM DO BLOCO SENDO FINALIZADA



FIGURA 13

LOGÍSTICA PARA ESCAVAÇÃO



FIGURA 14

ANEL ARRASADOR DE ESTACAS

concretagem, foram empregados dois pontos de descarga.

3.4 Edifício Epic Tower

A solução de fundação do Edifício Epic Tower também foi um bloco com espessura de 3,5 m e um volume de 4.455 m³. Após os estudos preliminares de análise do terreno por meio de ensaios SPT, foi constatada a necessidade do rebaixamento do lençol freático em 1,0 m abaixo da cota inferior do bloco para que não houvesse problemas com água durante os trabalhos, o que foi realizado pelo método de ponteiros filtrantes.

Para a estabilização do terreno das laterais do bloco, foram feitas paredes diafragma, visto que o bloco ocupa metade do terreno e faz divisa com outros terrenos, e que as edificações vizinhas são muito próximas do bloco, portanto esta escolha foi a mais adequada para suportar as cargas atuantes na contenção.

Na fundação profunda do edifício foram utilizadas 277 estacas de hélice contínua, sendo 54 estacas de 100 cm de diâmetro e as restantes com 80 cm de diâmetro. A etapa foi concluída em cerca de quatro meses com o envolvimento de aproximadamente 10 pessoas. A etapa de



A



B



C

FIGURA 15

EVOLUÇÃO DA ARMAÇÃO DO BLOCO (A) REGULARIZAÇÃO DA BASE DO BLOCO COM CONCRETO MAGRO; (B) ARMADURA DA BASE DO BLOCO; (C) ARMADURA DO TOPO DO BLOCO



FIGURA 16

CONCRETAGEM SENDO FINALIZADA COM 2 BOMBAS LANÇA DE EM UM LADO, E UMA BOMBA ESTACIONÁRIA DO OUTRO

arrasamento das estacas foi desafiadora, devido às características do canteiro de obras (Figura 13). Ao serem finalizadas as etapas de escavação e arrasamento das cabeças das estacas (Figura 14), foi efetuada a regularização do solo no fundo do bloco e, em seguida, lançado o lastro de concreto magro (Figura 15-a); após sua cura, foi iniciada a armação, totalizando 538 toneladas de aço (Figura 15-b). O suporte da camada superior do bloco foi feito com barras de aço dobradas de modo a escorar todo o peso das camadas de aço (Figura 15-c). Esta etapa durou dois meses e teve cerca de 70 pessoas envolvidas.

Foram utilizadas fôrmas convencionais nas extremidades do bloco e do poço do elevador, para combater a ação do empuxo do concreto. Complementarmente, foram usadas escoras metálicas segurando as paredes da forma, bem como a fôrma do fosso do elevador foi preenchida com água.

Finalizada a armação do bloco, iniciou a concretagem, totalizando um volume de 4.300 m³ de concreto. O f_{ck} do concreto definido em projeto foi de 40 MPa e 50 MPa. Empregou-se aditivo superplastificante, produzindo um concreto autoadensável, de forma a eliminar a necessidade do uso de vibradores, tendo em vista a alta densidade das armaduras inferiores e

as elevadas dimensões do bloco, optou-se por esta alternativa visando à redução do cronograma de concretagem. Foram utilizados aditivos retardadores de pega, cada dia uma quantidade para possibilitar a que a concretagem fosse realizada em diferentes dias, sem a formação de junta fria. Como ação preventiva aos potenciais danos do calor de hidratação, empregou-se gelo para resfriamento do concreto no lançamento. A concretagem foi realizada ao longo de 5 dias de operação, de forma contínua (sem a adoção de camadas parciais) (Figura 16).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os blocos de fundação de edifícios altos apresentam diversos desafios. Tendo em vista as principais práticas de execução empregadas, nos 4 estudos de caso relatados, destacam-se:

- ▶ Uso de aditivos estabilizadores de hidratação do concreto visando a não ocorrência de juntas de concretagem;
- ▶ Uso de ponteiros filtrantes para rebaiamento do lençol freático durante a escavação e atividades de armação e concretagem dos blocos;
- ▶ Emprego de parede diafragma na contenção de escavação, servindo também de forma para a concretagem do bloco de fundação;
- ▶ Emprego de concreto com resistências de 40 e 50 MPa, autoadensável para concretagem dos elevados volumes, bem como em função das elevadas densidades de armaduras localizadas nas faces dos blocos;
- ▶ Uso de gelo em escama no concreto auxiliando no controle da temperatura do calor de hidratação em virtude dos altos volumes de concreto. ☹

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SALUM, P. L. *et al.* Estudos prévios para execução de bloco de coroamento de grande volume. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 56, 2014. Natal. Anais. Florianópolis, 2014.
- [2] SANTOS, M. E. C. Elaboração de roteiro para execução de blocos de fundação de grandes dimensões. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil. FURB. Blumenau/SC. 2016.
- [3] VILLANOVA, L. H. B. Council on Tall Buildings and Urban Habitat. Yachthouse por Pininfarina Tower 2. Balneário Camboriú. Disponível em <<https://www.skyscrapercenter.com/building/yachthouse-by-pininfarina-tower-2/16126>> Acesso em 15/11/2022.
- [4] VELLOSO, D.; LOPES, F. R. Concepção de Obras de Fundações. In Fundações, Teoria e Prática. Ed. HACHICH, Waldemar, et al. São Paulo: ABMS/ABEF. Editora Oficina de textos. 2019.
- [5] FURNAS, Equipe de; Laboratório de Concreto. Concretos massa, estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades. Pacelli de Andrade, W., ed. São Paulo, Pini, 1997.

UHE Itaipu: 40 anos — um resgate da história

ÉTORE FUNCHAL DE FARIA - ENG. - ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0864-5423> (etore@itaipu.gov.br);

FÁBIO LUIZ WILLRICH - ENG. - ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0215-6044>

MAURICIO KAZUTO ICHIKAWA - TÉC. DE OBRAS | DIVISÃO DE OBRAS CIVIS, SUPERINTENDÊNCIA DE OBRAS, ITAIPU BINACIONAL

RESUMO

ITAIPU FOI CONSTRUÍDA DENTRO DE UM CONTEXTO DIPLOMÁTICO E SE TORNOU UMA REFERÊNCIA PARA ENGENHARIA DE FORMA GERAL. A OBRA ATUALMENTE AINDA CAUSA IMPACTOS PELAS DIMENSÕES DAS SUAS ESTRUTURAS AOS VISITANTES. EM FUNÇÃO DOS GRANDES VOLUMES DE MATERIAIS NECESSÁRIOS PARA A SUA CONSTRUÇÃO, UMA AMPLA INVESTIGAÇÃO FOI FEITA SENDO NECESSÁRIO O APROVEITAMENTO MÁXIMO DOS MATERIAIS DA ESCAVAÇÃO REALIZADA NO LEITO DO RIO. NESTE TRABALHO, OS AUTORES APRESENTARAM UM RESGATE DA HISTÓRIA POLÍTICA E DO PROJETO E EXECUÇÃO DAS PARTES CONSTRUÍDAS DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO. É IMPORTANTE REGISTRAR QUE EM UM ARTIGO NÃO É POSSÍVEL ABRANGER TODA A HISTÓRIA DE ITAIPU.

PALAVRAS-CHAVE: ITAIPU, BARRAGEM, CONCRETO, GRAVIDADE ALIVIADA, CONTRAFORTE.

1. INTRODUÇÃO

A obra da Usina Hidrelétrica de Itaipu é notadamente uma referência da engenharia. Mas foi preciso uma engenharia política, diplomática e jurídica para viabilizar essa maravilha do mundo moderno. Itaipu permitiu resolver uma disputa de fronteiras entre Brasil e Paraguai, de forma pacífica e inteligente, integrando os dois países e gerando energia para os seus desenvolvimentos. As negociações diplomáticas foram consolidadas pela Ata do Guaçu, em 22 de junho de 1966. Na sequência, foi criada a Comissão

Mista Técnica Brasileira-Paraguai (1967) e conduzida a contratação do Consórcio de Consultores Internacionais para investigação do local da Obra (1970), que apresentaram o relatório sobre alternativas de locais para a obra e seus arranjos (1972). Em 26 de abril de 1973, foi assinado o Tratado de Itaipu e a entidade binacional foi constituída formalmente em 17 de maio de 1974, com base legal no Direito Internacional, na forma de condomínio, onde Brasil e Paraguai participam em partes iguais no capital do consórcio formado, na época, por ELETROBRÁS e ANDE. (ITAIPU, 2009). A ENBPar - Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional S.A., criada em 2021 (BRASIL, 2021), assumiu a parte da ELETROBRÁS, que foi desestatizada em junho de 2022.

A construção da Itaipu foi iniciada em 2 de maio de 1975. Em 20 de outubro de 1978, 58 toneladas de dinamite explodem as duas ensecadeiras que protegiam a construção do desvio do rio Paraná, alterando o curso do rio para permitir a continuidade da construção, incluindo a Barra-

gem Principal e a Casa de Força. As obras civis foram concluídas em outubro de 1982, quando foram fechadas as comportas do canal de desvio para permitir o enchimento do reservatório, que ocorreu em apenas 14 dias (eram previstos 90 dias). Em 5 de novembro de 1982, as 14 comportas do vertedouro liberaram o excedente da água represada e, assim, inauguram oficialmente a maior hidrelétrica do mundo, após mais de 50 mil horas de trabalho.

Neste artigo, além desse breve histórico, tem-se o objetivo de resgatar o histórico da execução das obras de concreto de uma obra com volumes e quantidades de ensaios fora do comum na engenharia. A fonte mais utilizada neste trabalho foi o chamado Livro Técnico de ITAIPU (ITAIPU, 2009). Outras fontes também foram consultadas no acervo do arquivo técnico da Empresa, assim como em outras publicações.

2. O PROJETO DE ITAIPU - ESTRUTURAS DE CONCRETO

O arranjo geral do projeto de Itaipu compreende diversos tipos de estruturas de concreto (Figura 1). A Barragem Lateral Direita - BLD e as Barragens de Ligação (Trechos E e I) são estruturas em contrafortes, a Barragem Principal (Trecho F) é uma barragem de gravidade aliviada e a Estrutura de Desvio é uma estrutura de gravidade maciça. O vertedouro não será objeto deste artigo.



FIGURA 1

ARRANJO GERAL DA UHE ITAIPU

FONTE: ACERVO PESSOAL (ADAPTADO DE IMAGEM DO GOOGLE EARTH)

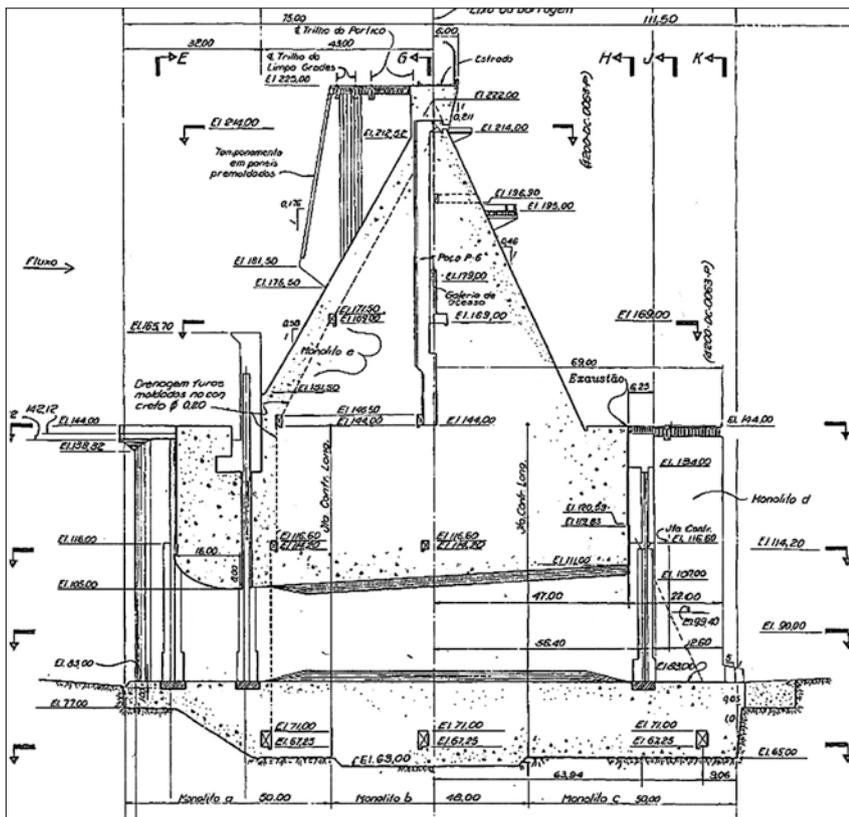


FIGURA 2
GEOMETRIA DA ESTRUTURA DE DESVIO, EM GRAVIDADE MACIÇA
 FONTE: ARQUIVO TÉCNICO DE ITAIPU

A estrutura de concreto da barragem no canal de desvio tem a geometria da Figura 2. É uma barragem de gravidade maciça, com altura máxima de 162 m. O concreto massa principal especificado deveria ter uma resistência mínima à compressão de 140 kg/cm² aos 365 dias, com agregado graúdo de 152 mm (classe A-140-f, conforme indicado na Figura 6). Análises de tensão e estabilidade foram efetuadas pelos métodos convencionais. Foram realizadas análises pelo método dos elementos finitos para a porção que continha as adufas. Um modelo estrutural da estrutura de desvio (Figura 3) foi testado no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). O modelo, chamado modelo 2, fazia parte de uma série de testes que incluíam modelos similares para os blocos da barragem de gravidade aliviada.

A estrutura da Barragem Principal, em gravidade aliviada, tem a geometria da Figura 4. Segundo ITAIPU (2009), há dois subtipos de barragens de gravidade

aliviada: no primeiro, uma grande abertura ou cavidade longitudinal é formada dentro de uma barragem de gravidade maciça convencional; o segundo consiste em diversas variações na barragem de contrafortes. O formato celular da barragem de gravidade aliviada de contraforte duplo com uma estrutura superior monolítica foi o mais conveniente e econômico para o alinhamento transversal da tomada d'água e dos blocos da casa de força.

Foram requeridos estudos não

apenas por métodos convencionais, mas também por Método dos Elementos Finitos (MEF) e por ensaios em modelo estrutural. Além disso, foram feitos estudos comparativos do projeto e do desempenho com outras barragens existentes do mesmo tipo.

As geometrias das barragens de contraforte (Figura 5) visaram manter a continuidade visual da barragem de gravidade aliviada. Num bloco típico da barragem de contrafortes, foi especificado o concreto de 210 kg/cm² aos 365 dias, com agregado de 76 mm, para os primeiros 5 m acima das fundações, com aumento nas camadas de 50 cm até 2,5 m de altura. Acima disso, foi usado concreto de 180 kg/cm² aos 365 dias, com agregado de 76 mm nas cabeças e de 140 kg/cm² aos 365 dias, com agregado de 152 mm, para as almas e a altura padrão da camada foi de 2,5 m.

3. A OBRA DE ITAIPU - CONCRETO MASSA E CONCRETO ARMADO

A Tabela 1 apresenta as quantidades principais registradas para as produções de concreto e para a execução da obra. Além do volume total de concreto, houve recordes de produção de 14.940,5 m³ (diária, em 23/11/1979), de 338.415,0 m³ (mensal, em 11/1979) e de 3.055.725,5 m³ (em 1980).

Os cimentos usados para o concreto eram equivalentes ao tipo II da ASTM. Eles eram adquiridos de quatro fabricantes



FIGURA 3
MODELO DA ESTRUTURA DE DESVIO
 FONTE: ITAIPU (2009)

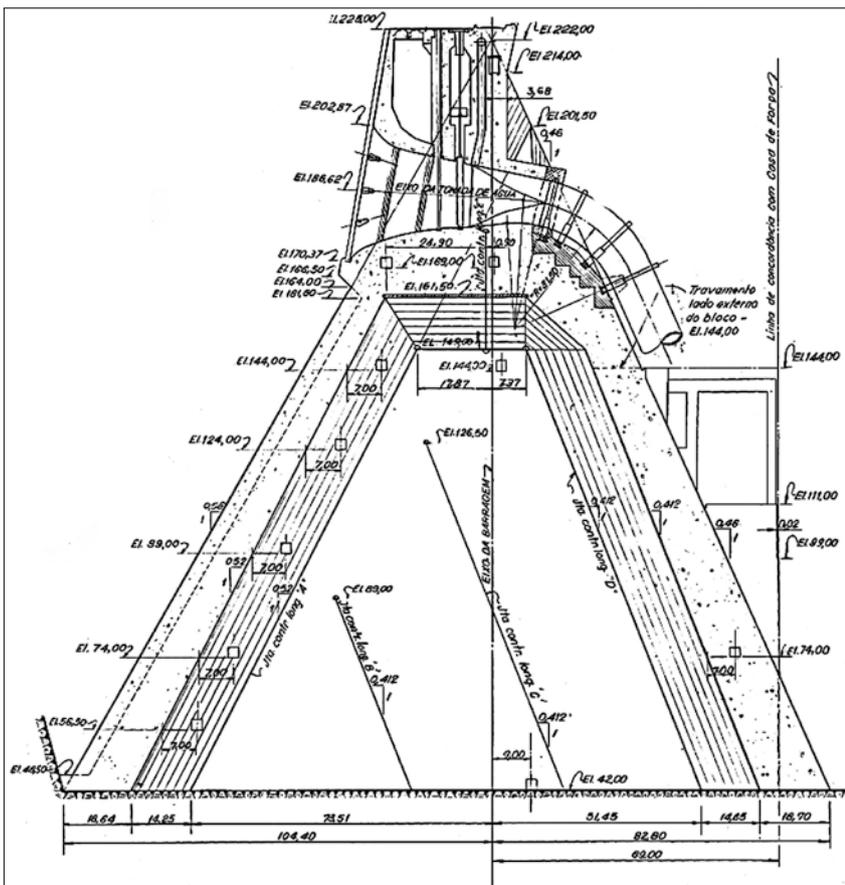


FIGURA 4
GEOMETRIA DA BARRAGEM PRINCIPAL, EM GRAVIDADE ALIVIADA
 FONTE: ARQUIVO TÉCNICO DE ITAIPU

diferentes: Itambé, Santa Rita e Votoran no Brasil e Vallemi no Paraguai. A cinza volante era adquirida das usinas termelétricas de Candiota e Tubarão no Brasil. As propriedades mais importantes do cimen-

to e da cinza volante especificadas estão apresentadas nas Tabelas 2 e 3.

As características físicas principais dos cimentos e das cinzas volantes utilizados são apresentadas na Tabela 4. Foram consumidos aproximadamente 2,5 milhões de toneladas de cimento forneci-

dos por 9 fábricas localizadas nos estados do Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás e de Puerto Vallemi, no Paraguai. O transporte era feito em carretas-silos (chamadas de cebolão), com capacidade igual a 30 t. O consumo de pico foi de 70 carretas/dia. O consumo de cinza volante, quase 300.000 toneladas, foi fornecida em carretas-contêiner de 30t, pela Usina Termelétrica Candiota - Candiota/SC, e pela Usina Termelétrica Jorge Lacerda - Tubarão/SC.

O alto consumo de areia exigido para a execução dos filtros das barragens de terra e para a produção de concreto levou a investigações numa extensão de 165 km no leito do rio Paraná, a jusante, a partir do local de implantação de Itaipu. Grandes depósitos de cascalho natural não foram encontrados nas proximidades de Itaipu. Agregados britados a partir de basalto são e denso foram estudados para o uso no concreto. As areias artificiais eram fisicamente satisfatórias, mas eram muito finas e uniformes e, por isso, foi necessário melhorar a granulometria do agregado miúdo, adicionando-se areia natural. A proporção foi de 70% de areia artificial e 30% de areia natural fina de origem aluvial proveniente dos depósitos ao longo do rio Paraná, em peso. A Companhia de Cimento Votoran Rio Branco (Rio Branco do Sul/PR) foi a que mais forneceu cimento para Itaipu (em torno de 50%).

O agregado grúdo também foi obtido pela britagem do basalto são e os tamanhos máximos dos agregados (TMA) utilizados foram: 19 mm, 38 mm,

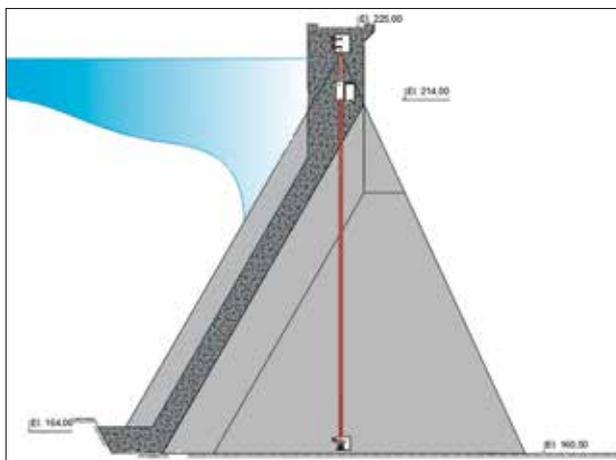


FIGURA 5
GEOMETRIA DAS BARRAGENS DE CONTRAFORTE
 FONTE: ARQUIVO TÉCNICO DE ITAIPU

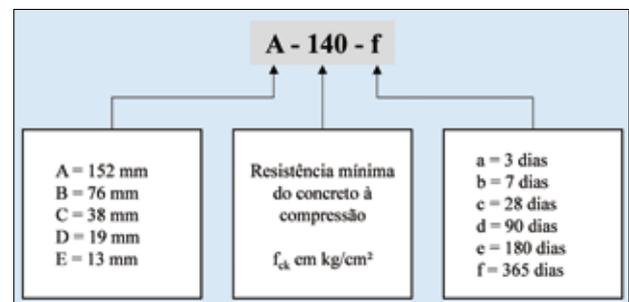


FIGURA 6
ESPECIFICAÇÕES DOS TIPOS DE CONCRETO
 FONTE: ITAIPU (2009)

TABELA 1

QUANTIDADES PRINCIPAIS

Material	Quantidade final
Concreto	12.750.000 m ³
Aço	481.074 t
Escavação comum	23.600.000 m ³
Escavação em rocha	32.000.000 m ³
Enrocamento	15.000.000 m ³
Argila, agregados, etc.	16.700.000 m ³

76 mm e 152 mm. Os consumos desses materiais estão indicados na Tabela 5.

Os testes especificados para o controle da qualidade física do agregado britado eram: densidade, absorção, abrasão Los Angeles, envelhecimento natural e artificial (ciclos de saturação e secagem), ciclos de etileno de glicol, sanidade ao ataque do sulfato de sódio e reatividade álcali-agregado. Foi dada uma atenção especial à reatividade potencial álcali-agregado. Ela foi verificada não apenas por testes químicos, mas também pelo teste de expansão das barras de argamassa (ASTM C-227).

Os aditivos utilizados e seus consumos estão na Tabela 6. Otto Baumgart, Sika Aer S.A. e MBT Brasil foram as empresas fornecedoras dos aditivos.

Os concretos receberam nomenclaturas conforme mostra a Figura 6. As resistências à compressão utilizadas foram 100, 140, 180, 210, 240 e 280 kg/cm². A Tabela 7 apresenta os concretos utilizados nas obras de Itaipu.

Um programa abrangente de ensaios de laboratório para a determinação das diversas propriedades do concreto foi iniciado antes do começo do lançamento do concreto e continuou em paralelo com a construção: resistência à compressão, módulo de elasticidade, calor de hidratação, calor específico, difusividade térmica, expansão térmica, resistência à tração, deformação última de tração, fluência e relaxamento e variação autógena de volume. (ITAIPU, 2009)

Grandes volumes de concreto lançados exigem o controle de temperatura durante a pega para evitar fissuração. Em Itaipu, as camadas de concreto são

de 2,5 m e a temperatura de lançamento do concreto prescrita foi de 7 °C. Para chegar nesta temperatura, a pré-refrigeração teve vantagens decisivas do ponto de vista técnico-econômico e de programação sobre o método de pós-refrigeração com tubulações embutidas. (ITAIPU, 2009). Perto da fundação,

as camadas foram reduzidas para 1,25 m. A água consumida nos concretos “gelados” foi em média 170 kg/m³, sendo 80% em gelo e 20% *in natura*.

Na Casa de Força, nas barragens de contraforte, e em outras partes da estrutura, foram utilizadas, ainda, aproximadamente 480.000 t de aço.

TABELA 2

PRINCIPAIS PROPRIEDADES ESPECIFICADAS DO CIMENTO

Propriedade	
Superfície específica, Blaine mínima	3200 cm ² /g
Material retido na peneira nº 200, máximo	15%
Tempo de pega inicial, mínimo	60 min
Tempo de pega final, máximo	10 horas
Expansão em autoclave, máximo	0,8 %
Calor de hidratação aos 7 dias, máximo	314 kJ/kg
Calor de hidratação aos 28 dias, máximo	356 kJ/kg
Resistência à compressão aos 3 dias, mínimo	0,8 kN/cm ²
Resistência à compressão aos 7 dias, mínimo	1,5 kN/cm ²
Resistência à compressão aos 28 dias, mínimo	2,5 kN/cm ²
MgO máximo	6,5 %
SO ₃ máximo	3%
Equivalente alcalino (Na ₂ O) máximo	0,6 %
C ₃ S máximo	35%
C ₃ A máximo	8%

FONTE: ITAIPU, 2009

TABELA 3

PRINCIPAIS PROPRIEDADES ESPECIFICADAS DA CINZA VOLANTE

Propriedade	
Superfície específica, Blaine mínima	3500 cm ² /g
Material retido na peneira nº 325, máximo	34%
Expansão ou retração em autoclave, máximo	0,8 %
Calor de hidratação aos 7 dias, máximo	314 kJ/kg
Calor de hidratação aos 28 dias, máximo	356 kJ/kg
Resistência à compressão aos 3 dias, mínimo	0,8 kN/cm ²
Resistência à compressão aos 7 dias, mínimo	1,5 kN/cm ²
Resistência à compressão aos 28 dias, mínimo	2,5 kN/cm ²
MgO máximo	6,5 %
SO ₃ máximo	3%
Equivalente alcalino (Na ₂ O) máximo	0,6 %
C ₃ S máximo	35%
C ₃ A máximo	8%
Índice de atividade pozolânica	
Água requerida, máximo	105%
Com cimento aos 28 dias, mínimo	75%
Com cal aos 7 dias, mínimo	560 N/cm ²

FONTE: ITAIPU, 2009

TABELA 4

PRINCIPAIS PROPRIEDADES DOS CIMENTOS E DAS CINZAS VOLANTES UTILIZADOS

Propriedades	Material					
	Cimento				Cinza volante	
	Votoran	Itambé	Vallemi	Santa Rita	Candiota	Tubarão
Finura Blaine (cm ² /g)	3368	3259	3417	3586	3190	2830
Peneira 200 (%)	6,2	2,4	13,8	13,2	—	—
Peneira 325 (%)	13,3	6,4	18,6	19,4	27,1	41,2
Expansão em autoclave (%)	0,09	0,02	0,03	0,08	—	—
Equivalente alcalino (Na ₂ O)	0,5	0,47	0,54	0,69	—	—
Cal livre (%)	1,04	0,81	1,39	0,7	—	—
C3S (%)	46,7	57,5	52,1	49,5	—	—
C3A (%)	6,7	6,6	6,2	8,7	—	—
Redução da expansão (%)	—	—	—	—	64,3	68,9
Reação à cal (kg/cm ²)	—	—	—	—	36	31

FONTE: ITAIPU, 2009

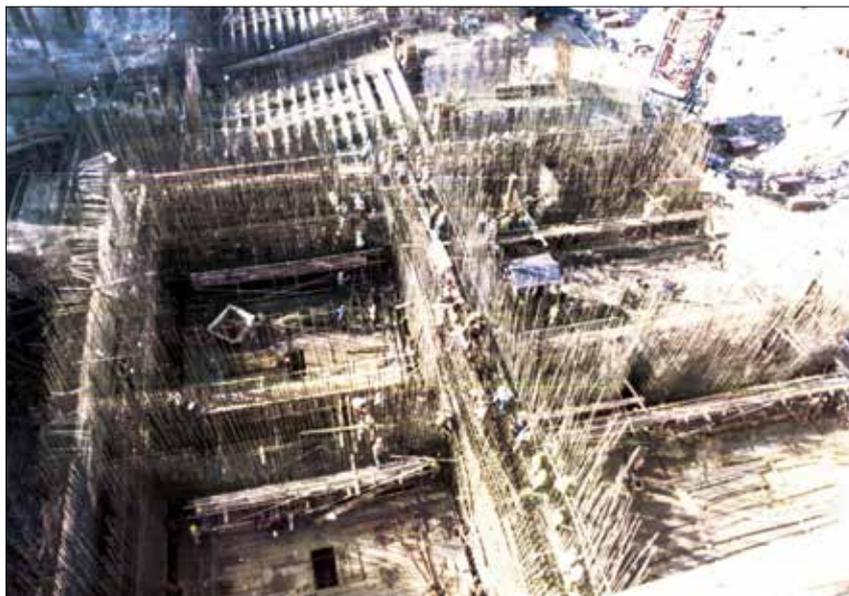


FIGURA 7

VISÃO GERAL DOS MÓDULOS E DESLIZANTES, ONDE SE OBSERVA TAMBÉM A ARMADURA DO BLOCO

FONTE: FUKUROZAKI ET AL. (1981)

3.1 Formas deslizantes

Em Itaipu, as formas deslizantes foram usadas para concreto massa com agregados graúdos a uma temperatura de lançamento de 7 °C, como também em condições relativamente desfavoráveis de temperatura e umidade relativa. Por exemplo, nos pilares maciços das adufas da estrutura de desvio, para minimizar os problemas de estabilidade, foi usado concreto com agregado de 76 mm e abatimento de 2 cm e aditivo redutor do teor de água. Esse concreto, lançado a 7 °C, possuía uma boa trabalhabilidade e consistência e muito pouca exsudação. O concreto era lançado nas formas deslizantes em camadas quase horizontais de 30 cm e adensado por vibradores de imersão. Tomava-se o máximo cuidado para garantir que os vibradores não tocassem as fôrmas para não “danificar” o concreto fresco. A velocidade das formas variava de acordo com a dimensão e a complexidade da estrutura. As velocidades efetivas máximas e mínimas realizadas em Itaipu foram 6,97 e

TABELA 5

CONSUMOS DE AREIA E BRITA NOS CONCRETOS

Substrato	Revestimento com argamassa cimentícia
Tipo de agregado	Consumo
Areia natural	≅ 3.250.000 t (≅ 2.200.000 m ³)
Areia artificial	≅ 5.810.000 t (≅ 3.600.000 m ³)
Brita 1 (19 mm)	≅ 7.760.000 t (≅ 4.880.000 m ³)
Brita 2 (38 mm)	≅ 4.600.000 t (≅ 3.100.000 m ³)
Brita 3 (76 mm)	≅ 3.580.000 t (≅ 2.470.000 m ³)
Brita 4 (152 mm)	≅ 2.820.000 t (≅ 2.015.000 m ³)

TABELA 6

CONSUMOS DE ADITIVOS PARA CONCRETO, EM %

Tipo de aditivo	Consumo
Incorporador de ar	0,05 a 0,15
Plastificante	0,20 a 0,30
Plastificante redutor de água	0,20 a 0,30
Super plastificante	0,20 a 3,00
Fluidificante	0,20 a 3,00
Super fluidificante	0,20 a 3,00
Retardador de pega	0,20 a 0,40

TABELA 7

TIPOS DE CONCRETO E APLICAÇÃO

2,53 m/dia. Tomou-se um cuidado especial no controle das ondulações e rugosidades das lajes acabadas nas superfícies hidráulicas expostas a elevadas velocidades da água como, por exemplo, nas calhas do vertedouro que podem estar sujeitas a velocidades máximas de escoamento de 37 m/s. O uso de gabarito de nivelamento de aço, de 6 t de peso, que se deslocava sobre guias metálicas, resultou numa superfície hidráulica praticamente isenta de irregularidades.

Segundo FUKUROZAKI et al. (1981), a experiência obtida durante a construção dos pilares da estrutura de desvio foi aproveitada para a construção das paredes e contrafortes das estruturas da casa de força, cuja geometria é bastante complexa e de grandes dimensões. Os autores concluíram ainda que a aplicabilidade do processo em estruturas com grandes dimensões, de geometria vazada e contorno recortado, sem comprometimento dos requisitos técnicos de qualidade e prazos executivos, foi evidenciado. A Figura 7 mostra uma particularidade da aplicação de formas deslizantes independentes devido à impossibilidade de utilização das cangas para o travamento das formas moldantes paralelas.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi possível apresentar uma parte de todo o histórico de uma engenharia brilhante desenvolvida em parceria por 2 países, Brasil e Paraguai. As informações trazidas são limitadas, pois Itaipu abrangeu uma quantidade extremamente grande de documentos de projeto e de ações executivas que podem ser consideradas como um curso completo de engenharia na prática. Os autores se

limitaram a abordar os aspectos principais das estruturas construídas em concreto massa e em concreto armado, mostrando etapas construtivas e como foi feito o controle de qualidade dos materiais e dessas estruturas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ITAIPU Binacional pela disponibilidade de informações e pelo incentivo à publicação de estudos e artigos desenvolvidos com as experiências vividas com a construção da sua hidrelétrica. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANDRIOLO, F.R., BETIOLI, I. Obras de Concreto de Itaipu – Desenvolvimento, controle, qualidade, durabilidade... 40 anos depois. Disponível em: https://www.itaipu.gov.br/sites/default/files/publicacoes/livro_obras_de_concreto_itaipu/web/index.html. Acesso em: 19 jan. 2023. ISBN: 978-85-60064-61-8.
- [2] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM C-227. Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003, DOI: 10.1520/C0227-03.
- [3] BRASIL. Decreto nº 10.791, de 10 de setembro de 2021. Cria a Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional S.A. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.791-de-10-de-setembro-de-2021-344145312>. Acesso em: 19 jan. 2023.
- [4] FUKUROZAKI, Y., SILVA, R.R., BETIOLI, I., SONODA, A. Utilização de formas deslizantes na execução da Casa-de-Força da Hidroelétrica de Itaipu. In: XIV SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 1981, Recife. Anais do evento. Re: CBDB, 1981, 1230 p.
- [5] ITAIPU Binacional. Itaipu: usina hidrelétrica – projeto: aspectos de engenharia. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2009, 790 p.

Reações expansivas em barragens de concreto causadas por agregados reativos

GUSTAVO MACIOSKI – MESTRE – ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8489-4328> (gmacioski@gmail.com);

ELOISE APARECIDA LANGARO – MESTRE – ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0694-3531>;

ANDRESSA GOBBI – PROF. – ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6696-3331>;

ANA PAULA BRANDÃO CAPRARO – PROF. – ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6270-6568>;

MARCELO HENRIQUE FARIAS DE MEDEIROS – PROF. – ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3112-9715> | UFPR

RESUMO

SÃO DIVERSOS OS MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO QUE PODEM AGIR EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, CONTUDO, AS REAÇÕES EXPANSIVAS ORIUNDAS DE AGREGADOS CONTENDO MINERAIS SUSCEPTÍVEIS À REAÇÃO ÁLCALI-SÍLICA (RAS) EM SITUAÇÕES FAVORÁVEIS A ESSE FENÔMENO, BEM COMO O ATAQUE INTERNO POR SULFATOS (RSI), SÃO CONSIDERADAS AS MAIS PREOCUPANTES. ISTO SE DEVE ÀS REAÇÕES AINDA NÃO SEREM INTEIRAMENTE COMPREENDIDAS, OCORREREM DE FORMA GERALMENTE LENTA, E NÃO HAVER MÉTODOS PARA SUA MITIGAÇÃO QUANDO JÁ INSTALADAS EM OBRAS EXISTENTES. ESTE ARTIGO APRESENTA UM PANORAMA GERAL SOBRE ALGUNS DOS MECANISMOS DAS REAÇÕES EXPANSIVAS EM CONCRETO DEVIDO À OCORRÊNCIA DE AGREGADOS POTENCIALMENTE REATIVOS, NORMAS BRASILEIRAS VIGENTES, TÉCNICAS COMPLEMENTARES PARA DIAGNÓSTICO, LACUNAS EXISTENTES E ESTUDOS EM ANDAMENTO SOBRE O TEMA. DESTA FORMA, SÃO APRESENTADAS INFORMAÇÕES RELEVANTES PARA O ENTENDIMENTO DA SEVERIDADE DAS REAÇÕES E SUAS CONSEQUÊNCIAS, BEM COMO POSSÍVEIS MÉTODOS PARA MITIGAÇÃO DE SUA OCORRÊNCIA E PARA O DIAGNÓSTICO PRECOCE EM ESTRUTURAS.

PALAVRAS-CHAVE: EXPANSÃO, ÁLCALI-SÍLICA, ÁLCALI-AGREGADO, SULFATO, DURABILIDADE.

1. INTRODUÇÃO

As barragens são edificações de grande importância para a infraestrutura das cidades, pois permitem o abastecimento, irrigação, produção de energia, controle de cheias, entre outros aspectos. Por razões técnicas e econômicas, agregados locais costumam ser utilizados na construção de barragens de concreto, contudo, a quali-

dade e composição mineralógica destes podem dar origem a reações expansivas deletérias durante a vida útil da estrutura, podendo comprometer a segurança ou afetar as operações diárias das unidades geradoras de energia.

Nestas estruturas, as reações expansivas oriundas de agregados potencialmente reativos, como a álcali-silica (RAS) e o ataque interno por sulfatos (RSI), são consideradas as mais preocupantes, pois sua cinética de reação ainda não é inteiramente compreendida, ocorrem geralmente de forma lenta e não homogênea nas estruturas. Além disso, não existem métodos efetivos para sua mitigação quando já instaladas em obras existentes e possuem grande ocorrência em obras de infraestrutura como barragens devido à presença constante de umidade. As tensões internas ocorridas nos elementos de concreto, devido às reações expansivas, contribuem para a redução do módulo de elasticidade, da resistência à flexão e à compressão, além de ativar/intensificar outros processos de deterioração do concreto devido à propagação de fissuras, facilitando assim a penetração de agentes agressivos.

Em termos simples, a reação álcali-silica (RAS) no concreto é uma reação química entre a sílica amorfa presente em certos agregados e íons presentes na solução de poros do concreto (OH^- , Na^+ e K^+), formando um gel que, na presença de água, torna-se expansivo. O ataque interno de sulfatos, também conhecido como Reação Sulfática Interna (RSI), é um tipo de reação expansiva menos frequente que a reação

álcali-silica. As fontes internas de sulfatos podem ser o cimento, a água de amassamento ou agregados contendo sulfetos (pirrotita, pirita, calcopitita e marcassita), que, ao oxidarem, originam íons sulfatos que reagem com os constituintes da pasta cimentícia (Portlandita e C-S-H), gerando produtos com potencial expansivo como gipsita e etringita.

Neste sentido, a correta avaliação dos agregados é essencial para prevenir que reações expansivas ocorram nos elementos de concreto, uma vez que, após a ocorrência, não existem soluções que possam cessar por completo o dano causado. O estudo prévio dos agregados em laboratório e a utilização de medidas preventivas, detalhadamente especificadas pela norma ABNT NBR 15577-1, no caso da RAS, são facilmente aplicáveis na prevenção dessas manifestações patológicas. Ao contrário, se tais ações forem negligenciadas, haverá necessidade de intervenção nas barragens e seu monitoramento para detecção de deformações e deslocamentos no maciço. O monitoramento do comportamento estrutural pode detectar anomalias a tempo, permitindo a implementação de ações mais eficientes de manutenção e reparo. Além disso, o correto diagnóstico dessas estruturas impacta diretamente nos custos operacionais de manutenção das plantas.

Neste contexto, este artigo apresenta um panorama geral sobre alguns dos mecanismos das reações expansivas em concreto, como a RAS e a RSI, devido às características dos agregados, discute as normas existentes sobre o tema, apresenta

TABELA 1

LEVANTAMENTO NACIONAL SOBRE O POTENCIAL REATIVO DOS AGREGADOS

Publicação	Estado	Número de agregados testados	Potencial reativo das amostras testadas
Valduga (2002)	São Paulo	36	60%
Tiecher (2006)	Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul	40	100%
Couto (2008)	Goiás	22	60%
Portella <i>et al.</i> (2021)	Paraná	11	73%

FONTE: DADOS COMPILADOS POR HASPARYK (2022)

algumas técnicas complementares para diagnóstico de estruturas afetadas, aborda também lacunas existentes e estudos em andamento sobre a temática na Universidade Federal do Paraná (UFPR).

2. REAÇÃO ÁLCALI-SÍLICA (RAS)

A reação álcali-agregado (RAA) pode ser dividida em dois tipos: reação álcali-sílica (RAS) e reação álcali-carbonato (RAC). No Brasil, a reação álcali-sílica costuma ocorrer em rochas contendo minerais silicosos potencialmente reativos e produz o gel álcali-sílica, que pode causar expansão anormal e fissuração do concreto em serviço. Já a reação álcali-carbonato, reconhecida atualmente como um tipo lento da reação álcali-agregado, envolve a desdolomitização dos calcários dolomíticos argilosos sem formação de gel, que pode causar expansão. Dada a especificidade da reação álcali-carbonato, além de sua baixa ocorrência, essa reação não é tratada pelas normas brasileiras da série ABNT NBR 15577:2018.

A adoção de medidas sistemáticas de prevenção à RAS no Brasil já ocorreu nas barragens de Jupia (1963), Água Vermelha (1979), Salto Osório (1975), Tucuruí (1984), Itaipu (1982), dentre outras - onde foram utilizados materiais pozolânicos para inibir a expansão devido ao uso de agregados reativos locais. A partir de 1985, o meio técnico brasileiro tomou conhecimento da ocorrência desse fenômeno nas barragens de Moxotó e Joanes II, ambas localizadas na Região Nordeste. De acordo com os dados publicados por Battagin *et al.* (2016), das 1994 amostras analisadas rotineiramente pela ABCP até 2016, 42% dos agregados graúdos e 26% dos agregados miúdos

apresentaram resultados potencialmente reativos. O Rio Grande do Sul (RS) foi o estado com o maior número de casos positivos para reatividade de agregados. Além disso, 10% dos agregados graúdos avaliados no Brasil apresentaram expansões superiores a 0,6% no ensaio acelerado em argamassa e, atualmente, estariam classificados pela ABNT NBR 15577:2018 como grau 3 e exigiriam forte ação preventiva.

A recente publicação de Hasparyk (2022) apresenta diversos estudos que levantaram dados nacionais sobre o potencial reativo dos agregados. A Tabela 1 apresenta essas informações.

Essas estatísticas, contudo, devem ser observadas com as devidas ressalvas, pois geralmente os agregados utilizados nesses estudos costumam ser suspeitos de serem potencialmente reativos, não se podendo afirmar, por exemplo, que todos os agregados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul são potencialmente reativos.

No Brasil, a reação álcali-sílica costuma ocorrer em agregados contendo opalas, cherts, quartzo microcristalino, quartzo

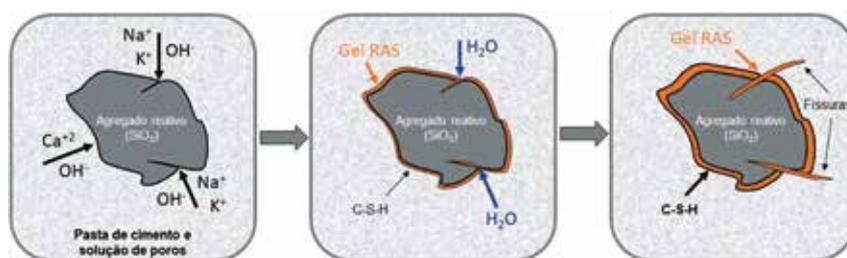
deformado, vidro vulcânico e vidros reciclados. O mecanismo de formação do gel expansivo da RAS em um agregado é exemplificado na Figura 1. Em investigações por microscopia eletrônica de varredura (MEV), a RAS é identificada por meio de ocorrência de um gel na borda de agregados e fissuras, como ilustra a Figura 2.

O uso de adições minerais ativas, como metacaulim, cinzas volantes, escória granulada de alto-forno e sílica ativa, em teores a depender do grau de reatividade dos agregados, podem mitigar a RAS. Os mecanismos envolvidos são a redução da quantidade de álcalis disponíveis no concreto devido à redução do teor de cimento Portland na mistura, o que contribui para uma menor concentração de íons Na^+ , K^+ e OH^- na solução de poros. A concentração de íons Na^+ e K^+ na solução de poros é também fortemente diminuída, pois os íons alcalinos são incorporados no C-S-H gerados na reação. Desta forma, o uso de adições é ainda a forma mais efetiva para prevenção da RAS em novas construções.

3. REAÇÃO SULFÁTICA INTERNA (RSI)

O ataque por sulfatos em estruturas de concreto pode acontecer de duas maneiras diferentes: externo, quando a fonte agressiva está no meio em que está inserida a estrutura, como solos e águas agressivas, ingressando por sua rede de poros; ou interno, quando a fonte agressiva faz parte de sua composição.

No caso do ataque interno, conhecido também como reação sulfática interna (RSI), os sulfatos podem ser encontrados nos constituintes do concreto, sendo eles: agregados, cimento, aditivos ou adições, ou na água de amassamento.

**FIGURA 1**

MECANISMO DA RAS NO CONCRETO

FONTE: AUTORES

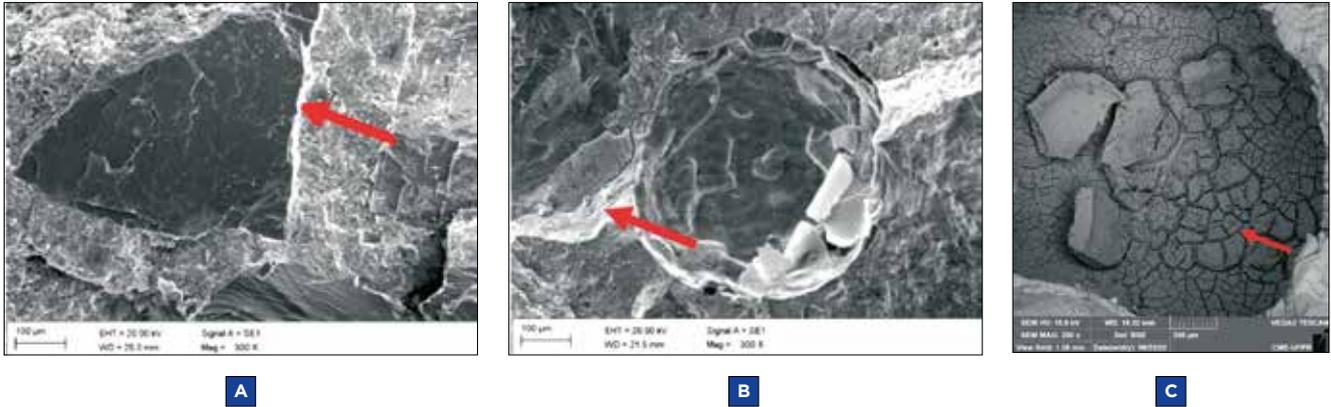


FIGURA 2

ILUSTRAÇÃO DO (A) ATAQUE NA BORDA DO AGREGADO, (B) FISSURAS PREENCHIDAS PELO GEL E (C) DO GEL GRETADO TÍPICO EM CONCRETO COM RAS

FONTE: AUTORES

Quando a fonte de sulfatos for o cimento, um possível mecanismo está relacionado a teores inadequados do regulador de pega (sulfato de cálcio) no processo de produção do cimento, associados a teores incompatíveis de aluminatos cálcicos no clínquer. Em altas temperaturas (acima de 60-65 °C) ou mesmo com temperaturas ordinárias, mas com elevadas umidades, há formação de gipsita e etringita tardia, esta última denominada de DEF, derivada do termo em inglês *Delayed Ettringite Formation*. Assim, a DEF sempre ocorre no

ataque interno (RSI) e outros compostos podem se formar como no caso de agregados, como se detalha a seguir.

Nos casos de ocorrência do mecanismo pela presença de uma fonte de sulfeto nos agregados, foco deste estudo, o ataque é iniciado pela oxidação dos sulfetos, na presença de água e oxigênio. Esse processo libera enxofre e ferro para o meio, produzindo tanto íons sulfatos quanto produtos secundários, oriundos do seu próprio processo de oxidação, como os hidróxidos e óxidos ferrosos, além de sulfatos

de ferro. Alguns desses compostos podem ser expansivos e deletérios. Ainda, durante esse processo de alteração do enxofre, pode ocorrer a sua conversão para ácido sulfúrico, intensificando a deterioração no concreto. A instabilidade dos sulfetos é acelerada pela alcalinidade do meio e valores de pH acima de 10.

Este processo pode ser considerado como um dos mais nocivos ao concreto, uma vez que, nesse tipo de ataque, os produtos gerados reagem com os compostos da pasta cimentícia, provocando



FIGURA 3

ILUSTRAÇÃO DE (A) AGREGADO GRAÚDO CONTENDO INCRUSTAÇÃO DE PIRITA, (B) MINERAL PIRITA, E (C) FORMAÇÃO DE ETRINGITA NO INTERIOR DE PORO DEVIDO AO ATAQUE POR SULFATO

FONTE: AUTORES

consequências físicas, como: variação dimensional, fissuração, deslocamento e desintegração; e químicas, como a redução do pH da matriz. Em virtude da constatação da existência de rochas com a presença de sulfetos em sítios geológicos brasileiros, existe uma motivação para o estudo da contaminação de agregados empregados no país.

Um caso de ocorrência de RSI no Brasil relativa à contaminação de agregados é a Barragem do Rio Descoberto, em Brasília. Anos após a conclusão de sua construção (1974), a barragem começou a apresentar vazamentos no seu paramento de jusante. Após diversas intervenções, a CAESB (Companhia de Saneamento do Distrito Federal) investigou as causas e descobriu que a origem do problema se devia à combinação da ação da água com a pirita (FeS_2) do agregado presente no concreto. Dentre os minerais sulfetados existentes na superfície terrestre, a pirita é o mineral mais comum.

As alterações físicas ocorrem principalmente pela tensão interna causada pela cristalização dos novos produtos, os quais possuem volume superior ao volume do sulfeto mineral que lhes originou. Já, a alteração química

TABELA 2
TESTES PARA DIAGNÓSTICO DA RAS EM CONCRETOS E ARGAMASSAS

Normativa	Ensaio	Condição do ensaio	Amostras	Limite de expansão
NBR 15577-4 (RAS)	Potencial reativo acelerado em argamassa	Solução 1N NaOH a 80 °C por 30 dias	3 barras de argamassa 25 x 25 x 285 mm	< 0,19%
NBR 15577-6 (RAS)	Potencial reativo em concreto (CPT)	1,25% Na_2O_{eq} a 38 °C por 365 dias	3 prismas de concreto 75 x 75 x 285 mm	< 0,04%
NBR 15577-7 (RAS)	Potencial reativo acelerado em concreto	1,25% Na_2O_{eq} a 60 °C por 140 dias	3 prismas de concreto 75 x 75 x 285 mm	< 0,03%

FONTE: AUTORES

é causada, principalmente, pelo consumo da portlandita, disponível na matriz, e pela formação dos subprodutos gerados pelo ataque (OLIVEIRA; CAVALARO; AGUADO, 2014). As Figuras 3A e 3B apresentam agregados com presença de pirita. Já, a Figura 3C apresenta uma imagem de MEV evidenciando o principal produto gerado no ataque, etringita, em uma pasta cimentícia com pirita.

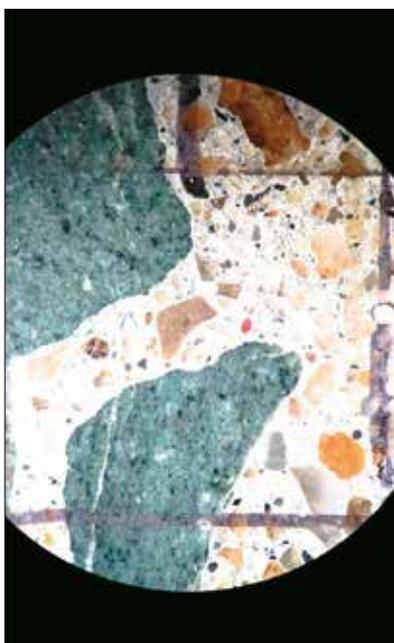
O diagnóstico de uma estrutura com a RSI não é simples, em especial por não

existir um ensaio padronizado que indique a ocorrência. Sinais que podem levar a uma investigação química do concreto e seus constituintes são: quadros de fissuração generalizada, deslocamentos e manchas, normalmente na cor ocre, originados pela oxidação do mineral sulfetado.

Como neste ataque o agente agressor já está interno ao concreto, medidas de proteção externa não são as mais eficazes nesse caso. Assim sendo, as medidas de prevenção devem ser pautadas na



A



B

FIGURA 4

ENSAIOS PARA DIAGNÓSTICO DE REAÇÕES EXPANSIVAS. (A) *DAMAGE RATING INDEX* (DRI) E (B) *STIFFNESS DAMAGE TEST* (SDT)

FONTE: AUTORES

QUADRO 1

CASOS DE OBRAS HIDRÁULICAS QUE SE ENCONTRAM AFETADAS PELA RAA

UHE/ Barragens	UF	Indícios e/ou evidências da RAA	Tipo de agregado
UHE Jurupará	SP	Diagnóstico 1997	Gnaisse; biotita granito
Barragem de Peti	MG	1964	Granito - gnaisse
Barragem Guanhães - UHE Salto Grande	MG	2001	Gnaisse
UHE Jaguará	SP	1996	Quartzito
UHE Apolônio Sales (Moxotó)	AL	Indícios 1980 e diagnóstico 1984	Granito e biotita gnaisse
UHE Paulo Afonso I	BA	1978	Granito, biotita gnaisse e biotita granito
UHE Paulo Afonso II	BA	1978	Granito e anfibólio gnaisse
UHE Paulo Afonso III	BA	1978	Granito e biotita granito
UHE Paulo Afonso IV	BA	1985	Granito, biotita gnaisse, biotita granito, anfibólito e anfibólio biotita gnaisse
UHE Pedra	BA	1980	Granada granulito
UHE Sobradinho	BA	2000	Quartzito
UHE Tapacurá	PE	1990	Granito e gnaisse cataclásados
UHE Piratininga	SP	2002	Gnaisse
Barragem de Pirapora	SP	1998	Granito - gnaisse
Barragem Reguladora Bilings-Pedras	SP	1992	Granito
Barragem Rio das Pedras	SP	1992	Gnaisse - milonito
Usina de Rasgão	SP	Nd	Granito - filito
Usina Elevatória de Pedreira	SP	2000	Gnaisse - milonito
Usina Elevatória de Traição	SP	1994	Milonito
Barragem de Joanes II	BA	1988	Gnaisse, migmatito e granulito
UHE Mascarenhas	ES	Diagnóstico 2003	Nd
UHE Furnas	MG	1976	Quartzito
UHE Luiz Carlos Barreto de Carvalho	SP	1994	Quartzito
UHE Mascarenhas de Moraes	MG	1994	Quartzito
UHE Porto Colômbia	MG	1985	Basalto - seixo de quartzo
UHE Jaguari	SP	Indícios 1985/1990 e diagnóstico 2000	Gnaisse milonitizado
UHE Ilha dos Pombos	RJ	1991	Gnaisse
UHE Santa Branca	SP	1995	Gnaisse
UHE Sá Carvalho	MG	Diagnóstico 1997	Granito
Barragem Atibainha	SP	1992	Biotita gnaisse cataclástico
Barragem Cascata	SP	1992	Granito - gnaisse
Barragem Jaguari	SP	1992	Gnaisse milonitizado
Barragem Paiva Castro	SP	1992	Biotita granito-gnaisse
Barragem Pedro Beitch	SP	1992	Biotita gnaisse
Barragem Ribeirão do Campo	SP	1992	Biotita gnaisse cataclástico

FONTE: ADAPTADO DE HASPARYK (2022)

correta escolha dos constituintes do concreto. Uma vez utilizado material inadequado, a deterioração vai ocorrer e ainda não existe uma solução técnica definida para bloquear a ocorrência do mecanismo de deterioração.

4. NORMALIZAÇÃO NO BRASIL E ENSAIOS PARA DIAGNÓSTICO

No Brasil foram publicadas as normas ABNT NBR 15577:2018, que estabelecem os critérios para avaliação, classificação e mitigação da RAS em novas construções. Ainda que a análise petrográfica seja capaz de quantificar fases minerais cristalinas e amorfas que possam gerar reações expansivas no concreto, técnicas complementares podem ser necessárias, tais como: coloração seletiva de minerais, análise por difração de raios X (DRX), análise termogravimétrica (DTA/DTG), espectroscopia no infravermelho (FTIR), microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise por fluorescência de raios X (FRX), entre outras. Mesmo quando as fases reativas são identificadas pela análise petrográfica, é necessário confirmar a relevância de sua presença no desenvolvimento de reações por meio de testes de expansão em prismas de concreto em função da formação do gel expansivo. Ainda que existam diferentes métodos de avaliação, a ABNT NBR 15577:2018 considera os ensaios acelerados como prévios na tentativa de indicação mais rápida da reação (140 dias a 60 °C), mas não exclui a realização do ensaio em prismas de concreto até a idade de 365 dias. Na Tabela 2 são apresentadas as principais normas utilizadas para a avaliação do potencial reativo de agregados por testes de expansão.

Os limites de expansão apresentados na Tabela 1 para a RAS sofrem pequenas variações dependendo da normativa de cada país. De uma forma geral, os ensaios acelerados em barras de argamassa ainda são foco de discussão entre pesquisadores devido à ocorrência de falsos positivos e negativos nos resultados. Parte das normativas costuma referenciar e adotar valores de outras normas e países para a classificação dos agregados, o que pode não representar a realidade local, e isso ocorre devido à falta de dados históricos sobre obras com a ocorrência da reação expansiva e de campos experimentais.

No caso dos ensaios para RSI, as normas vigentes apenas limitam os valores máximos de concentração de sulfatos no concreto. A ABNT NBR 7211:2022 regulamenta o limite máximo de sulfatos expresso em SO_4^{2-} nos agregados para a produção de concreto em 0,1% em massa. Assim, fica subentendido que os agregados contendo enxofre podem ser utilizados desde que não ultrapassem esse limite. Mesmo quando este limite for excedido, os agregados ainda podem ser usados, desde que o teor total presente no concreto proveniente de todos os seus componentes (água, agregados, cimento, adições e aditivos químicos) não exceda 0,2% de SO_4^{2-} da massa total, ou que fique comprovado a utilização de cimento Portland resistente a sulfatos (verificado pela ABNT NBR 13583:2014).

Diversos ensaios têm sido desenvolvidos com o objetivo de diagnosticar estruturas já afetadas por reações expansivas: como emissão acústica, ultrassom, espectroscopia, indentação, microscopia e testes de expansão residual realizados em testemunhos extraídos de estruturas danificadas. As metodologias costumam se basear no aumento de descontinuidades no interior do concreto, gerado pela expansão e fissuração das amostras que, de forma geral, reduzem a rigidez das peças e dificultam a propagação de ondas no interior dos sólidos. Dentre os métodos mais eficazes no diagnóstico pode-se citar o ensaio DRI ou *Damage Rating Index* (Figura 4A), que classifica diferentes tipos de fissuras em uma seção polida de concreto; e o ensaio SDT ou *Stiffness Damage Test* (Figura 4B), que avalia a perda de rigidez do concreto durante ciclos de carregamentos e avalia parâmetros como área de histerese, deformação plástica e módulo de elasticidade.

5. LACUNAS E ESTUDOS EM CURSO NA ÁREA

Ainda que diversos estudos tenham sido realizados nas últimas décadas, a cinética das reações expansivas ainda não é inteiramente compreendida e muitas são as lacunas que necessitam de investigações mais aprofundadas.

Ainda não existem técnicas confiáveis disponíveis para avaliação da presença de minerais reativos em agregados em um ensaio de curto prazo de forma dissociada do concreto - sem que haja interferências do tipo de cimento usado, sua composi-

ção química, métodos de moldagem, cura e instrumento de medição. Essas características variam em cada laboratório e país, influenciando as leituras realizadas. Apenas recentemente, Hasparyk (2022) compilou os casos de obras hidráulicas no Brasil já diagnosticadas com RAA (Quadro 1).

Além disso, no Brasil quase não se tem mapeamento de obras diagnosticadas com RSI e faltam dados históricos de campos experimentais de ambas as reações deletérias. Dessa forma, faltam dados de desempenho em campo para balizar a construção de novas estruturas, calibrar métodos de ensaios e orientar o uso de materiais considerando o variado clima e agregados brasileiros.

As condições dos ensaios (temperatura e duração) e os limites de expansão estabelecidos para a classificação dos agregados se encontram em constantes discussões. Uma maior preocupação existe com relação ao ataque por sulfatos, que carece de normativas mais aprofundadas para classificação e mitigação da reação. Além disso, dependendo do tipo de sulfato e sua origem, diferentes limites de classificação precisam ser desenvolvidos. A aplicação de modelos de expansão e vida útil é tarefa complexa, pois costumam ser baseados em resultados obtidos em laboratório, em condições ambientais diferentes daquelas em que as barragens se encontram.

É comum a ocorrência de reações deletérias de forma combinada, envolvendo duas ou mais reações como RAS, RSI, DEF (formação de etringita tardia), o que dificulta o diagnóstico e prognóstico dessas estruturas. Assim, técnicas de microscopia, como o DRI, auxiliam na identificação de diferentes reações deletérias, uma vez que é possível verificar o local da reação (pasta ou borda de agregados) e seu avanço no concreto (tipo de produto formado e avanço na amostra). Com a fissuração e formação de produtos dentro dos poros, outros processos deletérios como a

carbonatação e corrosão das armaduras são também acelerados e sofrem influência direta das reações expansivas.

Neste sentido, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas pelo grupo de pesquisa em Patologia e Reabilitação das Construções da Universidade Federal do Paraná, tais como: avaliação de diferentes teores e tipos de sulfatos no grau de expansão; desenvolvimento de sistema de monitoramento para expansão baseados em sensores de fibra ótica; mitigação de reações expansivas em barragens de concreto com resíduos industriais, adições minerais e uso de tratamentos de superfície; desenvolvimento de técnicas de inspeção, diagnóstico e prognóstico para reações expansivas; desenvolvimento de modelos de vida útil para barragens; avaliação de técnicas de reparo e auto cicatrização para fissuras; entre outros.

Capraro (2019), por meio de uma simulação numérica em método dos elementos finitos, analisou a movimentação de uma barragem (Figura 5) quando submetida ao desenvolvimento de RSI. Esta modelagem levou em consideração a ocorrência do ataque em uma camada de cerca de 1,5 m de profundidade na face de jusante, pois as reações dependem do acesso de oxigênio nesta região. O modelo demonstrou que a potencial contaminação de 5% de SO_3 nos agregados pode gerar um deslocamento horizontal superior a 60 cm no topo da barragem, no sentido contrário ao deslocamento gerado somente pelas cargas do empuxo hidrostático.

No desenvolvimento de sensores para monitoramento de reações expansivas,

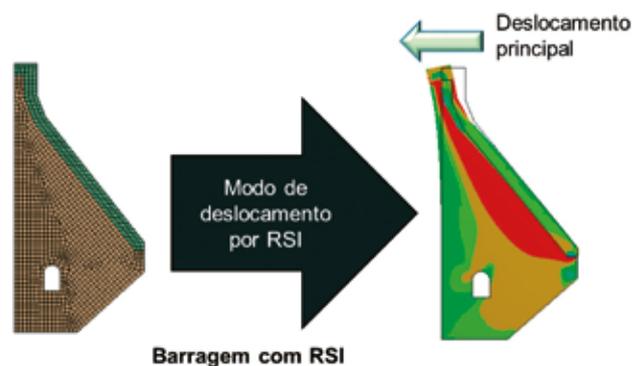
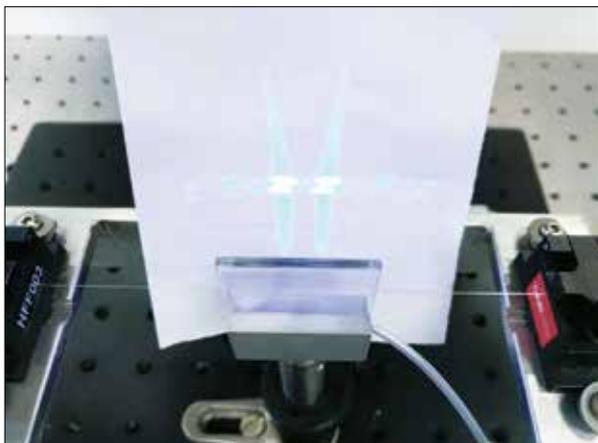


FIGURA 5
MODELO DE MOVIMENTAÇÃO DE BARRAGEM POR DESENVOLVIMENTO DE REAÇÃO SULFÁTICA INTERNA (RSI)
FONTE: CAPRARO (2019)



A



B



FIGURA 6

(A) PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE SENSORES EM FIBRA ÓTICA E (B) AMOSTRAS COM SENSORES ÓTICOS NA SUPERFÍCIE E NO INTERIOR DO CONCRETO

FONTE: AUTORES

Macioski *et al.* (2020) utilizaram o sinal refletido por uma rede de Bragg inscrita com LASERS no núcleo de fibras óticas (Figura 6) para medir a temperatura, deformação interna e externa de amostras de concreto afetadas por RAS, permitindo verificar que o surgimento de tensões internas dos agregados é elevado (0,11% em 55 dias) e apenas parcialmente transmitido à pasta e ao concreto (amostras sem expansão significativa na mesma idade).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho traz informações sobre dois tipos de reações expansivas que podem ocorrer nas estruturas de barragens de concreto, a reação álcali-silica (RAS) e a reação sulfática interna (RSI). Ambas são reações deletérias em relação às quais apenas tratamentos paliativos podem ser aplicados em obras existentes, ou seja, não

existem métodos efetivos que podem cessar a expansão devido à reação. A melhor solução ainda é avaliar o potencial reativo dos agregados antes da construção.

Apesar do avanço nas pesquisas em relação a cinéticas dessas reações, ainda existem muitas lacunas existentes, materiais a serem entendidos por completo e técnicas promissoras a serem desenvolvidas e aplicadas. Nas normas vigentes no Brasil sobre esses temas, faltam dados de estruturas reais para melhorar sua aplicação, visto a dificuldade de simulação em laboratório da cinética das reações que ocorrem nas barragens.

Esta área temática das reações expansivas é de primordial importância para a área de segurança de barragens de concreto e os autores desenvolvem atualmente projetos neste campo com financiamento da CAPES e da ANA (Agên-

cia Nacional de Águas e Saneamento Básico). Este apoio financeiro é essencial para dar suporte para interações internacionais e implantação dos ensaios específicos para a investigação das reações expansivas no concreto com alto grau de aprofundamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Paraná (UFPR), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC-UFPR), ao Centro de Estudos de Engenharia Civil (CESEC-UFPR) e ao Laboratório Multiusuário de Fotônica (Multi-Foton) da UTFPR. Os autores também agradecem o suporte fornecido pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e pela ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico). ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BATTAGIN, A.; SILVEIRA, A. L.; MUNHOZ, F.; BATTAGIN, I. A evolução da cultura da prevenção da reação álcali-agregado no mercado nacional. *Concreto & Construções*, 39-43. 2016.
- [2] HASPARYK, N. P. *Reação Álcali-Agregado no Concreto*. Concreto: Ciência e Tecnologia. vol. 2. 3 ed. São Paulo: IBRACON, 2022.
- [3] CAPRARO, A. P. B. *Ataque interno de sulfatos: mudanças nas propriedades de compostos cimentícios*. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 187 p. 2019.
- [4] MACIOSKI, G.; SANCHEZ, L. F. M.; BAO, X.; MEDEIROS, M. H. F. Monitoring alkali-aggregate reaction (AAR) induced expansion through the use of fiber Bragg grating sensors. 16th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete. Lisboa, Portugal. 2020.
- [5] OLIVEIRA, I.; CAVALARO, S. H. P.; AGUADO, A. Evolution of pyrrhotite oxidation in aggregates for concrete. *Materiales de Construcción*, v. 64, 2014.

Estádio Nacional de Brasília: análise dinâmica por meio do método dos elementos finitos

GUSTAVO V. FIUZA LIMA - ENGENHEIRO (fiuzagustavo@hotmail.com); **LEONARDO J. GUIMARÃES RABELO** - ENGENHEIRO (leotdz@yahoo.com.br);
SUZANA MOREIRA AVILA - PROFESSOR - ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3181-685X> (avilas@unb.br);
GRACIELA DOZ - PROFESSOR - ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6428-4012> (graciela@unb.br) - UNB

RESUMO

NOS ÚLTIMOS ANOS, TEM-SE NOTADO A OCORRÊNCIA CRESCENTE DE VIBRAÇÕES EXCESSIVAS EM ESTRUTURAS CIVIS PROVOCADAS, EM PARTE, PELO USO DE NOVOS MATERIAIS E PELA LEVEZA E FLEXIBILIDADE QUE CARACTERIZA ALGUMAS DESSAS ESTRUTURAS. MUITAS DAS ARENAS DE FUTEBOL BRASILEIRAS APRESENTARAM PROBLEMAS DE VIBRAÇÃO EXCESSIVA, NECESSITANDO DE MONITORAMENTO E ATÉ INTERVENÇÃO. PARA A COPA DO MUNDO REALIZADA NO BRASIL (2014), ESSES ESTÁDIOS PASSARAM POR MUDANÇAS ESTRUTURAIS E ALGUNS FORAM DEMOLIDOS PARA A CONSTRUÇÃO DE NOVAS ARENAS, TORNANDO-SE NECESSÁRIA UMA ANÁLISE CRITERIOSA DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DESSAS NOVAS ESTRUTURAS. ESTE TRABALHO Foca NO ESTUDO DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DO ESTÁDIO NACIONAL DE BRASÍLIA POR MEIO DA ANÁLISE NUMÉRICA DE DIFERENTES CENÁRIOS DE CARGAS DINÂMICAS GERADAS POR ATIVIDADES HUMANAS EM ARQUIBANCADAS, COMO SALTOS E MOVIMENTOS LATERAIS SINCRONIZADOS. ÀS RESPOSTAS DINÂMICAS DO ESTÁDIO SÃO COMPARADAS COM AS SUGERIDAS COMO LIMITES POR NORMAS INTERNACIONAIS. UMA VEZ QUE SE VERIFICA ALGUNS RESULTADOS EXCEDEM OS LIMITES NORMATIVOS, É PROPOSTO UM SISTEMA DE CONTROLE ESTRUTURAL BASEADO EM AMORTECEDORES DE MASSA SINTONIZADOS PARA REDUZIR A RESPOSTA DINÂMICA.

PALAVRAS-CHAVE: DINÂMICA ESTRUTURAL, VIBRAÇÕES INDUZIDAS POR PESSOAS, CONTROLE DE VIBRAÇÕES, ESTRUTURAS DE ESTÁDIOS.

1. INTRODUÇÃO

Em maior ou menor grau, estruturas podem ser solicitadas por cargas dinâmicas. Esse fenômeno torna-se cada vez mais atual, uma vez que, em geral, as estruturas estão se tornando mais leves e mais flexíveis devido aos novos padrões arquitetônicos ou ainda pelo desenvolvimento de materiais mais resistentes. Quando se trata de vibrações induzidas pelo homem, à medida que essas estruturas ficam mais flexíveis, suas frequências naturais ficam mais baixas e podem se aproximar da fre-

quência de excitação, o que pode levar a vibrações excessivas e até à ressonância.

A Copa do Mundo FIFA de 2014 foi realizada no Brasil e muitos estádios foram remodelados ou demolidos, dando lugar a arenas novas. Nesse contexto, o novo Estádio Nacional de Brasília foi construído (Figura 1). Este estádio substituiu o anterior demolido que havia sido projetado nos anos 70. Naquela época, as cargas dinâmicas e as vibrações induzidas pelas multidões eram muito negligenciadas.

Houve registro de um grande número de reclamações sobre vibrações excessivas feita pelo público que assistiu aos jogos nesses antigos estádios. Alguns deles precisaram ser monitorados e necessitaram de recuperação estrutural, como os estádios Maracanã, Morumbi e Olímpico.

Todo o exposto sugere que esses tipos de estruturas precisam ser analisados dinamicamente, pois multidões saltando nas arquibancadas podem induzir vibrações excessivas nessas estruturas levando



FIGURA 1
ESTÁDIO NACIONAL DE BRASÍLIA

FONTE: <https://www.cultuga.com.br/estadios-que-receberao-jogos-de-portugal-na-copa-do-mundo/> EM 10/3/2022

a um problema de conforto em um primeiro momento e, posteriormente, a um problema estrutural.

Uma alternativa para reduzir vibrações excessivas em estruturas civis é o controle estrutural (Saeed *et al*, 2015). Dispositivos externos são adicionados ao sistema estrutural de forma a fornecer amortecimento ou proporcionar uma transferência de energia mecânica. Um dos dispositivos de controle estrutural mais conhecidos é o amortecedor de massa sintonizado (AMS), que consiste em uma massa auxiliar que, quando sintonizada de forma adequada, transfere a energia da estrutura principal para o amortecedor, fazendo com que esta vibre fora de fase, reduzindo assim a amplitude de resposta da estrutura principal.

Neste trabalho foi realizado um estudo numérico de uma arquibancada do Estádio Nacional de Brasília, para avaliar seu desempenho dinâmico e conforto, comparando os níveis de vibração obtidos com os limites recomendados das normas internacionais. É apresentada uma proposta de controle estrutural utilizando amortecedores de massa sintonizados.

2. FERRAMENTAS E MÉTODOS

2.1 Estrutura do Estádio

O estádio foi projetado como um conjunto de pórticos de quatro colunas conectados por vigas inclinadas, que sustentam os degraus das arquibancadas. As arquibancadas são separadas em três níveis: inferior, intermediário e superior (Figura 2). Radialmente a estrutura está dividida em 12 setores independentes, 3 de cada lado, um atrás de cada gol e um em cada canto, conforme mostra a Figura 3. Todos os setores são formados pela estrutura de pórticos mostrada na Figura 2, repetidas paralelamente entre si nos setores laterais e atrás dos gols e distribuídos radialmente nos cantos.

Sobre as arquibancadas, há lajes de concreto apoiadas em vigas

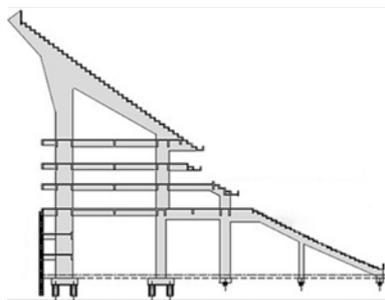


FIGURA 2
PÓRTICOS QUE SUSTENTAM AS ARQUIBANCADAS

transversais que formam seis pavimentos internos. Ao redor das arquibancadas existe uma estrutura independente formada por três fileiras circulares de colunas que sustentam

a cobertura do estádio. A cobertura do estádio tem uma coroa externa de concreto e uma estrutura interna em treliça de aço coberta por uma membrana especial que protege as arquibancadas e parcialmente o campo.

2.2 Modelo numérico

Para definir o modelo numérico, foi selecionado um pórtico de largura intermediária, dos quatro diferentes tipos de setores. Elementos finitos de casca foram usados para modelar lajes, degraus, paredes, pilares e vigas principais, e elementos finitos de barra para a simulação das vigas internas.

Os elementos de casca utilizados possuem 4 nós cada e seis graus de liberdade em cada nó. Os elementos de barra são elementos de dois



FIGURA 3
VISTA SUPERIOR DO ESTÁDIO

FONTE: <https://www.redecol.com.br/2013/06/veja-os-mapas-explicativos-e-de-acesso.html/> EM 25/1/2023



FIGURA 4

DISCRETIZAÇÃO EM ELEMENTOS FINITOS DE UM SETOR INTERMEDIÁRIO DO ESTÁDIO NACIONAL DE BRASÍLIA (SAP2000)

nós com seis graus de liberdade em cada nó.

O material considerado foi o concreto armado, com módulo de elasticidade de 30 GPa. Em cada suporte de coluna, as restrições foram aplicadas em todas as seis direções, incluindo deslocamentos e rotações. O setor modelado possui 5 fileiras de colunas, portanto são 4 vãos de degraus de arquibancadas e lajes

TABELA 1

FREQUÊNCIAS DE PULO DE TORCIDAS

Clube de futebol	Música da torcida	f_s (Hz)
Flamengo	"Festa na favela"	2,7
	"Saí do chão"	2,4
Boca Juniors Argentina	"Boca mi buen amigo"	2,4
	"Y dale Boca"	2,4
	"Vamos xeneizes"	1,9
Chivas México	"Chivas de mi vida"	1,7
	"Te alentaré de corazon"	1,8
Pumas Mexico	"Olele, olalá"	2,4

internas. A discretização em elementos finitos obtida no SAP2000 é mostrada na Figura 4.

Para o amortecimento estrutural, algumas normas sugerem valores que variam de 1% a 3% do valor crítico de amortecimento (ζ) para estruturas de concreto armado. Desta forma, o valor de 2% de ζ é adotado. Importante ressaltar que o amortecimento crítico depende da massa e da rigidez da estrutura e serve de referência para saber se a estrutura apresentará oscilações quando vibrando livremente (amortecimentos inferiores ao crítico).

2.3 Modelo de carregamento

O modelo matemático considerado para simular a ação de torcidas pulando é descrito na Equação (1), proposta por Faisca (2003) para um único indivíduo em movimento.

$$\begin{aligned}
 & F(t) = CD\{k_p G[0,5 - \\
 [1] & 0,5 \cos \frac{2\pi}{t_c} t]\}, \text{ para } t_c < t \leq T_p \\
 & F(t) = 0, \text{ para } t_c < t \leq T_p
 \end{aligned}$$

Na qual:

$F(t)$ = carga modelada;

CD = coeficiente de defasagem;

k_p = fator de impacto dinâmico;

G = peso de uma pessoa;

t_c = tempo de duração do contato com o solo;

T_p = período do ritmo.

Para definir a frequência adequada do pulo, foram consultados estudos prévios realizados por Faisca, (2003) que estabelece va-

TABELA 2

TEMPO DE CONTATO OBTIDO EXPERIMENTALMENTE

F_s (Hz)	T_p (s)	t_c (s)	t_c/T_p
2,00	0,50	0,36	0,72
2,27	0,44	0,33	0,75
2,50	0,40	0,32	0,80
2,70	0,37	0,33	0,89

FONTE: FAISCA (2003)

lores em torno de 2,5Hz. Com esse valor como referência inicial, foram analisados alguns vídeos de torcedores durante partidas de futebol, para tipificar suas frequências de salto. Como resultado desta pesquisa, algumas das músicas das torcidas mais populares na América Latina e suas frequências de salto são mostradas na Tabela 1.

Ao analisar os dados apresentados na Tabela 1, percebe-se que as músicas das torcidas brasileiras induzem movimentos que se caracterizam por frequências de salto mais altas, em torno de 2,4 e 2,7Hz. Já as músicas das torcidas argentinas e mexicanas levam a uma frequência de salto entre 1,7Hz e 2,4Hz.

Desta forma, para simular as possíveis variações dos pulos dos torcedores, foi realizado um estudo com 15 frequências de carga (F_s) variando de 2,10Hz a 2,80Hz. Neste estudo, o tempo de contato (t_c) entre o torcedor e as arquibancadas é calculado de acordo com Lima

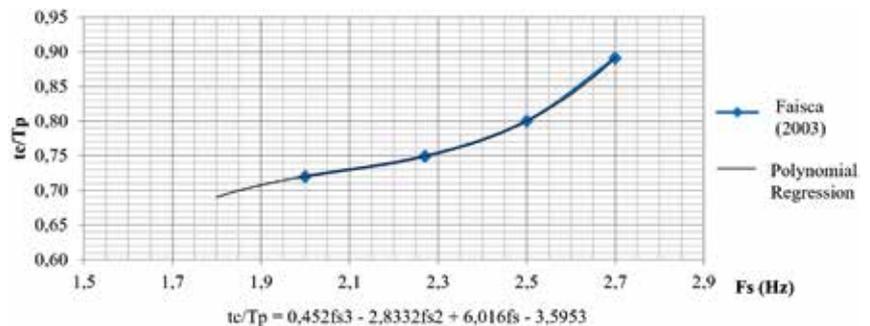


FIGURA 5

RELAÇÃO ENTRE O TEMPO DE CONTATO E O PERÍODO, EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA

TABELA 3

PARÂMETROS USADOS NA DEFINIÇÃO DAS CARGAS DINÂMICAS

f_s (Hz)	T_p (s)	t_c/T_p	t_c (s)	$CD \cdot k_p$
2,10	0,476	0,730	0,348	2,15
2,15	0,465	0,735	0,342	2,14
2,20	0,455	0,740	0,336	2,12
2,25	0,444	0,746	0,332	2,11
2,30	0,435	0,753	0,328	2,09
2,35	0,426	0,762	0,324	2,06
2,40	0,417	0,772	0,322	2,03
2,45	0,408	0,785	0,320	2,00
2,50	0,400	0,800	0,320	1,96
2,55	0,392	0,817	0,321	1,92
2,60	0,385	0,838	0,322	1,87
2,65	0,377	0,863	0,325	1,82
2,70	0,370	0,891	0,330	1,76
2,75	0,364	0,923	0,336	1,70
2,80	0,357	0,960	0,343	1,64

(2013). Em seu trabalho, o autor apresenta a curva de variação da taxa dada pelo tempo de contato e o período da função (t_p) em função da frequência característica, conforme mostra a Figura 5. Para obter a curva, o autor utilizou os dados obtidos experimentalmente por Faísca (2003) apresentados de forma resumida na Tabela 2.

Para a simulação da magnitude dada pelo produto do fator de impacto dinâmico (k_p) e o coeficiente de defasagem (CD), foi adotada a formulação proposta por Sim (2006).

$$[2] \quad CD \cdot k_p = \frac{\pi}{\left(2 \cdot \frac{t_c}{T_p}\right)}$$

A Tabela 3 apresenta os parâmetros utilizados na definição das cargas que atuam na estrutura.

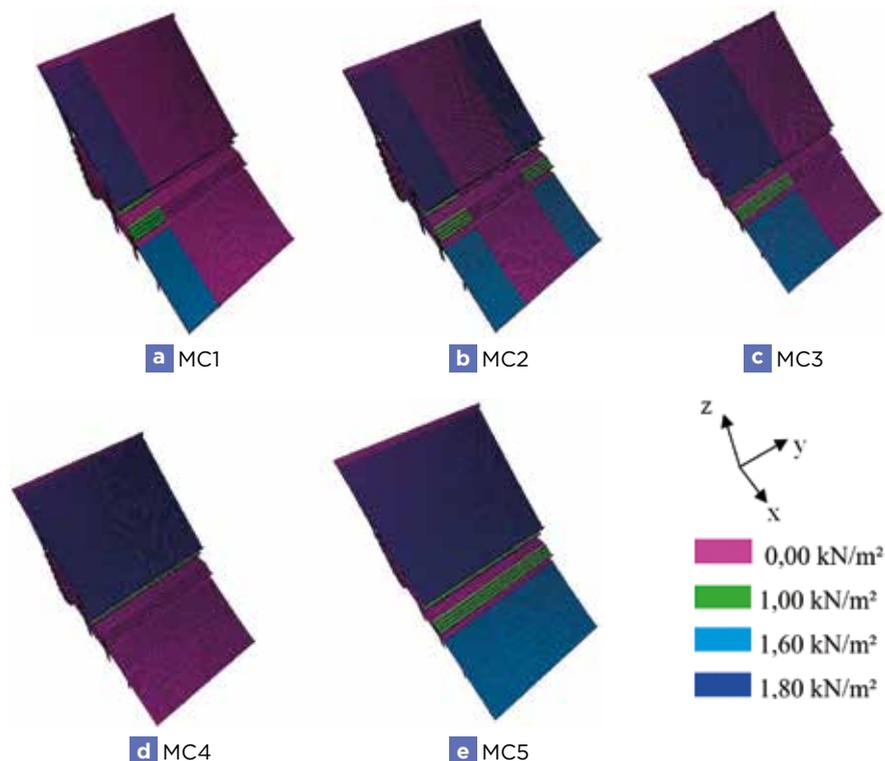
A consideração de G é feita da seguinte forma: para as arquibancadas inferiores, adota-se o valor médio de 1,6kN/m² considerando o peso médio de todos igual a 800N, o total de assentos no estádio e a área total das arquibancadas. Para as arquibancadas superiores, assume-se conservadoramente a possibilidade de haver uma ocupação maior que o número de lugares disponíveis, sendo adotada a carga de 1,8kN/m².

Para as intermediárias, utiliza-se 1kN/m², por se tratar de uma área de camarotes e salas de imprensa com menor ocupação pelo público.

Em relação à ocupação das arquibancadas são considerados cinco cenários distintos (Figura 6). O primeiro modelo de carregamento, denominado MC1, considera que apenas um lado, que representa 25% da área das arquibancadas, é ocupado pelo público. O segundo modelo de carregamento, denominado MC2, considera que os dois lados das arquibancadas são ocupados pelo público, representando 50% da carga da estrutura. O terceiro modelo de carregamento, MC3, considera a metade da área ocupada pelos torcedores, mas em um dos lados. O quarto modelo de carregamento, MC4, considera que apenas as arquibancadas superior e intermediária são ocupadas pelo público, enquanto para o quinto modelo, MC5, a estrutura é considerada totalmente carregada.

2.4 Limites estabelecidos pelos códigos

Existem alguns códigos internacionais que tratam das vibrações,

**FIGURA 6**

OCUPAÇÃO DAS ARQUIBANCADAS

TABELA 4PERCEÇÃO HUMANA ASSOCIADA
A VIBRAÇÕES VERTICAIS

Descrição	Intervalo de frequência 1-10 Hz Acelerações de pico (m/s ²)
Apenas perceptível	0,034
Claramente perceptível	0,10
Desconfortável	0,55
Intolerável	1,80

FONTE: CEB (1991)

considerando o conforto humano. Entre eles, o código CEB (1991) foi escolhido para verificar as respostas dinâmicas deste trabalho em termos de aceleração de pico.

No Anexo I do CEB (1991), o código aborda as respostas humanas às vibrações focando a atenção na sensibilidade humana a elas. Nesse sentido, lista alguns parâmetros que influenciam essa sensibilidade e a perceptibilidade das vibrações. Em seguida, associa essa percepção humana às faixas de aceleração e velocidade, conforme Tabela 4.

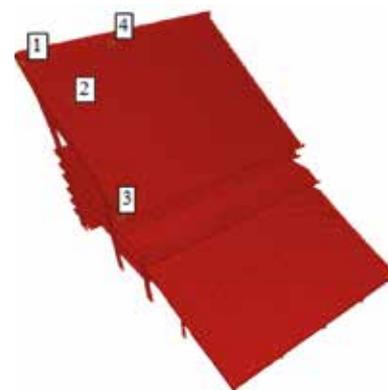
3. RESULTADOS

A Tabela 5 mostra as 8 primeiras frequências naturais e as descrições dos modos de maior interesse. Os primeiros modos de vibração têm frequências naturais baixas, entre 1Hz e 3Hz, próximas às frequências das atividades humanas.

Para verificar em quais pontos e para quais tipos de carregamento a arquibancada apresenta acelerações excessivas, a estrutura foi submetida a 75 condições de carregamento considerando as cinco diferentes distribuições de audiência nas arquibancadas explicadas anteriormente, e quinze frequências de excitação variando de 2,10Hz a 2,80Hz em passos de 0,05Hz para cada tipo de distribuição. Os pontos de leitura são mostrados na Figura 7.

A resposta de aceleração mais alta ocorre no ponto 2 quando a frequência de excitação é de 2,55Hz e para o MC5 (Figuras 8, 9 e 10).

Para o projeto do sistema de controle de vibrações, foram realizados

**FIGURA 7**

PONTOS DE ACELERAÇÃO CONSIDERADOS

estudos com 16 configurações diferentes de amortecedores de massa sintonizados (AMS), a fim de reduzir as acelerações nas arquibancadas a níveis aceitáveis e considerando uma massa que não leve a grandes aumentos nos esforços estruturais. Assim, são utilizados AMSs com massas próximas a 4t, 2t, 1t e 0,5t, sintonizados em frequências escolhidas, levando em consideração o pico observado no espectro de acelerações (segundo harmônico do carregamento - $f_{2h} = 5,10\text{Hz}$, quinta frequência natural - $f_5 = 4,95\text{Hz}$, sexta frequência natural - $f_6 = 5,07\text{ Hz}$ e sétima frequência natural - $f_7 = 5,12\text{ Hz}$).

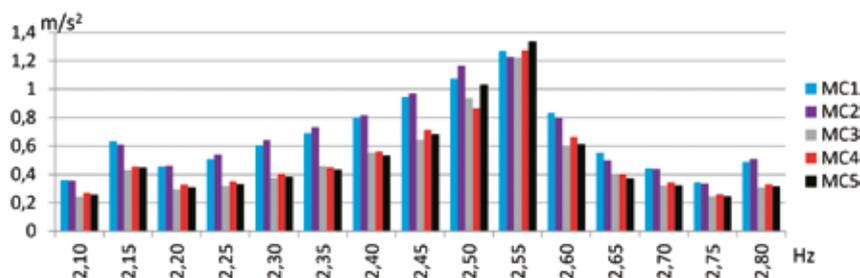
Os dispositivos são inseridos nos pontos de deslocamento vertical máximo dos modos com os quais estão sintonizados. Os estudos apresentam resultados positivos apenas nos casos em que o AMS se situa no ponto crítico, não mostrando eficácia quando se analisa a quinta frequência natural. Os estudos mostram que somente a consideração de dispositivos com massa próxima ou superior a 1 t podem reduzir as acelerações a valores aceitáveis. Os parâmetros mais adequados de cada AMS podem ser verificados na Tabela 6.

Uma vez que as arquibancadas são simétricas, optou-se pela instalação de dois AMS, um de cada lado da estrutura, ao invés de apenas um concentrando toda a massa. A modelagem deste dispositivo no software SAP2000 é feita através do elemento *link* que ligará um de seus nós à estrutura e o outro à massa do AMS. Conforme o manual, a massa

TABELA 5

DESCRIÇÃO DOS MODOS DE VIBRAÇÃO

Modo	Frequência (Hz)	Descrição
1	1.02	Flexão na direção tangente
2	2.27	Flexão na direção radial
3	2.48	Torsão no plano "xy"
4	2.78	Flexão na direção tangente
5	4.95	Flexão na direção tangente
6	5.07	Flexão na arquibancada superior
7	5.12	Flexão na arquibancada superior
8	5.48	Flexão na arquibancada superior na direção radial

**FIGURA 8**

ACELERAÇÕES VERTICAIS MÁXIMAS — PONTO 2

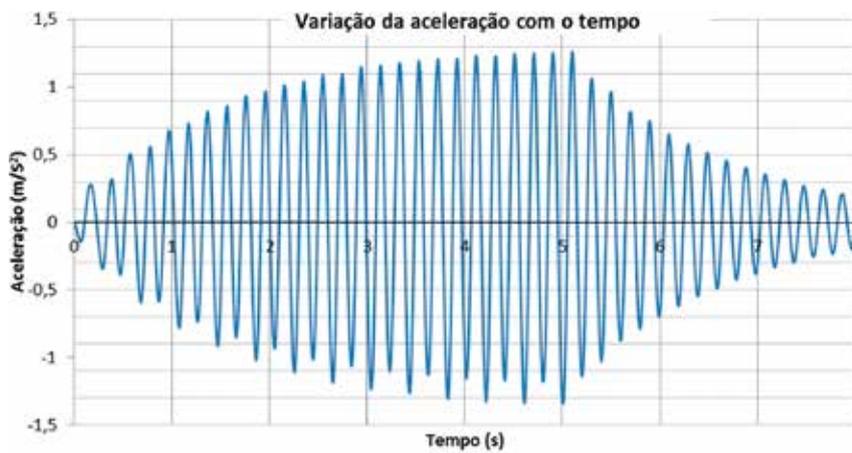


FIGURA 9
HISTÓRICO DE ACELERAÇÕES — PONTO 2 — MC5

do amortecedor deverá atuar apenas no sentido em que houver movimento (translação e/ou rotação), levando em conta o sistema global de coordenadas. Já, o amortecimento e a rigidez da mola deverão ser inseridos nas propriedades do *link* que fará a ligação da massa à estrutura, levando em conta os deslocamentos que poderão ocorrer, porém, utilizando o sistema local de coordenadas. A localização dos amortecedores pode ser vista na Figura 11.

O espectro de acelerações mostrando os picos de transferência de energia para a estrutura principal

com a inserção dos dispositivos de controle pode ser visto na Figura 12, enquanto a comparação das respostas em termos de acelerações verticais para as arquibancadas com controle e sem controle está apresentada na Figura 13. Os valores de pico de aceleração e o limite aceitável para as duas situações encontram-se na Tabela 7.

A estrutura é também verificada para os demais casos de carga estudados, levando em consideração a frequência de carga de 2,55 Hz, que apresenta as maiores taxas de vibração. Os resultados obtidos

para os modelos com e sem a inserção dos dispositivos de controle e a redução da aceleração obtida podem ser verificados na Tabela 8. Para as acelerações de pico, o limite de 1.000 m/s² foi considerado aceitável, com base nos valores apresentados anteriormente.

Para todos os modelos e verificações realizadas, a redução alcançada é suficiente para que as vibrações da estrutura estejam dentro de níveis aceitáveis.

4. CONCLUSÕES

Em geral, as arquibancadas do Estádio Nacional de Brasília não apresentam problemas consideráveis de vibração excessiva, porém, em pontos específicos e para determinadas frequências de carga as pessoas podem sentir algum desconforto.

A análise modal das arquibancadas mostra que os modos de vibração possuem frequências relativamente baixas, o que a princípio pode ser bastante preocupante. Para efeito de comparação, a frequência

TABELA 6
PARÂMETROS OTIMIZADOS PARA CADA AMS

M (kN*s ² /m)	μ (%)	m (kN*s ² /m)	α _{otimizado} (%)	f (Hz)	k (kN/m)	ε (%)	c (kN*s/m)
8247,910	0,0125	1,031	1,000	5,069	1045,803	0,559	0,367

TABELA 7
COMPARAÇÃO DAS ACELERAÇÕES ESTRUTURAIS SEM E COM DISPOSITIVOS DE CONTROLE

Acelerações verticais máximas (m/s ²)			
Sem AMS	Com AMS	Limite	Red. (%)
1,336	0,836	1,000	37,407

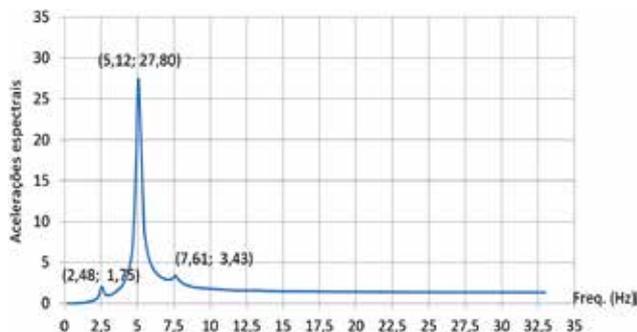


FIGURA 10
ESPECTRO DE ACELERAÇÕES — PONTO 2 — MC5

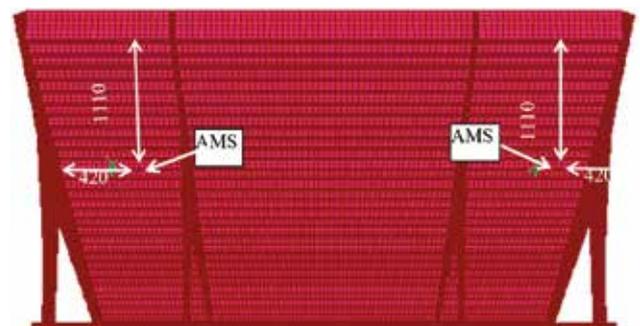


FIGURA 11
LOCALIZAÇÃO DOS AMS — MEDIDAS EM CM

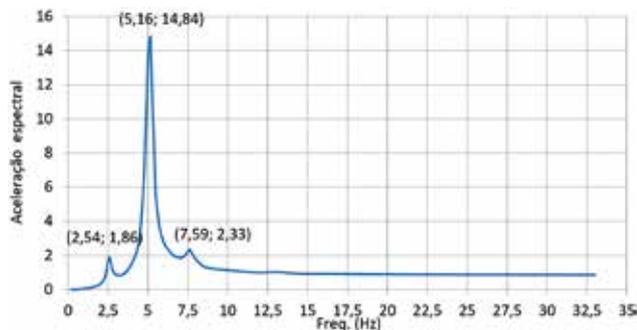


FIGURA 12

ESPECTRO DAS ACELERAÇÕES VERTICAIS NO PONTO 2 DA ESTRUTURA COM AMS

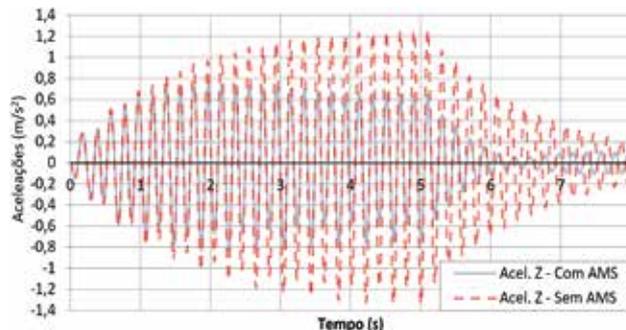


FIGURA 13

SOBREPOSIÇÃO DOS HISTÓRICOS DE ACELERAÇÕES VERTICAIS COM E SEM CONTROLE

fundamental encontrada, $f_1 = 1,02\text{Hz}$, é muito inferior à proposta pela NBR-6118/2014, que sugere um valor mínimo de 9,6 Hz. O critério de aumento da frequência fundamental pode ser uma boa solução. Em situações específicas, porém, nem sempre é o melhor, principalmente em estruturas grandes e complexas.

Além disso, pode-se verificar que a maioria dos modos de vibração apresenta deslocamentos no plano horizontal que não seriam excitados na maioria das situações. No entanto, quando o público balança o corpo lateralmente, equilibra o corpo, ou mesmo se está situado de forma desequilibrada, a estrutura também é carregada na direção tangencial e é excitada nos modos que possuem deslocamentos nessa direção.

A aplicação de diferentes frequências de carga apresenta outra situação a ser avaliada. Conforme comentado anteriormente, estruturas complexas como esta podem apresentar diferentes tipos de modos de vibração, com frequências naturais

TABELA 8

COMPARAÇÃO DAS ACELERAÇÕES MÁXIMAS PARA OS MODELOS ESTUDADOS

Modelo	a-peak (m/s ²)		Redução (%)	Aceitabilidade
	Sem AMS	Com AMS		
MC1	1,269	0,700	44,838	Sim
MC2	1,229	0,718	41,579	Sim
MC3	1,222	0,784	35,843	Sim
MC4	1,275	0,870	31,765	Sim
MC5	1,336	0,836	37,407	Sim

na mesma faixa da carga ou seus harmônicos próximos e podem ser facilmente excitadas. Desta forma, é importante avaliar as situações reais que resultem nas maiores taxas de vibração. Neste trabalho, isso aconteceu ao considerar o carregamento com frequência intermediária associada entre o sexto e sétimo modos de vibração, que é o que acarreta as maiores taxas de vibração.

A distribuição do público nas arquibancadas é outra questão importante a ser analisada. Os estudos mostram que os resultados podem apresentar va-

riações consideráveis nas acelerações para os cinco modelos estudados.

Embora as arquibancadas do estádio não apresentem vibrações excessivas, o público que as frequenta deve sentir conforto onde quer que esteja. Conforme mostrado, um dos pontos analisados apresenta acelerações acima do aceitável para determinadas situações de carga. Os estudos mostram que a instalação de dois AMSs com massa relativamente baixa, cerca de uma tonelada cada, é suficiente para resolver o problema de forma satisfatória. ☹

▶ **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] CEB. Vibration Problems in Structures. Practical Guidelines. Bulletin d'Information N 209. Comité European du Béton, Switzerland, 1991.
 [2] FAISCA R. G. Caracterização de Cargas Dinâmicas geradas por Atividades Humanas. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2003.
 [3] LIMA, G. V. F., Análise Dinâmica via Método dos Elementos Finitos do Estádio Nacional de Brasília. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, Brasil, 2013.
 [4] SAAED T.E. et al. A state-of-the-art review of structural control systems. Journal of Vibration and Control. Volume 21, 919-937, 2015.
 [5] SIM J. H. H., Human-Structure Interaction in Cantilever Grandstands. Doctor's degree Thesis. University of Oxford, England, 2006.

Laboratórios de controle tecnológico do concreto foram pioneiros na gestão da qualidade de obras no Brasil

FÁBIO LUÍS PEDROSO - EDITOR - ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5848-8710> (fabio@ibracon.org.br)

Muito antes de haver no Brasil normas técnicas para assegurar a segurança, qualidade, desempenho e mais recentemente a sustentabilidade de produtos, serviços e processos, como hoje fazem as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os laboratórios tecnológicos desempenharam um importante papel para assegurar segurança,

desempenho e qualidade das edificações construídas no país.

Depois que a primeira norma técnica para cálculo e execução de obras de concreto armado foi publicada, em 1940, buscando oferecer padronização de critérios para o projeto e a construção de obras civis no país, surgiram uns poucos escritórios privados para a prestação de serviços de controle tecnológico do concreto, que ofereciam aos contratantes de obras a garantia de que o projeto fora executado com qualidade, obedecendo aos requisitos mínimos de segurança da época.

Esses laboratórios privados de controle tecnológico do concreto foram pioneiros em assegurar a qualidade das construções, uma vez que propiciaram a correta e adequada qualificação dos materiais construtivos, a dosagem racional do concreto e a fiscalização das obras para que atendessem aos requisitos das normas técnicas em vigor.

Nesta perspectiva, eles foram importantes para garantir que os materiais usados e os processos envolvidos nas construções fossem os mais adequados e estivessem em conformidade com as diretrizes e requisitos previamente estabelecidos e normatizados

na época. Isto muito antes da publicação da série de normas da Organização Internacional de Padronização (ISO) sobre os sistemas de gestão da qualidade, em 1987.

Depois que o conjunto de normas ISO 9000 entrou em vigor mundialmente, os laboratórios brasileiros de controle tecnológico e outras empresas do setor construtivo buscaram sua certificação da qualidade e, com isso, continuaram a prestar seus serviços com excelência, de modo que a gestão da qualidade das obras fosse assegurada.

A seguir são traçadas linhas gerais sobre a origem e contribuições desses laboratórios pioneiros do controle tecnológico do concreto, nas quais é percorrido quase um século de história do desenvolvimento tecnológico brasileiro no setor construtivo.

PRIMÓRDIOS DO CONTROLE TECNOLÓGICO NO BRASIL

Com o advento do concreto armado no início do século XX, a indústria da construção civil se constituiu no Brasil, o que reclamou, para seu sucesso, a participação da tecnologia civil, pois, “no caso do concreto armado, é muito importante tanto o conhecimento das propriedades tecnológicas do cimento e do aço utilizados, como a perfeita organização da obra e o controle tecnológico da mesma” (VARGAS, 1994).

Neste contexto, é montado o Gabinete de Resistência dos Materiais (GRM), em 1899, inicialmente para dar suporte ao curso de Resistência de Materiais Escola Politécnica de São Paulo, mas logo voltado para atender às necessidades da incipiente indústria da construção civil.

Dirigido pelo engenheiro Francisco de Paula Souza, no GRM foram realizados os primeiros ensaios de resistência de diversos materiais de construção do país

Divulgação IPT

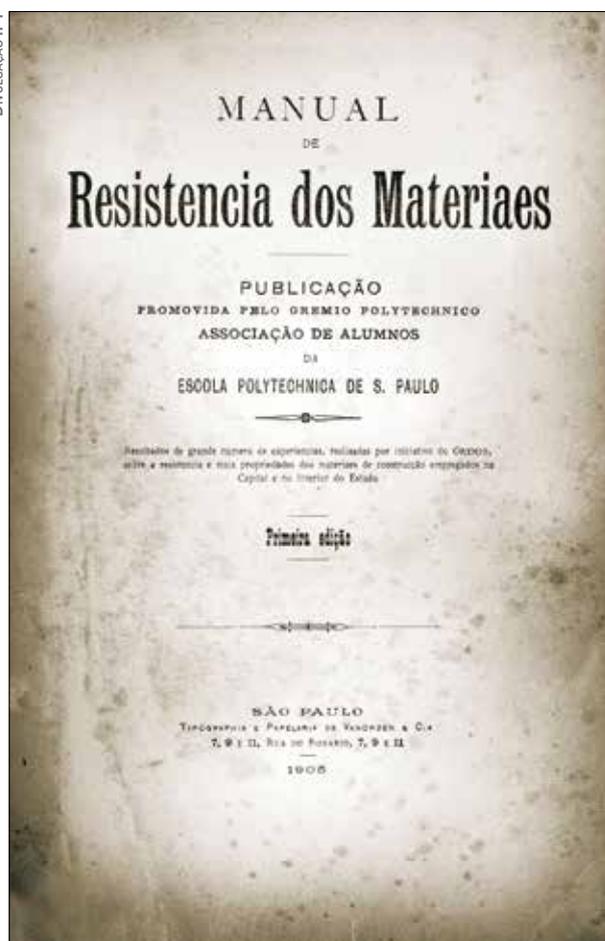


Figura 1 — Manual de Resistência dos Materiais, publicado pelo Gabinete de Resistência dos Materiais, em 1905

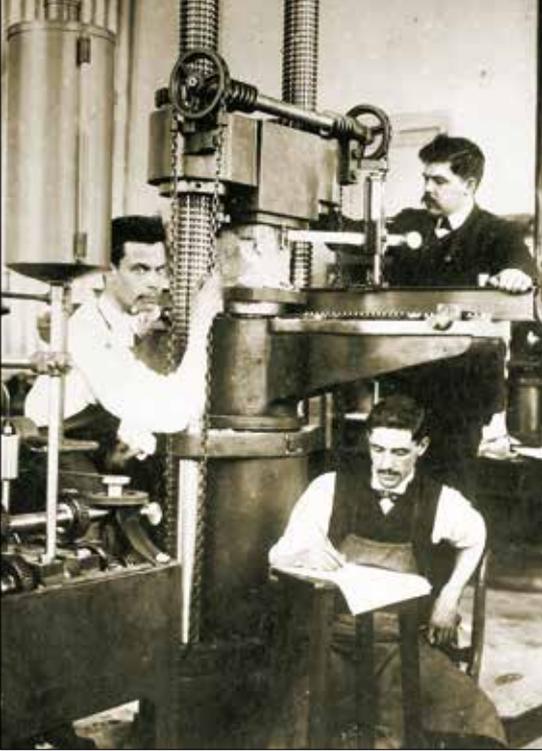


Figura 2 — O engenheiro-arquiteto Hippolyto Pujol Júnior chefiando ensaio de resistência do concreto no GRM, em 1905

(VASCONCELOS, 1992). O trabalho pioneiro ensejou a publicação, em 1905, pelo Grêmio Politécnico, do “Manual de Resistência dos Materiais” (Figura 1), primeira compilação dos resultados de ensaios para avaliação da qualidade e resistência dos materiais de construção empregados na cidade de São Paulo e interior do estado (pedras, tijolos, telhas, madeiras, metais, cales, cimentos). Foi o primeiro manual do gênero editado na América do Sul, que passou a ser amplamente utilizado pelos construtores e indústria da construção da época (INSTITUTO PEDRA, 2022).

Como houve um intenso intercâmbio com pesquisadores da Europa - Ludwig Von Tetmajer, professor do Instituto de Tecnologia de Zurique, na Suíça, e quem projetou o GRM; Wilhem Fischer, pesquisa-

dor do Laboratório de Materiais de Viena, na Áustria, que chegou a chefiar o GRM — este conseguiu se estruturar com equipamentos modernos e equipe capacitada para a realização dos ensaios (Figura 2).

O Gabinete de Resistência dos Materiais realizou um estudo experimental com os elementos em concreto armado dos reservatórios de água da Mooca e de Araçá, em São Paulo, em 1907, e fez o estudo experimental completo dos elementos estruturais do primeiro edifício de concreto armado com sete andares e vigas de 12m de vão, o Edifício Guinle, construído em São Paulo de 1913 a 1916. Houve o apoio tecnológico para desenvolvimento do projeto e verificação da estabilidade da estrutura, com a realização de ensaios dos materiais utilizados e ensaio de prova de carga.

Já, o Laboratório de Ensaios de Materiais — LEM, em 1927, que sucedeu o GRM, dirigido pelo engenheiro Ary Frederico Torres, realizou pesquisas das propriedades de cimentos de fabricação nacional e de dosagem de concretos usados nas obras, o que levou à publicação do Boletim nº 1 “Método racional de dosagem dos concretos”, que buscou adaptar os trabalhos clássicos do americano Duff Abrams e os métodos de dosagem de outros países baseados no módulo de finura dos agregados ao contexto brasileiro. O Boletim, que ajudou o setor construtivo a melhorar a qualidade dos concretos produzidos, foi um passo embrionário do controle tecnológico do concreto no Brasil.

O LEM participou dos estudos dos materiais para a construção do Edifício Martinelli, inaugurado em 1929, na cidade de São Paulo. Em 1933, o laboratório iniciou um projeto pioneiro de controle tecnológico do concreto de longa duração, em parceria

com a única fábrica de cimento Portland na época (Cimento Perus), confeccionando diversos traços de concreto para analisar a evolução de sua resistência mecânica ao longo de 50 anos.

Em 1934, em face da crescente industrialização e urbanização do país, o LEM foi transformado na autarquia Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), que



Figura 4 — Edifícios Azevedo Villares e Altino Arantes — antiga sede do Banco do Estado de São Paulo — construídos com base em estudos realizados pela Seção de Solos e Fundações do IPT

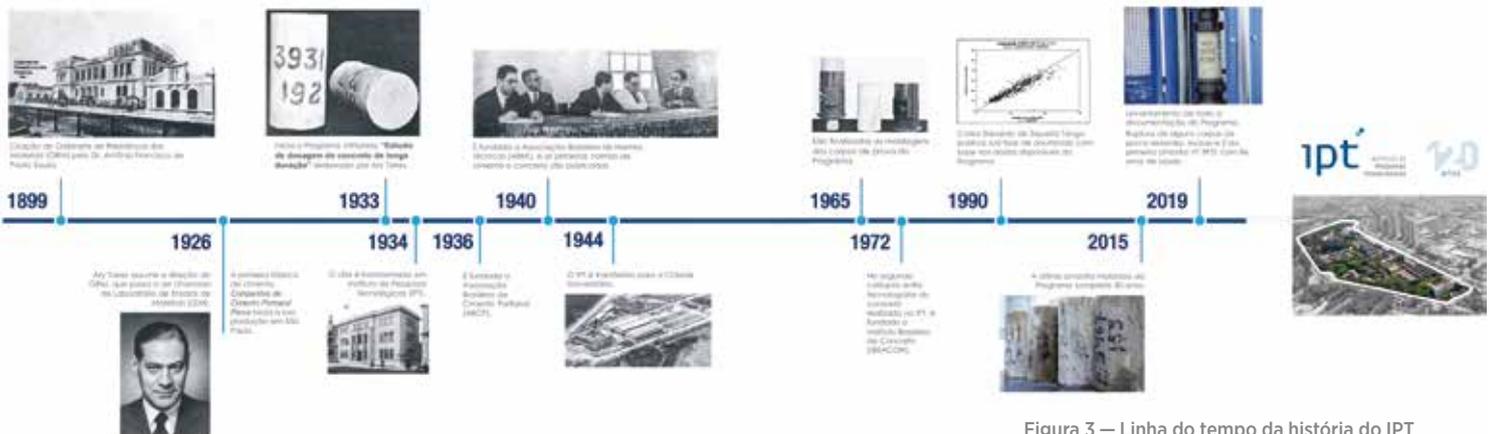


Figura 3 — Linha do tempo da história do IPT

continuou realizando moldagens de traços de concreto até 1965, com a participação de mais quatro cimenteiras (Votoran, Itaú, Maringá e Santa Rita). Ao todo foram confeccionados mais de 15 mil corpos de prova que foram ensaiados ao longo dos anos (Figura 3).

Os laboratórios do IPT atuaram no apoio tecnológico para obras de pavimentação das ruas da cidade de São Paulo, bem como nos estudos para a execução das estruturas da marquise do Jockey Clube de São Paulo, e dos edifícios Azevedo Villares e Altino Arantes (Figura 4), antigas sedes do Banco do Estado de São Paulo, como as provas de carga com estacas Franklin nas fundações desses edifícios.

Um ano antes do surgimento do IPT, a Estação Experimental de Combustíveis e Minérios, ligada à Escola Politécnica do Rio de Janeiro desde 1920, foi convertida no Instituto Nacional de Tecnologia (INT), que estatutariamente tinha os seguintes objetivos: estudar matérias-primas e produtos nacionais para se obter conhecimento deles; promover a obtenção e o emprego, nas condições mais favoráveis, dessas matérias-primas e produtos; e auxiliar, por todos os meios, a indústria nacional (MOUTINHO, 2022). A Divisão de Indústria de Construção, chefiada pelo engenheiro Paulo Sá, iniciou os ensaios de cimentos, agregados e concretos nessa época, com a colabo-

ração do engenheiro Fernando Luiz Lobo Carneiro, que havia estagiado com Gilberto Molinari, no IPT.

Em 1936, um grupo composto por cinco companhias nacionais de cimento cria a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), para atender à expectativa de desenvolvimento técnico da emergente indústria nacional de cimento, atuante havia cerca de 10 anos. Seu primeiro diretor-presidente foi o empresário José Ermírio de Moraes.

“Como metas gerais, a ABCP estabeleceu a promoção de estudos sobre o cimento e sua utilização, a constituição e organização de laboratórios para o desenvolvimento tecnológico e o controle da qualidade; e a organização de cursos”, relata o chefe de laboratórios da entidade, geólogo Arnaldo Battagin.

Dos esforços do representante da ABCP, professor da Poli-USP, Telemaco van Langendonck, e do representante do INT, o professor da UFRJ, Lobo Carneiro, na 2ª Reunião dos Laboratórios Nacionais de Ensaio de Materiais, realizada em São Paulo, em 1939, resultou a elaboração da primeira norma brasileira oficialmente reconhecida, a NB-1 Cálculo e Execução de Obras de Concreto Armado, lançada em 1940, quando foi fundada a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (MOUTINHO, 2022).

SURGIMENTO DOS PRIMEIROS LABORATÓRIOS PRIVADOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO

Nos anos 1940, o IPT era frequentemente procurado por empresas da indústria para desenvolver soluções, fazer testes e análises. Ele participou do projeto e execução das primeiras autoestradas brasileiras (Anchieta, Anhanguera e Rio-Santos) e deu apoio geológico e geotécnico para os projetos de construção de barragens de usinas hidrelétricas (Paulo Afonso e Jupia).

Já, o laboratório de solo-cimento da ABCP apoiou nesta época obras importantes para o sistema rodoviário brasileiro, como a nova rodovia Rio-Petrópolis, no Rio de Janeiro, a segunda pista da Via Anchieta, em São Paulo, a rodovia Recife-Moreno, em Pernambuco, e a nova rodovia Rio-São Paulo, hoje Via Dutra. Além disso, a estrutura laboratorial da ABCP era usada para aulas práticas em seus cursos técnicos intensivos.

O laboratório de solo-cimento da ABCP foi o primeiro do tipo no Brasil, sendo usado nos estudos técnicos para aplicação desta tecnologia nas bases aéreas de Petrolina, em Pernambuco (Figura 5), do Galeão e Campo dos Afonsos, no Rio de Janeiro, e de Bom Jesus da Lapa, na Bahia, em 1942. Em razão da importação da tecnologia do solo-cimento dos Estados Unidos para o país, iniciativa da ABCP, a ABNT editou, em 1941, as primeiras normas brasileiras sobre solo-cimento.

O primeiro escritório privado de controle tecnológico do concreto surgiu em 1942, fundado pelo engenheiro Abílio de Azevedo Caldas Branco. Ele veio contribuir para que os métodos de dosagem desenvolvidos pelos laboratórios brasileiros de pesquisa tecnológica nas universidades fossem compreendidos e usados pelos mestres de obras e engenheiros pouco familiarizados em acompanhar os estudos teóricos na área (VASCONCELOS, 1992).

Era prática comum entre os mestres de obras aumentar o consumo de cimento por metro cúbico de concreto, muito além do necessário para conferir segurança à obra. Para fazer frente a este desperdício, falta de controle da qualidade nos canteiros de obras e outras atitudes antieconômicas, o professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Mauro Ribeiro Viegas (Figura 6), criou, em 1952, seu escritório



Figura 5 — Tecnologia do solo-cimento sendo aplicada na pavimentação do Aeroporto de Petrolina, na década de 1940

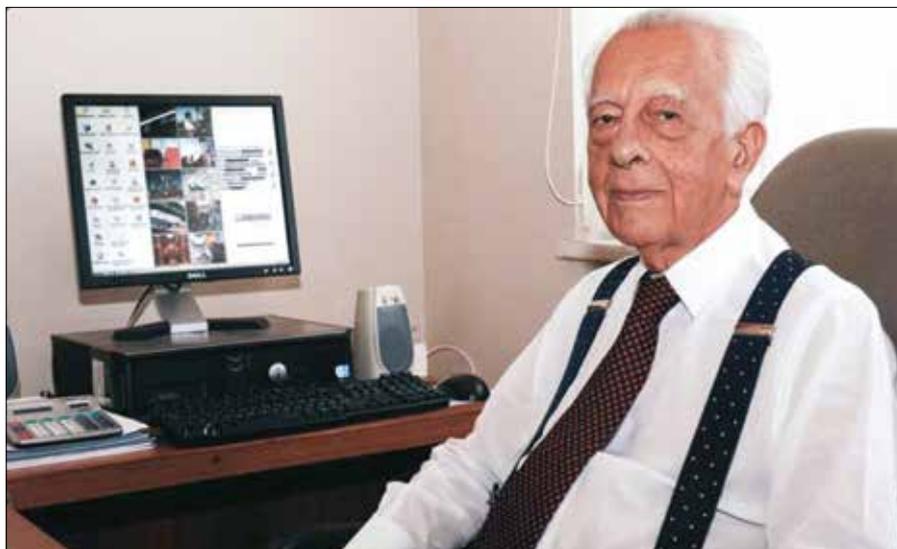


Figura 6 — Prof. Mauro Ribeiro Viegas, fundador da Concremat, em 2008

técnico de controle tecnológico do concreto, para prestar assistência às obras (FONTESES, 2008). “Sua primeira empreitada foi realizar o controle tecnológico do concreto das edificações habitacionais do Instituto de Aposentadorias e Pensões dos Empregados em Transportes de Carga, no Rio de Janeiro”, conta seu filho, Mauro Ribeiro Viegas Filho.

A criação do Escritório Técnico Professor Mauro Ribeiro Viegas — Controle de Concreto e Ensaios de Materiais (Figura 7) veio ao socorro das empresas construtoras, orientando-as na dosagem adequada do concreto, aliando a qualidade técnica e a economia construtiva. “Ninguém queria colocar a cabeça no travesseiro preocupado com uma obra que poderia desabar! Então, o mestre de obras aumentava por sua conta o volume de cimento por metro cúbico de concreto. Cimento demais prejudica, e, de menos, nem se fala, é maléfico. A proposta do Mauro era ensinar os construtores a usarem os materiais de forma racional. E aí ele criou uma sólida base. Ele passou a ser necessário”, explicou seu ex-aluno e braço-direito na empresa desde o início, o engenheiro Walmor Prudêncio, no livro “A construção de uma vida”, da editora Réptil, lançado em 2008.

Com esse propósito, o escritório participou do controle tecnológico de materiais e do concreto das obras do Aeroporto do Galeão, inaugurado em 1952.

Em São Paulo, em 1953, o engenheiro formado na Escola Politécnica

da Universidade de São Paulo, Luiz Alfredo Falcão Bauer (Figura 8), teve a ideia inovadora de equipar uma perua Kombi com os equipamentos necessários para caracterização de concreto e solos, excetuando-se as prensas, para o pronto atendimento às obras (Figura 9). Sua finalidade foi auxiliar o engenheiro responsável pela construção na seleção de materiais e na análise do concreto entregue na obra pelo caminhão-betoneira.

“Meu avô passou a ir às obras para mostrar a necessidade e as vantagens de se fazer o controle tecnológico dos materiais de construção, para reduzir o consumo de cimento e, portanto, o custo das edificações”, comenta Patrícia Bauer, diretora da Falcão Bauer.

No princípio desta iniciativa, o concreto era coletado junto às betoneiras na obra e transportado até os laboratórios especializados do IPT ou da Universidade Presbiteriana Mackenzie. “Muitas vezes, junto com o Liberato Bernardo, tecnólogo do IPT, tomávamos ônibus, levando cada um, debaixo dos braços, dois corpos de prova, com peso de 25 quilos”, revelou Luiz Alfredo Falcão Bauer em entrevista para sua biografia, que será lançada brevemente.

A motivação para fundar um laboratório de controle da qualidade do concreto era o de auxiliar os construtores e empreiteiros a reduzir custos e desperdícios, sem descuidar da resistência mecânica. Ele confessa: “a economia em cimento era dividida em duas partes iguais – uma para o construtor e outra para nós!”.

Os primeiros clientes do laboratório L.A. Falcão Bauer foram a Construtora Adolpho Lindenberg e o escritório de arquitetura Botti-Rubin. Foram prestados serviços de caracterização de solos e agregados, estudo de traço de concreto e ensaios de resistência pelo método da esclerometria.



Figura 7 — Técnicos realizam a caracterização de materiais no laboratório do Escritório Técnico Professor Mauro Ribeiro Viegas

Divulgação CONCREMAT



DIVULGAÇÃO FALCÃO BAUER

Figura 8 — Eng. Luiz Alfredo Falcao Bauer em seu laboratório

Logo os empreiteiros e construtores perceberam a necessidade e importância dessa atividade sistematizada de controle da qualidade dos materiais de construção e do concreto, tanto para assegurar qualidade construtiva quanto para reduzir custos com execução, de modo que o laboratório Falcão Bauer constituiu uma sede fixa no prédio do projetista Sérgio Vieira e do arquiteto Villanova Artigas, além de ampliar o número de peruas-laboratório, seguindo seu slogan de fundação “O laboratório vai à obra”.

Duas obras importantes no final da década de 1950 e no período seguinte tiveram sua execução assessorada pela Fal-

ção Bauer: o Estádio do Morumbi, um dos principais estádios de futebol do Brasil, inaugurado em 1960; e o Edifício Copan, projetado por Niemeyer e um dos ícones da arquitetura moderna de São Paulo, inaugurado em 1966. Nessas obras, a Falcão Bauer realizou ensaios nos materiais utilizados na sua construção.

Por sua vez, em 1958, o Escritório Técnico Prof. Mauro Ribeiro Viegas muda sua razão social para Sociedade Civil de Controle de Concreto e Ensaios de Materiais, quando passou a assessorar as construtoras no controle tecnológico de materiais e do concreto das obras de Brasília, inaugu-

rada em 1960, com um laboratório pioneiro em campo.

Outro trabalho importante desse escritório foi o apoio técnico às obras da Refinaria Duque de Caxias (REDUC), onde foi montado um laboratório de campo para estudos de solo, o que possibilitou ao escritório convencer a firma americana Foster Weller a mudar as especificações dos materiais no projeto para usar granitos brasileiros (Figura 10).

Já, o IPT realizou ensaios de resistência e adensamento para a linha norte-sul do metrô de São Paulo e ensaio de agressividade de águas ao concreto para o Metro do Rio de Janeiro.

LABORATÓRIOS DE CONTROLE TECNOLÓGICO E A FUNDAÇÃO DO IBRACON

Na década de 1970, o Produto Interno Bruto do Brasil crescia vertiginosamente chegando à casa de dois dígitos, com a construção civil crescendo 15% ao ano.

O IPT participava de diversas obras de infraestrutura no país, como pontes, estradas, túneis e obras de saneamento. O Instituto colaborou com todas as etapas de construção da Rodovia dos Imigrantes, que liga a capital paulista às praias da Baixada Santista, e realizou prova de carga na Ponte Rio-Niterói, que foi inaugurada



DIVULGAÇÃO FALCÃO BAUER

Figura 9 — Veículo no qual era montado o laboratório básico da Falcão Bauer para controle tecnológico dos materiais nas obras



DIVULGAÇÃO CONCREMAT

Figura 10 — Estruturas de concreto das obras civis da Refinaria Duque de Caxias, onde o Escritório Técnico Prof. Mauro Ribeiro Viegas montou um laboratório de campo



Divulgação IPT

Divulgação ABCP

Figura 11 — Ponte das Bandeiras



Figura 12 — Centro Tecnológico do Cimento, futura sede da ABCP, em construção em 1976

em 1974. Nesta obra, a Falcão Bauer realizou ensaios de laboratório e campo.

Dois anos antes, os dois laboratórios participaram da execução da Ponte das Bandeiras, uma importante ligação viária entre o centro de São Paulo e sua zona norte (Figura 11).

A ABCP firmou, em 1973, um convênio com a USP para a construção de um centro de pesquisas sobre cimento e concreto na Cidade Universitária. A Universidade de São Paulo cedeu, em regime de comodato, um terreno de 15.000 m² para as instalações do Centro Tecnológico do Cimento (CTC), um projeto de 6.450 m² de área construída, que abrangia laboratórios, administração e auditório, custeado pelas empresas associadas a ABCP (Figura 12).

O secretário-executivo da ABCP na ocasião era o coronel Argos Menna Barreto, que viria a presidir anos depois o Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON. Foi a participação de funcionários do IPT em trabalhos de controle tecnológico do concreto para obras de saneamento do órgão que viria a ser a Sabesp (Companhia de Saneamento de São Paulo) e para estruturas enterradas do Metrô de São Paulo e do Rio de Janeiro, que trouxe à tona questões técnicas relativas à permeabilidade e à durabilidade do concreto, que foram discutidas em colóquios que levaram à fundação do IBRACON, em 1972. A ABCP e o IPT integraram desde o início o quadro societário do IBRACON.

Neste mesmo ano, foi criado o escritório técnico de controle tecnológico do concreto Beton, em Fortaleza, no Ceará, pelo professor da Universidade Federal do Ceará, Afrodísio Durval Gondim Pamplona (Figura 13), que também foi um dos fundadores do IBRACON.

O engenheiro viu na criação do escritório uma oportunidade de negócio,

pois havia muitas obras em construção no estado, a exemplo do Palácio da Abolição, sede do governo estadual. Inicialmente, o escritório usou a estrutura do laboratório da universidade onde o professor Afrodísio Pamplona lecionava para prestar os serviços de controle tecnológico do concreto. “Como naquela época, os equipamentos para o controle tecnológico dos materiais de construção não eram tão acessíveis em nossa região, meu avô e meu tio, Carlito Pamplona, utilizaram das instalações da antiga Escola Técnica (IFCE) como um suporte para serviços de caracterização dos materiais de construção, dosagem do concreto e ensaio de resistência à compressão do concreto”, relata Rafael Pamplona e Souza, diretor atual da Beton.

Uma das primeiras obras atendidas pela Beton foi o controle tecnológico do concreto de todas as etapas de construção do Estádio Governador Plácido Castelo, o Castelão, inaugurado em 1973. A empresa prestou ser-

viços também na época para a construção do Banco Central de Fortaleza (Figura 14) e do Aeroporto Internacional de Fortaleza.

Os engenheiros Afrodísio Pamplona, Mauro Viegas Ribeiro, Walmor Prudêncio, Luiz Alfredo Falcão Bauer, Francisco de Assis Basílio participaram dos colóquios sobre a permeabilidade e durabilidade do concreto, ocorridos em 1971 e 1972, no IPT, que culminaram na fundação do IBRACON.

Em 1972, a Sociedade Civil de Controle de Concreto e Ensaio de Materiais mudou sua razão social para Concremat — Engenharia e Tecnologia, com vistas a desenvolver estudos e projetos, bem como para prestar serviços de recuperação de estruturas e de geotecnia. A empresa montou também um pequeno escritório em São Paulo, para atender às obras do porto de Santos e do Pólo Petroquímico de Cubatão, como a Refinaria de Petróleo União. A empresa contratou o engenheiro Ronaldo Tartuce



Divulgação BETON

Figura 13 — Prof. Afrodísio Durval Gondim Pamplona, fundador da Beton Engenharia, posa ao lado de sua filha, Hilda Pamplona, em evento do setor construtivo

para a filial paulista, que assumiu pouco depois sua direção. Anos depois, Ronaldo Tartuce se tornaria presidente do IBRACON. Como a empresa havia acompanhado

DIVULGAÇÃO BETON



Figura 14 — Banco Central de Fortaleza, cujo concreto foi controlado pela Beton

a execução de reparo do elevado Paulo de Frontin, viaduto que desabou em 1971, matando 48 pessoas, ela foi convidada pelo governo estadual paulista para recuperar a Ponte de Bertioiga, que balançava demasiadamente com a passagem de veículos. No reforço desta obra foram utilizados, pela primeira vez no Brasil, cabos externos de protensão (FONTES, 2008).

No Rio de Janeiro, a Concremat atuava para viabilizar a excelência, durabilidade e economia da aplicação do concreto aparente em fachadas de edifícios, como no caso da Universidade do Estado da Guanabara (hoje, Universidade Estadual do Rio de Janeiro) e do prédio-sede da Petrobras (Figura 15).

Por sua vez, o laboratório Falcão Bauer fez o controle tecnológico do concreto usado na Ponte Rio-Niterói, a maior do hemisfério sul, com comprimento de 13km, com construção iniciada em 1969 e concluída em 1974. Em São Paulo, a empresa realizou o controle da qualidade de todo o concreto usado no trecho norte-sul do metrô e nas estações Sé e São Bento. Na Bahia, a empresa realizou ensaios e análises em materiais utilizados na construção do Complexo Petroquímico de Camaçari, inaugurado em 1978. Também foi pioneira nos estudos de estruturas deterioradas por incêndio tendo tido expressivo protagonismo nos casos de reabilitação estrutural do Edifício Andraus (1972) e Edifício Joelma (1974).

DIVULGAÇÃO CONCREMAT



Figura 15 — Edifício-sede da Petrobras, cujo concreto foi controlado pela Concremat

LABORATÓRIOS BUSCAM ACREDITAÇÃO E QUALIFICAÇÃO

A economia brasileira entrou em recessão na década de 1980 e o setor construtivo viu reduzir o número de obras públicas em andamento. Nos três primeiros anos da década, a indústria cimenteira nacional conviveu com ociosidade de 50% de sua capacidade produtiva.

Para reduzir custos de fabricação do cimento, a ABCP desenvolveu estudos para o emprego em larga escala de matérias-primas alternativas ao clínquer no cimento, como argila calcinada, escórias granuladas de alto-forno, cinzas volantes, o que viabilizou a produção nacional de cimentos com adições de suas associadas.

Em parceria com a Dersa (Desenvolvimento Rodoviário S/A), a ABCP participou desde a definição dos procedimentos de projeto e dimensionamento, passando pela análise de viabilidade econômica, até a caracterização dos materiais, dosagem dos concretos, fiscalização da obra e oferta de cursos para a construtora Queiroz Galvão, responsável pela execução da duplicação em pavimento de concreto de um trecho de 20 km da Rodovia Pedro Taques.

A Falcão Bauer – Centro Tecnológico de Controle da Qualidade foi o primeiro laboratório privado a obter acreditação do INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia e Qualidade Industrial, em 1983, para certificação de materiais voltados para a construção civil.

Segundo Patrícia Bauer, a acreditação é importante porque vincula o laboratório à Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaios (LBLE), que busca padronizar os ensaios dos laboratórios participantes, contribui para a melhoria contínua da qualidade dos serviços prestados pelos laboratórios e promove a troca de informações e conhecimentos entre os laboratórios participantes, “o que pode contribuir para a atualização tecnológica e aprimoramento dos processos e equipamentos utilizados pelos laboratórios”.

A empresa realizou ensaios e análises em materiais utilizados na construção da Usina Nuclear de Angra, na Baixada Fluminense, que começou a operar em 1985.

A Concremat reduziu seu quadro de funcionários de 1500, em 1979, para 800, em 1982. A companhia aproveitou o momento de recessão para implantar internamente seu sistema da qualidade. Os laboratórios no Rio de Janeiro e de São Paulo foram acreditados no

INMETRO em 1989, que passaram a integrar a Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio.

A empresa realizou no período (1979-1986) a fiscalização das obras civis do projeto Ferro-Carajás da Companhia Vale do Rio Doce, no Pará.

Já, a Beton conseguiu o contrato do governo estadual para realizar o controle tecnológico do concreto usado em todos os viadutos a serem construídos na rodovia BR 116, no Ceará. Esta rodovia inicia em Fortaleza e corta longitudinalmente o país (do nordeste ao sul), paralelamente à BR 101. Com este contrato, a empresa experimentou um aumento de sua capacidade operacional e se reestruturou organizacionalmente.

Foi nesta década que o IPT parou de oferecer os serviços de controle tecnológico do concreto em obras, que já eram realizados com qualidade por diversos laboratórios acreditados. O Instituto focou suas atividades em pesquisas e estudos experimentais, inspeção, auditorias, fiscalização e recuperação de estruturas de concreto, além da avaliação do desempenho das estruturas de concreto.

Em 1987, a ISO, fundada em 1947, iniciou o lançamento da série de normas (ISO 9000) com o objetivo de promover diretrizes a serem implementadas em empresas para assegurar a qualidade de processos, produtos e serviços.

A ISO 9000 promoveu a instauração de sistemas da qualidade nas empresas brasileiras

segundo os melhores padrões internacionais. Os processos organizacionais e produtivos das empresas certificadas na ISO 9000 acabaram por otimizar custos e uso de recursos na produção, bem como melhoraram a cultura organizacional e o desempenho dos produtos e serviços prestados por essas empresas.

Essa nova cultura em torno da gestão da qualidade teve impacto nas empresas do setor construtivo, incluindo os laboratórios de controle tecnológico, as construtoras de obras e os fabricantes de materiais. Ela veio a preencher uma carência nas construções das obras, em parte suprida pela atuação pioneira dos laboratórios de controle tecnológico do concreto no país. ☹

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FONTES, Lilian. "A construção de uma vida". Rio de Janeiro: Editora Réptil, 2008.
- [2] INSTITUTO PEDRA. "O acervo do IPT: catálogo do acervo histórico do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro: Versal Editores, 2022.
- [3] MOUTINHO, Maurício. "INT: um século de inovações para o Brasil". Rio de Janeiro: INT, 2022.
- [4] VARGAS, Milton. "História da técnica e da tecnologia no Brasil". São Paulo: Editora Unesp, 1994.
- [5] VASCONCELOS, Augusto Carlos de. "O concreto no Brasil: recordes — realizações — história". São Paulo: PINI Editora, 2ª edição, 1992

Sistemas de Fôrmas para Edifícios

Recomendações para a melhoria da qualidade e da produtividade com redução de custos



ANTONIO CARLOS ZORZI

SISTEMAS DE FÔRMAS PARA EDIFÍCIOS: RECOMENDAÇÕES PARA A MELHORIA DA QUALIDADE E DA PRODUTIVIDADE COM REDUÇÃO DE CUSTOS

Autor: Antonio Carlos Zorzi

O livro propõe diretrizes para a racionalização de sistemas de fôrmas empregados na execução de estruturas de concreto armado e que utilizam o molde em madeira

As propostas foram embasadas na vasta experiência do autor, diretor de engenharia da Cyrela, sendo retiradas de sua dissertação de mestrado sobre o tema.

DADOS TÉCNICOS

ISBN 9788598576237
Formato: 18,6 cm x 23,3 cm
Páginas: 195
Acabamento: Capa dura
Ano da publicação: 2015

Patrocínio



Aquisição:
www.ibracon.org.br
(Loja Virtual)

Profissionais brasileiros no Fall Convention 2022

O *Fall Convention* do *American Concrete Institute (ACI)* ocorreu de 23 a 27 de outubro, no hotel Hyatt Regency, em Dallas, no Texas, reunindo os profissionais da cadeia produtiva mundial do concreto para reuniões e apresentações dos diversos comitês da entidade.

Precedendo o evento, o ACI promoveu, no dia 22, o *Internacional Workshop on Structural Concrete*, no qual o diretor da



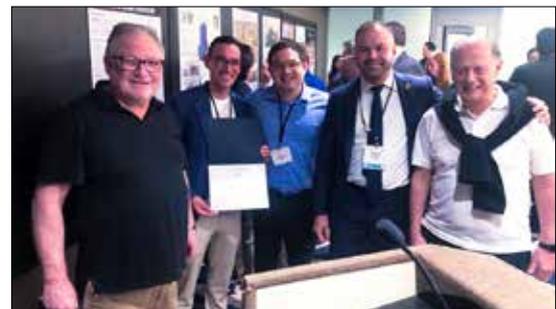
Eng. Francisco Graziano apresentando o *Faria Lima Building*

PhD Engenharia, Eng. Douglas Couto, associada coletiva do IBRACON, apresentou palestra sobre o Edifício Leopoldo 1201, obra premiada no 2021 *ACI Excellence Concrete Construction Awards*, na categoria "Edifícios Altos".

O Edifício Leopoldo 1201, com projeto estrutural da Ávila Engenharia, projeto arquitetônico da Aflalo & Gasperini Arquitetos, possui fachadas em concreto aparente, com visual e textura imitando ripas de madeira. O concreto foi fornecido pela Engemix, associada mantenedora do IBRACON, com consultoria da PhD Engenharia.

O *ACI Excellence in Concrete Construction Awards* é uma premiação promovida pelo ACI para homenagear as obras de concreto mais inovadoras no mundo. Na 7ª edição do prêmio, ocorrida no ano passado, outra obra brasileira foi premiada - o *Faria Lima Building*, cujo projeto estrutural é do escritório Pasqua & Graziano.

Na abertura do *Fall Convention*, o presidente do ACI, Charles Nmai, que parti-



Vice-presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman, em primeiro plano, com associados do IBRACON

cipou como congressistas e palestrante do Congresso Brasileiro do Concreto - Jubileu de Ouro, realizado em Brasília, em 2022, "rasgou elogios ao evento do IBRACON", comentou o vice-presidente do Instituto, Eng. Júlio Timerman.

Associados ao IBRACON participaram ativamente das reuniões dos Comitês Técnicos do ACI, entre os quais Selmo Kuperman, Francisco Graziano, Douglas Couto, Julio Timerman e Rafael Timerman.



AMTECH
QUÍMICOS PARA CONSTRUÇÃO

- **IMPERMEABILIZAÇÕES**
- **PISOS INDUSTRIAIS**
- **TECNOLOGIA DO CONCRETO**
- **ENGENHARIA DIAGNÓSTICA**

#CONCRETONAFORESTA

☎ Telefone: (92) 98117-7532

✉ E-mail: amtech.manaus@gmail.com

📷 Instagram: @amtechmao

Prêmio ACI de Excelência em Construções em Concreto 2023

Atualmente, o *American Concrete Institute – ACI* promove o Prêmio Excelência em Construção de Concreto, que prestigia as construções em concreto reconhecidos por sua inovação, complexidade, realização e valor agregado ao concreto. Quem faz as indicações das obras brasi-

leiras é o Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON.

Os associados do IBRACON podem candidatar suas obras para concorrer ao Prêmio. Para atender ao regulamento, as obras precisam ter sido concluídas entre 29 de abril de 2020 e 30 de março de 2023, e devem destacar o uso inovador do concreto.

As submissões podem ser feitas até 25 de abril.

As submissões serão julgadas por uma comissão do IBRACON, que escolherá uma obra por categoria da premiação.

Mais informações:
www.ibracon.org.br

O best seller da engenharia de materiais de construção não pode faltar na sua biblioteca!



Ficha Técnica
ISBN / ISSN: 978-85-98576-27-5
Edição: 3ª edição
Páginas: 1760
Formato: 18,6 x 23,3 cm
Acabamento: Capa Dura
Ano de Publicação: 2017
Peso: 6,5 Kg

O livro "Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais" é a mais completa fonte de consulta para estudantes, professores e profissionais da engenharia.

Dividido em dois volumes, o livro é composto por 52 capítulos escritos por 86 reconhecidos especialistas brasileiros, totalmente referenciado nas normas brasileiras vigentes e de acordo com as práticas nacionais da mais alta qualidade da engenharia civil em vigor.

Garanta seus exemplares!
Acesse a Loja Virtual do IBRACON
www.ibracon.org.br

Comitê IBRACON de Argamassa Estabilizada realiza sua primeira reunião

No último dia 1º de fevereiro, o Comitê IBRACON de Argamassa Estabilizada realizou sua primeira reunião, na qual escolheu sua secretária, a Eng. Cíntia Slaiffer (Bennter), e definiu seu cronograma de trabalho. A reunião contou com 30 profissio-

nais de vários segmentos da construção, representando diversas empresas e instituições.

O Comitê foi recentemente instalado para discutir o uso da argamassa estabilizada, tecnologia cada vez mais utilizada no país para assentamento de

alvenarias (estrutural e de vedação) e contrapisos (secos, fluidos e autonivelantes) e para revestimento de paredes e tetos.

Ele deve lançar práticas recomendadas sobre argamassa estabilizada e realizar seminários sobre o tema.

Simpósio sobre concreto de ultra-alto desempenho

O *Third North American UHPC Symposium* acontece de 4 a 7 de junho, em Wilmington, em Delaware, nos Estados Unidos.

O evento vai abordar a dosagem, produção, comportamento estrutural, procedimentos de ensaio, durabilidade e impressão aditiva do concreto de ultra-alto desempenho (UHPC), bem como a análise, projeto estrutural e modelagem das estruturas e componentes feitos com UHPC.

Mais informações:

www.uhpcsymposium.com



Seminário sobre desempenho e durabilidade das estruturas de concreto

O Seminário Internacional sobre Desempenho e Durabilidade das Estruturas de Concreto (Durar) será realizado nos dias 27 e 28 de junho, em Goiânia.

Em sua quinta edição, o evento vai tratar dos mecanismos de deterioração das estruturas de concreto, com foco no desempenho dos sistemas estruturais em concreto.

Durante a realização do evento, haverá o Encontro RILEM sobre indicadores de durabilidade e modelos preditivos de vida útil das estruturas de concreto. Realização da Universidade Federal de Goiás e de Furnas, o evento conta com o apoio do IBRACON.

Mais informações:

www.durar2023.com



Rilem Week 2023 recebe trabalhos

A Rilem Week 2023, um dos mais importantes eventos da entidade, que vai ser realizado de 4 a 8 de Setembro, no hotel Sheraton, em Vancouver, no Canadá, recebe traba-

lhos técnico-científicos até 31 de março. O evento vai trazer os mais recentes avanços no desenvolvimento de materiais de construção e reunirá pesquisadores e profissionais da indústria da

construção. As inscrições para a Rilem Week 2023 estão abertas e com preços promocionais.

Mais informações:
www.rilemweek2023.com

5º Degrada recebe trabalhos



O 5º Encontro Luso-Brasileiro de Degradação em Estruturas de Concreto vai acontecer em Goiânia, de 23 a 24 de agosto de 2023. O evento, realizado pela Universidade Federal de Goiás, receberá submissões de trabalhos até 23 de abril.

Mais informações:
degrada2023.com.br

Curso sobre concreto em situação de incêndio

Será realizado em 27 de março o curso "Comportamento do concreto em situação de incêndio (parte 1) e desempenho de revestimentos contrafogo - aplicações em concreto armado (parte 2)", nas modalidades presencial (sede do IBRACON) e virtual. O curso vai explicar o comportamento do



concreto em situação de incêndio e elucidar as melhores práticas em proteção passiva contra incêndio em estruturas de concreto de edifícios.

O instrutor é o Eng. Carlos Brites, diretor técnico do IBRACON, com pós-doutorado na área pela Poli-USP.

Cursos de Inspetor I e II

O curso "Inspeção de Estruturas de Concreto segundo a ABNT NBR 16230" apresenta conteúdos técnicos para a formação de inspetores I e II de estruturas de concreto.

Além da atribuição dos inspetores de estruturas, o curso aborda os conteúdos da ABNT NBR 9452 Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto, capacitam-

do os profissionais a conhecer os diferentes tipos de inspeção, diagnosticar o quadro patológico das estruturas de concreto, especificar a metodologia de reabilitação e elaborar relatório técnico visando manter ou restabelecer requisitos de segurança estrutural, funcionalidade e durabilidade. Com carga horária de 25 horas, o curso será ministrado on-line, nas

datas mostradas na tabela abaixo.

Associados do IBRACON tem 15% de descontos na inscrição.

O curso integra o Programa MasterPEC (Programa Master em Produção de Estruturas de Concreto), sendo organizada conjuntamente pelo IBRACON e IDD.

Informações:
www.idd.edu.br

Curso	Mai/22	Jun/22	Jul/22	ago/22	set/22	out/22	nov/22	dez/22
INSPECTOR I	8 a 12/5/2023	—	—	7 a 11/8/2023	—	—	6 a 10/11/2023	—
INSPECTOR II	—	12 a 16/6/2023	—	—	11 a 15/9/2023	—	—	4 a 8/12/2023

ACONTECE NAS REGIONAIS

3º Sem. Nac. de Obras Civis na Regional do Paraná

No último dia 14 de fevereiro, ocorreu a abertura do 3º Seminário Nacional de Obras Civis, com as presenças do Diretor da Regional Paraná, Prof. Luís Cesar De Luca, o Diretor de Relações Institucionais, Prof. Cesar Daher, do Presidente

do IBRACON, Prof. Paulo Helene e do ex-presidente, Prof. José Marques Filho. A noite foi de muito conhecimento e troca de informações sobre as lições aprendidas com os tristes acidentes nas construções. O evento gratuito e social, foi transmitido

ao vivo e contou com a participação de mais de 1.900 engenheiros civis e arquitetos que, além de terem acesso a um conteúdo exclusivo, participaram do sorteio de livros do IBRACON e da assinatura da Revista CONCRETO & Construções.

VII Encontro sobre Tecnologia do Concreto

Vai acontecer no dia 23 de março o VII Encontro sobre Tecnologia do Concreto no espaço multiuso da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul.

Realização conjunta do IBRACON e da UFMS, o evento vai discutir a estanqueidade e seus desafios. Os palestrantes são: Andrés Cheung, que vai abordar o controle de fissuração em reservatório; Sandra Bertocini,

que vai trazer as boas práticas do uso do concreto no saneamento; e Emílio Takagi, que vai tratar do concreto com cristalizante.

Mais informações:

<http://encurtador.com.br/hkBFY>

Encontro Regional no Pará

O 28º Encontro Regional no Pará vai acontecer de 14 a 16 de junho, no campus de Belém do Instituto Federal do Pará.

No evento, que abordará o tema “O uso de concretos sustentáveis e sua influência no clima da Amazônia”, haverá apresentações de trabalhos submetidos, palestras,

workshops, minicursos, concursos estu-
dantis, feira e visitas técnicas.

Mais informações:

<https://beacons.ai/ibraconpa>

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

Macrofibras poliméricas para concreto destinado a aplicações estruturais: definições, especificações e conformidade

Elaborada pelo CT 303 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE sobre *Uso de Materiais não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras*, a Prática Recomendada especifica os requisitos técnicos das macrofibras poliméricas para uso em concreto estrutural.

A Prática Recomendada abrange macrofibras para uso em todos os tipos de concreto, incluindo concreto projetado, para pavimentos, pré-moldados, moldados no local e concretos de reparo.

AQUISIÇÃO

www.ibracon.org.br (Loja Virtual)

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-29-9

Edição: 1ª edição

Formato: eletrônico

Páginas: 37

Acabamento: digital

Ano da publicação: 2017

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

MACROFIBRAS POLIMÉRICAS PARA CONCRETO
DESTINADO A APLICAÇÕES ESTRUTURAIS



COMITÊ 303: Materiais não convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras

GT4: Caracterização de materiais não convencionais e fibras para reforço estrutural

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio
Representante CTA: Sofia Maria Carrato Diniz

Patrocínio





Instituto Brasileiro do Concreto

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

Fundado 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



64° Congresso Brasileiro do Concreto

Florianópolis 2023

18 a 21 de outubro

CONCRETIZANDO A INOVAÇÃO E A SUSTENTABILIDADE

Participe do **Maior Fórum Técnico Nacional de Debates** sobre a **Tecnologia do Concreto e Seus Sistemas Construtivos**

Patrocínio e Exposição (Centrosul)

- Estreite relacionamentos na **XVIII Feibracon – Feira Brasileira da Construção em Concreto**
- Associe **sua marca** ao **conjunto de empresas comprometidas com a qualidade na construção e sustentabilidade do setor**
- Cative **seu público** com uma **apresentação técnico-comercial** no **Seminário de Novas Tecnologias**

Contato: ARLENE LIMA
Tel.: (11) 3735-0202
e-mail: arlene@ibracon.org.br

Palestrantes Internacionais

- Prof. Dr. Venkatesh K. R. Kodur
(Michigan State University)
- Dr. Ahmad A. Hamid
(Drexel University)

Concursos Estudantis

- Aparato de Proteção ao Ovo – APO
- Concrebol
- Concreto Colorido de Alta Resistência – COCAR
- Ousadia
- Concreto: Quem sabe faz ao vivo

**CONHEÇA AS COTAS
DE PATROCÍNIOS**

INSCRIÇÃO

Inscriva-se com desconto até **30 de Junho**.
<https://concreto.org.br/64cbc/inscricoes/>



MAIS INFORMAÇÕES

www.ibracon.org.br [ibracon_oficial](https://www.instagram.com/ibracon_oficial) [ibraconOffice](https://www.facebook.com/ibraconOffice) office@ibracon.org.br

Av. Queiroz Filho, 1.700 – sala 407/408 – Torre D – Villa Lobos Office Park – 05319-000 – Vila Hamburguesa – São Paulo – SP – Tel. (11) 3735-0202