

# CONCRETO

& Construções

**OBRAS DE INFRAESTRUTURA**

## CONCRETO PARA USINAS HIDRELÉTRICAS, TÚNEIS, PAVIMENTOS, PONTES E OBRAS DE SANEAMENTO



**IBRACON**  
Instituto Brasileiro de Concreto

Ano XLV

**88**

OUT-DEZ  
2017

ISSN 1809-7197  
[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)



**PERSONALIDADE ENTREVISTADA**

**MAURICE ANTOINE TRABOULSI:  
CONTROLE TECNOLÓGICO PARA  
ASSEGURAR QUALIDADE CONSTRUTIVA**

**ENTIDADES DA CADEIA**

**IBRACON PASSA A INTEGRAR  
GRUPO NACIONAL DA fib**

**59º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO**

**CONHEÇA AS PREMIAÇÕES  
E AS DISCUSSÕES OCORRIDAS  
NO EVENTO**

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

## ADITIVOS



## ADIÇÕES



## EQUIPAMENTOS



## ARMADURA



## RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL



Pires | Giovanetti | Guardio  
Tecnologias de Edificações

## ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



Escola Politécnica - USP



## ESCRITÓRIOS DE PROJETOS



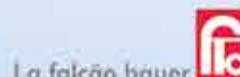
## JUNTE-SE A ELAS

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

### PRÉ-FABRICADOS



### CONTROLE TECNOLÓGICO



### CONSTRUTORAS



### FÓRMAS



### CIMENTO



LafargeHolcim



Associação Brasileira de Cimento Portland



CIMENTO NACIONAL



### GOVERNO



### CONCRETO



Esta edição é um oferecimento das seguintes Entidades e Empresas



**Adote concretamente**

a revista **CONCRETO & Construções**



## SEÇÕES

- 6 Editorial
- 7 Coluna Institucional
- 8 Converse com o IBRACON
- 9 Encontros e Notícias
- 12 Personalidade Entrevistada: Maurice Antoine Traboulsi
- 59 Entidades da Cadeia
- 113 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: 5.000 exemplares  
Publicação trimestral distribuída gratuitamente aos associados

### JORNALISTA RESPONSÁVEL

→ Fábio Luís Pedroso  
MTB 41.728/SP  
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

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

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

© Copyright 2017 IBRACON

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

### PRESIDENTE DO COMITÊ EDITORIAL

→ Guilherme Parsekian  
(alvenaria estrutural)

### COMITÊ EDITORIAL – MEMBROS

- Arnaldo Forti Battagin  
(cimento e sustentabilidade)
- Bernardo Tutikian  
(tecnologia)
- Eduardo Millen  
(pré-moldado)
- Enio Pazini Figueiredo  
(durabilidade)
- Erico Thomaz  
(sistemas construtivos)
- Evandro Duarte  
(protendido)
- Frederico Falconi  
(projetista de fundações)
- Guilherme Parsekian  
(alvenaria estrutural)
- Helena Carasek  
(argamassas)
- Hugo Rodrigues  
(cimento e comunicação)
- Inês L. da Silva Battagin  
(normalização)
- Íria Lícia Oliva Doniak  
(pré-fabricados)
- José Martins Laginha Neto  
(projeto estrutural)
- José Tadeu Balbo  
(pavimentação)
- Mário Rocha  
(sistemas construtivos)
- Nelson Covas  
(informática no projeto estrutural)
- Paulo E. Fonseca de Campos  
(arquitetura)
- Paulo Helene  
(concreto, reabilitação)
- Selmo Chapira Kuperman  
(barragens)

### IBRACON

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



### INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

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

### DIRETOR PRESIDENTE

Julio Timerman

### DIRETOR 1º VICE-PRESIDENTE

Luiz Prado Vieira Júnior

### DIRETOR 2º VICE-PRESIDENTE

Bernardo Tutikian

### DIRETOR 1º SECRETÁRIO

Antonio D. de Figueiredo

### DIRETOR 2º SECRETÁRIO

Carlos José Massucato

### DIRETOR 1º TESOUREIRO

Claudio Sbrighi Neto

### DIRETOR 2º TESOUREIRO

Nelson Covas

### DIRETOR DE MARKETING

Hugo Rodrigues

### DIRETOR DE EVENTOS

César Daher

### DIRETOR TÉCNICO

Paulo Helene

### DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS

Túlio Nogueira Bittencourt

### DIRETORA DE PUBLICAÇÕES E DIVULGAÇÃO TÉCNICA

Íria Lícia Oliva Doniak

### DIRETOR DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

Leandro Mouta Trautwein

### DIRETOR DE CURSOS

Enio José Pazini Figueiredo

### DIRETOR DE CERTIFICAÇÃO DE MÃO DE OBRA

Gilberto Antônio Giuzio

### DIRETORA DE ATIVIDADES ESTUDANTIS

Jéssika Pacheco

## 59º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

24 Congresso debate ensino de engenharia e difunde pesquisas sobre o concreto e suas estruturas

34 Prêmio de Destaques de 2017

38 Dissertações premiadas em 2017

39 Vencedores dos concursos estudantis do IBRACON

51 Eleição do Conselho Diretor do IBRACON

### ENTENDENDO O CONCRETO

53 Estrutura: a criação de um conceito para a construção

### OBRAS EMBLEMÁTICAS

62 Registro fotográfico da construção de usina hidrelétrica de Itaipu

68 Construção e desempenho do vertedouro extravasor de troncos da UHE Santo Antonio

### ESTRUTURAS EM DETALHES

79 Parâmetros para especificação e controle do concreto projetado com fibras aplicado em revestimentos de túneis

86 Projeto de segmentos para obras de túneis com tuneladora utilizando CRF

93 Comparação entre trem-tipo padrão e especial em pontes rodoviárias

### PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

97 Execução de tubos de concreto com baixo consumo de cimento e uso de fibras de aço como reforço estrutural

### INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

104 Análise comparativa entre métodos de alargamento e reforço de pontes de concreto armado



# O concreto Brasil que dá certo

Caro leitor,

bras de infraestrutura são a base do desenvolvimento do país. Usinas para geração de energia possibilitam bem-estar aos cidadãos e recursos para o funcionamento de nossa indústria e comércio; pontes e túneis viabilizam a interligação de estradas e o transporte de pessoas e produtos; tubos de concreto formam redes de saneamento para população urbana. Obras de infraestrutura é o tema de capa desta edição. Essas obras só são possíveis com a participação organizada de vários agentes, nas fases de planejamento, concepção, desenvolvimento e detalhamento do projeto, sua verificação por inúmeros modelos e análises, o desenvolvimento da infraestrutura de apoio e de logística para a fase de construção, com a dedicação de milhares de operários e engenheiros (e médicos, dentistas, professores, comerciantes etc.). Recordo-me de minha infância, quando meu saudoso pai, Eng. Rapiel Parsekian, era um dos engenheiros da construção da UHE de Itaipu. Toda manhã ele corria a obra, para somente depois se dirigir aos escritórios. Aos finais de semana, sempre dava uma passada para, em uma época sem internet, conferir o andamento das concretagens, quando o acompanhei várias vezes. Um pouco dessa época pode ser conferido no acervo fotográfico da construção, aqui disponibilizado. A finalização de uma grande obra é o começo de outra fase, tão grande quanto, ou talvez maior, de operação, manutenção e constante atualização. Uma nova equipe de qualificados engenheiros e de diversos outros profissionais têm hoje esse grande desafio.

Quanto tempo dura uma obra como Itaipu? Com a permissão do Prof. Paulo Helene para citá-lo, temos a benção de poder fazer, em tempo recorde, um concreto moldado conforme a necessidade, quando a natureza leva milhares de anos para realizar pedras naturais em formas difusas. Às vezes, esse assume proporção gigantesca, como grandes barragens, que, com a devida inspeção, manutenção, reparações, pode durar indefinidamente. Sobre barragens, a entrevista com o Eng Maurice A. Traboulsi é imperdível. O renomado profissional relata um pouco de sua vasta experiência no tema.

Alguém já disse que médicos salvam vidas. Engenheiros civis constroem os hospitais, as obras de saneamento, pavimentação, moradias e outras fundamentais para aumento da qualidade e da expectativa de vida das pessoas. Como são formados os engenheiros civis brasileiros? Esse foi, pelo segundo ano, um tópico de concorrida sessão do 59º Congresso Brasileiro do Concreto, ocorrido em novembro em Bento Gonçalves (RS), tema desta revista, conforme

comentado na página seguinte pelo Prof. Leandro Mouta Trautwein. A qualificação acadêmica de nossos professores, com mestrado e doutorado, é fundamental para qualidade dos cursos. Porém, como permitir experiência prática aos nossos jovens doutores? Como mesclar experiência acadêmica e profissional no corpo docente dos cursos de engenharia civil? Como reconhecer trabalhos práticos, aplicados ao desenvolvimento da nossa profissão, dentro da academia? Um pouco da discussão ocorrida em Bento Gonçalves é relatada aqui.

Agradecemos a parceria estabelecida com o Infohab sediado na Unochapecó, sob a coordenação do Prof. Claudio A. Jacoski. Aos poucos, todo o acervo da CONCRETO & Construções está sendo disponibilizado nessa base de dados, facilitando o acesso aos conteúdos da revista.

Registra-se a eleição do novo Conselho Diretor do IBRACON, que reelegeu o Eng. Júlio Timerman para mais dois anos de gestão (2017-2019), em continuidade ao seu excelente trabalho.

Cursos, congressos, workshops, seminários, concursos, publicações ... o IBRACON não para nem mede esforços para cumprir sua missão de produzir e divulgar conhecimento.

Tudo isso é um pouco do Brasil que dá certo, que é qualificado, dedicado e referência mundial. A Revista CONCRETO & Construções traz um pouco desse mundo, o que só é possível com contribuição voluntária do seu Comitê Editorial, autores e de parceiros da indústria, com a coordenação do Editor Fábio L. Pedroso e do Diretor de Publicações (2015-2017) Eng Eduardo B. Millen. Tive a honra e grande felicidade de fazer parte desse comitê nos últimos seis anos. Tenho a certeza de que a Revista continuará a ser um importante registro do que há de melhor da engenharia nacional.

Para o próximo ano estão propostos temas como “Construções em Concreto em Situação de Incêndio”, “Soluções Concretas Para Edificações”, “Certificação de Qualidade de Projetos e Obras” e “Inspeção, Manutenção e Reabilitação de Construções em Concreto”.

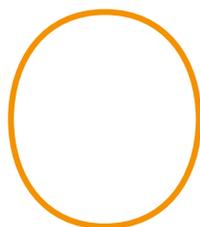
Boa leitura.



GUILHERME PARSEKIAN  
PRESIDENTE DO COMITÊ EDITORIAL



# Congresso Brasileiro do Concreto propicia ambiente para interação da cadeia produtiva do concreto



59º Congresso Brasileiro do Concreto ocorreu de 31 de outubro a 3 de novembro,

em Bento Gonçalves (RS). O evento, de caráter técnico-científico, com o objetivo de divulgar a tecnologia do concreto e seus sistemas construtivos, teve como tema “O concreto para a retomada do desenvolvimento da Infraestrutura Nacional”, contando com a presença de mais de 1000 pessoas, entre profissionais, professores e estudantes, vindos de todos os estados brasileiros e do exterior.

Dos mais de 1000 artigos recebidos, foram publicados nos anais do evento 860 artigos, de pesquisadores acadêmicos e de profissionais da área de engenharia. A avaliação e revisão desses artigos coube à Comissão Científica, formada por 170 profissionais, que, em média, revisaram mais de 6 artigos cada um. Venho aqui novamente em nome de toda a diretoria do IBRACON agradecer à Comissão Científica por sua contribuição para assegurar a programação técnico-científica do 59º CBC.

Esses trabalhos trataram de temas complexos, variados e, algumas vezes, controversos, todos voltados ao concreto, na área de estruturas, ou de materiais. Os temas que receberam o maior número de artigos foram “Análise Estrutural” (183 artigos) e “Materiais e Propriedades” (210 artigos). Destaco também a grande quantidade de artigos relacionados ao tema “Sustentabilidade”, demonstrando o grande inte-



resse dos pesquisadores por novas tecnologias e novos materiais aplicados na área do concreto.

Foram realizadas durante o evento 29 sessões orais, com 209 trabalhos apresentados, e 9 sessões pôsteres, com mais de 400 trabalhos apresentados. Em nome da diretoria do IBRACON quero agradecer novamente a todos que colaboraram na coordenação das mesas das sessões orais e das sessões pôsteres do 59º CBC, que contaram com grande número de congressistas, interagindo e debaten-

do com os apresentadores, com mediação dos coordenadores de mesa.

A avaliação que faço do 59º Congresso Brasileiro do Concreto é muito positiva, pois propiciou novamente um ambiente para seus participantes adquirirem novos conhecimentos, conhecerem novas tecnologias, e interagirem entre si.

O 60º Congresso Brasileiro do Concreto ocorrerá em Foz do Iguaçu (PR), durante os dias 17 e 21 de setembro de 2018, sendo que as atividades para organização do evento já se iniciaram. No ano de 2018, o Prêmio de Teses e Dissertações será para os melhores trabalhos de Doutorado nas áreas de materiais e estruturas. No próximo evento teremos também o concurso para o prêmio de destaque em relação aos trabalhos de conclusão de curso em engenharia civil relacionados à área de concreto.

Fique informado.

LEANDRO MOUTA TRAUTWEIN

DIRETOR DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DO IBRACON

## Instalação do Comitê da Norma Alvenaria Estrutural

Em 15 de setembro de 2017 foi realizada na UFSCar, em São Carlos, a reunião de instalação da ABNT/CE-002:123.010 – Comissão de Estudo de Alvenaria Estrutural. O Superintendente do CB-002 – Comitê Brasileiro da Construção Civil, Sr. Salvador Benevides, realizou explanação sobre os processos e conceitos de normalização e funcionamento das Comissões de Estudos, ressaltando modificações recentes nas classificações, antes identificadas como Produtor, Neutro ou Consumidor, agora identificadas em 14 categorias distintas conforme PI/DT 00.00. Indicou o Escopo da Comissão: “Normalização no campo de alvenaria estrutural, no que concerne a projeto e execução”, substituindo as normas NBR 15812 (blocos cerâmicos) e NBR 15961 (blocos de concreto).

Salvador indicou a Eng. Guilherme

Parsekian (UFSCar), para coordenar a Comissão, e, como secretário, o Eng. Bruno Frasson (ANICER). Participaram da reunião representantes da ANICER, Avilla Projetos, Cerâmica City, IPT, JR Andrade, Pedreira Engenharia, Sindicer, Sinduscon, Steng Engenharia, UFRN, UFSCar, USP, Wendler Projetos.

Dentro os aspectos em discussão incluem-se novas aplicações, como Alvenaria Participante de pórticos, paredes muito esbeltas, cálculo de painéis, uso de tijolos maciços e respostas a vários questionamentos técnicos, tais como: consideração de efeitos de segunda ordem, consideração da armadura em elemen-



tos comprimidos, tensão de escoamento do aço nos dimensionamentos, parâmetros limite para estabilidade global, deslocamentos laterais, dimensionamento de vigas; revisão nas especificações para controle de obras; e outras.

A comissão aprovou que a norma não tratará de sismos e segurança contra incêndio e que tais assuntos deverão ser debatidos em grupos de trabalhos a serem criados.

O trabalho será finalizado em 2017.

## Indexação da CONCRETO & Construções no Infohab

Os artigos das edições da Revista CONCRETO & Construções passaram a ser indexados na plataforma on-line “InfoHAB”, portal eletrônico de referência e informação na área do ambiente construído.

Concebido e dirigido pela Antac – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, o portal é coordenado pelo Prof. Cláudio Alcides Jacoski, com equipe técnica da Unocheapecó, e conta com o apoio financeiro da Finep, do Programa RHAÉ do CNPq e da Caixa Econômica Federal.

Entre os objetivos do portal, citam-se:

► Contribuir com a difusão das informações tecnológicas, proporcio-

nando a integração entre a área acadêmica e os setores técnicos e produtivos da Construção Civil;

► Colaborar com o educador na orientação e fornecimento de referências na área do ambiente construído;

► Manter uma fonte atualizada de informações para pesquisadores e estudantes, para construtoras, fabricantes e fornecedores de materiais e serviços, empresas de engenharia e arquitetura, incorporadores e outros setores ligados ao processo produtivo da construção e seu desenvolvimento tecnológico;

► Contribuir para uma análise das condicionantes e estratégias para a

implantação de novas tecnologias, incentivando o uso da inovação desenvolvida para condições nacionais;

► Contribuir para o aumento da competitividade das empresas a partir da incorporação de avanços tecnológicos;

► Favorecer a melhoria de qualidade e produtividade no setor da Construção Civil.

Para ter acesso aos artigos da Revista CONCRETO & Construções, acesse o site [www.infohab.org.br](http://www.infohab.org.br) e faça seu registro. Em seguida, clique em Buscar no Acervo e faça sua busca, optando por artigo de periódico, pesquisando por nome de autores, títulos ou resumo. ☛

## Dam World 2018 será realizada conjuntamente com o 60º CBC

A 3ª Conferência Internacional sobre Barragens (Dam World 2018) será realizada em Foz do Iguaçu, de 17 a 21 de setembro, juntamente com o 60º Congresso Brasileiro do Concreto.

Organizada pelo IBRACON e pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), o evento vai discutir os aspectos políticos, econômicos, ambientais e técnicos relacionados com a construção e manutenção de barragens.

O evento recebe trabalhos técnico-científicos até 13 de março.

→ **Mais informações:**

[www.damworld2018.org](http://www.damworld2018.org)



## Congresso Brasileiro de Patologia das Construções

A Associação Brasileira de Patologia das Construções (Alconpat Brasil) realiza de 18 a 20 de abril, em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, a terceira edição do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções (CBPAT 2018).

Fórum de debates sobre o controle de qualidade de obras, patologia e recuperação de estruturas, o evento vai divulgar as pesquisas científicas e tecnológicas sobre esses temas e áreas correlatas.

As inscrições para o evento estão abertas, com preços promocionais até 15 de janeiro de 2018.

→ **Mais informações:**

<https://alconpat.org.br/cbpat2018/>

# consultoria e projetos estruturais



*viabilização de tráfego de cargas especiais*

*recuperação e reforço de edificações*



*adequação funcional de obras de arte*

*projetos de obras de arte*



*soluções de qualidade*

[www.engeti.eng.br](http://www.engeti.eng.br)

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



## Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos



# TECSIC 2017

Aconteceu em 03 e 04 de agosto último na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) o 1º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos (TECSIC 2017), organizado pelo recém-criado Grupo de Trabalho de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos da Associação Nacional

de Tecnologia do Ambiente Construído (Antac), com colaboração do IBRACON e da Abcic.

Foram apresentados 48 artigos no evento, disponíveis no endereço <https://proceedings.galoa.com.br/tecsic?lang=pt-br>.

No Workshop foram realizadas duas mesas-redondas com as temas “De-

envolvimento dos processos e sistemas construtivos no Brasil de amanhã” e “Interação universidade-indústria no desenvolvimento dos processos e sistemas construtivos”.

A 2ª edição ocorrerá em 2019 no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT).



# TYTRO®

## Sistema para Concreto Projetado

- ▶ SISTEMA AVANÇADO
- ▶ INSTALAÇÃO EFICIENTE
- ▶ SUPORTE CONFIÁVEL

### CONCRETO PROJETADO

- Sistema Completo e avançado
- Misturas eficientes para otimização de custos
- Menores tempos de ciclos
- Desperdício mínimo de material

### IMPERMEABILIZANTES

- Excelente adesão através de pulverização
- Cura rápida e monolítica
- Permite uma única camada impermeável de concreto projetado
- Garantia da qualidade nas obras, através de testes com softwares inovadores

### INJEÇÕES

- Instalação fácil e rápida
- Equipe técnica experiente
- Distribuidores e instaladores certificados

### PROTEÇÃO AO FOGO

- Aplicação por pulverização
- Excelente aderência
- Instalação fácil e rápida



## Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações

A segunda edição do livro “Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações” foi recentemente lançada pela editora Oficina de Textos, 17 anos após a primeira edição. Revista e ampliada, a obra do professor do Departamento de Engenharia e Estruturas da Escola de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP), Mounir Khalil El Debs, é voltada a alunos e profissionais de engenharia civil e arquitetura.

Com 456 páginas e 13 capítulos, o livro compreende desde os fundamentos do concreto pré-moldado, passando por suas aplicações em edifícios, pontes e outras construções, sendo completada com os elementos de produção especializada. O conteúdo baseou-se na última atualização da norma brasileira ABNT NBR 9062:2017 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.



## 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.

### 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

### AQUISIÇÃO

[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br) (Loja Virtual)

### Patrocínio



# Maurice Antoine Traboulsi



**M**aurice Antoine Traboulsi é engenheiro civil pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Filho de libaneses, natural de Beirute, interessou-se pela engenharia civil e, especialmente, por barragens ao assistir um documentário quando tinha apenas 10 anos. No Brasil, após fazer estágio na extinta Encol, na construção de um shopping center, decidiu entrar em Furnas e cumprir a autoprofecia que havia feito quando menino.

Como engenheiro civil da Eletrobras Furnas, Maurice tem larga experiência em controle de materiais e tecnologia de concreto para barragens, prestando serviços na construção de usinas hidrelétricas no Brasil e no exterior, como as usinas Serra da Mesa, Corumbá, Lajeado, Salto Caxias, Foz do Chapecó, Peixe, Simplicio, Santo Antônio, Belo Monte, Capanda (Angola), Pinalito (República Dominicana), Orinoco (Venezuela), entre outras.

**IBRACON – CONTE-**  
NOS SOBRE SUA CARREIRA  
PROFISSIONAL, DESDE  
A ESCOLHA EM CURSAR  
ENGENHARIA CIVIL NA  
PUC-GOÍÁS, TRABALHAR  
COMO ENGENHEIRO  
TECNOLOGISTA EM  
FURNAS, DETALHANDO  
SUAS PRINCIPAIS ATIVIDADES  
NESTA EMPRESA, E TER FEITO  
MESTRADO NA UFRGS  
E MBA EM GESTÃO E  
LIDERANÇA NA FUNDAÇÃO  
GETÚLIO VARGAS.

**MAURICE ANTOINE TRABOULSI**  
– Na verdade, o meu primeiro contato com o mundo das barragens aconteceu em Beirute, no Líbano, minha terra natal. Tinha apenas 10 anos quando vi um documentário sobre uma barragem que estava sendo construída num país vizinho e pensei alto na presença dos meus pais: “ainda vou trabalhar nesta área!”

Cheguei ao Brasil em 1977, morei em São Paulo até 1986, quando mudei para Goiânia e comecei a cursar Engenharia Civil na Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GO). Em 1991, durante o curso de Engenharia, li num mural da faculdade que uma empresa chamada FURNAS havia aberto concurso para estágio em seus laboratórios. Na época, não tinha ideia que essa empresa era uma das maiores estatais do setor elétrico brasileiro. Que ironia do destino, as previsões de um garoto de 10 anos se concretizavam em um país que o acolheu com muito amor e carinho! Após um ano de estágio, entrei em FURNAS como engenheiro em 1992. Logo de cara fiquei fascinado pela tecnologia de concreto. Não poderia ser diferente com os mestres que eu tive em FURNAS, como Walton Pacelli de Andrade e José Tomaz França Fontoura. Tive oportunidade de atuar em diversos empreendimentos de FURNAS e de outras empresas (desde Serra da Mesa até Santo Antônio) em laboratório e no campo, fazendo estudos e pesquisas aplicadas para suprir as necessidades dessas obras e caracterizar as propriedades dos concretos utilizados, desde um simples ensaio mecânico, passando por ensaios sobre propriedades elásticas, viscoelásticas e térmicas, até ensaios para caracterização de microestruturais e de durabilidade.

Como em muitos dos projetos de barragens nos quais atuei a estrutura de barramento de água era de Concreto Compactado com Rolo (CCR), tecnologia relativamente nova, este fato foi um componente motivador para fazer mestrado em 2007, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Em 2008, por recomendação da empresa fiz um MBA pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) em Gestão e Liderança. O cenário se mostrava muito promissor para pesquisa e desenvolvimento, tanto que o tema do trabalho de conclusão de curso foi “Parcerias em Pesquisas”. Hoje continuo trabalhando em FURNAS, ministro aulas de “Tecnologia de Concreto Aplicada a Barragens” em algumas instituições de pós-graduação em Engenharia Civil. Mais recentemente atuei na elaboração das normas de Concreto Compactado com Rolo e tive uma participação em muitas outras normas relativas a ensaios especiais no concreto, além de ser um dos autores do livro “CONCRETOS, massa, estrutural, projetado e compactado com rolo – Ensaios e Propriedades”, lançado por FURNAS, em parceria com a PINI, em 1997.

**IBRACON** – QUAL É A SITUAÇÃO ATUAL DE INVESTIMENTOS NO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO? EXISTEM RISCOS DE APAGÕES? QUE MEDIDAS

GOVERNAMENTAIS SÃO NECESSÁRIAS PARA DESTRAVAR OS INVESTIMENTOS NO SETOR? A PRIVATIZAÇÃO É UMA OPÇÃO? O QUE MUDA NA GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA, E NA PRÓPRIA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA, COM A PROPALADA PRIVATIZAÇÃO DA ELETROBRAS?

**MAURICE ANTOINE TRABOULSI** – O setor elétrico tem passado por diversas transformações ao longo de sua existência devido a fatores que interferiram e interferem no seu planejamento para regularizar o fornecimento de energia à população brasileira, com custos mais baixos e sem o risco de apagões. O governo tem procurado incentivar pesquisas por fontes alternativas para reforçar a nossa matriz energética, atualmente predominantemente hidráulica (algo em torno de 70%), sendo que o restante se divide entre termelétricas, nucleares, eólicas, fotovoltaicas e outras fontes, sejam elas renováveis e não renováveis. Outro fator que deve ser levado em consideração são os novos empreendimentos na Região Norte, que estão em fase de construção ou em prospecção, pois essa é uma região com potencial hídrico muito elevado, capaz de compensar a perda de acúmulo de água nos reservatórios da Região Sudeste desde 2001.

Risco de apagões sempre existirá, mas este tem sido cada vez menor,

“ A REGIÃO NORTE TEM POTENCIAL HÍDRICO MUITO ELEVADO, CAPAZ DE COMPENSAR A PERDA DE ACÚMULO DE ÁGUA NOS RESERVATÓRIOS DA REGIÃO SUDESTE DESDE 2001 ”

“

## O BRASIL DETÉM UM DOS MAIORES KNOW HOWS NA ÁREA DE CONSTRUÇÃO, OPERAÇÃO, TRANSMISSÃO E MANUTENÇÃO DO SETOR ELÉTRICO

”

em razão do incentivo às pesquisas por novas fontes de energia e dos investimentos em novos empreendimentos, que fazem a nossa matriz energética ficar mais encorpada e com maior regularidade de fornecimento.

Quanto à privatização, particularmente não vejo com bons olhos. Até as grandes potências mundiais enxergam o setor elétrico como estratégico para o desenvolvimento do país.

Existe um déficit de investimentos no setor, agravado pela Medida Provisória MP 579 de 2012, que estabeleceu que as empresas passassem a ser remuneradas apenas pelos investimentos que fazem em operação e manutenção de equipamentos. Teoricamente, a proposta era baixar os preços das tarifas para o consumidor final, mas não foi o que ocorreu. As empresas que aderiram a esta MP e renovaram as suas concessões

tiveram as suas receitas reduzidas em mais de 50%, que é o caso da ELETROBRAS. Muitas empresas rejeitaram a proposta e os leilões que ocorreram no mês de setembro das usinas da CEMIG são resultantes desta MP.

O sistema ELETROBRAS é muito complexo e hoje existe uma estimativa de que seria necessário algo em torno de R\$ 400 bilhões para construir um sistema semelhante. Todavia o que está se fazendo com a privatização é entregar um patrimônio nacional, a preços irrisórios, nas mãos de diferentes tipos de empresas, sejam da iniciativa privada, sejam estatais de outros países, estas com maior poder de aquisição.

Quanto às mudanças na geração, transmissão e matriz energética é muito difícil dizer, pois dependerão das decisões das empresas. Será que estas novas proprietárias possuem *know how* para darem manutenção

em linha viva? Que preços serão praticados? Estas são algumas perguntas entre muitas outras que estão sem resposta. E no que tange à segurança, manutenção, monitoramento e responsabilidade social por parte

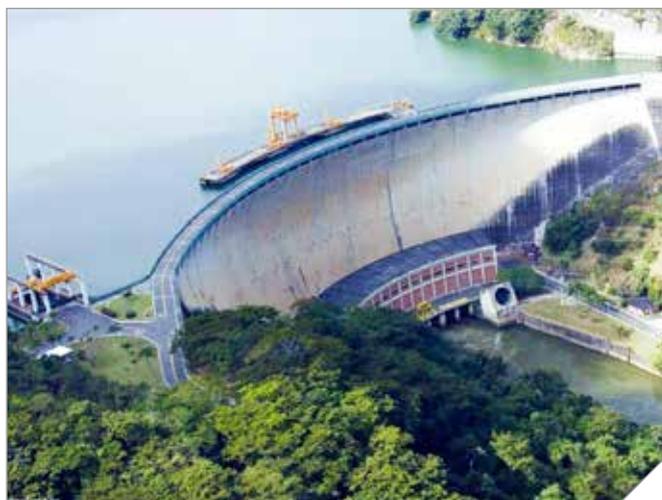
da iniciativa privada, basta lembrar o incidente de 2015 com as mineradoras.

Saliento que deveríamos pensar na energia, na água, na mineração, no petróleo como produtos estratégicos para o país crescer e se desenvolver, os quais deveriam ficar nas mãos dos brasileiros. O Brasil detém um dos maiores *know hows* na área de construção, operação, transmissão e manutenção do setor elétrico.

A privatização pode ser uma opção, mas dificilmente a iniciativa privada vai se comportar como empresa pública, que possui interesses sociais além do lucro.

**IBRACON** – QUAIS OS REQUISITOS PARA UM BOM PROJETO DE BARRAGENS DE CONCRETO? QUAIS FATORES SÃO DETERMINANTES NA ESCOLHA DE UM TIPO OU OUTRO DE BARRAGEM?

**MAURICE ANTOINE TRABOULSI** – A elaboração de projetos de barragens é uma atividade complexa na Engenharia Civil e os requisitos básicos devem ser concebidos para o uso ao qual se destina aquela barragem e reservatório. É uma atividade multidisciplinar, que envolve mecânica, elétrica, automação e estruturas civis. Para qualquer tipo de projeto, é necessária uma boa investigação de onde será implantada a barragem, bem como dos seus materiais de construção. Nenhuma barragem é igual a outra, cada uma têm a sua impressão digital, pois



UHE FUNIL – Barragem em arco (arquivo FURNAS)



mudam as características geológicas, geotécnicas, hidráulicas e também dos materiais.

São necessários, antes de tudo, os estudos de viabilidade e os Estudos de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA-RIMA), para averiguar as consequências que aquela região sofrerá com a implantação de um grande empreendimento, os benefícios, as terras que serão desapropriadas, os resgates de animais, a realocação de estradas e pontes, e a construção de novas pontes e diques, entre outras averiguações. São vários os fatores a serem analisados para escolha do tipo de barragem, de acordo com a sua função (hidrelétrica, abastecimento de água, mineração, irrigação). Alguns fatores importantes que devem ser levados em consideração são a localização, o índice pluviométrico da região, as jazidas de agregados, a via de acesso à região, entre muitos outros fatores que devem ser averiguados com antecedência. Por exemplo, com relação à localização, se a barragem for encaixada num vale, pode ser mais viável a construção de uma barragem em arco, mas se a barragem for alocada num local mais plano, a construção de uma barragem de enrocamento com núcleo de argila, ou enrocamento com núcleo asfáltico, pode ser uma opção mais econômica. Pode-se

optar ainda por uma barragem de CCR, ou de enrocamento com face de concreto, ou ainda pode se escolher uma barragem mista de CCR com terra e enrocamento.

#### **IBRACON** – Os PROJETOS DE BARRAGENS NO BRASIL TÊM SIDO

ADEQUADAMENTE SUBSIDIADOS POR ESTUDOS PRÉVIOS DE VIABILIDADE, COM ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL, DE MATERIAIS E DO CONCRETO? QUAIS SÃO OS ENSAIOS TÍPICOS REALIZADOS NESSES ESTUDOS E EM QUE EXTENSÃO DEVEM SER FEITOS?

**MAURICE ANTOINE TRABOULSI** – Acredito que todo projeto de barragem merece um estudo aprofundado, tanto de viabilidade técnica e econômica, bem como da disposição de materiais próximos à barragem que possam ser utilizados na sua construção. Não é desperdício de tempo nem de dinheiro investir em ensaios de caracterização, uma vez que eles dirão quanto segura é sua construção e indicarão a necessidade ou não de uma possível troca, ou de local de implantação por conta de uma falha geológica, por exemplo, ou de material, como é o caso de se descobrir antecipadamente



**UHE CAMPOS NOVOS – Enrocamento com face de concreto (arquivo FURNAS)**

agregados reativos que podem gerar posteriormente na obra pronta uma Reação Álcali-Agregado (RAA), que pode colocar em risco a sua estrutura com o passar dos anos.

Mas, a realidade brasileira é um pouco diferente. Ainda há uma necessidade de se fazer um trabalho de conscientização da importância de se fazer investigação, caracterização e controle de qualidade dos materiais para toda e qualquer obra que se destina a produção de energia elétrica, abastecimento de água, mineração, ou seja, para todo qualquer tipo de barragem. Ensaios típicos são inúmeros, por exemplo, a verificação da geologia do local, os ensaios de caracterização dos materiais de construção da barragem e os ensaios de controle tecnológico durante a construção, seja de concreto, seja do solo utilizado, no

“

**NÃO É DESPERDÍCIO DE TEMPO NEM DE DINHEIRO INVESTIR EM ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO, QUE DIRÃO QUANTO SEGURA É A CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM E INDICARÃO A NECESSIDADE OU NÃO DE TROCA DE SEU LOCAL DE IMPLANTAÇÃO**

”

“

## TEMOS TOTAL DOMÍNIO SOBRE O CONCRETO SUBMERSO, QUE PERMITE QUE SE FAÇA UM REPARO NUMA ESTRUTURA EM GRANDES PROFUNDIDADES SEM ESVAZIAR O RESERVATÓRIO

”

caso de barragens de terra.

No caso de materiais para concreto, a caracterização da rocha que será utilizada como agregado é de extrema importância antes do início da produção, pois são necessários ensaios para identificar se esses agregados possuem potencial reativo (RAA), se contém pirita etc. Não podemos esquecer o tipo do cimento que será utilizado. Normalmente são cimentos compostos e são definidos em função do tipo de agregado utilizado para inibir futuras manifestações patológicas em função dos tipos e volumes de concreto, para mitigar problemas de fissuração térmica, de modo a atender às especificações técnicas da obra em geral.

Resumindo, são necessários estudos e investigações exaustivos sobre materiais, a geologia do local da barragem, principalmente a detecção de descontinuidades e juntas, e estudos de estabilidade.

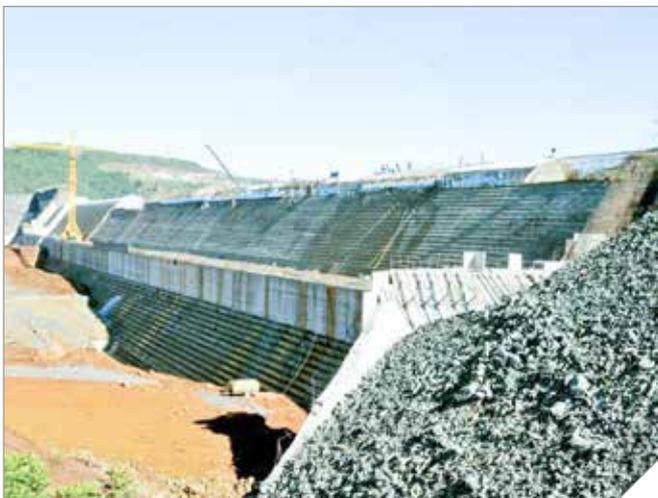
**IBRACON** – As TECNOLOGIAS CONSTRUTIVAS MAIS EMPREGADAS ATUALMENTE NA CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS DE CONCRETO NO PAÍS SÃO O QUE HÁ DE MELHOR MUNDIALMENTE EM TERMOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS, SOCIAIS E AMBIENTAIS? JUSTIFIQUE EXPLICANDO QUAIS SÃO ESSAS TECNOLOGIAS, SUAS VANTAGENS E DESVANTAGENS. COMO ELAS FORAM DEVIDAMENTE ADAPTADAS AO CONTEXTO NACIONAL?

**MAURICE ANTOINE TRABOULSI** – Sem dúvida temos uma tecnologia na construção de barragens reconhecida mundialmente. Esse *know how* da engenharia nacional vem se acumulando ao longo dos anos, desde as primeiras barragens de grande porte da década de 1950 até os dias atuais. Itaipu é um dos maiores símbolos da competência da nossa engenharia. Na Região Norte, temos Tucuruí, outro grande empreendimento, a maior hidroelétrica brasileira, dotada de eclusas para a navegação no rio

Tocantins. A usina hidrelétrica de Serra da Mesa, talvez seja a única no mundo com as suas características, totalmente encravada na rocha, e possui um dos maiores reservatórios em volume de água do mundo.

Em termos sociais e ambientais, há uma preocupação em se fazer a desapropriação das áreas inundadas, indenizando todos os proprietários de terras atingidos pelos reservatórios, sendo também realizado um trabalho social junto às comunidades ribeirinhas, resgate e recolocação de animais da região, e não podemos esquecer do sistema de transposição de peixes, que é de extrema importância para o repovoamento das espécies nos rios, e também dos novos projetos que procuram minimizar o tamanho dos reservatórios com o objetivo de reduzir os seus impactos ambientais.

Quanto às tecnologias são muitas as que foram desenvolvidas aqui no Brasil ou que foram trazidas de fora. Apenas para exemplificar, nós temos total domínio sobre o concreto submerso, que permite que se faça um reparo numa estrutura em grandes profundidades sem esvaziar o reservatório. Temos também o dispositivo para o ensaio de tração direta, que permite calcular a tensão de tração apenas utilizando a razão da força aplicada pela área da seção transversal do corpo de prova, e serve como referência em estudos térmico-tensionais para verificar a probabilidade de fissuração de uma estrutura. Vale lembrar também dos equipamentos para estudar a reologia do concreto e os dispositivos para os ensaios de concreto autoadensável no estado fresco.



**UHE GARIBALDI – Barragem de CCR (arquivo Walton Pacelli)**



Não poderia esquecer o Concreto Compactado com Rolo, tecnologia de construção rápida e que se adapta a qualquer projeto. Esta técnica permite construir projetos com cronogramas mais reduzidos, principalmente em regiões onde o índice pluviométrico é alto. Num levantamento realizado por mim, em parceria com outro colega da área de barragens, em janeiro deste ano, para constar no Atlas Mundial de Barragens, a pedido do ICOLD (*International Commission on Large Dams*), foram identificadas aqui mais de 190 barragens de Concreto Compactado com Rolo, tecnologia relativamente nova em relação ao concreto convencional, número que coloca o Brasil como o segundo maior país construtor de barragens de CCR do mundo, atrás apenas da China. Quanto à adaptação dessas tecnologias ao contexto nacional, essas foram realizadas através de muitos estudos e pesquisas nos principais laboratórios do Brasil e testadas diretamente “in loco”, e não podemos esquecer que foram idealizados e criados equipamentos exclusivos para fazer simulação dessas tecnologias em laboratório.

**IBRACON** – HÁ VANTAGENS TÉCNICAS E ECONÔMICAS NO EMPREGO DE CONCRETOS DE ALTO DESEMPENHO EM BARRAGENS (CONCRETOS MENOS PERMEÁVEIS, ESTRUTURAS MAIS ESBELTAS ETC), OU OS CONCRETOS CONVENCIONAIS E CONCRETOS-MASSA LEVAM VANTAGEM SOBRE OS CADs?

**MAURICE ANTOINE TRABOULSI** –

Temos que esclarecer um conceito equivocado sobre concreto convencional e concreto massa. O concreto massa é o concreto convencional, porém recebe essa denominação quando o volume de concreto moldado “*in situ*” exigir que sejam tomadas medidas para controlar a geração de calor e a variação de volume, com um único objetivo de minimizar fissurações. Não é o fato de um concreto com agregados com Dimensão Máxima Característica (Dmax) de 76 mm, 100 mm ou 152 mm que o torna massa, e sim o volume lançado.

Particularmente os concretos utilizados em barragens são concretos de alto desempenho (CAD’s), pois utilizam cimentos compostos (pozolanas naturais, cinza volante, escória de alto forno, sílica ativa), que melhoram o desempenho das estruturas em todos os aspectos - de durabilidade, de impermeabilidade ou de resistência. Isso foi uma “evolução natural” da engenharia de barragens ao longo das últimas décadas. Temos todos os tipos de concreto, sejam para fins de enchimento, para estruturas mais robustas, até o concreto protendido de uma viga munhão, estrutura que serve para ancorar os braços das comportas.

Tudo em uma barragem é muito grande. Por exemplo, um pilar de um prédio é, em média, de 60 cm por 60 cm, já um pilar de vertedouro



**Simulador de concretagem submersa em laboratório (arquivo FURNAS)**

pode chegar a 30 m ou 40 m de comprimento e 6m de largura. Por isso, são necessários cimentos especiais, pois os volumes são gigantescos e, por menor que seja o consumo de cimento, tornam-se necessários estudos térmico-tensionais. A unidade muda de centímetros para metros.

**IBRACON** – COMO É FEITO O CONTROLE TECNOLÓGICO DA EXECUÇÃO DAS OBRAS DE UMA BARRAGEM DE CONCRETO? QUAIS OS ENSAIOS MAIS COMUMENTE REALIZADOS NESTA FASE EXECUTIVA E SUA IMPORTÂNCIA NO PROCESSO CONSTRUTIVO?

**MAURICE ANTOINE TRABOULSI** – O controle deve ser realizado a partir dos estudos de viabilidade, indo desde sondagens para identificar o tipo litológico da rocha que compõe



**FORAM IDENTIFICADAS NO BRASIL MAIS DE 190 BARRAGENS DE CONCRETO COMPACTADO COM ROLO, O QUE COLOCA O PAÍS COMO O SEGUNDO MAIOR PAÍS CONSTRUTOR DE BARRAGENS DE CCR, ATRÁS APENAS DA CHINA**



“

**A RIGOR, SE FOR REALIZADO O CONTROLE TECNOLÓGICO ATENDENDO TODAS AS ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS E O LABORATÓRIO TIVER AUTONOMIA, O RESULTADO FINAL SERÁ UMA OBRA COM DESEMPENHO ESTRUTURAL E DURABILIDADE SATISFATÓRIOS**

”

a jazida até a análise de qualidade da água de amassamento que será utilizada no concreto. Durante a construção deve ser montado um laboratório de campo, de preferência próximo às centrais de concreto e britagem, para a realização dos ensaios de caracterização mínima dos materiais utilizados: granulometrias, ensaios mecânicos com concreto, rocha, aço e perfilados, e ensaios com cimento e com concreto fresco.

Os ensaios mais completos e complexos devem ser realizados com periodicidade estabelecida em um laboratório de competência reconhecida. Para os agregados, a caracterização deve varrer toda a gama de ensaios, desde uma simples granulometria até a realização de ensaios de RAA e confecção de amostras para microscopia e difratometria. Para o concreto, é primordial a caracterização completa

de todas as propriedades para os tipos de concreto com maior volume utilizado ou com alguma aplicação especial. Essas caracterizações costumam englobar propriedades mecânicas, elásticas, viscoelásticas, térmicas, permeabilidade, durabilidade e estudos térmico-tensionais. Esse tipo de controle é que vai definir a qualidade final da obra. A rigor, se for realizado atendendo todas as especificações técnicas e o laboratório tiver autonomia de aprovar ou reprovar os materiais não conformes, o resultado final será de uma obra com desempenho estrutural e de durabilidade muito satisfatórios.

**IBRACON – O LABORATÓRIO DE CONTROLE TECNOLÓGICO DE FURNAS É ACREDITADO NO INMETRO? QUAL É SUA PARTICIPAÇÃO NOS ENSAIOS INTERLABORATORIAIS?**

**MAURICE ANTOINE TRABOULSI** – Os laboratórios de ensaios de materiais de construção civil de FURNAS (concreto

e solos) foram acreditados pela Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro em 1994 e, posteriormente, em 2004, foram acreditados alguns serviços na área de calibração (grandezas: força e torque, dimensional,

pressão, massa e temperatura), sendo que tais creditações ainda são mantidas. Ainda na busca pela melhoria da qualidade dos seus resultados, os laboratórios de FURNAS conseguiram a certificação ISO 9002:1994, em 1996, e, posteriormente, em 2003, passou a adotar a versão ISO 9001:2000. Quanto à nossa participação em programas interlaboratoriais, temos a grata satisfação de integrar a Comissão Técnica de Laboratórios de Ensaio de Construção Civil do Inmetro – CT-1, desde sua criação, sendo que somos os coordenadores dos programas interlaboratoriais de concreto e agregado, os quais estão na sua 23ª rodada. Ainda na CT-1, participamos dos programas interlaboratoriais de solos, agregados, concreto e aço para construção civil, e de ensaios físicos e químicos de cimento. Além de possibilitar aos participantes dos programas interlaboratoriais compararem seus resultados com os mais diversos laboratórios do país, esta ferramenta também é utilizada na revisão de normas técnicas, validando novas metodologias de ensaio.

**IBRACON – É SABIDO QUE EM FURNAS SÃO REALIZADOS ENSAIOS EM CONCRETOS QUE NÃO SÃO EXECUTADOS EM OUTROS LABORATÓRIOS BRASILEIROS. VOCÊ PODERIA MENCIONAR ALGUNS DESSES ENSAIOS ESPECIAIS?**



**MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura**



**MAURICE ANTOINE TRABOULSI –**

Atualmente, existem vários ensaios que são exclusivos dos laboratórios de FURNAS. Muitos desses ensaios foram desenvolvidos por seus técnicos e engenheiros que, ao longo dos anos, foram sendo adaptados conforme as necessidades das obras de FURNAS e para atender a solicitações de outras empresas, seja no âmbito nacional ou internacional.

Por exemplo, em grandes empreendimentos construídos com concreto compactado com rolo, são realizados programas de pré-estudos para definir as características e propriedades dos materiais a serem empregados na construção. Surge, então, a necessidade de se construir um maciço experimental para fazer algumas simulações de lançamento, treinar mão de obra, calibrar equipamentos, ajustar dosagens, definir o tipo de tratamento de junta, número de passadas do rolo compactador, entre outras dúvidas que poderão surgir ao longo da obra. Esses maciços experimentais, na maioria das vezes, são executados pouco antes do início de lançamento do CCR na estrutura definitiva e resolvem as dúvidas levantadas quanto às dificuldades de correlacionar os parâmetros de corpos de prova moldados com o material compactado no campo, através de um programa de extração de testemunhos. Porém, são muito onerosos e nem sempre são

incorporados à estrutura da barragem.

Uma alternativa para o processo é a confecção de maciços experimentais de CCR em laboratório, com a finalidade de simular as condições de execução no campo. Com

isso, é possível obter informações sobre a caracterização dos materiais constituintes do CCR e o desempenho das dosagens aplicadas em campo, conhecendo o comportamento do CCR para ajudar na tomada de decisões com base em resultados laboratoriais e confiáveis.

Este equipamento foi desenvolvido numa parceria entre FURNAS e EMIC, baseado no modelo instalado no CRIEPI – Centro de Pesquisas da Indústria de Energia Elétrica – localizado no Japão. Atualmente não se tem registro de nenhum equipamento similar em funcionamento, sendo que o do CRIEPI encontra-se desativado. Outro exemplo é o simulador de concreto submerso, que foi desenvolvido para simular concretagens de até 180 m de profundidade. No caso de reparo em guias de comportas ou em



**Vista geral do equipamento para compactação de CCR (arquivo FURNAS)**

estruturas submersas, uma solução é construir uma estrutura ao redor da que necessita ser reparada (ensecadeiras), para efetuar o reparo a seco. No entanto, esse tipo de procedimento é caro e lento, de modo que a concretagem submersa se torna uma boa alternativa. Diante disso, o engenheiro Walton Pacelli teve a ideia do simulador e o técnico Guilherme Leroy colocou em prática esta ideia. Com o simulador pode-se definir a melhor dosagem a ser utilizada, sem que a água lave o concreto. A concretagem submersa é uma técnica complexa de concretagem. São necessários produtos e sistemas de alto desempenho, a participação de profissionais de altíssima qualificação e experiência, que são extremamente importantes para o sucesso da execução deste tipo de reparo. Temos ainda o laboratório de modelo

“

**OS MACIÇOS EXPERIMENTAIS DE CCR EM LABORATÓRIO SÃO CONFECCIONADOS COM A FINALIDADE DE SIMULAR AS CONDIÇÕES DE EXECUÇÃO NO CAMPO**

”



## AINDA TEMOS NO BRASIL MUITAS OBRAS EM CONSTRUÇÃO SEM FAZER UM TRABALHO DE INVESTIGAÇÃO PREVENTIVO



reduzido, que fica localizado em Jacarepaguá, no Rio de Janeiro. Apesar de ter no Brasil outros laboratórios que fazem estudos semelhantes, vale destacar a importância desta área da engenharia hidráulica para o bom desempenho de uma estrutura de barragem, que tem como principais atividades:

- ▶ Fornecer elementos para a otimização do projeto de estruturas hidráulicas;
- ▶ Analisar o desempenho hidráulico de estruturas de ampliação e modernização;
- ▶ Estudos de erosão e estabilidade de encostas.

**IBRACON** – O LABORATÓRIO DE FURNAS EXECUTA ENSAIOS PARA OUTROS PAÍSES?

CASO POSITIVO CITE ALGUNS EXEMPLOS.

**MAURICE ANTOINE TRABOULSI** – O Laboratório de FURNAS ao longo da sua existência já prestou serviços

em mais de 30 obras distribuídas pelos cinco continentes e continua prestando, em obras como as usinas hidrelétricas de Capanda, Biópio e Matala, em Angola, Odeleite, em Portugal, e Yaciretá, na Argentina.

**IBRACON** – QUAIS TÊM SIDO AS PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM BARRAGENS E COMO FURNAS LIDA PREVENTIVA E CORRETIVAMENTE COM ELAS?

**MAURICE ANTOINE TRABOULSI** – São várias as manifestações patológicas em barragens, que vão desde fissuras provenientes de algum tipo de retração, passando por deformações impostas e fissuras de origem térmicas, até ataques por sulfato ou RAA.

O tipo de tratamento de fissuras é por meio de injeções de microcimento, resina epoxídica e resina de poliuretano. Mas, antes de definir o material da injeção, é necessário identificar o tipo de fissura

e principalmente a sua atividade, para, então, especificar o tipo de tratamento. Pode-se ainda fazer selagem ou grampeamento. No caso de ataque por sulfatos ou RAA, para obras mais antigas não há o que se fazer preventivamente, pois, na época

em que foram construídas, não foram realizados estudos preventivos relativos a essas patologias, ou, em alguns casos, nem existiam metodologias de identificação. Quanto às ações corretivas, fazer o monitoramento das estruturas e quando for necessária, uma intervenção para realizar algum tipo de reforço ou de injeção. Já, para as obras mais recentes, esse tipo de patologia tem uma incidência menor, pois houve estudos e investigações bem abrangentes dos materiais que foram usados, para identificar possíveis agentes deletérios e tomar medidas preventivas para reduzir e até mesmo inibir tais manifestações patológicas. Esta cultura já está bem difundida nos meios acadêmicos e técnicos, mas, volto a salientar que ainda temos no Brasil muitas obras em construção sem fazer um trabalho de investigação preventivo. O pior é que não tem como prever quando essas manifestações irão aparecer, pois os ensaios e estudos conseguem prever se o material é ou não deletério, mas não podem dizer quando que a manifestação patológica irá ocorrer.

**IBRACON** – APÓS OS EVENTOS DE RAA NA USINA DA CHESF EM MOXOTÓ, COMO VEM SE DANDO O APRIMORAMENTO NOS CUIDADOS PARA PREVENÇÃO DO PROBLEMA, APERFEIÇOAMENTOS DOS MÉTODOS DE ENSAIO E OUTROS?



Lançamento do concreto Submerso – Rio Turvo (arquivo FURNAS)



**MAURICE ANTOINE TRABOULSI** – FURNAS sempre se preocupou com o controle de seus materiais antes da construção de suas obras, executando os seus ensaios com base em normas internacionais, sempre que indisponível no Brasil a normalização da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), atuando, assim, preventivamente. Recentemente, novas normas brasileiras relacionadas à reação álcali-agregado e formas de sua prevenção foram lançadas, incluindo um guia de análise de risco das estruturas. É possível sim prevenir o fenômeno expansivo da RAA em novas estruturas de concreto. Para tanto, basta que seja feito um bom controle tecnológico dos materiais e a avaliação daqueles que melhor se combinam para o sucesso da prevenção.

Os métodos hoje disponíveis na normalização brasileira atendem muito bem às nossas necessidades, sendo de nível internacional. Comitês do IBRACON e Grupos de trabalho do CB-18 da ABNT sobre RAA têm atuado constantemente na redação e revisão das normas e de práticas recomendadas, contando com a participação de alguns dos maiores especialistas do Brasil no assunto. Ou seja, o Brasil não fica para trás e possui toda a competência para avançar neste assunto.

Quanto aos métodos de prevenção, o que consta em termos de norma são os materiais mitigadores, dentre

eles as adições minerais, como a sílica ativa, o metacaulim, a escória de alto-forno, a cinza volante e as pozolanas naturais, em combinação com o cimento. A quantidade de uso dessas adições vai depender do nível de reatividade dos agregados, sendo necessária a execução de ensaios específicos para tal.

**IBRACON** – COMO TEM SIDO REALIZADA A MANUTENÇÃO DAS BARRAGENS BRASILEIRAS?

**MAURICE ANTOINE TRABOULSI** – Manutenção no Brasil e em qualquer lugar do mundo é um tema que merece muita atenção, uma vez que, não existindo, pode levar as estruturas ao colapso.

As empresas públicas e privadas, responsáveis pelo projeto, construção, operação e manutenção das grandes obras executadas, como pontes, estradas, barragens, obras de arte, estão cada vez mais gastando com reparos e manutenção das estruturas existentes, devido à idade avançada dessas obras.

No caso de barragens, há ainda a importância de mantê-la em pleno funcionamento, com a impossibilidade



**Modelo reduzido da UHE Mascarenhas de Moraes: vertedouro complementar (arquivo FURNAS)**

de descomissionamento. Essas manutenções estão geralmente com limitações econômicas impostas ou carecem de falta de planejamento. Logo, a Engenharia brasileira necessita cada vez mais de construir estruturas duráveis, com materiais apropriados para a função da estrutura, para que a mesma tenha vida útil longa, além de fazer as manutenções preditivas e corretivas necessárias.

**IBRACON** – O MARCO REGULATÓRIO DA SEGURANÇA DE BARRAGENS NO PAÍS É ADEQUADO, EM ESPECIAL PARA AS BARRAGENS DE CONCRETO? QUAL É O RISCO ATUAL DE ACIDENTES EM BARRAGENS DE CONCRETO? QUAIS AVANÇOS NESSE MARCO, NOS ÓRGÃOS DE CONTROLE E FISCALIZAÇÃO E NA QUALIFICAÇÃO PROFISSIONAL SÃO NECESSÁRIOS?

**MAURICE ANTOINE TRABOULSI** – A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), instituída pela

“ QUANTO AOS MÉTODOS DE PREVENÇÃO, O QUE CONSTA EM TERMOS DE NORMA SÃO OS MATERIAIS MITIGADORES, DENTRE ELAS AS ADIÇÕES MINERAIS ”

“

A ENGENHARIA CIVIL É UMA ATIVIDADE DE RISCOS  
CONHECIDOS, CALCULADOS E MINIMIZADOS.

BARRAGENS DE CONCRETO, QUANDO BEM  
CONSTRUÍDAS, SÃO MUITO ESTÁVEIS

”

Lei Federal nº 12.334, de 2010, é adequada e oportuna para o momento que o País está vivendo. As ações exigidas do empreendedor já eram realizadas antes da lei por empresas de grande porte ou que possuem corpo técnico qualificado, como é o caso de FURNAS. O problema está nos empreendedores pequenos ou aventureiros, sem a formação técnica mínima para projetar, construir, operar e manter um empreendimento desse porte e relevância para a sociedade. A PNSB busca acompanhar todo o ciclo de vida de uma barragem, na medida em que estabeleceu como um de seus objetivos regular as ações de segurança a realizar nas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros de barragens. Além de responsabilizar o empreendedor (agente privado

ou governamental, com direito real sobre as terras onde se localizam a barragem e o reservatório, ou que explore a barragem para benefício próprio ou da coletividade), que tem o dever de manter a barragem em condições adequadas, bem como cumprir as normas e regulamentos impostos pelo órgão fiscalizador. Quanto ao risco, ele existe como em qualquer outra atividade, porém deve ser analisado e tomadas as medidas necessárias para minimizá-lo. A Engenharia Civil é uma atividade de riscos conhecidos, calculados e minimizados. Barragens de concreto, quando bem construídas, são muito estáveis, sendo que a maioria dos acidentes de barragem de concreto é resultado de instabilidade da fundação.

A instrumentação de barragem é uma maneira encontrada pela Engenharia de minimizar os riscos, a qual pode alertar antecipadamente problemas

na barragem. O rompimento de uma barragem traz consequências graves para o meio ambiente e ações emergenciais bem estruturadas podem minimizar os danos causados por sinistros na barragem. Um dos

avanços nesse marco regulatório é a classificação de riscos, que enquadram ou não a barragem a determinadas exigências da lei, como, por exemplo, a exigência do PAE- Plano de Ação de Emergência e da Revisão Periódica de Segurança da Barragem. Outro avanço é a instituição do cadastro nacional de barragens e a aproximação entre empreendedores, órgãos do governo e órgãos fiscalizadores, bem como da defesa civil e comunidade.

**IBRACON – QUAIS AS PESQUISAS CIENTÍFICAS RELACIONADAS AO CONCRETO VÊM SENDO REALIZADAS POR FURNAS? POR QUE O INVESTIMENTO DE RECURSOS NESSAS PESQUISAS?**

**MAURICE ANTOINE TRABOULSI** – Fica até difícil de relacionar todas as pesquisas, pois, de 1987 a 2001, foram realizadas inúmeras pesquisas nas mais diversas áreas da tecnologia de concreto, com recursos próprios e voltados a atender a demanda interna da empresa, e em parceria com instituições de pesquisa e ensino, além de apoio para órgãos de administração pública. Desde 2001 até hoje, já foram realizados mais de 50 projetos na área de materiais e concreto em geral, com um investimento da ordem de R\$ 60 milhões, resgatados do fundo setorial coordenado pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e destinados a P&D.



Maciço de CCR na câmara úmida (arquivo FURNAS)



As linhas de pesquisa correlacionadas ao concreto abrangem diversas áreas, tais como: concreto com fibras, projetado, compactado com rolo, reologia do concreto, estudos térmico-tensionais, microestrutura, ataques por RAA, sulfatos e durabilidade. Há de se salientar que nos últimos três anos, houve um investimento da ordem de R\$ 10 milhões em termos de desenvolvimento e modernização de equipamentos, dispositivos e processos executivos, tais como: o TTA - equipamento Triaxial Verdadeiro Dinâmico - para análise de comportamento viscoelástico de solo, com possibilidade de execução de plano de carregamento triaxial verdadeiro e cargas dinâmicas; o Microcalorímetro isotérmico - para análise da cinética de hidratação de cimento; o MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura - para análises microestruturais de diversos materiais de construção (utilizado principalmente para estudos de durabilidade de concreto); e o FRX - Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X - para análise de caracterização dos compostos químicos de materiais, utilizado na caracterização de cimentos, adições minerais, fíleres e aditivos químicos. O investimento de recursos se justifica pelos resultados alcançados ao longo

desses anos de pesquisa, os quais se tornaram práticas já adotadas, evidenciando a internalização dos resultados nos empreendimentos da empresa. Atualmente o laboratório tem três patentes concedidas e uma requerida, apoia mais de 100 dissertações de mestrado e 50 teses de doutorado e, em termos de difusão tecnológica, mais de 800 artigos técnico-científicos publicados em eventos e periódicos nacionais e internacionais.

**IBRACON – QUAL É SUA AVALIAÇÃO DO PROGRAMA DE CERTIFICAÇÃO DE PESSOAL DO IBRACON? O LABORATÓRIO DE FURNAS TEM FUNCIONÁRIOS CERTIFICADOS NO PROGRAMA?**

**MAURICE ANTOINE TRABOULSI** – O IBRACON tem contribuído muito para o desenvolvimento da engenharia nacional. O programa de certificação é mais uma das muitas contribuições que o Instituto tem dado e visa preparar, capacitar e atualizar os profissionais da área com os requisitos mínimos exigidos para desempenharem de forma satisfatória um bom controle tecnológico do concreto. No meu



Oficina de modelagem (arquivo FURNAS)

ponto de vista, o cenário atual do mercado não está contribuindo para uma demanda maior de certificação. O laboratório de FURNAS não possui nenhum funcionário com essa certificação. Entretanto, temos participação em programas interlaboratoriais e intralaboratoriais, com o objetivo de dar garantias da confiabilidade dos resultados fornecidos, além de um programa extenso de inspeção de processo realizado por todo o seu corpo técnico. Contudo, a empresa não descarta a possibilidade de certificação do seu corpo técnico pelo IBRACON.

**IBRACON – QUAIS SEUS HOBBIES?**

**MAURICE ANTOINE TRABOULSI** – Gosto de estar com a família (esposa e filhos), até mesmo para praticar o meu *hobby* preferido, que é a pescaria. Uma boa música, um bom jogo de futebol e viajar para conhecer lugares novos. ➤

**“ ATUALMENTE, O LABORATÓRIO DE FURNAS TEM TRÊS PATENTES CONCEDIDAS E UMA REQUERIDA, APOIA MAIS DE 100 DISSERTAÇÕES DE MESTRADO E 50 TESES DE DOUTORADO E TEM MAIS DE 800 ARTIGOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS PUBLICADOS ”**



Público presente na Solenidade de Abertura do 59º CBC

# Congresso debateu o ensino de engenharia e difundiu pesquisas científicas e tecnológicas sobre o concreto e suas estruturas

FÁBIO LUÍS PEDROSO

Profissionais de construtoras, empresas de energia, fabricantes de equipamentos e materiais para construção, laboratórios de controle tecnológico, órgãos governamentais e associações técnicas, além de professores, pesquisadores e estudantes, estiveram todos reunidos em Bento Gonçalves, no Rio Grande do Sul, de 31 de outubro a 03 de novembro, no 59º Congresso Brasileiro do Concreto.

Promovido pelo Instituto Brasileiro do Concreto, o 59º CBC trouxe para seus mais de mil participantes, vindos de todos os estados brasileiros e do exterior, o estado da arte da pesquisa científica e tecnológica sobre o concreto e seus sistemas construtivos no Brasil e no mundo. Foram apresentados no evento cerca de 850 trabalhos técnico-científicos sobre os temas “materiais e suas propriedades”, “análise



e projeto estrutural”, “métodos construtivos”, “gestão e normatização” e “sustentabilidade”, em sessões plenárias e pôsteres.

Três temas dominaram as apresentações e discussões em torno do concreto estrutural: o concreto reforçado com fibras, a durabilidade das construções em concreto e o ensino de engenharia civil.

### CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS

O concreto reforçado com fibras (CRF), tecnologia especialmente voltada para aplicação em obras especiais, foi discutido no II Seminário “Modelagem e Aplicações de Estruturas de Concreto Reforçado com Fibras”, que contou com 12 trabalhos apresentados em plenária e 14 trabalhos apresentados em pôsteres. O Seminário foi coordenado pelos professores Antônio Domingues de Figueiredo (Poli-USP), José Luiz Antunes de Oliveira e Sousa (Unicamp), Thomaz Eduardo Teixeira Buttignol (Universidade Presbiteriana Mackenzie) e Tulio Nogueira Bittencourt (Poli-USP).



Público prestigia uma das sessões pôsteres de trabalhos técnico-científicos expostos durante o 59º CBC

Estudos de dosagens de fibras e sua relação com o comportamento elástico e plástico do CRF, modelagem numérica do comportamento do CRF, dimensionamento de vigas de concreto armado sem armadura transversal reforçadas com fibras de aço e caracterização das propriedades do CRF, com os ensaios de resistência à tração por duplo punção e por flexão, para seu controle tecnológico, integraram as apresentações e discussões no Seminário, sendo este último tema também abordado no lançamento das Práticas Recomendadas do Comitê Técnico IBRACON/ABECE (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural) “Uso de Materiais não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras (CT-303).

Esse Comitê disponibilizou para a comunidade técnica as práticas recomendadas sobre o controle da qualidade do concreto reforçado com fibras, as macrofibras poliméricas para concreto destinado a aplicações estruturais e as macrofibras de vidro álcali resistentes para concreto destinado a aplicações estruturais. “Com esses lançamentos, o CT-303 fecha a série de práticas recomendadas sobre o concreto reforçado com fibras, uma vez que, no ano passado, foi lançada a Prática Recomendada para Projeto de Estruturas de



Prof. Antonio Carlos dos Santos palestrando no II Seminário sobre Modelagem e Aplicações de CRF

Concreto Reforçado com Fibras”, avaliou em sua palestra o coordenador do CT-303, Prof. Marco Antonio Cárnio. Essas



Prof. Marco Antonio Cárnio apresentando as Práticas Recomendadas do CT-303

publicações em formato de e-book já podem ser adquiridas na loja virtual do site [www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br).

O CRF foi também abordado nas palestras dos pesquisadores estrangeiros, Marco di Prisco, da Universidade Politécnica de Milano, na Itália, Barzin Mobasher, da Universidade Estadual do Arizona, nos Estados Unidos, e Fernando Branco, do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, em Portugal. O Prof. Marco di Prisco apresentou exemplos de dimensionamento de lajes com CRF, ressaltando que o reforço com fibras, por ocorrer em todas as direções, possibilita um elemento estrutural de maior robustez e menor dimensão, possibilitando reforços ativos e passivos à flexão e contribuindo para o controle de fissuração em quaisquer planos, com menor abertura de fissuras. Nos exemplos apresentados, as lajes com CRF tiveram uma redução média de 16% nos custos relacionados aos reforços, além de reduções no tempo de execução.

Já, o Prof. Barzin Mobasher trouxe vários modelos de previsão do comportamento do concreto reforçado com

## Simpósio sobre Modelagem e Aplicações de Estruturas de Concreto Reforçado com Fibras

GUILHERME A. PARSEKIAN

O Simpósio contou com várias atividades, como apresentação de pôsteres e sessão plenária, essa última dividida em duas partes, sendo a primeira sobre “Análise Experimental”, com coordenação de Antonio Domingues de Figueiredo, e a segunda, coordenada por Thomaz Eduardo Teixeira Buttignol, com temática sobre “Análise Numérico-experimental”.

A primeira sessão plenária teve início com Yuri-Villagran, do *National Scientific and Technical Research Council*, da Argentina, que apresentou palestra sobre avanços recentes do concreto reforçado com fibras (CRF), iniciando com uma visão geral de estudos realizados desde a década 1980 e discorrendo sobre as várias contribuições do instituto argentino desde então. Mostrou detalhes de ensaio desenvolvido em parceria com a Universidade Politécnica da Catalunha para caracterização das propriedades do CRF, ensaios de arrancamento da fibra em matriz cimentícia para escolha de melhor geometria e material, e outras contribuições que tiveram reflexo na normalização internacional. Apresentou exemplos de modelagem de CRF, estudos de fluência, uso de fibras para controle de fissuração, estudos sobre orientação das fibras em elementos estruturais, propriedades residuais em elementos com dano, resposta a explosão e impactos, desenvolvimento de UHPFRC (ultra high performance fibre reinforced concrete), além de estudos sobre fibras afetadas pela reação sílica-agregado. Mostrou ainda casos de aplicações

em campo, como reparação de rodovias na Argentina e Uruguai.

Avaliação de efeito de punção em lajes de CRF foi o tópico apresentado por Antonio Carlos dos Santos, da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Foram apresentados resultados de ensaios nos quais o índice de regularidade, definido como a relação largura e altura do pilar, e taxa de fibras foram variados. A conclusão do trabalho indica ganho de até 60% na carga de ruptura com aumento da taxa de fibra, alterando também a forma de ruptura e melhorando a ductilidade. O índice de regularidade também afetou os resultados, com aumento da carga de ruptura para índice de regularidade de 1,5, porém com decréscimo a partir desse valor.

André Nogueira, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), apresentou trabalho sobre avaliação da reprodutibilidade do ensaio de duplo punção (ensaio de Barcelona), que indicou ser um bom ensaio para controle de obra, em função da maior facilidade de execução e da possibilidade extração de testemunhos, possibilitando avaliar tanto a carga de fissuração da matriz como as cargas residuais do compósito. A partir dos resultados, concluiu pela boa repetitividade e exatidão do ensaio, que é adotado pelas práticas recomendadas do Comitê IBRACON/ABECE: Uso de Materiais Não Convencionais Para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras (CT-303), porém alertado sobre o cuidado necessário com o acabamento superficial dos corpos de prova.



fibras, considerando aspectos como secagem, retração restringida, fluência e relaxação. Esses apontam que as fibras desempenham uma função importante no controle da fissuração dos elementos de concreto, mas que não são capazes de substituir as boas práticas da engenharia, como a cura do concreto. Os modelos foram calibrados através de três métodos de ensaio: o teste de secagem livre (segundo a ASTM C157), o teste do anel fissurado por secagem (segundo a AASHTO PP34-99) e uma nova proposta de teste de evaporação a vácuo, que permite estimar os valores de parâmetros como perda de umidade, taxa de evaporação e difusividade.

Congressistas assistem a palestra do Prof. Marco Di Prisco nas Conferências Plenárias



Fernando Pelisser, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), apresentou estudos das propriedades mecânicas da zona de transição em materiais cimentícios de alto desempenho com microfibras metálicas. O programa experimental incluiu a análise da variação da concentração de fibra, da relação água/cimento, da composição de pastas e argamassas, mostrando resultados da avaliação através da técnica de nanoindentação instrumentada, microscopia e demais ensaios. Apresentou resultados de várias propriedades, como resistência à compressão, dureza, comportamento elástico e plástico.

Alexandrino José Rodrigues Neto, da Universidade Federal da Bahia (UFBA), discorreu sobre a influência da adição de fibras de polipropileno no controle da exsudação do concreto. Explicou que as microfibras servem de barreira à exsudação da água e mostrou resultados de programa experimental com concretos de diferentes teores de fibras, concluindo pelo melhor controle da exsudação com o aumento desse teor. Como comentário adicional, o Prof. Figueiredo alertou para a importância de uma cura bem-feita, indicando que a adição de fibra não elimina essa importante etapa da produção do concreto.

A palestra final da sessão sobre análise experimental coube a Paulo R. R. Soares Jr, da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), que abordou o comportamento mecânico de pavimento rígido com reforços distintos de fibras curtas de aço, relatando estudo experimental sobre influência de fibras de aço nas propriedades do CRF quanto ao módulo de elasticidade, à resistência e à tenacidade.

Iniciando a segunda parte, o Prof. Marco Antonio Carnio, da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas), fez detalhada palestra sobre o CT 303. Ele indicou os quatro grupos de trabalho do comitê: de estruturas (GT1), reforços de estruturas existentes (GT2), estruturas com armadura de materiais não convencionais (GT3) e caracterização de materiais (GT4). Indicou a publicação, lançada no

59º CBC, a “Prática Recomendada IBRACON/ABECE sobre controle da qualidade CRF, que complementa a publicação lançada ano passado sobre projeto de estruturas. Apresentou também as publicações “Prática Recomendada sobre macrofibras sintéticas” e “Prática Recomendada sobre macrofibra de fibra de vidro álcali-resistente”. Por fim, comentou sobre a normalização sobre fibras de aço para concreto.

Thomás Resende apresentou estudo que tem por objetivo propor equação para determinar a resistência à força cortante de vigas de concreto armado sem armadura transversal reforçada com fibras de aço, a partir da análise de 164 ensaios de vigas da literatura e de ensaios em andamento na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

Modelagem numérica do comportamento do CRF foi apresentado por Yasmin T. Trindade, que trabalha em projeto com parceria USP e UNESP, que mostrou interessantes resultados utilizando elemento finito de acoplamento, desenvolvido pelos autores, que permite visualizar e explicitar as fibras nos modelos.

Estudo experimental sobre fratura dinâmica em modo misto de concreto autoadensável reforçado com fibras foi apresentado por Luiz Carlos de Almeida, da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), mostrando a influência do teor de fibra e da velocidade de aplicação do carregamento nos resultados dos ensaios. A sessão terminou com apresentação de estudo sobre reforço estrutural de vigas com concreto de ultra-alto desempenho contendo adição de fibras de aço e de polipropileno, apresentado por Roberto Christ, da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

O Prof. Figueiredo finalizou o Simpósio enaltecendo a grande quantidade de trabalhos de qualidade sobre CRF recebidos e, ao mesmo tempo, conclamando todos a continuar desenvolvendo pesquisas para responder às várias questões em relação ao uso do concreto reforçado com fibras.



**Prof. Barzin Mobasher lota auditório da Fundaparque nas Conferências Plenárias do 59º CBC**

Na avaliação de Antônio Domingues de Figueiredo sobre as palestras de Di Prisco e Mobasher, o uso dos modelos apresentados não se restringe a pesquisas acadêmicas e aos trabalhos de laboratório, mas são diretamente aplicados ao projeto de obras de arte especiais em concreto. “Já está mais do que na hora de deixarmos os modelos de dimensionamento propostos há décadas e passarmos a usar nas obras do país esses novos modelos propostos”, concluiu.

Por sua vez, o Prof. Fernando Branco, em sua palestra no IV Seminário “Pesquisas e Obras em Concreto Autoadensável”, ressaltou que, apesar de o uso de fibras no concreto estrutural aumentar sua resistência à tração, ele diminui sua trabalhabilidade, o que faz do concreto autoadensável uma boa opção para ser reforçado com fibras, por garantir a estabilidade das misturas, manter a trabalhabilidade e otimizar o comportamento reológico do concreto. A aplicação do concreto autoadensável reforçado com fibras no projeto da pista



**Eng. Carlos Brites apresentando estudos de dosagem do concreto para congressistas**

de patinação de gelo do Park Shopping Canoas foi apresentada no IV Seminário pelo engenheiro Carlos Brites, da PhD Engenharia. Brites mostrou o estudo de dosagem feito por sua equipe para se conseguir uma taxa de incorporação de ar de 4,5%, como recomenda a norma (ACI 201.2R-08) para o caso de estruturas de concreto submetidas a gelo/degelo (a pista de patinação consistia de uma laje de concreto com uma serpentina incorporada no seu interior, razão do uso das macrofibras de aço). “Houve uma dificuldade de se alcançar a taxa de 4,5% devido ao uso de superplastificantes”, explicou Brites, que também expôs como foi superado os desafios de se obter um adensamento de 62 cm, uma temperatura máxima de lançamento do concreto abaixo de 25°C e uma resistência à compressão aos 28 dias de 70MPa.

A afinidade mútua entre o concreto autoadensável e as fibras foi também destacada pelo mestrando da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), Eng. Augusto Gil, no IV Seminário, que apresentou várias propostas de métodos de dosagem do concreto autoadensável com fibras, de modo a assegurar suas propriedades construtivas. Outras palestras deste Seminário, que teve a coordenação do professor da Unisinos e diretor de eventos do IBRACON, Prof. Bernardo Tutikian, versaram sobre os custos envolvidos na aplicação do concreto autoadensável na indústria de pré-fabricados (Eng. Jadna Fuchter, da Votorantim Cimentos), a nova geração de aditivos para concretos fluidos com traços convencionais (Químico Mateus de Souza Guerra, da GCP Applied Technologies) e as pesquisas que vem sendo realizadas com o emprego de resíduos de construção e demolição e com subprodutos industriais em concreto autoadensável, para tornar o CAA de alto desempenho e com menor impacto ambiental (Prof. Paulo César Correia Gomes, da Universidade Federal de Alagoas).

Por fim, durante o 59º CBC foi oferecido aos congressistas um curso sobre especificação de projeto em concreto reforçado com fibras, promovido conjuntamente pelo IBRACON e RILEM. Com carga horária de doze horas, o curso foi ministrado pelos professores Di Prisco, Mobasher e Thomaz Buttignol.

## DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS

Coube também ao Prof. Fernando Branco abordar o tema da durabilidade das estruturas de concreto em sua conferência plenária no 59º CBC. Segundo ele, o maior desafio atual para os engenheiros civis é projetar estruturas com durabilidade. Em sua palestra, Fernando Branco, que é presidente da IABSE (International Association for Bridge and Structural Engineering), mostrou os estudos e cuidados tomados por sua equipe para o projeto e execução da Ponte Vasco da Gama, sobre o Rio Tejo, em Lisboa, projetada para durar 120 anos, com baixa manutenção. As normas de projeto estipulam uma vida útil de 50 anos para as estruturas de concreto, por meio de medidas construtivas, como a relação água/



cimento, consumo mínimo de cimento e resistência característica à compressão do concreto, bem como cobrimento mínimo das armaduras em função do tipo de ambiente de exposição. Para uma durabilidade de mais de 50 anos não há normas técnicas para especificação, sendo necessário o uso de modelos de degradação do concreto. Na Ponte Vasco da Gama, o modelo adotado foi o da carbonatação do concreto, pois esse fenômeno, em conjunto com a presença de água, cria condições para corrosão e perda de seção do aço, levando a perda de capacidade portante da estrutura. O Prof. Branco apresentou as investigações feitas em estruturas existentes com várias idades e o ensaio acelerado de carbonatação, que permitiram determinar a constante do modelo usado de carbonatação para o projeto da Ponte. Por meio do modelo foi especificado cobrimento de sete centímetros dos principais elementos estruturais da ponte, o que exigiu o uso de uma argamassa com fibras de vidro para conter sua fissuração. Em razão de ter havido uma variação nesse cobrimento das armaduras dos elementos estruturais da ponte, onde o cobrimento mínimo não foi verificado foi usado encamisamento com tubos de vidro.

O tema foi especialmente tratado e debatido no III Simpósio “Durabilidade das Estruturas de Concreto”, que contou com a apresentação de nove trabalhos técnico-científicos, abordando desde a importância da inspeção predial periódica, passando por estudos de casos de reação álcali-agregado, ataques por sulfatos e etringita tardia em elementos de concreto, até métodos de proteção e monitoramento para aumentar a vida útil das estruturas e normas técnicas para reabilitação de estruturas de concreto. Durante o III



**Professores Bernardo Tutikian (em pé), Paulo César Correia Gomes e Fernando Branco durante as discussões no IV Seminário sobre Pesquisas e Obras em CAA**

Simpósio foi lançado o Comitê Técnico IBRACON/Alconpat Brasil (Associação Brasileira de Patologia das Construções) “Manutenção e reabilitação de estruturas” (CT-802), que se reunirá periodicamente para discutir os requisitos para produtos e sistemas de reabilitação de estruturas, os ensaios para o controle da qualidade desses produtos e sistemas, as técnicas de execução dos serviços de reabilitação e a avaliação de desempenho dos serviços de reabilitação de estruturas. O objetivo final do CT-802 é o de publicar uma norma brasileira para reabilitação de estruturas de concreto. Segundo o coordenador do CT-802 e do III Simpósio “Durabilidade das Estruturas de Concreto”, diretor de cursos do IBRACON, Prof. Enio Pazini Figueiredo (Universidade Federal de Goiás), os trabalhos do Comitê devem se basear na norma norte-americana para avaliação de estruturas de concreto existentes, na norma europeia sobre produtos e sistemas para a proteção e reabilitação de estruturas de concreto (EN 1504/2006), nos trabalhos publicados dos Comitês Técnico da ISO (Organização Internacional de Normalização) e na experiência acumulada brasileira em reabilitação de estruturas. A superintendente do CB-18 da ABNT (Comitê Brasileiro de Concretos, Cimentos e Agregados da Associação Brasileira de Normas Técnicas) e diretora técnica do IBRACON, Eng<sup>a</sup> Inês Battagin, recomendou ao coordenador do CT-802 que os trabalhos sejam inicialmente focados para a elaboração de uma prática recomendada sobre o assunto, para que depois sejam encaminhados para proposta de normas, que deverá envolver o CB-18 e o CB-2 (Comitê Brasileiro da Construção Civil).



**Eng. Julio Timerman responde a dúvida de congressista, ao lado do palestrante Prof. Fernando Branco**



**Prof. Enio Pazini Figueiredo em momento de sua palestra no III Simpósio sobre Durabilidade das Estruturas de Concreto**

Vale registrar também a instalação do Comitê Técnico IBRACON/ABCIC de Pré-Fabricados (CT-304) em reunião no dia 1º de novembro, em que estiveram presentes 22 profissionais de diferentes segmentos da construção civil. Nesta reunião ficou acertado que as atividades do CT-304 estarão inicialmente voltadas para o desenvolvimento de uma Prática Recomendada sobre a ABNT NBR 9062:2017 (Projeto e Execução de Estruturas Pré-Moldadas de Concreto) e a elaboração de um texto-base para a normalização de elementos pré-fabricados destinados à construção de torres eólicas.

O tema da durabilidade permeou também a conferência de Diego Jaramillo, diretor da Federação Iberoamericana de Concreto Usinado (FIHP) e gerente técnico da Associação Colombiana de Produtores de Concreto (Asocreto). Abordando o pavimento de concreto, o Eng. Jaramillo explicou que sua maior durabilidade em relação ao pavimento asfáltico é assegurada com a adoção de boas práticas de engenharia no projeto e



**Eng. Diego Jaramillo palestrando sobre pavimentos de concreto para congressistas nas Conferências Plenárias do 59º CBC**

execução, como no adequado dimensionamento e modulação de suas placas, o uso de barras de transferência, o cuidadoso controle tecnológico do concreto e a especificação de sistemas eficientes de drenagem. Segundo ele, o pavimento rígido transfere os movimentos e esforços no sentido vertical para o sentido horizontal, distribuindo esses esforços e movimentos, de modo que suas intensidades são bastante minimizadas ao chegarem à placa de suporte do pavimento, o que leva a sua maior durabilidade. Esta é a concepção por trás do dimensionamento do “whitetopping”, pavimento rígido executado sobre pavimento asfáltico, para recuperação funcional da via.

A durabilidade foi contemplada também nos outros cursos oferecidos aos congressistas, como o ministrado por Luís Otávio Baggio Livi sobre estruturas pré-fabricadas de concreto, por Idário Fernandes sobre produção de artefatos de concreto vibroprensado e por Fábio Albino sobre dimensionamento de viga isostática pretendida.

## ENSINO DE ENGENHARIA

O II Seminário IBRACON sobre o Ensino de Engenharia Civil se propôs a discutir a qualidade e a atualidade do ensino de engenharia no Brasil. Para essa segunda edição a proposta foi trazer as experiências de professores envolvidos com metodologias alternativas de ensino.

Na palestra do assessor da presidência do Grupo Positivo e ex-diretor geral da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (Capes), Prof. Claudio de Moura Castro, o modelo brasileiro de ensino de engenharia foi apresentado como cópia do modelo da Escola Politécnica Francesa, com muita teoria e pouca prática durante o curso. Com essa fórmula, segundo Castro, os alunos acabam por se sentir desmotivados, porque ouvem falar de tudo, mas não aprendem nada, o que explica a enorme evasão nos cursos brasileiros de engenharia. “Aprender tecnologia não é conhecer os nomes de peças e equipamentos, e saber a fórmula por trás de seu funcionamento. Aprender tecnologia é sujar as mãos. Aprender é aplicar o que se aprende”, sustentou.

Como nosso país não conta com uma formação de qualidade e em quantidade suficiente nos níveis intermediários de profissionais, como mestres de obras, técnicos e tecnólogos, diferentemente do que acontece na França, uma enorme lacuna é formada no mercado de trabalho entre o engenheiro e o peão, que compromete a própria formação do engenheiro, que não passou pelos estágios intermediários, onde a prática tem mais valor do que a teoria. A consequência disso, na avaliação de Moura, é que muitas vezes o engenheiro precisa assumir posições técnicas nas empresas, sem ter sido adequadamente preparado para isso.

Como se muda esse quadro? Para o Prof. Cláudio Moura, ou o país investe na melhor formação e em quantidade suficiente de profissionais para a ocupação dos níveis



**Prof. Claudio de Moura Castro em momento de sua apresentação no II Seminário IBRACON sobre o Ensino de Engenharia Civil**

intermediários, ou os engenheiros civis deveriam ser preparados para serem instrutores nas obras, orientando sua equipe de trabalho quanto ao serviço que deverá ser executado. Neste último caso, as salas de aula terão que mudar, abandonando o formato no qual os professores ensinam teorias, para assumir uma forma na qual aos alunos recebem problemas, devendo buscar pelas melhores soluções. “Não é só aplicar as teorias, pois essas são insuficientes para prever tudo o que acontece na prática, mas sobretudo é experimentar e errar! Entre teoria e prática há a teoria da prática, que se aprende fazendo”, orientou Castro, citando Piaget.

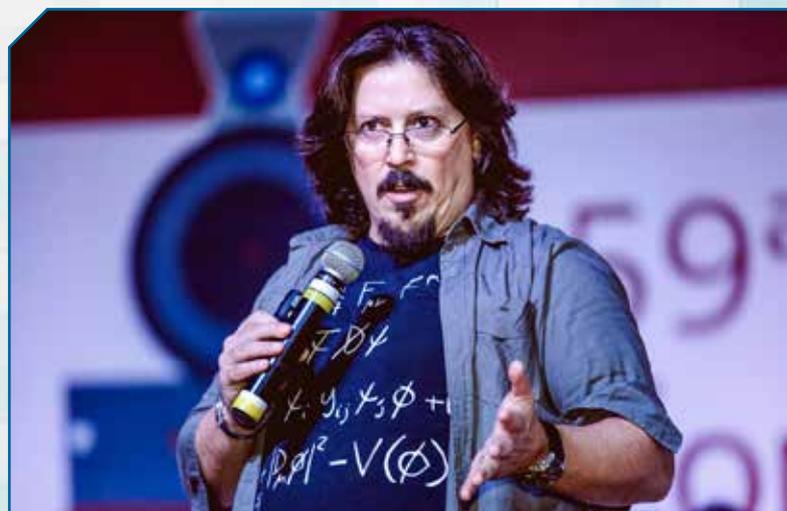
Pôr a mão na massa. Essa foi a ênfase dada por todos os palestrantes. O próprio Prof. Moura defendeu que há uma ligação neuronal ancestral entre partes nobres do cérebro com as mãos, sendo que o ato de aprender é facilitado pelo uso das mãos. “Mãos e cabeça evoluíram juntos. A mão fez o cérebro humano evoluir, pois com seu polegar opositor e maior o homem adquiriu habilidades com as mãos que sofisticaram as atividades do cérebro”, argumentou.

Para fazer com que o aluno seja mais participativo em sala de aula e que seja capaz de aplicar o que aprendeu na resolução de problemas práticos, o formato de sala de aula com carteiras enfileiradas na qual o professor fala e o aluno escuta terá que mudar. Segundo o diretor de ensino do Grupo IDD, Prof. José Ivair Motta Filho, esse tipo de formato de ensino causa no aluno a ilusão de fluência de aprendizado. “O aluno tem a sensação de que domina o assunto ensinado, mas não é capaz de aplicar o que lhe foi passado, esquecendo o conteúdo em poucos dias. Isto porque o aluno realmente não aprendeu”, afirmou.

Motta apresentou metodologias ativas (por meio das quais os alunos são estimulados a conversarem sobre os temas das aulas para consolidarem seu aprendizado), da sala invertida (proposta na qual os alunos resolvem problemas com o que foi ensinado em sala de aula) e de uso de tecnologia em favor do aprendizado (como uso do celular e do ambiente virtual para jogos de aprendizado e para treinamento especializado).

Metodologias ativas de aprendizado têm sido aplicadas no curso de engenharia civil da Universidade Presbiteriana Mackenzie. A instituição tem promovido o contato dos alunos com projetistas de estruturas e tecnólogos de concreto por meio de palestras e discussões sobre grandes obras da engenharia nacional, a exemplo da palestra sobre o Museu do Amanhã, com o presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman, diretor do escritório responsável pela revisão do projeto estrutural da obra.

Além de palestras e visitas técnicas, os alunos do Mackenzie participam regularmente de atividades interdisciplinares, nas quais um problema de engenharia é apresentado aos grupos, que precisam pesquisar e fazer ensaios de laboratório para buscar a melhor solução. “O desafio do primeiro semestre deste



**Prof. José Ivair Motta Filho em sua intervenção no II Seminário IBRACON sobre o Ensino de Engenharia Civil**

ano foi discutir o concreto para barragens”, exemplificou a coordenadora do curso de engenharia civil da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, Profa. Magda Aparecida Salgueiro Duro, em sua palestra.

Aos palestrantes do Seminário juntaram-se seus três coordenadores (Prof. César Henrique Daher, Prof. Luís César De Luca, ambos do IDD, e o Eng. Vinícius Caruso) e



Mesa-redonda com especialistas em educação para debates com os congressistas

dois integrantes do público presente, Aurélio Franceschi e João Bosco, para um debate com a audiência em torno do seguinte tema: as escolas de engenharia civil no Brasil deveriam privilegiar em seu quadro docente os mestres e doutores ou os engenheiros especializados?

Entre as propostas e reivindicações surgidas durante as discussões, destacou-se o combate à atual política educacional do Ministério da Educação de privilegiar a formação de mestres e doutores em detrimento de engenheiros especia-

lizados nos cursos de especialização e de graduação, com a proposta de se elaborar um manifesto dos profissionais da área com as reivindicações de como deve ser a formação do engenheiro civil (corpo docente equilibrado por professores mestres e doutores com dedicação exclusiva, e por profissionais especializados de empresas; diferenciação entre carreiras acadêmicas e profissionais, com valorização de ambas na Capes, de modo que trabalhos de consultoria contem créditos; adoção de metodologias ativas no ensino; entre outras), a ser levada ao sistema CONFEA/CREA, para daí ser defendida junto ao Ministério da Educação e ao Congresso Nacional.

Fazer os estudantes aplicarem o conhecimento aprendido em sala de aula é o objetivo dos concursos técnicos do IBRACON. Neste ano, aos concursos 24º Aparato de Proteção ao Ovo (construção de um pórtico de concreto armado resistente a cargas de impacto), 14º Concrebol (construção de uma bola de concreto homogênea e com resistência otimizada), 10º Ousadia (concepção de um projeto básico integrado de arquitetura e engenharia de obra de arte especial em concreto), 4º Concreto Colorido de Alta Resistência (confeção de corpo de prova cúbico com concreto colorido de alta resistência), juntou-se o Concreto – Quem Sabe Faz Ao Vivo (dosagem de concreto autoadensável coeso, com menor consumo de cimento e com maior resistência à compressão em 24 horas). Segundo Vinicius Caruso, recém-formado engenheiro civil no Mackenzie e um dos coordenadores do II Seminário IBRACON de Ensino de Engenharia Civil, os



Eng. Vinicius Caruso recebe livro "No Prumo" autografado por um dos autores, Prof. Paulo Helene, na sessão de autógrafos no estande do IBRACON na XIII Feibracon



**Prof. Paulo Helene em suas considerações no Corujão é assistido pelos professores Cláudio Sbrighi Neto, Carlos Brites, César Daher e Enio Pazini Figueiredo**

concursos do IBRACON são uma mostra do que pode vir a ser o ensino de engenharia civil com a adoção de novas metodologias de ensino.

Com vistas a contribuir com a boa formação do expressivo número de estudantes que têm participado das últimas edições do Congresso Brasileiro do Concreto, bem como dos concursos técnicos, o Instituto Brasileiro do Concreto criou uma sessão especial nesta edição, que, por acontecer após o encerramento das demais atividades do evento, foi chamada de Corujão, a qual foi coordenada pelo Prof. Enio Pazini Figueiredo. Nesta primeira edição, o engenheiro da Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem (Abesc), Eng. Arcindo Vaquero y Mayor, apresentou aos estudantes um exemplo prático de cálculo para estimar a resistência à compressão do concreto recebido em obra. Com auditório com capacidade para 400 pessoas lotado, os estudantes puderam discutir com o palestrante e com especialistas no assunto que compuseram a mesa de debates (Carlos Brites, Cláudio Sbrighi Neto, César Daher, Enio Pazini e Paulo Helene) o exemplo apresentado.

Além do envolvimento de profissionais, professores, pesquisadores e estudantes na programação técnico-científica do 59º CBC, seus participantes conheceram os profissionais de destaque e as dissertações de mestrados premiadas pelo IBRACON, e tiveram a oportunidade de estreitar relacionamentos e negócios na XIII Feira Brasileira das Construções em Concreto, onde patrocinadores (Capes, Votorantim Cimentos, Concretus, Instron/Emic, GCP, Itaipu Binacional, Intercement e Rilem) e expositores (Abesc, Atex, ATCP, Builder, Concretus, Erca, IBTS, MC Bauchemie, Penetron, Pini, Roberto Curra, Tecnosil e TQS)

expuseram suas novidades em termos de produtos e serviços aos participantes. Os patrocinadores tiveram ainda a chance de mostrar aos congressistas seus produtos e serviços de alto valor agregado (a Votorantim apresentou sua linha Hi-Mix de concreto de alto desempenho, Itaipu traçou um panorama dos ensaios que seu laboratório está habilitado a fazer e a Concretus apresentou suas centrais misturadoras importadas da Alemanha), as inovações em desenvolvimento (a Intercement apresentou as pesquisas relacionadas ao LEAP, seu concreto com menor pegada de carbono) e a aplicação de seus produtos nas obras recém-construídas (a GCP Applied Technologies trouxe um estudo de caso de controle tecnológico da construção da nova ponte sobre o Rio Guaíba, com a aplicação de sua nova linha de aditivos Concera) no Seminário de Novas Tecnologias.

A avaliação do gerente técnico da Votorantim Cimentos, Eng. Maurício Bianchini, foi que, por ser o mais importante evento técnico-científico da cadeia do concreto, o Congresso Brasileiro do Concreto possibilitou o aprimoramento profissional de sua equipe, incluindo oportunidades de assistir a palestras e manter contato com importantes profissionais do



**Congressistas participam de um dos coquetéis oferecidos na Feira Brasileira das Construções em Concreto (XIII Feibracon)**

setor e com pesquisadores brasileiros e estrangeiros, cujo foco de pesquisa é o concreto. “Além disso, fechamos bons negócios durante o 59º CBC”, concluiu.

Por fim, os congressistas puderam se confraternizar no jantar de encerramento, oferecido no Dall’Onder Grande Hotel, quando ocorreu a premiação dos vencedores dos concursos estudantis.

# Prêmio Destaques do ano 2017

Na solenidade de abertura do 59º Congresso Brasileiro do Concreto, no dia 31 de outubro, na Fundaparque, em Bento Gonçalves, no Rio Grande do Sul, foram homenageados os profissionais de destaques do ano, reconhecidos pelo Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) por suas contribuições ao progresso e à divulgação do conhecimento científico e tecnológico sobre o concreto.

Indicados por seus pares em votação aberta no site

[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br), os profissionais compuseram as listas submetidas à avaliação da Comissão Julgadora, composta pelos 2º vice-presidente, Eng. Luiz Prado Vieira Júnior, 1º secretário, Prof. Antonio Domingues de Figueiredo, diretora técnica, Eng. Inês Laranjeira da Silva Battagin, e diretor de pesquisa e desenvolvimento, Prof. Leandro Mouta Trawtein.

Confira os agraciados!

## PRÊMIO ARY FREDERICO TORRES | DESTAQUE DO ANO EM TECNOLOGIA DO CONCRETO

### Arnaldo Forti Battagin



Geol. Arnaldo Battagin recebe o prêmio da diretora técnica do IBRACON, Eng. Inês Battagin

- Geólogo pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (1974)
- Gerente dos laboratórios da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), sendo especialista nas áreas de tecnologia de cimento, durabilidade e sustentabilidade do concreto, e técnicas experimentais
- Representante da ABCP em comissões de estudos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) nos campos do concreto e seus materiais constituintes
- Membro pela ABCP do Conselho Diretor do Instituto Brasileiro do Concreto e do Conselho Deliberativo da ABCP
- Atuou pela ABCP na consultoria de inúmeras obras nacionais, incluindo UHE Teles Pires (MT), UHE Santo Antônio (RO), UHE Jirau (RO), UHE Belo Monte (PA)
- Autor de capítulos dos livros “Concreto: Ciência e Tecnologia” e “Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais do IBRACON”

## PRÊMIO ARGOS MENNA BARRETO | DESTAQUE DO ANO EM ENGENHARIA DE CONSTRUÇÕES

### Antonio Sergio Bianco



Diretor de Relações Institucionais do IBRACON, Prof. Paulo Helene faz entrega do prêmio ao Eng. Sérgio Bianco (esq.)

- Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Mackenzie (1989)
- Possui 32 anos de vivência na área de engenharia civil, com mais de 1,5 milhão de metros quadrados de área construída em concreto armado e pré-moldado
- Foi diretor técnico na Enplanta Engenharia (1989-2000) e na Sonaesierra Brasil (2000-2008)
- Atualmente, é Diretor de Desenvolvimento da Multiplan Empreendimentos Imobiliários, sendo responsável por todos os processos das obras (estudo de viabilidade, compatibilização dos projetos, planejamento, estratégia, coordenação e supervisão) de diversos projetos de edifícios comerciais e shopping centers, como o ParkShopping Canoas (145.852 m<sup>2</sup> de área construída e 69 mil m<sup>3</sup> de concreto aparente) e Morumbi Corporate Tower (142.594 m<sup>2</sup> de área construída)



## PRÊMIO GILBERTO MOLINARI | DESTAQUE DO ANO EM RECONHECIMENTO AOS SERVIÇOS PRESTADOS AO IBRACON

**Íria Lícia Oliva Doniak**



Engª Íria Doniak recebe prêmio do Presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman

- Engenheira Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (1988)
- Presidente-executiva da Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (Abcic), desde 2008, tendo sido anteriormente diretora da qualidade (2003 a 2008), com expressiva atuação no seu Programa de Certificação Setorial – Selo de Excelência ABCIC
- Representante da Abcic na fib (Federação Internacional do Concreto), como membro eleito do Conselho da Entidade para a gestão 2017-2020 e como membro das comissões de pré-fabricados e difusão de tecnologia
- Membro da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e de suas Comissões de Estudo de Estruturas Pré-Moldadas de Concreto e de Lajes alveolares, Painéis pré-fabricados e Estacas pré-fabricadas de Concreto
- Participou da Comissão Organizadora do 34º CBC (1992) e foi diretora de cursos do IBRACON (2013 a 2015), sendo atualmente sua diretora de marketing e representante da ABCIC junto ao seu Conselho Diretor, além de membro do Comitê Editorial da Revista CONCRETO & Construções
- Autora de capítulo do livro “Concreto: Ciência e Tecnologia, do IBRACON” sobre estruturas pré-moldadas de concreto

## PRÊMIO FRANCISCO DE ASSIS BASÍLIO | DESTAQUE EM ENGENHARIA NA REGIÃO DO EVENTO

**Geraldo Cechella Isaia**



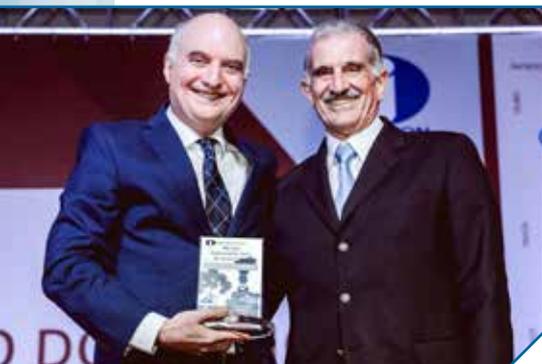
Filho do Prof. Geraldo Isaia, Prof. Gustavo de Aguiar Isaia, recebe o prêmio do diretor de eventos do IBRACON, Prof. Bernardo Tutikian

- Engenheiro Civil (1965) e mestre (1990) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1995)
- Professor aposentado pela Universidade Federal de Santa Maria e professor voluntário do seu Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, tendo orientado 42 dissertações de mestrado e 10 teses de doutorado
- Atuou como engenheiro do Escritório Técnico de Obras da Reitoria da UFSM, em mais de 100 mil metros quadrados de área construída, entre 1966 e 1989, sendo responsável pela instalação e operação da área de cimento, argamassas e concretos do seu Laboratório de Materiais de Construção Civil
- Editor dos livros do IBRACON “Concreto: Ciência e Tecnologia” (edições de 2005 e 2011) e “Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais” (edições de 2007, 2010 e 2017)

## Prêmio Destaques do ano 2017

### PRÊMIO EPAMINONDAS MELO DO AMARAL FILHO | DESTAQUE DO ANO EM ENGENHARIA DE PROJETO E CONSTRUÇÃO DE CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

#### Jorge Batlouni Neto



Eng. Jorge Batlouni Neto recebe prêmio do diretor de publicações técnicas do IBRACON, Eng. Eduardo Barros Millen

- Engenheiro civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- Mestre em Habitação e Tecnologia pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2003).
- Diretor Superintendente da Tecnum Construtora, com mais de 4.800 unidades entregues – entre eles os renomados edifícios E-Tower e Cidade Jardim
- Desde 2002, é professor do MBA em Tecnologia na Gestão de Produção de Edifícios da Escola Politécnica da USP
- Vice-presidente do Comitê de Tecnologia e Qualidade do SindusCon-SP (Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo)
- Participou das comissões de elaboração das normas ABNT NBR 14931, ABNT NBR 6122 e ABNT NBR 15575

### PRÊMIO FERNANDO LUIZ LOBO BARBOSA CARNEIRO | DESTINADO AO DESTAQUE DO ANO COMO PESQUISADOR NA ÁREA DO CONCRETO ESTRUTURAL

#### Rafael Alves de Souza



Vice-presidente do IBRACON, Prof. Tulio Bittencourt, faz entrega do prêmio ao Prof. Rafael Alves de Souza (esq.)

- Engenheiro Civil (1999) pela Universidade Estadual de Maringá e mestre (2001) pela Universidade Estadual de Campinas
- Doutor em modelagem computacional (análise não linear), análise experimental e dimensionamento de elementos especiais de concreto pela Universidade do Porto (Portugal, 2003) e engenharia de estruturas pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2004)
- Professor da Universidade Estadual de Maringá desde 2002, onde é membro do Grupo de Desenvolvimento e Análise do Concreto Estrutural
- Sócio-diretor da Engracon Engenharia e Arquitetura, e Engrafix Construções, atuando em perícias estruturais, tendo participado em 2006, juntamente com colegas da University of Illinois, onde fez seu pós-doutorado, de laudo complementar sobre o colapso do Cassino Tropicana (New Jersey, 1994) e, em 2008, do laudo sobre a queda frágil das 15 sacadas do Edifício Don Gerônimo (Maringá)
- Membro do Comitê CT 301 do IBRACON/ABECE e da Comissão de Revisão da ABNT NBR6118 e membro do Conselho Editorial da Revista Acta Scientiarum e revisor da revista internacional ACI Structural Journal (EUA)



## PRÊMIO OSCAR NIEMEYER SOARES FILHO | DESTAQUE DO ANO COMO ARQUITETURA PROFISSIONAL

**Alberto Rubens Botti**



Representando o arq. Rubens Botti,  
Eng. Douglas Couto recebe prêmio  
do diretor segundo-tesoureiro do  
IBRACON, Eng. Nelson Covas

- Graduação em Arquitetura pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo Mackenzie (1954)
- Foi presidente do Departamento São Paulo do Instituto de Arquitetos do Brasil (IAB-SP) de 1964 a 1965 e sócio-fundador e primeiro presidente da Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura (AsBEA), de 1973 a 1974
- Foi presidente da Empresa Municipal de Urbanização de São Paulo (Emurb) de 1973 a 1975 e integrou a Comissão do Código de Obras do Município de São Paulo entre 1961 a 1963, entre 1984 a 1985 e em 1990
- Atualmente, é sócio diretor do escritório Botti Rubin Arquitetos Associados, responsável pela produção de cerca de 1.000 edifícios, desde edifícios residenciais (como o São Félix), centros de compras (como o Shopping Higienópolis, em São Paulo) e grandes complexos multiusos (como é o caso do Centro Nações Unidas, com 280 mil metros quadrados)
- Recebeu o Prêmio Escritório do Ano e o 1º Lugar pelo Conjunto da Obra, da AsBEA em 2002

## 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](http://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 Carrata Dias

#### Patrocínio



# Dissertações premiadas em 2017

O Prêmio de Teses e Dissertações homenageou neste ano as melhores dissertações de mestrado defendidas entre 1º de março de 2015 e 28 de fevereiro de 2017, cadastradas no Concreto Brasil, banco de pesquisas de pós-graduação sobre o concreto do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON).

A cerimônia de premiação aconteceu na abertura do 59º Congresso Brasileiro do Concreto, evento técnico-científico

sobre o concreto e seus sistemas construtivos, que aconteceu de 31 de outubro a 3 de novembro, em Bento Gonçalves, no Rio Grande do Sul.

As dissertações premiadas foram escolhidas por comissão julgadora, coordenada pelo diretor de Pesquisa e Desenvolvimento do IBRACON, Prof. Leandro Mouta Trautwein.

Confira os trabalhos premiados!

## Prêmios de Teses e Dissertações 2017

### MELHOR DISSERTAÇÃO EM ESTRUTURAS



Eng. Henrique Jorge Nery de Lima (esq.) recebe prêmio do diretor de pesquisa e desenvolvimento do IBRACON, Prof. Leandro Mouta Trautwein

#### TÍTULO:

**Análise Experimental da Punção de Lajes Lisas tipo Bubbledeck**

- **DATA DE DEFESA:** 3/3/2015
- **AUTOR:** Henrique Jorge Nery de Lima
- **ORIENTADOR:** Guilherme Sales Soares de Azevedo Melo
- **UNIVERSIDADE:** Universidade de Brasília (UnB)

### MELHOR DISSERTAÇÃO EM MATERIAIS



Engª Andreia Posser Carginin recebe prêmio do segundo vice-presidente do IBRACON, Eng. Luiz Prado Vieira Júnior

#### TÍTULO:

**Análise Experimental e Analítica da Fissuração de Pavimentos de Concreto Continuamente Armados em Clima Tropical**

- **DATA DE DEFESA:** 23/11/2016
- **AUTOR:** Andreia Posser Carginin
- **ORIENTADOR:** José Tadeu Balbo
- **UNIVERSIDADE:** Universidade de São Paulo (USP)



# Concursos estudantis são oportunidade de pôr em prática o aprendido em sala de aula



Vista panorâmica da Arena dos Concursos durante realização do ensaio de carregamento dinâmico do APO

O Instituto Brasileiro do Concreto organiza anualmente concursos técnicos para estimular a competição saudável entre os estudantes dos cursos de engenharia civil, arquitetura, tecnologia e afins.

Durante o 59º Congresso Brasileiro do Concreto, de 31 de outubro a 03 de novembro, na Fundaparque, em Bento Gonçalves (RS), foram realizados o 24º Aparato de Proteção ao Ovo, o 14º Concrebol, o 4º Cocar, o 10º Ousadia e a primeira edição do novo concurso técnico do IBRACON: Concreto - Quem sabe faz ao vivo.

Patrocinada pela Votorantim Cimentos, a Arena dos Concursos é um espaço especialmente projetado, com arquibancadas ao redor das máquinas de ensaios, cedidas

pela Instron/Emic, para criar um ambiente envolvente para o aprendizado e apoio às equipes em competição.

Foi do departamento de marketing da Votorantim Cimentos de onde surgiram as ideias iniciais e as colaborações para as regras do novo concurso estudantil do IBRACON. O protótipo dessa competição aconteceu no estande da Votorantim na Concrete Show South America 2010. “Por ser muito dinâmico e contagiante, o concurso “Concreto: quem sabe faz ao vivo” atraiu o público para nosso estande e fez com que houvesse uma troca de conhecimentos entre os que acompanhavam e participavam dos concursos”, complementa Luiz de Brito Prado Vieira, consultor de P&D e Qualidade da Gerência de P&D e Qualidade da Votorantim Cimentos.



O presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman fala aos estudantes no CONCRETE LOVERS

O sucesso da competição fez a empresa querer levá-la para o 59º CBC, como mais um concurso técnico a ser promovido pelo IBRACON, sob coordenação da diretora de atividades estudantis, Enga. Jéssica Pacheco, uma vez que incentivava os estudantes a aprenderem e a aplicarem a tecnologia do concreto. “A nova competição está bastante alinhada com a missão do IBRACON, de proporcionar aos profissionais e agentes do setor mais conhecimentos por meio da divulgação das pesquisas científicas e tecnológicas sobre o concreto”, esclareceu Brito.

Oferecido aos inscritos nos concursos estudantis, o Jantar CONCRETE LOVERS aconteceu no dia 1º de novembro, no Centro de Tradições Gaúchas “Laço Velho”. A mesa-redonda do jantar deste ano contou com a participação de um dos fundadores do IBRACON, Prof. Simão Prizskunik, de seu presidente, Eng. Julio Timerman, de seu diretor de cursos, Prof. Enio Pazini, dos coordenadores do II Seminário sobre Ensino de Engenharia Civil, Prof. Cesar Daher e Eng. Vinicius Caruso, que compartilharam com os alunos suas experiências profissionais.

Foi realizado o jogo do banquinho, um ‘quiz’ bem divertido com questões relacionadas com a engenharia e assuntos

diversos, que contou com a participação de um representante de cada instituição de ensino participante dos concursos promovidos durante o 59ºCBC, mediado pelo Eng. Carlos Britez.

O CONCRETE LOVERS contou com o patrocínio do Instituto IDD e da EMBU S.A.

A premiação das três equipes mais bem colocadas em cada concurso aconteceu no Jantar de Confraternização do 59º Congresso Brasileiro do Concreto, realizado no Grande Hotel Dall’Onder. Além das placas alusivas à premiação, as equipes vencedoras receberam prêmios em dinheiro.

O Prêmio Medalha Concreto IBRACON 2017 foi entregue à

equipe com o melhor desempenho nos concursos: a equipe orientada pelo professor Rui Barbosa de Souza, do Centro Universitário FEI (Faculdade de Engenharia Industrial), que foi agraciada com licenças do software TQS para todos os alunos, patrocinadas pela TQS Informática. Por ter alcançado esta premiação, a equipe FEI irá representar o Brasil, com inscrições e passagens pagas, no Egg Protection Device 2018, concurso promovido pelo American Concrete Institute (ACI).

Conheça a seguir os premiados!



Equipe da FEI posa como vencedora do Prêmio Medalha Concreto IBRACON 2017



# Concurso Aparato de Proteção ao Ovo (APO)



APO posicionado para o ensaio de carregamento dinâmico

A competição desafia os estudantes a projetar e construir um pórtico de concreto armado resistente às cargas crescentes de impacto. O concurso testa a capacidade dos alunos em desenvolver elementos estruturais resistentes a cargas dinâmicas, tirando o

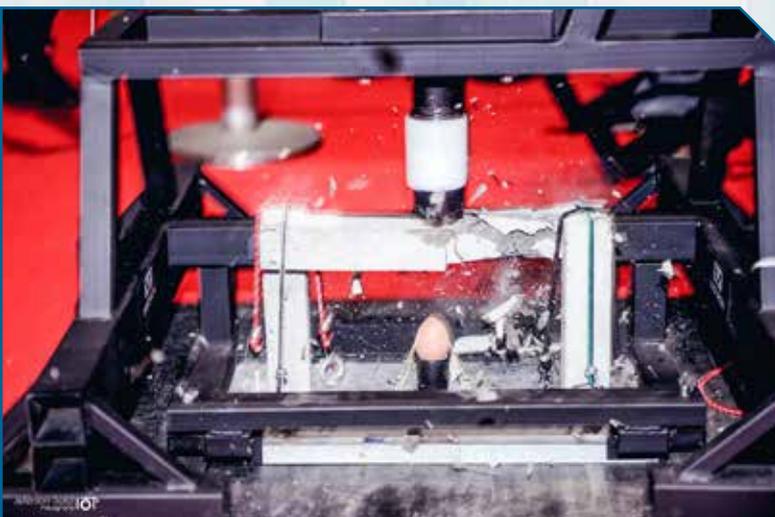
máximo proveito das propriedades do concreto armado.

Os pórticos têm suas dimensões avaliadas e suas massas determinadas antes dos ensaios. A precisão dimensional é crítica, sobretudo nas dimensões das bases. O aparato que não atende os requisitos do Regulamento é automaticamente desclassificado.

O ensaio de carregamento dinâmico consistiu em soltar um cilindro metálico, com 50 mm de diâmetro e massa de 15 kg, de alturas de um metro a 2,5 metros. O ensaio prosseguiu a cada impacto caso o APO tenha resistido. Não sendo rompido após o terceiro carregamento da altura de 2,5m, o ensaio era encerrado, sendo a carga resistida considerada como a máxima para o concurso.

A pontuação obtida por cada equipe é a somatória das alturas de impacto antes do APO ser danificado, protegendo o ovo sob ele. No caso de equipes que tenham inscrito mais de um APO, a pontuação considerada foi a do APO com maior pontuação. Venceu a equipe que obteve a maior pontuação geral. Em caso de empate, o critério de desempate foi a menor perda de massa sofrida pelo APO com o ensaio.

Nesta edição participaram do APO 19 equipes, totalizando 410 alunos.



APO resiste a carga de impacto imposta durante o ensaio de carregamento dinâmico

# Premiação APO 2017

## 1º LUGAR



Vencedores do APO posam ao lado do Eng. Roberto Antonio de Lima, representando as patrocinadoras do concurso, Ralserv, S&P Reinforcement e Fortesas

- **INSTITUIÇÃO**  
Centro Universitário FEI
- **EQUIPE**  
**Alunos:** Felipe Eduardo O. Pinto, Andressa Corrêa Garcia, Bruno Nardini Innocenti, Felipe Gonçalves dos Santos, Gabriel Jacobini Ramiro, Gabriela Prado de Oliveira, Gustavo Zerbinatti Afonso, João Antônio R. Garcia, Júlio Victor Casimiro de Oliveira, Lucas Camargo Carvalho, Luis Paulo De Spirito Palazzolli, Marina Magalhães Rodrigues, Mayara Lumi Monma, Ronaldo Tomanin Alves Monteiro, Giovani Faile Mancuso, Natalia Colbert Leal, Guilherme Melani Dutra, Rafael de Freitas Santos.  
**Orientador:** Rui Barbosa de Sousa
- **PONTUAÇÕES**  
9,5  
Perda de massa: 7g

## 2º LUGAR



Equipe da UFBA presente na entrega do prêmio de segundo-lugar no APO

- **INSTITUIÇÃO**  
Universidade Federal da Bahia (UFBA)
- **EQUIPE**  
**Alunos:** Adriana dos Santos da Silva, Adrielle Nascimento Marques, Bruna Silva Santos, Flávio Carvalho Silva, João Pedro Assis Bittencourt, Kamilla Wanderley Pinto, Lucas Ebenézer Lima dos Santos, Lucca Favorette Soares, Pedro Henrique Rodrigues Costa, Ronald Bastos Santos Cajado, Tauane da Cruz Araujo, Yuri Cunha Valladares  
**Orientadores:** Antônio Sérgio Ramos da Silva, Paulo César de Jesus Sant'Anna
- **PONTUAÇÕES**  
4,5  
Perda de massa: 5g

## 3º LUGAR



Alunos da UFPE posam com prêmio concedido ao terceiro colocado

- **INSTITUIÇÃO**  
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
- **EQUIPE**  
**Alunos:** Bertrand Guerra de Carvalho, Bruno Bezerra de Souza, Gabriela Leal, Iago Santana, Jasilane Moraes, Lucas Ffaf, Maria Eduarda Queiroz, Marília Pereira Cavalcanti, Matheus Sales Tomé, Nina Rosa Sobreira Peres, Rebeca Valgueiro Teixeira, Rodrigo Costa Portela de Lima, Stewart Carlos  
**Orientador:** Arnaldo Manoel Pereira Carneiro
- **PONTUAÇÕES**  
4,5  
Perda de massa: 17g



# Concurso CONCREBOL



Equipe assiste ansiosa ao ensaio de uniformidade física de sua bola

Construir uma esfera resistente de concreto, com dimensões e materiais pré-estabelecidos, capaz de rolar numa trajetória retilínea. Este foi o desafio do Concurso Técnico CONCREBOL, que testa as aptidões dos competidores na produção de concretos homogêneos e resistentes e no desenvolvimento de métodos construtivos requeridos para a confecção da bola.

O concurso é formado por quatro etapas, cada qual con-

tribuindo para a pontuação final: medidas do diâmetro; medidas da massa da bola; ensaio de uniformidade física da bola, com atribuição do coeficiente  $C_1$ ; e ensaio de resistência do concreto.

O cálculo da pontuação final é obtido pela equação:

$$PF = \frac{2 \cdot P}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \times \frac{V}{m} \times C_1 \times F \times \frac{9,0}{m} \quad [1]$$

Onde:

PF: valor da pontuação final;

P: máxima carga registrada no ensaio de resistência à compressão (kN);

r: raio da bola (m);

V: volume da bola ( $m^3$ );

m: massa da bola (kg);

$C_1$ : coeficiente de uniformidade da bola;

F: fator relativo à dispersão entre as medidas de diâmetro da bola.

Venceu o Concurso a equipe cuja bola obtiver a maior pontuação final. Em caso de empate, a menor massa específica do concreto serviu de critério de desempate.

Nesta edição, participaram 30 equipes com 41 bolas, totalizando 419 alunos.



Bola é posicionada para ensaio de resistência à compressão

# Premiação CONCREBOL 2017

## 1º LUGAR



Equipe vencedora posa com o Eng. Carlos Mendes Lima, representando a patrocinadora do concurso, Penetron

- **INSTITUIÇÃO**

Instituto Mauá de Tecnologia

- **EQUIPE**

**Alunos:** Airton Brandini Soares Junior, Ana Carolina Ortega Valerio, Beatriz Tonin Jatobá, Daniel Jozala Lopes, Daniel Vieira Peixoto, Deborah Ferraz Correa, Dimitri Braguim Gussarov, Eduardo Brandão, Erick Hardt, Felipe Moreno dos Anjos, Filipe Kuziv do Amaral, Guilherme Bittar Garcia, Henrique Fiorentino, Isabella Ramos Ferreira, Jéssica Andrade Dantas, João Vitor Vaz de Souza, Laís Tiemi Assis Koga, Letícia Robeldo Lobo, Marco Tadeu Nunes, Marcos Lui Geh, Mateus Paulilo Mantovani, Matheus Sakano, Michel Freitas Miudo de Oliveira, Nathalie June Marumoto, Nathalie Tamiozo Rezende, Nicolas Elias Corte Imperial Carneiro, Renan Borges Pereira Forte, Renato Cattani Júnior, Rodrigo Vasconcelos Medea, Rodrigo Cardoso, Thomas Hachul Bizuti, Víctor Nahum, Yan Flavio da Costa Alvarenga

**Orientadores:** Fábio Selleio Prado, Heloisa Cristina Fernandes Cordon

- **PONTUAÇÕES**

Diâmetro médio: 217,58mm; Raio: 0,109m; Volume: 0,0054m<sup>3</sup>; F: 0,982; Massa: 6446g; C1: 1; P: 299,317kN; PF: 4,6167

## 2º LUGAR



Equipe da FEI recebe prêmio de segundo-lugar no Concrebol do Eng. Carlos Mendes Lima, representando a patrocinadora Penetron

- **INSTITUIÇÃO**

Centro Universitário FEI

- **EQUIPE**

**Alunos:** Felipe Eduardo O. Pinto, Addressa Corrêa Garcia, Bruno Nardini Innocenti, Felipe Gonçalves dos Santos, Gabriel Giacobini Ramiro, Gabriela Prado de Oliveira, Gustavo Zerbinatti Afonso, João Antônio R. Garcia, Júlio Victor Casimiro de Oliveira, Lucas Camargo Carvalho, Luis Paulo De Spirito Palazzoli, Marina Magalhães Rodrigues, Mayara Lumi Monma, Ronaldo Tomanin Alves Monteiro, Natalia Colbert Leal, Guilherme Melani Dutra, Rafael de Freitas Santos

**Orientador:** Rui Barbosa de Sousa

- **PONTUAÇÕES**

Diâmetro médio: 217,14mm; Raio: 0,109m; Volume: 0,0054m<sup>3</sup>; F: 0,991; Massa: 8074g; C1:1; P: 271,719kN; PF: 2,6908

## 3º LUGAR



Equipe da Unoesc posa com prêmio de terceiro-lugar no Concrebol

- **INSTITUIÇÃO**

Universidade do Oeste de Santa Catarina (Unoesc)

- **EQUIPE**

**Alunos:** Agatha Karyne Guisleni, Alana Quaiotto, Alysson Luiz D. Guadagnin, Ana Cristina Bernardi, Bruna Baretta, Luiza Maiara Cantelli, Renata Piva Chiarani, Renan Carlos Griggio, Rodrigo Salla, Silvestre José C. Volpato, Suellen Karine Cervelin, Thauan Lucas Casarim, Thiago Henrique M. Rumpf

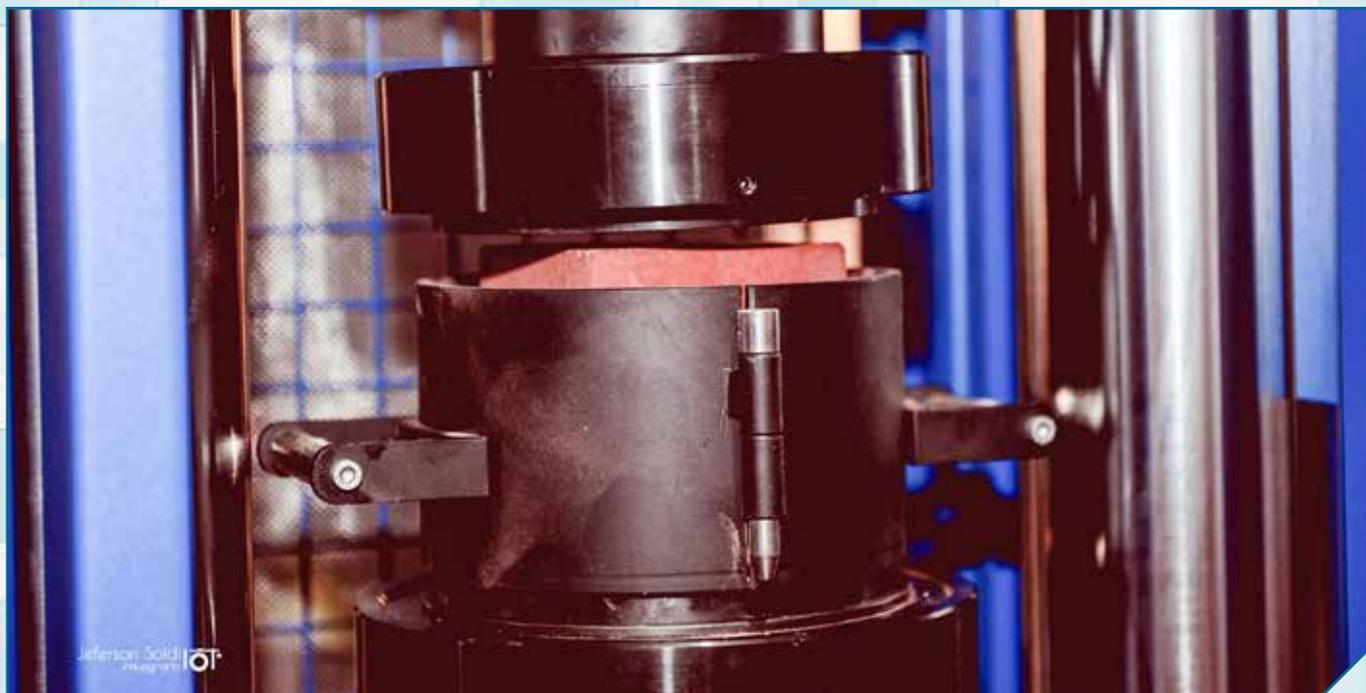
**Orientadores:** Angela Zamboni Piovesan, Jhulis Marina Carelli, Maiara Foiato

- **PONTUAÇÕES**

Diâmetro médio: 218,29mm; Raio: 0,109m; Volume: 0,0054m<sup>3</sup>; F: 0,957; Massa: 8934g; C1: 1; P: 340,781kN; PF: 2,6752



# Concurso Concreto Colorido de Alta Resistência (COCAR)



Corpo de prova é submetido ao ensaio de resistência à compressão

O concurso testa a habilidade dos competidores na preparação de concretos resistentes, coloridos e translúcidos, usados na moldagem de corpos de prova cúbicos com 10 cm de aresta, que são submetidos ao ensaio de compressão axial.

A competição é formada por quatro etapas:

- Medição das dimensões e massa dos corpos de prova, e avaliação de suas colorações com base numa palheta de cores, com atribuição de coeficientes (C1);
- Determinação da translucidez dos corpos de prova por meio de seu posicionamento em frente de uma fonte de luz externa, com atribuição de coeficientes segundo possibilite ou não a visualização do logotipo do IBRACON (C2);
- Avaliação da resistência à compressão dos corpos de prova por meio de ensaio;
- Inspeção visual dos corpos de prova rompidos para ver se atendem às especificações de homogeneidade do Regulamento do concurso; o não atendimento desclassifica a equipe.

A pontuação final é o produto da resistência à compressão do corpo de prova pelos seus coeficientes de cor e de translucidez. Venceu o concurso a equipe que conseguiu a maior pontuação final. Em caso de empate, o corpo de prova com menor massa serviu de critério para o desempate.

Participaram dessa edição 25 equipes com 36 corpos de prova, totalizando 402 alunos.



Corpo de prova após o ensaio de resistência à compressão

# Premiação COCAR 2017

## 1º LUGAR



Tânia Regina Moreno, representante da patrocinadora do concurso, Lanxess, posa com equipe vencedora da premiação

- **INSTITUIÇÃO**

Universidade do Oeste de Santa Catarina (Unoesc)

- **EQUIPE**

**Alunos:** Agatha Karyne Guisleni, Alana Quaiotto, Alysson Luiz D. Guadagnin, Ana Cristina Bernardi, Bruna Baretta, Luiza Maiara Cantelli, Renata Piva Chiarani, Renan Carlos Griggio, Rodrigo Salla, Silvestre José C. Volpato, Suellen Karine Cervelin, Thauan Lucas Casarim, Thiago Henrique M. Rumpf

**Orientadores:** Angela Zamboni Piovesan, Jhulis Marina Carelli, Maiara Foiato

- **PONTUAÇÕES**

Massa: 2528g; D1: 101,25mm; D2: 100,72mm; C1: 0,81; C2: 1; F: 1314,768kN; Fc: 128,9254MPa; PF: 104,4295

## 2º LUGAR



Tânia Regina Moreno, representante da patrocinadora Lanxess entrega prêmio ao segundo colocado no Cocar

- **INSTITUIÇÃO**

Centro Universitário Facex (Unifacex)

- **EQUIPE**

**Alunos:** Fernando Henrique Lúcio da Silva, Miquéias da Silva Campelo, Igor Oliveira da Silva Batista, Gleiciane Lima da Silva, Alisson da Silva Lima, Luciano Luan Silva Ribeiro, Jaqueline de Moraes Vieira, Alice D'Carla Gomes Ovídio, Percival Pedrosa Machado

**Orientadores:** Hugo Mozer Barros Eustáquio, Zodínio Laurisa Monteiro Sampaio

- **PONTUAÇÕES**

Massa: 2509g; D1: 100,49mm; D2: 100,94mm; C1: 0,89; C2: 1; F: 1178,859kN; Fc: 116,2186MPa; PF: 103,4346

## 3º LUGAR



Equipe terceira-colocada no Cocar posa com prêmio na cerimônia de premiação

- **INSTITUIÇÃO**

Universidade do Estado do Amazonas (UEA)

- **EQUIPE**

**Alunos:** Jessicka P. da Silva Gomes, Lucas de C. Capobiango, Maria J. de M. Monte, Stefanny di S. da Silva Costa, Karllen P. Corrêa, Fabrício R. Seppe, Matheus F. Ferreira, Tiago C. Cavalcante, Aluísio P. de Lima Neto, Julianna M. da Silva, Vanessa Costa e Costa, Yasmin B. Gomes, Stephanie P. Costa, Mateus F. de Oliveira, André Luiz C. Queiroz, Isabelle de M. Corrêa, Francisco da C. Morais Neto, Paulo Henrique do N. Filho, Potyra de F. Farias, Lian D. Castro, Jessica Raíssa M. Guimarães, Marcus Vinícius P. da Silva Santos, Anne Karine A. Izel, Ana Leticia S. Ribeiro, Christian do Lago F. B. de Melo, Daniel Herszon Filho, Fabiana N. A. Rios, Francisco Oscar O. da Silva Junior, Gabirela S. dos Santos, Juliana A. da Silveira, Larissa G. Moura, Lucas O. Mendes, Sidney F. Fernandes

**Orientadora:** Samantha Coelho Pinheiro

- **PONTUAÇÕES**

Massa: 2622g; D1: 101,46mm; D2: 100,18mm; C1: 0,87; C2: 1; F: 1191,618kN; Fc: 117,2360Mpa; PF: 101,9954



# Concurso Ousadia



Exposição das pranchas e da maquete de uma das equipes participantes do Ousadia 2017

laborar um estudo para a concepção de um projeto básico integrado de arquitetura e engenharia de uma obra de arte especial com componentes estruturais em concreto, que garanta a acessibilidade entre da Rua Santo Antônio à Rua Francisco Luiz Bertoni, de modo a promover a requalificação urbanística do bairro Juventude da Enologia, na cidade de Bento Gonçalves, no Rio Grande do Sul. Este foi o desafio feito aos estudantes dos cursos de Engenharia Civil, Arquitetura e Tecnologia pelo Concurso Ousadia 2017.

A proposta deve evidenciar uma percepção global do local, considerando seus usos, a paisagem urbana, a preserva-

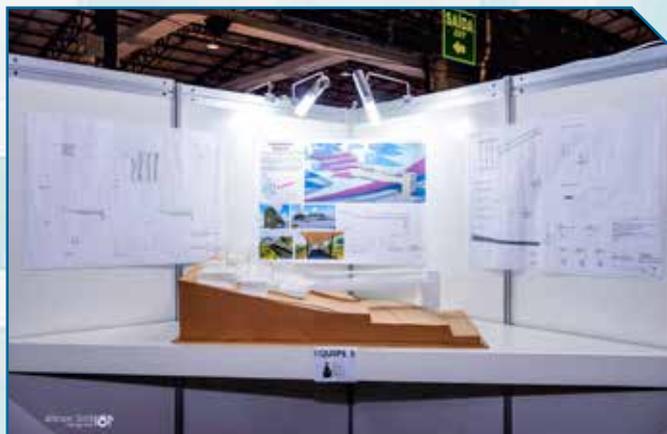
ção do patrimônio cultural, as formas naturais e as matérias-primas disponíveis, conciliando-a com o uso do concreto, a dimensão e proporções da obra de intervenção.

Os objetivos do Concurso são: desenvolver a aptidão dos alunos na concepção de projetos ousados, seguros, duráveis, viáveis economicamente, sustentáveis, de fácil manutenção e harmonicamente inseridos em seus contextos local, cultural e histórico; ampliar os conhecimentos dos estudantes sobre a tecnologia do concreto; e aumentar o entrosamento entre estudantes de arquitetura, engenharia civil e tecnologia.

Preliminarmente, os projetos foram avaliados sob os critérios do sistema construtivo adotado, com relação à sua estabilidade, durabilidade e manutenção, recebendo notas de 1 a 10. Em seguida, os projetos foram avaliados com notas de 1 a 10 por uma comissão local, formada por representantes de entidades municipais de Bento Gonçalves. Por fim, os projetos foram apresentados em três pranchas no tamanho A1 da ABNT e numa maquete física, representada em escala, com no máximo 1m<sup>2</sup> de área, na Fundaparque, sendo avaliados pela comissão julgadora do concurso, que atribuiu notas de 1 a 10 a cada um dos quesitos arquitetônicos considerados.

Os três projetos mais bem pontuados receberam os prêmios de Vencedor (1º lugar), Destaque (2º lugar) e Mérito (3º lugar). O critério de desempate foi o menor volume total de concreto empregado.

Participaram da edição 9 equipes, totalizando 190 alunos.



Exposição do projeto vencedor do Ousadia 2017 durante do 59º CBC

# Premiação Ousadia 2017

## 1º LUGAR



Eng. Carlos Mendes Lima e Eng. Carlos Brites, representantes dos patrocinadores do concurso, Mendes Lima Engenharia e Azko Nobel, posam com equipe vencedora do Ousadia

- **INSTITUIÇÃO**

Instituto Mauá de Tecnologia

- **EQUIPE**

**Alunos:** Airtton Brandini Soares Junior, Ana Carolina Ortega Valerio, Beatriz Tonin Jatobá, Daniel Jozala Lopes, Daniel Vieira Peixoto, Deborah Ferraz Correa, Dimitri Braguim Gussarov, Eduardo Brandão, Erick Hardt, Felipe Moreno dos Anjos, Filipe Kuziv do Amaral, Guilherme Bittar Garcia, Henrique Fiorentino, Isabella Ramos Ferreira, Jéssica Andrade Dantas, João Vitor Vaz de Souza, Laís Tiemi Assis Koga, Leticia Robeldo Lobo, Marco Tadeu Nunes, Marcos Lui Geh, Mateus Paulilo Mantovani, Matheus Sakano, Michel Freitas Miudo de Oliveira, Nathalie June Marumoto, Nathalie Tamiozo Rezende. Nicolas Elias Corte Imperial Carneiro, Renan Borges Pereira Forte, Renato Cattani Júnior. Rodrigo Vasconcelos Medea, Rodrigo Cardoso, Thomas Hachul Bizuti, Victor Nahum, Victoria Maximiano Martins, Yan Flavio da Costa Alvarenga

**Orientadores:** Fábio Selleio Prado, Heloisa Cristina Fernandes Cordon

- **PONTUAÇÕES**

Arquitetura: 217; Estrutura: 103 Opinião local: 8,5; Total: 329

## 2º LUGAR



Eng. Carlos Mendes Lima e Carlos Brites fazem entrega do prêmio à equipe da FEI

- **INSTITUIÇÃO**

Centro Universitário FEI

- **EQUIPE**

**Alunos:** Felipe Eduardo O. Pinto, Andressa Corrêa Garcia, Bruno Nardini Innocenti, Felipe Gonçalves dos Santos, Gabriel Giacobini Ramiro, Gabriela Prado de Oliveira, Gustavo Zerbinatti Afonso, João Antônio R. Garcia, Lucas Camargo Carvalho, Luis Paulo De Spirito Palazzoli, Marina Magalhães Rodrigues, Mayara Lumi Monma, Giovani Faile Mancuso, Natalia Colbert Leal, Guilherme Melani Dutra, Rafael de Freitas Santos, Isabella Enobi Bin, Guilherme Pessoa Fontana

**Orientador:** Rui Barbosa de Sousa

- **PONTUAÇÕES**

Arquitetura: 217; Estrutura: 98; Opinião local: 8; Total: 323

## 3º LUGAR



Eng. Carlos M. Lima e Eng. Carlos Brites comemoram com equipe terceira colocada

- **INSTITUIÇÃO**

Escola de Engenharia de São Carlos (EESC)

- **EQUIPE**

**Alunos:** Marcelle Matumoto, Ana Carolina Faria, Caio Agrizzi, Caio César de Souza Oliveira, Felipe Sgarbosa, Caroline Brassi Scapol, Gabriela Assunção Cintra,, Guilherme Quinilato Baldessin, Ingridth Hopp, Jéssica Fonseca, Kaique Dantas Oliveira, Lucas Modotte Bernardo, Luciane Sobral, Masae Kassahara, Natália Barzi Coelho, Rafael Massonetto, Rodrigo Frederice, Sophia Solveiro, Vitor Hugo Minari

**Orientadores:** Ricardo Carrazedo, Givaldo Luiz Medeiros

- **PONTUAÇÕES**

Arquitetura: 213; Estrutura: 100; Opinião local: 8; Total: 321



# Concreto: Quem sabe faz ao vivo

Um novo concurso promovido pelo Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) avaliou os competidores em sua habilidade de dosagem de concretos autoadensáveis coesos, com o menor consumo de cimento e que apresentaram a maior resistência à compressão em 24 horas.

Cada equipe recebeu na competição cimento (Votorantim), adições – sílica (Tecnosil) e metacaulim (Mettacaulim), agregados (Votorantim), fibra de aço (Belgo Bekaert), fibra de polipropileno (Viapol), aditivos (GCP Applied Technologies) e água, para a produção de, pelo menos, 30 litros de concreto. “Foram movimentadas seis toneladas de materiais para o concurso, para que os estudantes pudessem preparar os traços”, informou Maurício Bianchini, gerente da Votorantim Cimentos.

As fichas técnicas desses insumos foram disponibilizadas aos participantes 15 dias antes da realização do concurso. Cada equipe teve 50 minutos para realizar a dosagem do concreto, a moldagem de quatro corpos de prova cilíndricos, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, e a limpeza da betoneira e bancada.

O concurso foi formado por três etapas:

- Ensaio de espalhamento, segundo a ABNT NBR 15823-2: 2010, para obtenção da classe de espalhamento e do Índice de Estabilidade Visual – para a obtenção do maior coeficiente (1), o concreto teve que apresentar SF 2 (660 a 750 mm) e IEV 0 ou 1;



Equipe faz a dosagem e o preparo do concreto durante o concurso

- Determinação da massa específica do concreto e do consumo de cimento;
- Ensaio de resistência à compressão.

A pontuação final de cada equipe considerou a resistência à compressão do corpo de prova, seu consumo de cimento, seus coeficientes de espalhamento e de estabilidade visual, e a somatória dos preços estabelecidos no Regulamento para cada quilo de insumo utilizado.

Venceu o concurso a equipe cujo corpo de prova obteve a maior pontuação final. Em caso de empate, o concreto com a menor massa específica foi o critério para o desempate.

Participaram dessa primeira edição 22 equipes, totalizando 128 alunos.



Laboratorista realiza o ensaio de abatimento do tronco de cone durante a competição



Corpos de prova preparados para o ensaio de resistência à compressão no dia seguinte

# Premiação CONCRETO: Quem sabe faz ao vivo 2017

## 1º LUGAR



Eng. Maurício Bianchini, representante da patrocinadora do concurso, Votorantim Cimentos, faz entrega do prêmio ao vencedor

- **INSTITUIÇÃO**  
Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC)
- **EQUIPE**  
**Alunos:** Guilherme Cardoso Hickel, Fernanda Domingues de Melo, Thiago Guesser Corrêa, Murilo de Souza Nunes, Fernando Luiz Vieira  
**Orientadora:** Juliana Machado Casali
- **PONTUAÇÕES**  
Custo (R\$): 28,42; Espalhamento: 661mm; SF: 1; C: 589,08885 kg/m<sup>3</sup>; EV: 1; F: 264647 N, Fc: 33,80399 MPa; PF: 2019,3859

## 2º LUGAR



Equipe segunda colocada posa com prêmio na cerimônia de premiação

- **INSTITUIÇÃO**  
Universidade Federal da Bahia (UFBA)
- **EQUIPE**  
**Alunos:** Adriana dos Santos da Silva, Bruna Silva Santos, Lucca Favorette Soares, Pedro Henrique Rodrigues Costa, Tauane da Cruz Araujo  
**Orientadores:** Antônio Sérgio Ramos da Silva, Paulo César de Jesus Sant'Anna
- **PONTUAÇÕES**  
Custo (R\$): 35,35; Espalhamento: 673,3 mm; SF: 1; C: 558,8441kg/m<sup>3</sup>; EV: 1; F: 276141N; Fc: 34,95632 MPa; PF: 1769,6903

## 3º LUGAR



Equipe da Unoesc posa com prêmio pela terceira colocação no concurso

- **INSTITUIÇÃO**  
Universidade do Oeste de Santa Catarina (Unoesc)
- **EQUIPE**  
**Alunos:** Alana Quaiotto, Luiza Maiara Cantelli, Renata Piva Chiarani, Rodrigo Salla, Thiago Henrique M. Rumpf  
**Orientadora:** Maiara Foiato
- **PONTUAÇÕES**  
Custo (R\$): 33,52; Espalhamento: 678 mm; SF: 1; C: 346,6146kg/m<sup>3</sup>; EV: 1; F: 140074 N; Fc: 17,8045 MPa; PF: 1532,2813



# Sócios do IBRACON elegem Conselho Diretor para gestão 2017/2019

Em votação direta, secreta e eletrônica, os associados ao Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), entidade técnico-científica, de caráter associativo, sem fins lucrativos, fundada em 1972, para divulgar a tecnologia do concreto e seus sistemas construtivos, elegeram os membros do seu Conselho Diretor para a gestão 2017/2019.

Puderam participar da eleição todos os associados ao IBRACON, adimplentes e com mais de seis meses de filiação, excluídos os da categoria “Estudante de Graduação”. Nas cédulas de votação, os sócios assinalaram seu voto nos nomes dos associados que desejaram concorrer às vagas do Conselho Diretor ou indicaram até dois associados de sua preferência no campo em branco.

O prazo para votação foi de 05 de outubro até às 12 ho-

ras de 02 de novembro (horário de Brasília). Cada associado com direito a voto recebeu login e senha para acessar o sistema de votação ([portal.ibracon.org.br/eleicoes](http://portal.ibracon.org.br/eleicoes)), onde depositou seu voto, que pode ser impresso.

O sistema de votação foi aberto publicamente pelos membros da Comissão de Apuração, formada pelos associados Carla Sahium, presidente da Comissão, Janaína das Graças Araújo, Moacyr Salles Neto e Tiago Ferreira Campos Neto, no dia 02 de novembro, na Fundaparque, em Bento Gonçalves, local de realização do 59º Congresso Brasileiro do Concreto.

Foram apurados pela Comissão 166 votos válidos na plataforma de votação.

Confira os eleitos!

► Tabela 1 – Ordem de classificação por número de votos recebidos pelos sócios mantenedores e coletivos do IBRACON

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland	ABESC – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem
POLI-USP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo	GERDAU
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo	GRACE
FURNAS Centrais Elétricas	OTTO BAUMGART
HOLCIM	ELETRONORTE
CNO – Construtora Noberto Odebrecht	PUC-CAMPINAS
ABCIC – Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto	MC-BAUCHEMIE
L.A. FALCÃO BAUER – Centro Tecnológico de Controle de Qualidade	

► Tabela 2 – Ordem de classificação por número de votos recebidos pelos sócios individuais do IBRACON

Cláudio Sbrighi Neto	Nélson Covas
Augusto Carlos de Vasconcelos	César Henrique Sato Daher
Júlio Timerman	Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Luiz Prado Vieira Júnior	Inês Laranjeira da Silva Battagin
Antônio Domingues de Figueiredo	Antonio Laranjeiras
Vladimir Antônio Paulon	Enio Pazini Figueiredo
Carlos José Massucato	Geraldo Cechella Isaia
Maurice Antoine Traboulsi	Mário Willian Esper

▶ Tabela 3 – Diretoria do IBRACON (gestão 2017-2019)

<b>Diretor Presidente</b>	Julio Timerman
<b>Assessores da Presidência</b>	Augusto Carlos de Vasconcelos Inês Laranjeira da Silva Battagin Jorge Batlouni Neto José Tadeu Balbo Selmo Chapira Kuperman
<b>Diretor 1º Vice-Presidente</b>	Luiz Prado Vieira Júnior
<b>Diretor 2º Vice-Presidente</b>	Bernardo Tutikian
<b>Diretor 1º Secretário</b>	Antonio Domingues de Figueiredo
<b>Diretor 2º Secretário</b>	Carlos José Massucato
<b>Diretor 1º Tesoureiro</b>	Claudio Sbrighi Neto
<b>Diretor 2º Tesoureiro</b>	Nelson Covas
<b>Diretor de Marketing</b>	Hugo Rodrigues
<b>Diretora de Publicações e Divulgação Técnica</b>	Íria Lícia Oliva Doniak
<b>Diretor de Eventos</b>	César Daher
<b>Assessores da Diretoria de Eventos</b>	Maurice Antoine Traboulsi Sônia Regina Cottas Freitas
<b>Diretor Técnico</b>	Paulo Helene
<b>Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento</b>	Leandro Mouta Trautwein
<b>Diretor de Relações Institucionais</b>	Túlio Nogueira Bittencourt
<b>Diretor de Cursos</b>	Enio José Pazini Figueiredo
<b>Diretora de Atividades Estudantis</b>	Jéssika Pacheco
<b>Diretor de Certificação de Pessoal</b>	Gilberto Antônio Giuzio

Órgão máximo deliberativo do Instituto Brasileiro do Concreto, o Conselho Diretor é formado pelos 10 associados mais votados na categoria “Individual” e pelos 10 associados mais votados nas categorias “Coletivos” e “Mantenedores”. Também fazem parte do Conselho, os ex-presidentes do IBRACON, como conselheiros permanentes. Por isso, na computação dos suplentes, foi desconsiderada a votação no atual presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman, razão pelo qual, ao invés de cinco, foram considerados os seis mais votados após os dez primeiros colocados na classificação dos sócios individuais.

No último dia 23 de novembro, o novo Conselho Diretor do IBRACON reelegeu o atual presidente, Eng. Julio Timerman, para a gestão 2017/2019. Neste mesmo dia, o presidente do IBRACON escolheu sua diretoria, para auxiliá-lo na direção do Instituto.

## PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

### Macrofibras de vidro álcali resistentes (AR) 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 de vidro álcali resistentes para uso estrutural em concreto.

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](http://www.ibracon.org.br) (Loja Virtual)

#### DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-28-2

**Edição:** 1ª edição

**Formato:** eletrônico

**Páginas:** 26

**Acabamento:** digital

**Ano da publicação:** 2017

**Coordenador:** Eng. Marco Antonio Carnio

## PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

MACROFIBRAS DE VIDRO ÁLCALI RESISTENTE (AR)  
PARA CONCRETO DESTINADO A APLICAÇÕES ESTRUTURAIS



COMITÊ 303: Materiais não convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras

ET4: Caracterização de materiais não convencionais e fibras para reforço estrutural

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio  
Representante CIA: Sônia Maria Carrato Diniz

Patrocínio



# Estrutura: a criação de um conceito para a construção

MONICA AGUIAR – PROFESSORA, ENGENHEIRA CIVIL

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO (PUC-Rio)  
JUSTINO VIEIRA – MONICA AGUIAR PROJETOS ESTRUTURAIS

MARCOS FAVERO – ARQUITETO E URBANISTA

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO (PUC-Rio)

## I. INTRODUÇÃO

que é estrutura, afinal? A pergunta instigante, silenciosa e permanente, coloca esta questão para todos que lidam com Engenharia e Arquitetura, no âmbito da transformação da ideia em matéria, ou seja, no domínio da construção.

Esse artigo é fruto de uma reflexão que pretende situar, a partir de uma investigação relacionada aos aspectos históricos, os conceitos que fundamentam a prática da Engenharia Estrutural e sua relação com a Arquitetura, para além das formulações físico-matemáticas. Investigação que se desenvolve em um recorte temporal que se inicia em meados do século XVIII, quando é fundada a *École de Ponts et Chaussées*<sup>1</sup>, e vai até o início do século XX, quando começam a se desenvolver as teorias relativas às estruturas de concreto armado. Buscou-se o entendimento de como se formou a ideia do que poderia ser uma estrutura independente da construção propriamente dita e, como consequência dessa abstração, da evolução das teorias que permitiram o surgimento da ciência “Engenharia Estrutural”.

Propõe-se aqui o entendimento do sistema estrutural de uma edificação como produto, primeiramente de um modelo abstrato, fruto da ideia, que, analisado a partir de formulações teóricas, posteriormente dará origem a um projeto, o qual, por sua vez, conferirá materialidade ao sistema portante da edificação.

## 2. O SURGIMENTO DE UM CONCEITO

Estrutura é definida, no campo da Filosofia, como um conjunto de elementos que formam um sistema, um todo ordenado de acordo com certos princípios fundamentais; uma construção teórica formal, um modelo visando estabelecer as correlações entre as variáveis de um sistema<sup>2</sup>. Por sua vez, o termo sistema neste mesmo campo de conhecimento, é caracterizado como um conjunto de elementos relacionados entre si, ordenados de acordo com determinados princípios, formando um todo ou uma unidade<sup>3</sup>. Estrutura e sistema têm, portanto, significados similares.

Assim, nesse artigo, faz-se referência à estrutura como um sistema

estrutural, constituído por elementos inter-relacionados, que fazem parte de um todo ordenado de acordo com os princípios responsáveis pelo equilíbrio e sustentação das edificações. Este sistema será abordado a partir de duas chaves de entendimento: primeiro, como sistema composto por um conjunto de partes imateriais, os elementos estruturais, fortemente relacionados entre si, configurados em um modelo abstrato de análise; segundo, como sistema composto pelos elementos estruturais detalhados em projeto e materializados na construção, fruto do modelo abstrato de análise definido na primeira chave. Ou seja, são dois os sistemas estruturais, um abstrato e outro concreto: o que é idealizado na fase de análise e o que é efetivamente construído, a partir de especificações projetuais.

A atribuição das corretas propriedades físico-mecânicas dos elementos estruturais, bem como a adequada configuração das restrições aos deslocamentos das ligações e pontos de apoio dos elementos que constituem o sistema no modelo abstrato, tem sido, desde a primeira formulação teórica

<sup>1</sup> A FUNDAÇÃO DA *ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES*, EM 1747, NA FRANÇA, PELO ENGENHEIRO FRANCÊS DANIEL-CHARLES TRUDAINE (1703-1761), HOJE CONHECIDA COMO *ÉCOLE DES PONTS PARIS TECH*, É CONSIDERADA COMO O MOMENTO DE SEPARAÇÃO ENTRE AS PROFISSÕES DE ENGENHEIROS E ARQUITETOS.

<sup>2</sup> JAPIASSÚ, HILTON; MARCONDES, DANILO. *DICIONÁRIO BÁSICO DE FILOSOFIA*. RIO DE JANEIRO: JORGE ZAHAR EDITOR, 1996, p. 92.

<sup>3</sup> *IBIDEM*, p. 250.

sobre estruturas, uma questão central para a análise do comportamento do que virá a ser a estrutura construída.

A escolha desse modelo constitui, desde o século XVIII, a questão conceitual mobilizadora da elaboração de teorias de análise que, baseadas em proposições matemáticas e experimentos laboratoriais, representem adequadamente o comportamento das estruturas submetidas aos carregamentos que deverão suportar.

O primeiro conceito teórico sobre as estruturas se formou a partir das ideias do engenheiro e arquiteto Jean Rodolphe Perronet (1708-1794)<sup>4</sup>. Em 1770, Perronet, utilizando-se de raciocínio analógico, associou a constituição dos esqueletos de animais ao sistema portante das construções<sup>5</sup>. Comparação que permitiu o entendimento deste sistema como algo que poderia estar desassociado do todo edificado propriamente dito, assim como os esqueletos dos animais do restante de sua constituição; caracterizando, inclusive, argumento para defender em um debate público, a qualidade da concepção estrutural, mais especificamente a esbeltez das colunas da Igreja Sainte-Geneviève, em Paris, projeto do arquiteto Jacques-Germain Soufflot (1713-1780) (Figuras 1 e 2).

A estrutura que, até então, era entendida como um todo indissociável da construção<sup>6</sup>, ganhou autonomia, configurando-se, a partir deste momento, como algo possivelmente inscrito no âmbito da abstração.

### 3. O DESENVOLVIMENTO DAS TEORIAS

A associação dos conhecimentos



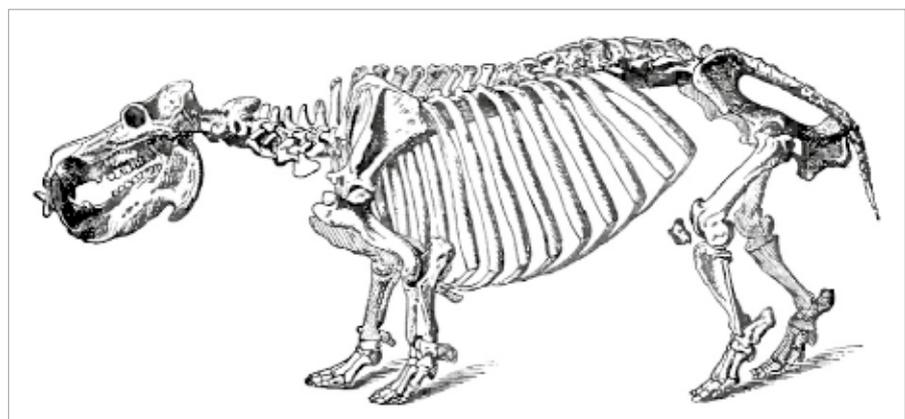
Crédito: Jean-Baptiste Hilaire

► **Figura 1**  
Igreja Sainte Geneviève, Paris

Fonte: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Panth%C3%A9on\\_1795.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Panth%C3%A9on_1795.jpg) (Wikimidia Commons)

de resistência dos materiais, provenientes das contribuições de Galileu Galilei (1564-1642), ao estudo da estática, formulados nos preceitos da mecânica clássica, permitiu a elabo-

ração de uma primeira teoria estrutural propriamente dita, quando, em 1826, o engenheiro, matemático e físico Claude Louis Marie Henri Navier (1785-1836) reuniu as formulações



► **Figura 2**  
Esqueleto de hipopótamo

Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HippoSkellYd2.png> (Wikimida Commons)

<sup>4</sup> DE 1747 A 1794, PERRONET FOI DIRETOR DA *ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES*.

<sup>5</sup> FORTY, ADRIAN. *WORDS AND BUILDINGS*. LONDON: THAMES & HUDSON, 2012, p. 279.

<sup>6</sup> CONSTRUÇÃO COMO O TODO EDIFICADO.





Crédito: J. Ward

► **Figura 3**

Estação ferroviária de Saint Pancras, 1868, Londres.

Fonte: <https://www.flickr.com/photos/nationalrailwaymuseum/3515448706/in/album-72157617813374437/> (Flickr Creative Commons)

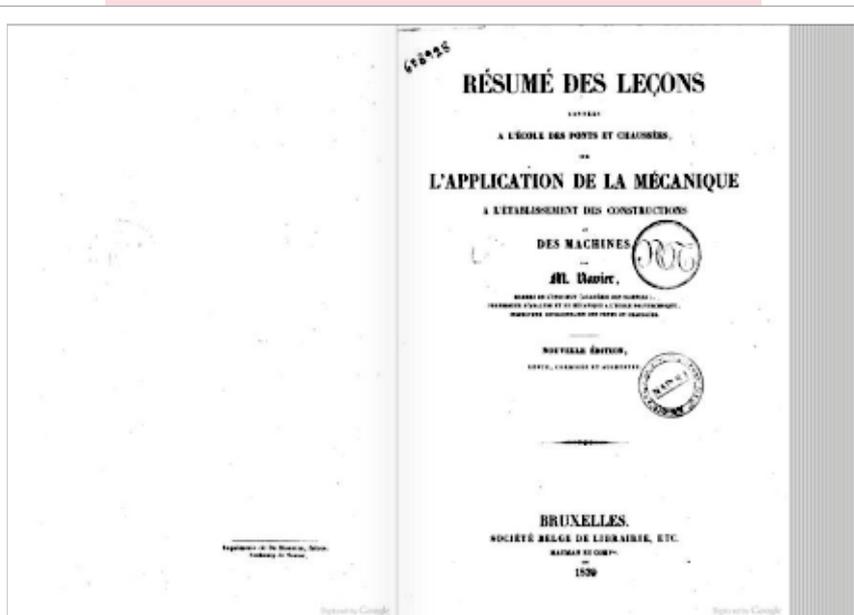
existentes sobre a estática dos arcos e das vigas, a estática dos empuxos de solo, a resistência dos materiais e a análise matemática da linha elástica<sup>7</sup>, para fundamentar uma teoria específica às estruturas, analisadas, a partir desses preceitos, como um sistema.

Com a consolidação da Revolução Industrial, no século XIX, a análise estrutural ampliou seu espectro de soluções por meio da elaboração da teoria das treliças e dos métodos gráficos de análise estática aplicados às estruturas metálicas, permitindo, por exemplo, a construção das coberturas de estações ferroviárias e de grandes pavilhões de exposições, com enormes vãos livres que testemunhavam o triunfo da engenharia estrutural em uma época de deslumbramento com as novas técnicas de construção e montagem de arcos treliçados (Figura 3).

O que o desenvolvimento das formulações teóricas para a análise estrutural, desenvolvidas a partir de Navier, permitia, de fato, era a solução de problemas *a priori*, baseando-se em conceitos abstratos, o que significa “um modo de assumir a universalidade, transcendendo, portanto, o particular”<sup>8</sup>, e, a partir de então, contrariando as práticas empíricas vigentes.

Em sua publicação *Résumé des Leçons* (Figura 4), Navier formulou não somente métodos, problemas e objetivos, mas também o que se tornaria uma ciência, um ramo da Engenharia orientada para o processo construtivo<sup>9</sup>, pela formulação do sistema estrutural como conceito.

Assim, a abstração teórica das estruturas, iniciada pela analogia de



► **Figura 4**

Livro *Résumé des Leçons*, Navier, 1839

Fonte: [https://archive.org/details/bub\\_gb\\_tYF4\\_eSSpQUC](https://archive.org/details/bub_gb_tYF4_eSSpQUC)

<sup>7</sup> KURRER, KARL EUGEN. *THE HISTORY OF THE THEORY OF STRUCTURES: FROM ARCH ANALYSIS TO COMPUTATIONAL MECHANICS*. ERNST & SOHN: BERLIN 2008, p. 250.

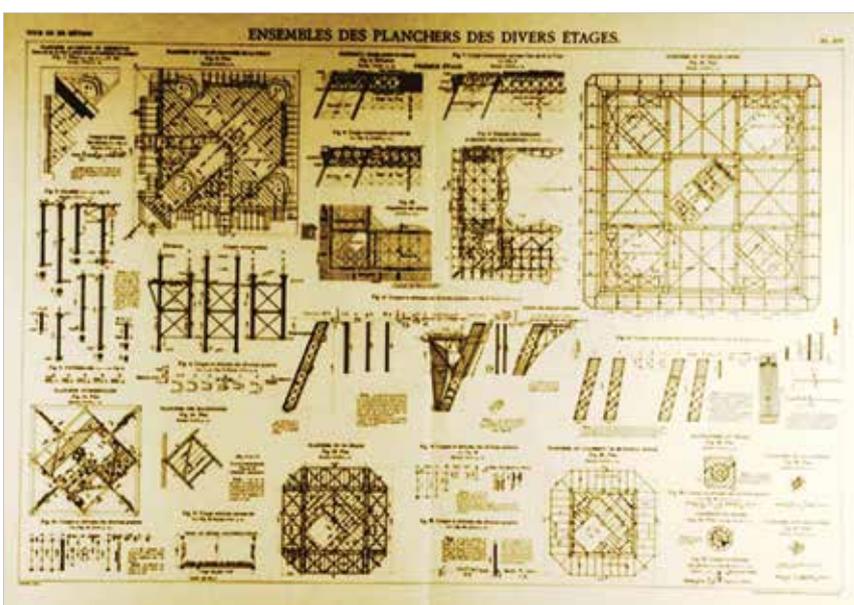
<sup>8</sup> PIÑÓN, HELIO. *TEORIA DO PROJETO*. PORTO ALEGRE: LIVRARIA DO ARQUITETO, 2006, p. 12.

<sup>9</sup> KURRER, KARL EUGEN. *THE HISTORY OF THE THEORY OF STRUCTURES: FROM ARCH ANALYSIS TO COMPUTATIONAL MECHANICS*. ERNST & SOHN: BERLIN, 2008, p. 291.

Perronet, possibilitou a cientistas, como Navier, a formulação de teorias específicas aos sistemas estruturais, possibilitando a elaboração de projetos de detalhamento e montagem de peças, previamente dimensionadas para os esforços esperados durante e após a conclusão da construção, cujo bom desempenho estaria diretamente relacionado ao grau de precisão das análises realizadas em antecipação (Figura 5).

A formulação teórica aplicada às estruturas de ferro e aço enfrentou um novo problema com o aparecimento do concreto armado, que, por volta de 1850, começou a ser utilizado como material de construção, de forma empírica, pelo engenheiro Joseph Louis Lambot (1814-1887). As teorias estruturais vigentes à época se baseavam nas propriedades materiais e mecânicas do aço. Conseqüentemente, uma fronteira de validação teórica se colocava para este novo material, uma vez que a associação de concreto e aço, resultando em um material compósito, conferia-lhe propriedades mecânicas ainda desconhecidas.

O concreto armado, devido a suas características de moldagem, desconfigurou a junta de ligação, agregando à estrutura graus de hiperestaticidade resultantes de sua característica de monolitidade e continuidade. Característica que alterou a configuração de rigidez do conjunto estrutural, pela ligação de elementos não mais por conexões externas, como nas estruturas metálicas, e sim internas, através de barras de aço entrelaçadas, solidarizadas pelo concreto viscoso que, após seu lançamento em moldes, adquiria resistência com as reações químicas que promoviam seu

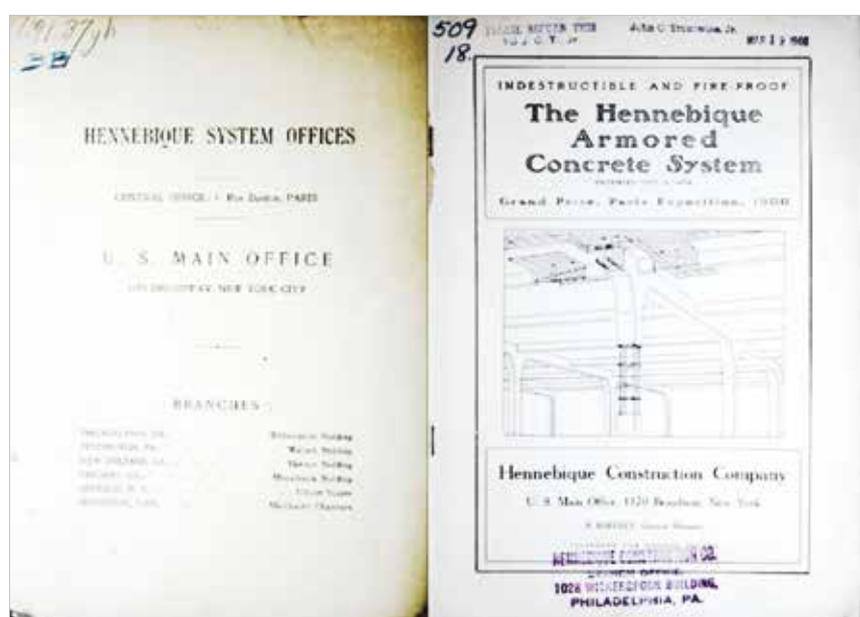


► **Figura 5**  
Planta de montagem da Torre Eiffel

Fonte: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tour\\_Eiffel\\_planche\\_3.jpg?uselang=fr](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tour_Eiffel_planche_3.jpg?uselang=fr) (Wikimidia Commons)

endurecimento e ganho de resistência. Desafio vencido experimentalmente por François Hennebique (1842-1921)<sup>10</sup>, através da introdução de barras de aço entrelaçadas na ligação entre vigas e pi-

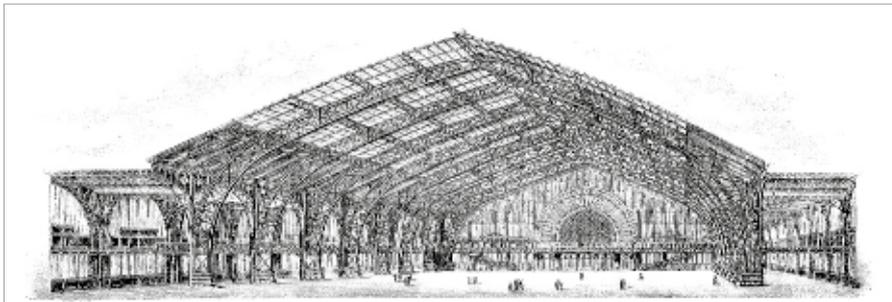
lares, configurando um sistema próprio, conhecido internacionalmente como Sistema Hennebique (Figura 6), uma vez que, até então, as estruturas de concreto eram produzidas em analogia



► **Figura 6**  
Sistema Hennebique, livro publicado em 1908

Fonte: <https://archive.org/details/IndestructibleAndFire-proofTheHennebiqueArmoredSystem>

<sup>10</sup> HENNEBIQUE PATENTEOU SEU SISTEMA E EXERCEU UM COMPLETO MONOPÓLIO SOBRE A CONSTRUÇÃO EM CONCRETO ARMADO, DIVULGANDO-O DE FORMA AGRESSIVA E ABRANGENTE POR MEIO DE PUBLICIDADE PARA DIVULGAÇÃO TÉCNICA E COMERCIAL. É POSSÍVEL CONSTATAR O SUCESSO DE SUA EMPRESA, POIS, ENTRE 1893 E 1908, FORAM ABERTAS 43 REPRESENTAÇÕES COMERCIAIS EM VÁRIOS PAÍSES, INCLUINDO O BRASIL, NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO.



► **Figura 7**  
Palácio das Máquinas. Exposição Universal, Paris 1889

Fonte: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paris\\_Maschinenhalle\\_Weltausstellung\\_1889\\_Innenansicht.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paris_Maschinenhalle_Weltausstellung_1889_Innenansicht.jpg) (Wikimedia Commons)

aos sistemas construtivos em ferro, aço e madeira.

As teorias sobre as estruturas de concreto armado, no entanto, ainda lidavam com problemas advindos da monoliticidade e hiperestaticidade, não resolvidos na abordagem empírica de Hennebique. Os primeiros estudos teóricos relativos ao

concreto armado, elaborados pelo engenheiro Paul Christophe (1870-1957), em 1902, não contemplavam uma solução que resolvesse matematicamente as novas incógnitas que surgiram nas equações universais da estática, em função da monoliticidade. Sobre a natureza da hiperestaticidade dessas estruturas,

e enfatizando a diferença com as estruturas metálicas, o engenheiro e professor alemão Willi Gehler (1876-1953), afirmou em 1913:

Nas estruturas de concreto armado, [...] as partes individuais resistentes aos carregamentos, os pilares, vigas e lajes, são produzidas monoliticamente, vindas de um molde [...]. Neste tipo de construção, isso significa que as juntas entre os componentes são minimizadas, resultando em uma rígida e estaticamente indeterminada conexão entre tais partes<sup>11</sup>.

Consequentemente, novas pesquisas precisariam surgir, de modo que as formulações teóricas para o concreto armado se emancipassem das formulações relativas às estruturas metálicas.

Tal como o pórtico treliçado (Figura 7) e a teoria a ele associada caracterizaram as construções metálicas durante a fase de estabelecimento (1850-1875) e a fase clássica (1875-1900) da teoria estrutural, o pórtico rígido (Figura 8), proveniente do concreto armado monolítico de Hennebique, se transformou no tipo padrão de estrutura portante durante a fase classificada como de acumulação (1900-1925), em que as teorias estruturais clássicas foram então adaptadas ao concreto armado<sup>12</sup>, sendo posteriormente aprimoradas em um contínuo processo de pesquisa, que permanece até os dias atuais.

O problema relativo às formulações teóricas, proveniente da abstração da estrutura e de sua desassociação



► **Figura 8**  
Musée de Travaux Publices, Paris, 1939. Auguste Perret

Fonte: <https://www.flickr.com/photos/109536074@N05/14661941663> (Creative Commons)

<sup>11</sup> GEHLER, WILLI, 1913, p. 3. APUD KURRER, KARL EUGEN. *THE HISTORY OF THE THEORY OF STRUCTURES: FROM ARCH ANALYSIS TO COMPUTATIONAL MECHANICS*. BERLIN: ERNST & SOHN, 2008, p. 530.

<sup>12</sup> KURRER, KARL EUGEN. *THE HISTORY OF THE THEORY OF STRUCTURES: FROM ARCH ANALYSIS TO COMPUTATIONAL MECHANICS*. BERLIN: ERNST & SOHN, 2008, p. 530-531.

com a construção, continua sendo a concepção de um modelo de análise. Como idealizar um modelo que represente o comportamento da estrutura durante a construção e, também, ao longo de toda sua vida útil? Questão que permanece até os dias de hoje, pois esta antecipação abstrata, em forma de modelo, é uma solução, mas também um problema da análise estrutural. A materialidade estrutural, fruto da abstração proveniente da análise *a priori*, só se realizará na construção, e será tão mais próxima da realidade desejada, quanto mais adequado o modelo abstrato, mais precisa a análise e mais bem executada a construção, a partir da representação projetual. Desde a formulação de Navier esses têm sido os conceitos e as

questões que fundamentam a análise estrutural, para a qual a questão platônica da forma, também se coloca: um modelo estrutural, produto da ideia, em busca de sua correspondência no mundo da matéria.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para além da materialidade do sistema portante da construção, a questão estrutural se coloca aqui como um ponto de reflexão, tendo como base uma investigação relacionada à história das teorias estruturais, com o intuito de compreender o contexto vinculado à elaboração dos conceitos que permitiram o surgimento de uma ciência a partir do trabalho desenvolvido por Navier. Trabalho cuja relevância implicou em uma transformação paradigmática

no campo da Engenharia e, consequentemente, da Arquitetura.

A distinção entre abstração e materialização em uma atividade até então fundamentada em princípios empíricos permitiu o desenvolvimento de uma ciência ao universalizar princípios e formulações teóricas. Neste sentido, a estrutura independente, como produto dessas formulações, se tornou uma questão fundamental da Arquitetura Moderna do século XX, confirmando uma relação intrínseca entre a Engenharia Estrutural e a Arquitetura.

Por fim, espera-se que esta reflexão possa contribuir para o desenvolvimento de pesquisas que continuem a promover aproximações entre Engenharia Estrutural e Arquitetura. 

## Prática Recomendada IBRACON/ABECE

### Projeto de Estruturas de Concreto Reforçado com Fibra



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* é um trabalho pioneiro no Brasil, que traz as diretrizes para o desenvolvimento do projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras.

Baseada no *fib Mode Code 2010*, a *Prática Recomendada* estabelece os requisitos mínimos de desempenho mecânico do CRF para substituição parcial ou total das armaduras convencionais nos elementos estruturais e indica os ensaios para a avaliação do comportamento mecânico do CRF.

#### Aquisição

[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)  
(loja virtual)

#### DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-26-8

Edição: 1ª edição

Formato: Eletrônico

Páginas: 39

Acabamento: Digital

Ano da publicação: 2016

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio

#### Patrocínio



# Workshop reuniu especialistas do Brasil e do exterior para debater o Código Modelo da *fib*

A *fib* – International Federation for Structural Concrete, a ABECE – Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural e a ABCIC – Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto promoveram, em São Paulo, o Workshop Código Modelo *fib* (MC 2020) – Desenvolvimento para os Códigos de Estruturas Novas e Existentes, que reuniu especialistas nacionais e internacionais para tratar de assuntos relacionados ao MC 2020.

Durante a realização do Workshop, foi assinado um Termo de Acordo de Cooperação por meio do qual o IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto passa, a partir de agora, a integrar o Grupo Nacional que, dentre outras atividades, programa e desenvolve ações para contribuir com o desenvolvimento do MC 2020. O acordo foi assinado pelos presidentes da ABECE, Jefferson Dias de Souza Júnior, do IBRACON, Júlio Timerman, além da presidente-executiva da ABCIC, Íria Doniak, que também é integrante do *fib* Presidium, diretora e Conselheira do IBRACON.

“O Brasil tem uma sólida relação com a *fib*, tendo participado desde a época do CEB – *fip*. Essa longa história em conjunto contempla a dedicação de profissionais relevantes da engenharia brasileira, relacionados principalmente ao Concreto Estrutural, caso dos engenheiros e professores Lobo Carneiro, Telêmaco van Langendonck, Augusto Carlos Vasconcelos e Lídia Shehata. Grandes esforços têm sido

feitos ao longo dos anos para estarmos representados na *fib*, contribuindo para o processo de formulação normativa e recebendo os benefícios da aliança que permite o contato com o trabalho de experts dos 44 países membros da federação. A retomada do IBRACON é fundamental para o Grupo Nacional, pois desta forma a abrangência de temas será maior”, apontou a presidente-executiva da ABCIC e membro do Presidium da *fib*, Íria Doniak.

Também na avaliação do presidente da ABECE, Jefferson Dias de Souza Junior, o Acordo de Cooperação incluindo o IBRACON é um avanço. “O fato do IBRACON se juntar ao Grupo Nacional agrega bastante à nossa posição. Com isso, acredito que estaremos mais bem representados mundialmente”, afirmou.

“A assinatura desse Acordo de Cooperação veio preencher uma lacuna nas relações do Brasil com a *fib*, uma vez que do Grupo Nacional que represen-

ta a comunidade técnica brasileira na *fib* já participam a ABECE, representando os profissionais da área de projeto, e a ABCIC, como entidade da área de pré-fabricado de concreto”, afirmou o presidente do IBRACON, Julio Timerman. “Faltava realmente uma representação da parte de materiais, principalmente em



O presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman, em seu pronunciamento no Workshop

aspectos ligados à durabilidade e sustentabilidade. Como existe uma sinergia muito grande entre as três entidades, acredito que isso deva se traduzir numa maior efetividade dos trabalhos do Grupo. Nós, do IBRACON, queremos exercer uma ativa participação na mais importante entidade mundial do concreto”, concluiu.

Na avaliação do presidente da *fib*, Hugo Corres, a entrada do IBRACON no Grupo Nacional atuante na *fib* significa maior possibilidade de aprimoramento técnico, o que será importante na elaboração do MC 2020. “Nós, da *fib*, procuramos fazer parcerias com entidades que conhecem a realidade de cada país. E agora, no Brasil, além da ABECE e da ABCIC, contamos com o IBRACON. Essas entidades conhecem profundamente as necessidades do país e isso é muito importante para a *fib*: receber tanto as contribuições como as aspirações dos profissionais e técnicos. Isso é decisivo para realizarmos o nosso trabalho”, comentou.

## WORKSHOP

Todos os integrantes do Grupo Nacional encarregados de fazer a interface com a *fib* salientaram também a importância da promoção do evento no Brasil. Corres, reconheceu a importância histórica do país: “O Brasil tem um nível técnico alto e, além disso, é membro há muito tempo, sendo inclusive associado das entidades que precederam a *fib*. Por isso, o país é chave para a realização de eventos como este e na formulação de documentos que levem em conta as características de diferentes países e continentes”.

Segundo Íria Doniak, o Código Modelo *fib* para estruturas de concreto é um documento referência para o texto-base de normas, como o Eurocódigo, e de todos os 44 países que hoje integram a federação. Contemplar as necessidades do Brasil e outros países sul-americanos é funda-



**Eng. Julio Timerman assina Termo de Acordo de Cooperação, assistido pela Eng.ª Íria Doniak e pelo Eng. Jefferson Dias de Souza Júnior**

mental, afinal não devemos tomar como regra o que ditam os códigos estrangeiros, mas também precisamos analisar diferentes contextos e promover o debate. A *fib* está sempre atenta e franqueando constantemente essas oportunidades”.

Para Fernando Stucchi, líder do Grupo Nacional e coordenador técnico do evento, foi uma grande oportunidade para que os profissionais brasileiros tivessem acesso às manifestações de importantes integrantes da *fib*, que foram muito felizes em suas apresentações.

O palestrante Aurélio Muttoni reconheceu que o trabalho começado ainda se estenderá por algum tempo e deve impactar positivamente a engenharia nacional no futuro: “A *fib* olha para os problemas que existem no Brasil e procura identificar quais os desafios que deverão ser resolvidos nas próximas gerações do Código”, concluiu.

“O trabalho das grandes entidades em países latino-americanos permite que os nossos problemas sejam conhecidos por profissionais da Europa e que se passe a buscar soluções em conjunto. Isso é importante, pois em muitos lugares da América Latina há pouco incentivo de pesquisa por parte dos governos. Por outro lado, Estados Unidos e Europa são muito receptivos em relação à nossa tecnologia. É assim, por exemplo, com a consideração de sismos em projetos, ponto em que es-

tamos mais avançados que eles, uma vez que temos situações extremas em nosso continente”, apontou o especialista chileno Carlos Videla.

A preocupação da *fib* em elaborar um Código Modelo abrangente que preze pela segurança foi refletida também na apresentação do professor György Balázs, presidente honorário da federação. O especialista húngaro reforçou o importante papel do controle de fissuras na preservação de elementos estruturais de concreto existentes e também no aperfeiçoamento de projetos futuros. Outra preocupação que permeia a formulação do novo Código Modelo é com a sustentabilidade. O engenheiro Akio Kasuga, do Japão e também integrante do Presidium, falou sobre a importância de engenheiros projetistas priorizarem a simplicidade em seus trabalhos, o que de acordo com Kasuga promove a economia de concreto, diminuindo as emissões de CO<sub>2</sub>, além de promover a maior segurança oferecida por projetos que deixem de incorporar complexidades desnecessárias.

O professor Paulo Helene (USP), diretor e conselheiro do IBRACON e profissional que já atuou em trabalhos da *fib*, foi outro responsável por situar a experiência brasileira entre os relatos de outras partes da América do Sul e também da Europa. Helene contextualizou as recomendações da federação



e apresentou ao público e aos convidados estrangeiros detalhes da norma brasileira ABNT 6118 - Projetos de Estruturas de Concreto e apontou o que deve ser considerado no MC 2020 em relação a estruturas novas e existentes e que beneficie projetos brasileiros e internacionais.

“O evento superou todas as nossas expectativas”, afirmou o presidente da ABECE, Jefferson Dias de Souza Junior. A seu ver, o Workshop atendeu a todos os segmentos da engenharia. “Acredito que a posição brasileira perante a comunidade técnica internacional ficou mais bem representada com a realização e o sucesso alcançado pelo evento”, concluiu Souza Junior.

Avaliação semelhante fez Inês Batagin, superintendente do CB-18 da ABNT – Associação Brasileira de Nor-

mas Técnicas. “O público que participou é bastante expressivo e altamente qualificado. Para a engenharia nacional foi uma oportunidade ímpar por termos conseguido, com muito esforço das entidades envolvidas, reunir as pessoas e fortalecer as áreas técnicas das empresas, com apresentações de qualidade que acrescentam conteúdo técnico à nossa atividade. É toda uma nova estrutura de conhecimento aproximando a nossa engenharia do que há de melhor em várias partes do mundo. Novas possibilidades se abrem aos profissionais. Não se trata apenas de participar de um workshop, é uma coisa muito maior. É uma mudança de paradigma. Acho que esse evento ainda trará frutos muito maiores para o setor”, resumiu Inês.

A realização do Workshop Modelo

fib (MC 2020), que teve a participação de 150 profissionais, contou com o apoio das seguintes entidades: ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas; ABPE - Associação Brasileira de Pontes e Estruturas; ALCONPAT BR - Associação Brasileira de Patologia das Construções; ANIPPAC – Asociación Nacional de Industriales del Presfuerzo y la Prefabricación; ABNT/CB-018 Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados; IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto; LAT-RILEM – Rede Latino-Americana da International Union of Laboratories and Experts in construction materials, systems and structures; NETPRE – Núcleo de Estudos e Tecnologia em Pré-Moldados de Concreto; UFSCAR – Universidade Federal de São Carlos e POLI/USP – Escola Politécnica da USP. 

## COMENTÁRIOS E EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DA ABNT NBR 6118:2014

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

Fruto do trabalho do Comitê Técnico CT 301, comitê formado por especialistas do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) e da Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE), para normalizar o Concreto Estrutural, a obra é voltada para engenheiros civis, arquitetos e tecnólogos.

### DADOS TÉCNICOS

ISBN 9788598576244

Formato: 18,6 cm x 23,3 cm

Páginas: 484

Acabamento: Capa dura

Ano da publicação: 2015

### AQUISIÇÃO:

[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)

(Loja Virtual)



### Patrocínio



# A construção da UHE de Itaipu: um registro fotográfico

FÁBIO LUÍS PEDROSO

Com mais de 33 anos de funcionamento, a usina hidrelétrica de Itaipu chega ao seu auge de produção, com o recorde mundial de 103 milhões de megawatts-hora (MWh), obtido ano passado, e desempenho operacional de 96,2%.

A marca histórica supera em 28 milhões a energia a ser garantida, de 75 milhões de megawatts-hora, que foi estabelecida no Tratado de Itaipu, assinado em 1973, que lançou as bases legais e técnicas para o aproveitamento hidrelétrico dos recursos hídricos do rio Paraná, desde o Salto Grande de Sete Quedas (Salto de Guaíra) até a foz do rio Iguaçu,

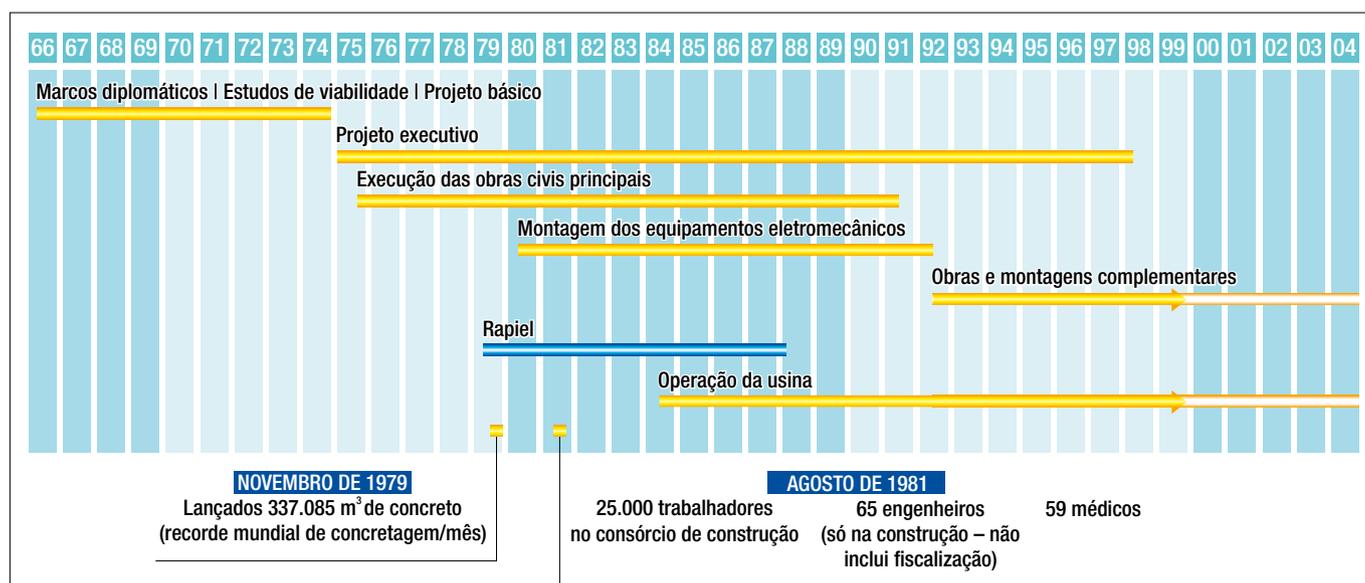
recursos pertencentes conjuntamente ao Brasil e ao Paraguai, como reconheceu a Ata de Iguaçu, assinada por ambos em 1966, e que os comprometeu a explorar em condômino esses recursos.

Para concretizar as decisões contidas na Ata de Iguaçu foi constituída a Comissão Técnica Mista Brasileira-Paraguaia, cuja primeira medida foi a contratação, em 1970, do consórcio internacional formado pelas empresas americana IECO (*International Engineering Company*) e italiana ELC (*Eletroconsult*), para o estudo de viabilidade e o projeto básico do empreendimento.

Os estudos de inventário sobre as possibilidades de aproveitamento do rio

apontaram para duas opções básicas apresentadas em relatório preliminar pelo consórcio IECO-ELC, em 1972. Os governos brasileiro e paraguaio optaram pela solução da construção de barragem alta única a ser construída a 14 quilômetros a montante da Ponte da Amizade, num local conhecido pelos tupis como “Itaipu”, cujo significado é “pedra que canta”.

Para o desenvolvimento da alternativa escolhida, foram feitos ensaios geológicos e geotécnicos de campo, bem como ensaios hidráulicos em modelo reduzido na Universidade Federal do Paraná. Os ensaios de modela-



Fonte: Adaptado de Itaipu Binacional: Principais Características Técnicas

▶ **Figura 1**  
Cronograma de execução da obra

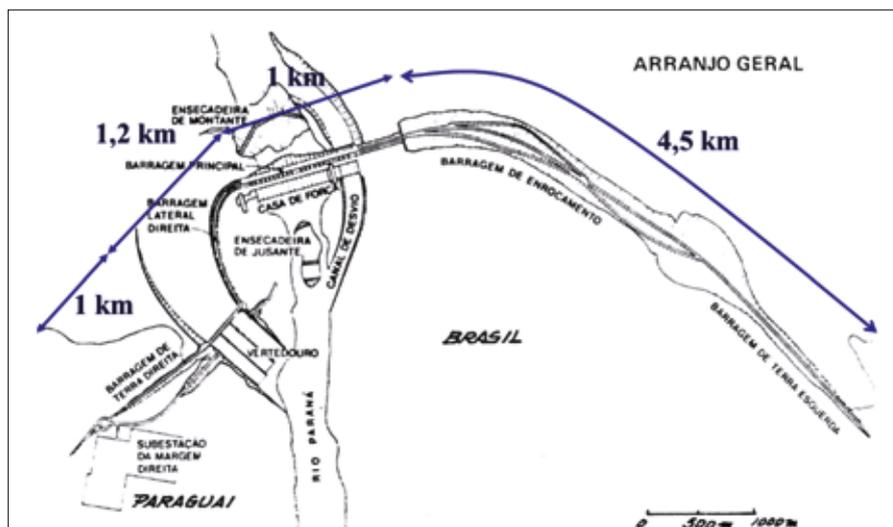


gem estrutural couberam ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) e ao *Instituto Sperimentale Modelli e Strutures* (ISMES), de Bergamo, na Itália. Com base nesses estudos o consórcio IECO-ELC apresentou a Itaipu Binacional, entidade responsável pela construção e operação da usina, constituída em 1974 com igual participação no seu capital por parte da Eletrobras e da Ande, o projeto básico do aproveitamento, fixando seu arranjo geral e demais características, a potência instalada e o cronograma de execução. Este cronograma obedeceu à diretriz do Tratado de Itaipu para que a primeira unidade geradora entrasse em serviço dentro do prazo de oito anos.

No decurso do ano de 1975 foram tomadas providências para a distribuição da elaboração do projeto executivo de engenharia, dividido entre as empresas selecionadas Engevix (vertedouro e barragem direita), Hidroservice (barragens de terra e obras para navegação), Promon (barragem principal) e Themag (casa de força), associadas ao consórcio de empresas paraguaias Grupo Consultor Alto Paraná. Ao todo foram elaborados mais de 30 mil desenhos relativos ao projeto executivo de engenharia da usina de Itaipu.

A contratação e a execução das obras civis foram agrupadas em duas etapas, ficando a cargo do mesmo consórcio brasileiro-paraguaio Unicon-Conempa, sendo as empresas pelo lado brasileiro: Cetenco Engenharia, Companhia Brasileira de Projetos e Obras (CBPO), Andrade Gutierrez, Camargo Correa e Mendes Junior.

Neste artigo apresenta-se acervo fotográfico durante a execução da usina, disponibilizado pelo Eng Rapiel Parsikian, Diretor de Produção da Obra à época da construção.



Fonte: Adaptado de Itaipu Binacional: Principais Características Técnicas

► **Figura 2**  
Arranjo geral da obra

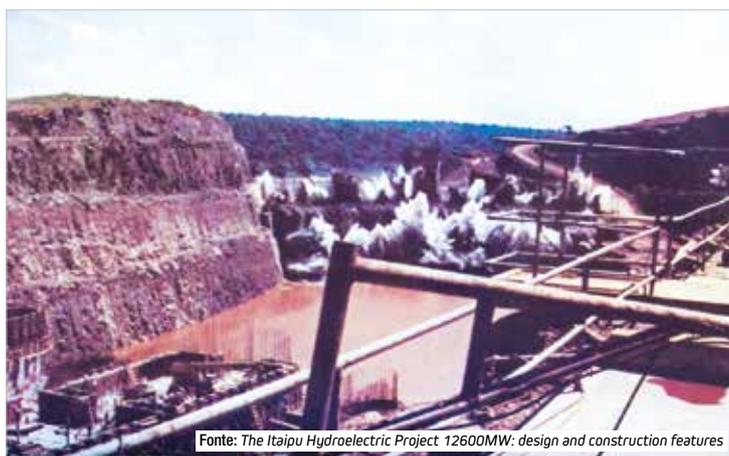
### PRIMEIRA ETAPA DA CONSTRUÇÃO

As obras civis na usina hidrelétrica de Itaipu foram iniciadas em 1975, com a escavação em rocha do canal de desvio do rio Paraná, com aproximadamente dois quilômetros de extensão, 150 metros de largura e 90 metros de profundidade. Houve também remoções de terra e rocha para a construção do vertedouro e da barragem lateral direita, totalizando a remoção de mais de 60 milhões de metros cúbicos de rochas e terra. Desse material removido, aproximadamente 18 milhões de metros cúbicos foram usados na execução das barragens de terra e de enrocamento laterais esquerda e direita, que também fizeram parte dessa primeira etapa, junto com a execução das ensecadeiras principais do canal de desvio (Figura 2).

O início das obras no lado esquerdo do canteiro no ano seguinte à constituição de Itaipu Binacional foi possível em razão do relatório de viabilidade estar praticamente concluído em meados de

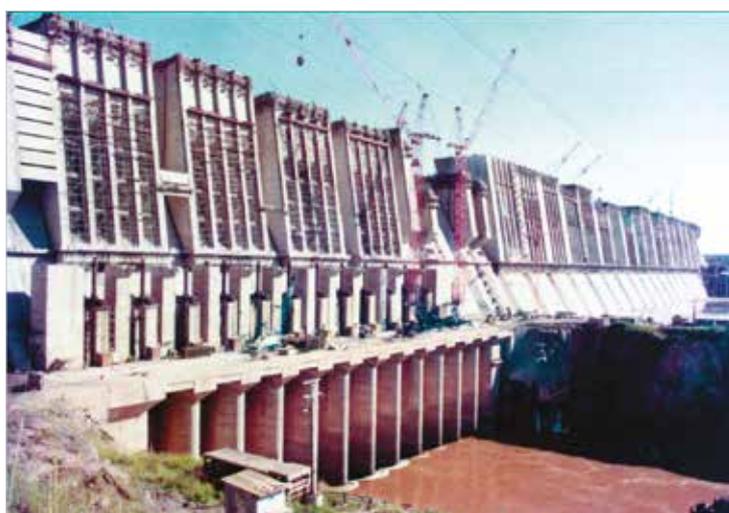
1974 e das providências tomadas no decurso deste ano. Dentre essas providências, duas podem ser destacadas:

- Autorização dos consultores IECO-ELC para realizar os ensaios de laboratório e de campo e a preparar as especificações técnicas para a pronta realização da concorrência para as obras da primeira etapa (importante registrar que, depois de distribuído o projeto executivo para o consórcio Unicon-Conempa, a IECO-ELC ficou encarregado da coordenação geral do projeto);
- Contratação do consórcio brasileiro-paraguaio Engerios/Logos e Grupo Consultor Alto Paraná, para projetar e executar as instalações industriais e equipamentos básicos do canteiro, que foram adquiridos ainda em 1974 por Itaipu Binacional, como centrais de britagem e moagem de agregados, centrais de refrigeração de agregados e água, fábricas de gelo, centrais de concreto, centrais de moagem de clínquer e



Fonte: The Itaipu Hydroelectric Project 12600MW: design and construction features

► **Figura 3**  
Ensecadeira em Arco de Montante: momento da explosão que deu origem ao desvio do Rio Paraná



► **Figura 4**  
Estágio das obras em julho de 1982 na barragem principal e estrutura de controle: tomadas d'água



► **Figura 5**  
Vista das obras nos condutos forçados da barragem principal

sistemas de transporte e lançamento de concreto, além de escavadeiras de 13 jardas cúbicas e caminhões basculantes de 70 toneladas.

Nessa primeira etapa foram lançados cerca de um milhão de metros cúbicos de concreto, sendo que o pico mensal de produção girou em torno dos 170 mil metros cúbicos. Ela foi finalizada em 1978, com o término da concretagem da estrutura de desvio, pouco antes do desvio do rio Paraná, em outubro daquele ano.

## SEGUNDA ETAPA DA CONSTRUÇÃO

A segunda etapa envolveu a construção da barragem principal e tomada d'água, da casa de força, da barragem lateral direita, do vertedouro e das demais obras civis complementares. Por ser essencialmente composta por serviços de concretagem, ela implicou o lançamento de cerca de 12 milhões de metros cúbicos de concreto, com pico de produção mensal situando-se na casa dos 340 mil metros cúbicos.

Esse ritmo de lançamento do concreto só foi possível devido ao planejamento e programação da cadeia de suprimentos, que envolvia explosivos, cimentos, cinzas volantes e aço, transportados desde suas instalações de origem no Brasil e no Paraguai para os canteiros de obras em Itaipu. Apenas a areia e os agregados foram fornecidos localmente. Esse planejamento da cadeia de suprimentos viabilizou a construção e operação por Itaipu Binacional do terminal de transferência de carga em Maringá, que possibilitou a utilização em larga escala do sistema ferroviário brasileiro durante a execução das obras civis, com expressiva economia no custo dos transportes dos materiais.

Em 1982, quando se deu o fechamento do canal de desvio e o início do enchimento do reservatório, restavam apenas cerca de três milhões de metros cúbicos de escavação (menos de um milhão em rocha) a ser executado e cerca de um milhão de metros cúbicos de concreto a ser lançado (menos de 10% do total previsto), relativos à execução do trecho da casa de força e da área de montagem no canal de desvio, do edifício de comando centralizado, e da finalização da construção da casa de força no antigo leito do rio Paraná.



O enchimento do reservatório, com área normal de 1350 quilômetros quadrados, extensão de 170 quilômetros, largura média de sete quilômetros e cota máxima de 220 metros (queda nominal de 118 metros), totalizando um volume útil de 19 bilhões de metros cúbicos, levou apenas 14 dias, devido às intensas chuvas. Condições hidrológicas excepcionais para o teste de desempenho do vertedouro, aberto pela primeira vez no final de outubro de 1982.

Completado um decênio da formação de Itaipu Binacional, entrou em operação a primeira unidade geradora da usina. Neste ano, a produção de energia elétrica ficou em torno de 277 mil megawatts-hora. Sete anos depois, foi colocada em serviço a 18ª máquina, quando Itaipu atingiu a capacidade instalada de 12.600MW, mas a produção de 75 milhões de megawatt-hora prevista no Tratado de Itaipu foi alcançada apenas em 1995. Atualmente, a usina tem potência instalada de 14 mil megawatts, operando com 20 unidades geradoras, as duas últimas instaladas em 2007.

### ESTRUTURAS PRINCIPAIS

A usina hidrelétrica de Itaipu é uma obra composta pelas seguintes estruturas principais, que em seu todo perfazem mais de nove quilômetros de comprimento: barragem de terra esquerda, barragem de enrocamento, barragem principal, casa de força, barragem lateral direita, vertedouro e barragem de terra direita.

O vertedouro, com capacidade máxima de descarga de 62 mil metros cúbicos por segundo, é uma estrutura formada por 15 blocos, com altura máxima de 43 metros, largura de 390 metros e comprimento de 483 metros (calha + crista), situada ao lado direito da barragem principal, ao lado barragem lateral direita. Nele foram lançados 800 mil metros cúbicos de concreto.

A barragem lateral direita, juntamente com os blocos de ligação, com altura máxima de 81 metros, é do tipo contraforte, sendo formada por 91 blocos, que demandaram mais de 1,5 milhão de metros cúbicos de concreto.

Com base nos estudos geotécnicos, existiam duas alternativas para a construção da barragem principal: a barragem de gravidade maciça e a



► **Figura 6**  
Concretagem da área de montagem central (bloco AMC2) para regularização até a El. 125 - Parque de estocagem



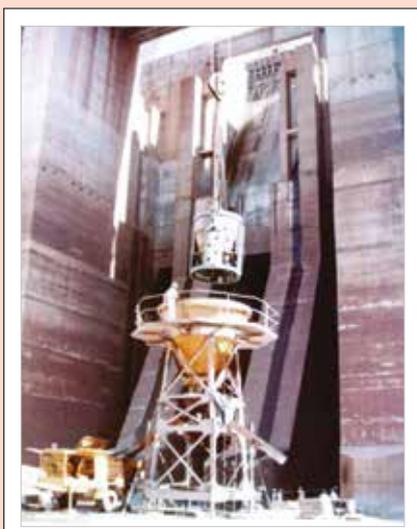
► **Figura 7**  
Vista geral do canal de fuga, casa de força e barragem principal em dezembro de 1982



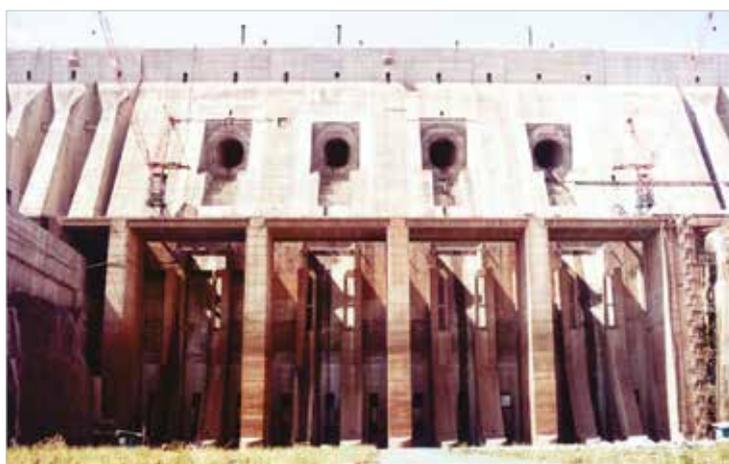
► **Figura 8**  
Vista da barragem e da casa de força em dezembro de 1982



► **Figura 9**  
Casa de força: construção das vigas V1 e V2 da cobertura da U-10 entre eixos B e C do Edifício de Comando Central



► **Figura 10**  
Silo de transferência de concreto da caçamba do guindaste Peiner para até duas bombas de concreto



► **Figura 11**  
As doze adufas, tendo sido os trabalhos de concretagem concluídos em dezembro de 1984

barragem de gravidade aliviada. Esses dois tipos de barragens são similares, por se basearem nos mesmos princípios de comportamento estrutural (sua estabilidade é dependente de seu peso, forma e gravidade), fatores de segurança, tipos de concreto e métodos para seu lançamento, consolidação e tratamento. No entanto, os estudos técnico-econômicos mostraram que a barragem de gravidade aliviada seria a melhor opção, pois, apesar de usar 20% a mais de fôrmas e requerer 20% a mais de escavação, implicava economia de quase 30% em sua construção, por conta de consumir 24% a menos de concreto, além de reduzir os prazos de construção.

A barragem principal é uma estrutura com 36 blocos, com comprimento de 612 metros e altura máxima de 196 metros. O volume de concreto lançado foi de 4,4 milhões de metros cúbicos. Devido ao grande volume de concreto de cada lançamento (no pico da produção foram lançados num único dia 14995m<sup>3</sup>), os concretos foram produzidos com cimentos com moderado calor de hidratação e com substituições do cimento por cinzas volantes que variavam de 12 a 25% em massa. Cuidados especiais foram tomados na dosagem desses concretos (agregados com diâmetro máximo de 152 mm) e no seu lançamento (temperaturas de lançamento em torno de 7°C, obtidas com o uso de gelo no lugar da água, no caso do esfriamento da água e dos agregados não serem suficientes; para as camadas das fundações e próximas a elas, o lançamento ocorria em camadas que não ultrapassavam os 70cm). Tudo isso para evitar fissuras de origem térmica na estrutura. Esses concretos variam de 14 a 21Mpa de resistência à compressão na idade de um ano. Para ter uma baixa permeabilidade e uma alta resistência à tensão, os concretos das partes mais altas da barragem usaram maior conteúdo de cimento e agregados com dimensão máxima de 7,5cm.

As barragens de terra têm altura máxima de 30 metros e usaram volume de aproximadamente 5 milhões de metros cúbicos de solos. Já, a barragem de enrocamento, com altura máxima de 70 metros, consumiu um volume de mais de 12 milhões de fragmentos rochosos.





► **Figura 12**  
Aspecto geral do canal de fuga da casa de força com a unidade 1 em operação e a 2 em testes de comissionamento em dezembro de 1984



► **Figura 13**  
Casa de força: nasce a casa de máquinas do elevador E-8 entre linhas A e B da cobertura da unidade 8 em dezembro de 1985



► **Figura 14**  
Casa de força do canal de desvio (U-16): em destaque a forma de transição do tubo de sucção - situação em dezembro de 1986

Localizada na base da barragem principal e da barragem no canal de desvio, a casa de força é composta por 16 blocos de 34 metros com unidades geradoras e um bloco vazio, no antigo leito do rio Paraná, e por quatro blocos geradores no antigo canal de desvio.

## CONCLUSÃO

Com 20 unidades geradoras e 14 mil megawatts de potência instalada, a usina hidrelétrica de Itaipu está no limite da sua capacidade física e no auge de sua produção. Para garantir que nos próximos 50 anos a usina mantenha o desempe-

no que teve nas primeiras três décadas, será colocado em execução um plano de atualização de suas unidades geradoras. Esse plano de modernização deve durar 10 anos e vai conciliar produção otimizada, manutenções preventivas e atualização tecnológica. ➤

## ► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] The Itaipu hydroelectric Project: design and construction features. Itaipu Binacional: december, 1981.
- [2] Itaipu Binacional: Os primeiros dez anos: 1974-1984.
- [3] Itaipu Binacional: Relatório 1985.
- [4] Itaipu Binacional: Principais características técnicas.

# Construção e desempenho do vertedouro extravasor de troncos da UHE Santo Antônio

ELCIO ANTÔNIO GUERRA – TECNOLÓGISTA DE CONCRETO | JOSÉ TOMAZ F. FONTOURA – ENGENHEIRO CIVIL, TECNOLÓGISTA DE CONCRETO

ROBERTO RIVELINO DA SILVA – ENGENHEIRO CIVIL

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.

## I. INTRODUÇÃO

Este artigo tem por objetivo apresentar as etapas construtivas do Vertedouro Extravasor de Troncos da UHE Santo Antônio e o desempenho de suas superfícies hidráulicas após vertimentos. Esta Hidroelétrica, de concessão público-privada (Santo Antônio Energia S.A.), foi concluída em dezembro de 2016. Localiza-se no Rio Madeira – RO e tem potência instalada de 3.568 MW.

O projeto do Sistema Extravasor de Troncos, integrante das estruturas civis da Usina Hidroelétrica de Santo Antônio,

foi implantado devido às características do Rio Madeira, que apresenta significativo escoamento de troncos, detritos e demais corpos flutuantes, ao longo de seu curso em épocas de cheias. Na região da UHESA, em épocas de cheias, a incidência de passagem destes materiais é da ordem de 7.500 unidades/dia.

O projeto desta estrutura, para transposição de corpos flutuantes, foi concebido inicialmente com revestimento metálico (ogiva blindada) e proteção da soleira com trilhos, visando manter a integridade das superfícies hidráulicas.

Este conceito considerou os efeitos dos impactos dos troncos de grande porte, notadamente aqueles com diâmetros superiores a 0,50 m e, também, os desgastes causados por abrasão, decorrentes da passagem dos troncos.

Como alternativa às proteções acima mencionadas, foi escolhido o revestimento com o CRFA – Concreto Reforçado com Fibras de Aço. A definição deste tipo de concreto resultou em opção técnica, permitindo o ganho nos prazos executivos e a redução de custos em relação ao projeto inicial.

A partir da experiência resultante da aplicação do CRFA nas estruturas do Vertedouro Extravasor de Troncos – VET da UHESA, aborda-se também o desempenho térmico do concreto com adição deste material.

## 2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA OBRA

A Usina Hidroelétrica de Santo Antônio está implantada no rio Madeira, a 7 km, em linha reta, da cidade de Porto Velho, capital do Estado de Rondônia, na região Amazônica do Brasil. A potência instalada da UHE Santo Antônio é de 3.568 MW, contemplando 50 unidades geradoras de 71,6 MW – tipo Bulbo com rotor Kaplan (eixo horizontal), acondicionadas em



▶ **Figura 1**

Localização: UHE Santo Antônio

4 Casas de Força distintas, tipo “Céu Aberto”, com suas respectivas Áreas de Montagem totalizando 2.470 m de comprimento na crista. A estrutura de vertimento da UHE Santo Antônio é composta por dois Vertedouros, sendo o Principal, na margem esquerda, e o Complementar, na margem direita, com 15 e 3 vãos de comportas, respectivamente – Tipo Creager (soleira baixa) – com capacidade de vazão total de até 84.000 m<sup>3</sup>/s, dimensionada para cheia decamilenar.

As Figuras 1 e 2 apresentam a localização e o arranjo geral da obra.

A capacidade de geração representa 4% da energia hidroelétrica do Brasil e está interligada ao Sistema Integrado Nacional brasileiro, através de 2.500 km de linha de transmissão, em corrente contínua.

## 2.1 Sistema de transposição de troncos

O projeto do STT – Sistema de Transposição de Troncos, integrante das estruturas da UHE Santo Antônio, deve-se às características do Rio Madeira, que apresenta significativo escoamento de troncos, detritos e demais corpos flutuantes ao longo de seu curso em épocas de cheias. A continuidade do transporte dos materiais sólidos carregados, no curso do rio, é exigência ambiental.



A concepção de projeto do STT contempla, também, o Sistema Interceptor de Troncos (Log-boom), implantado para a proteção dos diversos grupos de geração e direcionamento dos troncos para o Vertedouro Extravasador – VET. Os componentes mecânicos da estrutura do VET compreendem, além da comporta radial (soleira na Elevação 65,00 m), comportas ensecadeiras localizadas a montante e jusante. As Fotos 1 e 2 ilustram o direcionamento de troncos e detritos, transportados pelo rio Madeira, para o Extravasador.

### 2.1.1 SUPERFÍCIES HIDRÁULICAS – ESCOLHA DO CRFA

A escolha do emprego do CRFA tem como objetivo a proteção das superfícies hidráulicas do VET e garantia de sua integridade, considerando os efeitos resultantes, principalmente, dos impactos dos troncos de grande porte (diâmetros superiores a 0,50 m) e, também, da carga abrasiva. O adequado desempenho do concreto de revestimento é importante para a durabilidade da estrutura, considerando que, danos superficiais causados pelos impactos, podem evoluir para processos erosivos.

A definição do teor de fibras a ser

adotado para adição ao concreto foi associada à necessidade de atendimento às solicitações acima mencionadas, com ênfase à resistência à tração do concreto especificada (item 4), embora estando implícitos os benefícios relativos à melhoria de outras características do concreto. Diferentes teores de fibras foram avaliados experimentalmente, sendo que, para atingir a resistência à tração prevista, foi necessário elevar o teor de fibras a 1% do volume do concreto (80 kg/m<sup>3</sup>).

Com relação ao CRFA, conceitualmente, destaca-se que “As fibras agem como pontes de transferência de tensão através das fissuras, possibilitando que o concreto apresente maiores deformações na carga de pico,



bem como tenha maior capacidade de carga pós-fissuração. Ou seja, há aumento da ductibilidade e da resistência residual à tração do material [1].”

Enquanto a resistência à compressão é usada para o cálculo da resistência dos componentes estruturais, a curva tensão versus deformação é necessária para avaliar a tenacidade do concreto, importante característica para a ductibilidade das estruturas. Com a adição de fibras no concreto há aumento da tenacidade do material, ou seja, aumento da capacidade de absorção de energia até a ruptura, e o controle da fissuração com o aumento da capacidade de deformação antes da plastificação (tanto o mecanismo de abertura quanto a espessura das fissuras são limitados) – [2].

Do ponto de vista térmico, destaca-se o significativo incremento da capacidade de deformação, resultando em maiores gradientes térmicos (res-

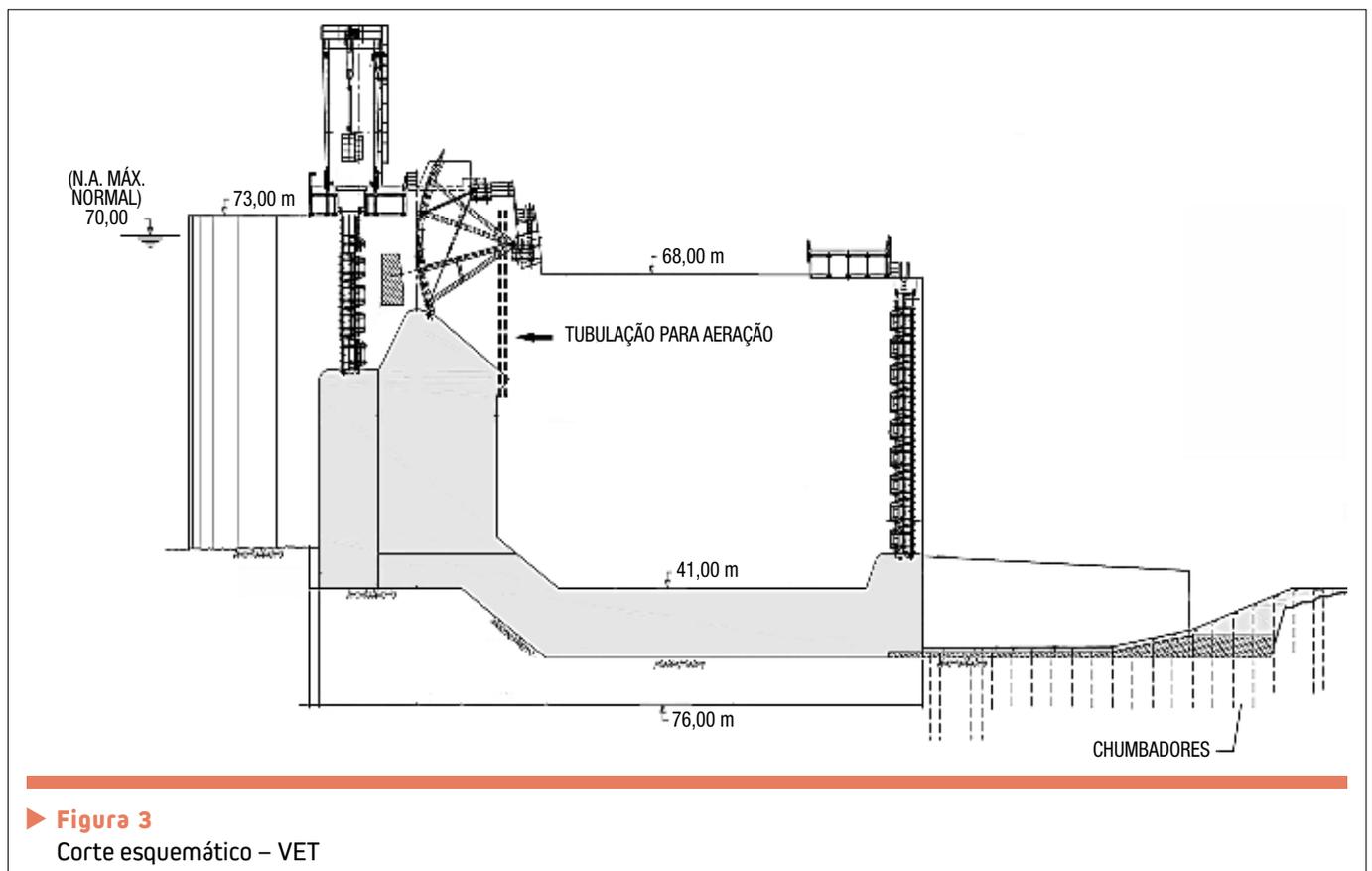
friamentos após atingir a temperatura máxima) suportados pelo concreto. A previsão da capacidade de deformação, utilizada para análises do comportamento térmico do concreto, leva em conta os parâmetros de resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade e coeficiente de fluência – [3]. No caso do CRFA, esta propriedade é influenciada principalmente pelo aumento da resistência à tração e características de fluência. Os resultados dos ensaios de caracterização das propriedades do concreto aplicado no VET encontram-se resumidos na referência – [4].

Salienta-se que a opção do emprego do concreto sem fibras exigiria consumos de cimento muito mais elevados do que o adotado para o CRFA (da ordem de 660 kg/m<sup>3</sup> a 700 kg/m<sup>3</sup>), visando o atendimento à resistência à tração estabelecida. Tal consumo implicaria em níveis de elevação de temperatura muito

elevados, agravando o comportamento do concreto; ou seja, os gradientes térmicos decorrentes, por sua vez, resultariam em intenso quadro de fissuração.

A adição das fibras metálicas possibilitou o incremento da resistência à tração, atendendo ao projeto e, paralelamente, o controle da fissuração térmica. As tensões de tração geradas durante o resfriamento do concreto (após atingir a temperatura máxima) são suportadas ou minimizadas pela adição das fibras. Somam-se a esses ganhos de resistência à tração, os benefícios da absorção de energia, decorrente do impacto dos troncos.

Destaca-se que o projeto definitivo do VET, executado com concreto de elevada resistência à tração (utilizando CRFA – bombeado com alto teor de fibras), torna-se aplicação de particular importância, considerando a sua concepção integrada ao projeto de obras hidráulicas.



### 3. PROJETO DO VERTEDOURO EXTRAVASOR DE TRONCOS

A Figura 3 ilustra as estruturas integrantes do Vertedouro Extravasor de Troncos.

As principais dimensões do VET estão resumidas como seguem:

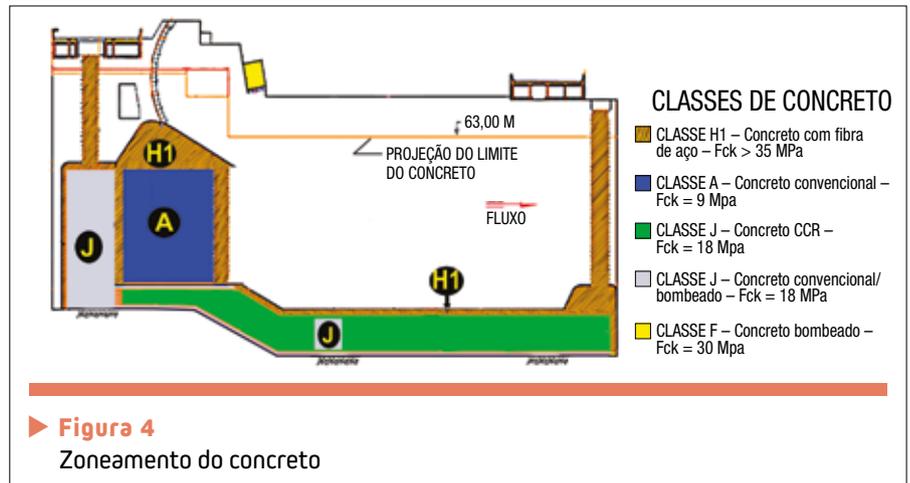
- ▶ Comprimento total da Estrutura = 76 m.
- ▶ Comprimento total da Bacia de amortecimento = 54 m → Trecho horizontal = 37 m.
- ▶ Largura total = 30 m → Largura do Vão = 20 m.
- ▶ Laje a jusante (Bacia de dissipação) → Comprimento = 51 m (Linha F + 55,34 m).

As Classes de concreto foram estabelecidas conforme critérios de projeto, com idades de controle de 90 dias. Quanto ao CRFA, a sua aplicação foi limitada à espessura mínima de 0,70 m, abrangente a todas as áreas submetidas a fluxo de água e/ou expostas a contatos com os troncos.

Os tipos e classes de concreto, estabelecidos para aplicação nas estruturas do VET, obedecem ao zoneamento indicado na Figura 4.

Conforme ilustrado na Figura 4, em função dos locais de aplicação, foram utilizados os seguintes tipos de concreto:

- ▶ Fundações: CCR – concreto compactado com rolo – consumo de cimento de 164 kg/m<sup>3</sup> (F<sub>ck</sub> = 18 MPa) – dosagem do CCR foi ajustada para Cannon Time entre 10 s e 15 s;
- ▶ Superfícies Hidráulicas – soleira da bacia de amortecimento, soleira da ogiva, faces dos pilares e concreto de segundo estágio das guias das comportas: CRFA – concreto com fibras – na Figura 5, destacam-se as áreas onde foi aplicado o CRFA (cor azul);
- ▶ Áreas massivas e acima dos níveis de fluxo de água: CCV – concreto



▶ **Figura 4**  
Zoneamento do concreto

convencional lançado com Telebelt e concreto convencional bombeado (aplicado nas regiões fora de alcance da Telebelt).

### 4. CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO – CRFA

#### 4.1 Requisitos de projeto

De acordo com as premissas consideradas pela Projetista, foi estabelecida, como requisito referencial, a tensão de tração média ( $\sigma_t$ ) = 10 MPa, com energia resultante do impacto de troncos (E) = 3,05 x 10<sup>6</sup> Joules (3,05 x 10<sup>6</sup> N.m). As estimativas dos parâmetros consideram:

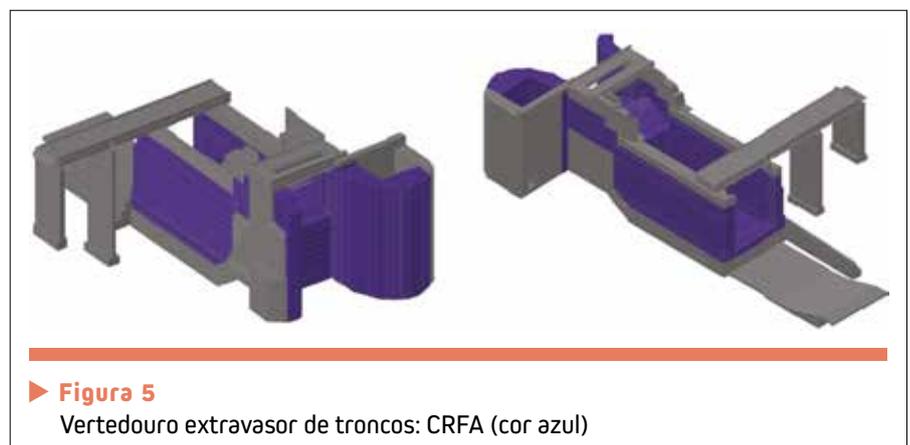
- ▶ Tronco-tipo: (Ø = 0,80 m e comprimento = 10 m).

- ▶ Altura de queda: 29 m.
- ▶ Ângulo de impacto: 31°.

A necessidade de atendimento, ao nível de resistência à tração prevista, resultou no elevado teor de fibras adicionadas ao concreto. Quanto aos requisitos relativos à durabilidade das superfícies hidráulicas, submetidas a fluxo de água a altas velocidades ( $v > 15$  m/s) e efeitos abrasivos (sedimentos, troncos, materiais pulverizados, etc.), citam-se os seguintes parâmetros de referência:

- ▶ Relação A/C ≤ 0,45.
- ▶ Abrasão-Erosão – Índice de perda ≤ 4 %.

Os ensaios de controle do concreto endurecido, realizados no Laboratório da obra, foram direcionados para a determinação da resistência à



▶ **Figura 5**  
Vertedouro extravasor de troncos: CRFA (cor azul)

compressão axial simples, tração por compressão diametral e tração na flexão. Ressalva-se que a determinação da tenacidade não foi adotada como ensaio de controle na obra, porém foram realizados ensaios específicos para a caracterização desta propriedade no Laboratório de Concreto de Furnas Centrais Elétricas S.A. (Goiânia).

## 4.2 Dosagem de concreto

A definição da dosagem a ser utilizada na construção do VET reveste-se de particularidades, considerando a elevada resistência à tração do concreto requerida. Para o atendimento a este requisito foram estudados concretos com teores de fibras variáveis entre 40 kg/m<sup>3</sup> e 80 kg/m<sup>3</sup>. Os consumos de cimento foram ajustados de acordo com a trabalhabilidade requerida (para lança-

mento do concreto através de bombas), associados aos resultados dos ensaios de tração na flexão.

### 4.2.1 FIBRAS METÁLICAS

As fibras utilizadas na fabricação do CRFA correspondem ao tipo A1 (ABNT NBR 15.530/2007), baixo teor de carbono, com resistência nominal à tração igual a 1.150 MPa e módulo de elasticidade de 210 GPa. As características dimensionais do tipo de fibras escolhido (nomenclatura RC 65/35 BN – com ganchos nas extremidades, também denominada “denteada”) estão indicadas abaixo:

- ▶ Comprimento (L) = 35 mm.
- ▶ Diâmetro (Ø) = 0,55 mm.
- ▶ Fator de forma ou relação de aspecto →  $L/\text{Ø} \rightarrow f = 64$ .

Destaca-se que, para cada quilo de fibras metálicas, com as dimensões acima, tem-se aproximadamente 14.500 unidades deste material.

### 4.2.2 TRABALHABILIDADE DO CONCRETO

A viabilização do bombeamento dos concretos com fibras exigiu a realização de estudos experimentais das dosagens de concreto, adequando a trabalhabilidade (plasticidade, fluidez e coesão da mistura fresca) às características de bombeabilidade. A uniformidade da trabalhabilidade do concreto requer a adequada dispersão das fibras na massa, portanto, exigindo a determinação do teor ideal de argamassa.

As dosagens experimentais ajustadas no Laboratório foram testadas simultaneamente através de testes de campo, utilizando os próprios equipamentos disponíveis na obra (bombas de concreto) – bombeamentos com alturas entre 20 m e 30 m [5]. Este foi um ponto muito importante, pois os

testes em verdadeira grandeza possibilitaram a visualização prática, auxiliando as definições. Normalmente, essas facilidades de testes não são disponíveis. Paralelamente à avaliação do desempenho das dosagens-teste, foram efetuadas as moldagens dos corpos de prova, incluindo as vigas para os ensaios de tração na flexão.

Visando facilitar o bombeamento do concreto com fibras, priorizou-se a utilização de agregado com Dimensão Máxima Característica (D<sub>máx</sub>) de 12,5 mm. Associado a este D<sub>máx</sub>, estabeleceu-se a adição de fibras metálicas de 35 mm de comprimento. A relação entre o comprimento da fibra e o tamanho do agregado corresponde a 2,8; atendendo às recomendações relativas a este índice, ou seja: 2,5 a 3 vezes o tamanho do agregado. Os estudos foram desenvolvidos no Laboratório de Controle Tecnológico instalado na obra. O abatimento do concreto, ajustado para 160 ± 10 mm, mostrou-se adequado para o bombeamento do CRFA.

Como o emprego de fibras de aço foi uma alternativa para o projeto, houve a necessidade de estabelecer logística específica de trabalho, não prevista no projeto das instalações industriais. Esta logística compreendeu inicialmente a construção de uma edícula de armazenamento das fibras de aço. Complementam as atividades de utilização e de manuseio deste material, a adaptação de esteira para transporte até a balança de carga e abastecimento, juntamente com os agregados nas centrais de concreto.

### 4.2.3 DOSAGEM – DADOS DE COMPOSIÇÃO

Os dados de composição do concreto com adição de fibras, definido

▶ Tabela 1 – CRFA - dosagem

Dosagem - nomenclatura → SN.12,5.Fy.2.3ME	
Volume aplicado: 21.429 m <sup>3</sup>	
Dados de composição (kg/m <sup>3</sup> )	
Cimento CP IV32	440 kg/m <sup>3</sup>
Sílica ativa	45 kg/m <sup>3</sup>
Cimento equivalente	498 kg/m <sup>3</sup>
Água + gelo	220 kg/m <sup>3</sup> (160 kg/m <sup>3</sup> + 60 kg/m <sup>3</sup> )
Areia artificial	820 kg/m <sup>3</sup>
Brita 12,5 mm	685 kg/m <sup>3</sup>
Fibras de aço (35 mm)	80 kg/m <sup>3</sup>
Aditivo polifuncional	3,398 kg/m <sup>3</sup>
Aditivo incorporador de ar	0,300 kg/m <sup>3</sup>
Aditivo hiper plastificante	3,398 kg/m <sup>3</sup>
Relação (água/cimento)	0,442



nas fases experimentais e aplicado nas estruturas do Vertedouro Extravasador de Troncos, estão apresentados na Tabela 1.

A verificação das propriedades do concreto fresco foi efetuada para todos os caminhões betoneira, antes da liberação para lançamento.

Os valores médios obtidos para o “abatimento” e “teor de ar incorporado”, a partir dos dados de controle, correspondem a 160 mm e 4%, respectivamente.

As Fotos 3 e 4 mostram aspectos da homogeneidade e distribuição das fibras metálicas na massa de concreto fresco e endurecido da dosagem escolhida.



► **Foto 3**  
CRFA: distribuição das fibras no concreto fresco



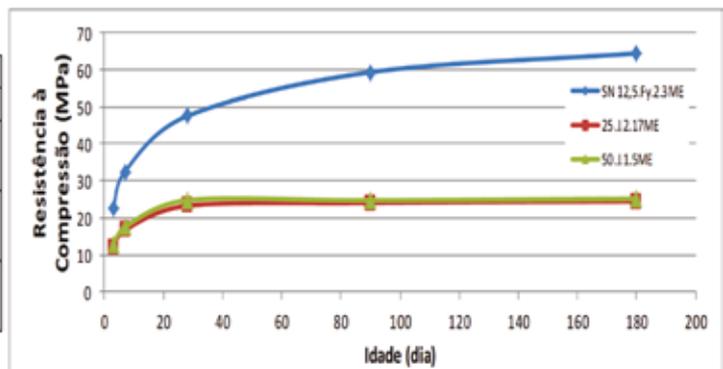
► **Foto 4**  
CRFA: distribuição das fibras no concreto endurecido (pós ruptura)

#### 4.2.4 PROPRIEDADES DO CONCRETO

Os resultados dos ensaios de controle da resistência à compressão axial simples e tração na flexão (vigas pris-

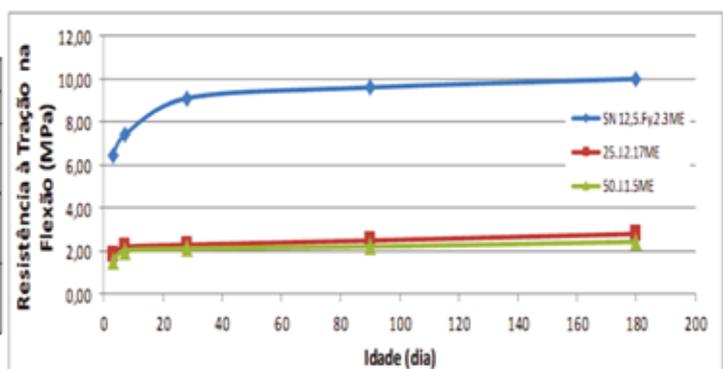
máticas de 15 cm x 15 cm x 60 cm), obtidos para os concretos convencional (Classes J) e com adição de 80 kg/m<sup>3</sup> de fibras (Classe H1), estão mostrados nas Figuras 6 e 7.

Classe	Dosagem	Dmax (mm)	Resistência à Compressão (MPa)				
			3	7	28	90	180
H1	SN 12,5.Fy.2.3ME	12,5	22,6	32,5	47,5	59,3	64,4
J	25.J.2.17ME	25	12,2	16,7	23,3	24,1	24,5
J	50.J.1.5ME	50	12,9	17,6	24,8	24,8	25,2



► **Figura 6**  
Resistência à compressão axial – CRFA (cor azul)

Classe	Dosagem	Dmax (mm)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)				
			3	7	28	90	180
H1	SN 12,5.Fy.2.3ME	12,5	6,46	7,40	9,10	9,60	10,00
J	25.J.2.17ME	25	1,85	2,19	2,29	2,49	2,80
J	50.J.1.5ME	50	1,52	2,02	2,11	2,21	2,43



► **Figura 7**  
Resistência à tração na flexão – CRFA (cor azul)

Os Índices de perda determinados para o CRFA nos ensaios de Abrasão-Erosão atingiram valores máximos de 2,1 %. Na fase de ajustes das dosagens, o módulo de ruptura obtido nos ensaios de tenacidade foi da ordem de 8,0 MPa.



► **Foto 5**  
Lançamento: *Telebelt* na soleira e bomba nos pilares – vista (montante → jusante)



► **Foto 6**  
Lançamento: *Telebelt* na soleira e bomba nos pilares – vista (montante → jusante)



► **Foto 7**  
Lançamento: *Telebelt* – soleira (face hidráulica) – vista (montante)

### 4.3 Lançamento do CRFA – superfícies hidráulicas

A concretagem da soleira da bacia de amortecimento foi realizada utilizando-se o processo convencional de lançamento – via telebelt e, também, através de bombas. No caso da telebelt (com tromba acoplada), o lançamento foi direcionado para regiões do Extravasador de Troncos, onde era possível o seu posicionamento e alcance (extensão do braço lançador de aproximadamente 35 m).

As Fotos 5 a 8 mostram o lançamento com telebelt – durante a concretagem da soleira da laje e, também, o posicionamento das tubulações das bombas de concreto para lançamento nos pilares (lançamento simultâneo laje-pilares até a cota da laje). Observa-se na Foto 6 a proteção da tubulação, visando minimizar os efeitos da exposição solar.

As Fotos 9 e 10 mostram o lançamento do CRFA, na face hidráulica da laje, através de bombeamento. Observa-se a fluidez e coesão do concreto após o bombeamento.

#### 4.3.1 ACABAMENTO – FACES HIDRÁULICAS – LAJE

Com relação ao acabamento das superfícies hidráulicas (sem formas) do concreto com adição de fibras metálicas, as dificuldades decorrentes da elevada quantidade deste material – na mistura da dosagem definida e aplicada – foram contornadas através dos adequados ajustes experimentais dos teores de argamassa das composições do concreto.

Nas Fotos 11 e 12 estão ilustradas etapas de acabamento praticadas na concretagem da laje da bacia de amortecimento do VET – Elevação 41,00 m.



► **Foto 8**  
Lançamento: *Telebelt* – soleira (face hidráulica) – vista (montante → jusante)



► **Foto 9**  
CRFA: bombeamento



► **Foto 10**  
CRFA: bombeamento

Ressalta-se que imediatamente após o desempenho, foi aplicada a cura química por aspersão. Esta medida visou evitar a formação de fissuras superficiais, devido à perda de água, decorrente das severas condições locais de exposição ao ambiente.

Após a conclusão da concretagem e



► **Foto 11**  
Acabamento: textura do concreto – após desempenho



► **Foto 12**  
Acabamento: desempenho e aplicação de cura química na face hidráulica



► **Foto 13**  
Superfície hidráulica: pilar P-22 – montante → jusante

início de endurecimento do concreto, as áreas foram submetidas à cura complementar com lâmina de água.

O percentual de argamassa mais elevado, praticado para concretos fibrosos, com a finalidade de possibilitar melhor mobilidade (dispersão) das fibras de aço

na massa, proporcionaram a boa performance apresentada pelo CRFA para esta finalidade. Por outro lado, a presença de fibras metálicas – em decorrência do teor adotado – exigiram maior esforço operacional durante as etapas de sarrafeamento e desempenho do concreto. Há que se considerar, também, o maior desgaste das paredes internas das tubulações de bombeamento.

#### 4.3.2 ACABAMENTO – FACES HIDRÁULICAS – PILARES

Para garantir a qualidade do acabamento nas faces hidráulicas dos Pilares, foram realizados ajustes na metodologia executiva; ou seja, as concretagens se dariam de maneira simultânea e combinada, a saber:

- Formas fixas: utilizadas para as faces internas das superfícies hidráulicas dos pilares. Após desforma, as superfícies não receberam nenhum tratamento, permanecendo como condição acabada final. Este sistema com formas fixas garantiu a textura e uniformidade da superfície acabada.
- Formas deslizantes: utilizadas para as faces externas dos pilares (sem fluxo de água em velocidade), otimizando o processo de movimentação de formas. Após deslizamento, as superfícies foram desempenadas, conforme procedimento usualmente aplicado neste processo.

A utilização de formas fixas, nas faces hidráulicas dos pilares, contribuiu sobremaneira para a excelente qualidade do acabamento do CRFA. Registra-se que os concretos das superfícies hidráulicas do VET, aplicados com o emprego de formas fixas, não exigiram nenhum tipo de reparo.

Na concretagem da ogiva foram utilizadas formas temporariamente fixas.

O aspecto das superfícies hidráulicas dos Pilares P-21 e P-22 (textura das faces internas e uniformidade – após desforma), pode ser observado nas Fotos 13 e 14.

#### 4.4 Operação do vertedouro

As Fotos 15 a 18 mostram o Extravasar em operação. Após o primeiro ciclo de vertimentos, o vertedouro foi fechado e inspecionado. Na Foto 19 observam-se aspectos das superfícies dos pilares e ogiva submetidas ao escoamento de troncos.

#### 5. TEMPERATURA DO CONCRETO NAS ESTRUTURAS DO VERTEDOURO

Em decorrência do consumo dos materiais cimentícios da dosagem do



► **Foto 14**  
Superfície hidráulica: pilar P-21 – montante → jusante



► **Foto 15**  
Início de operação: 2016

CRFA aplicada nas estruturas do VET, os picos máximos de temperatura atingiram 89°C. Altas temperaturas, associadas às velocidades de aquecimento e resfriamento, influenciam o comportamento do cimento em suas fases de hidratação. Em decorrência dos níveis de temperatura atingidos foi motivo de preocupação os aspectos de durabilidade do concreto, associados às fases de aquecimento e resfriamento do concreto.

Dentre os pontos de atenção, associados às condições às quais o concreto é submetido, destaca-se a formação de determinados compostos, como a etringita tardia, também denominada “etringita secundária”. A formação de etringita (cristalina) tardia no interior do concreto pode resultar na sua de-

teriorização (expansão e fissuração) e, conseqüentemente, comprometer a durabilidade das estruturas. A literatura recomenda como temperatura máxima para o concreto o valor de 70°C. Este limite está associado às velocidades de aquecimento e resfriamento, notadamente em peças submetidas à cura térmica, como os pré-moldados. Há que se observar também que, para peças pré-moldadas, o tempo recomendado para a pré- pega, antes do aquecimento, é entre 2 a 4 horas.

Com referência à normalização brasileira, cita-se que a NBR 9062/2017 (Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado), a partir de suas primeiras versões (década de 80), estabelece para elementos submetidos à tratamento térmico, temperatura máxima de 70°C; além da limitação dos gradientes de aquecimento (20°C/h) e decréscimo de temperatura no resfriamento (30°C/h).

Embora nas estruturas, em geral, as condições para aquecimento e resfriamento não sejam tão severas e rápidas, como no caso de pré-moldados, é prudente que análises sejam feitas previamente, tendo em vista que as temperaturas elevadas podem propiciar a formação de “etringita tardia”. O potencial do cimento em resultar na formação de etringita tardia pode ser previamente avaliado a partir de determinados componentes químicos; porém, não se limitando a essas verificações. Os parâmetros recomendados baseiam-se nos coeficientes obtidos, através das relações molares abaixo indicadas, determinadas a partir de elementos constituintes da composição química do cimento.

a)  $SO_3 / Al_2O_3 \leq 0,70$  ou;

b)  $(SO_3)^2 / Al_2O_3 \leq 2,0$ .

Onde:

▶  $SO_3$  → teor de anidrido sulfúrico ou trióxido de enxôfre.



▶ Foto 18  
Operação – laje de fundo



▶ Foto 19  
VET: faces hidráulicas – dezembro 2016



▶ Foto 16  
Início de operação



▶ Foto 17  
Operação

▶  $Al_2O_3$  → teor de trióxido de alumínio.

A partir dos resultados dos ensaios realizados para controle das propriedades do cimento utilizado na fabricação dos concretos aplicados na UHESA, foram determinados os coeficientes médios, correspondentes às relações molares estabelecidas como referência. Os coeficientes obtidos consideram os dados obtidos nos controles efetuados na fábrica e obra.

▶  $SO_3 / Al_2O_3 = 2,85 / 9,03 = 0,32$  (dados – controle fábrica) e  $2,88 / 9,05 = 0,32$  Dados – Controle Obra).

▶  $(SO_3)^2 / Al_2O_3 = (2,85)^2 / 9,03 = 0,90$  (dados – controle fábrica) e  $(2,88)^2 / 9,05 = 0,92$  (dados – controle obra).

Como se observa acima, os coeficientes obtidos são inferiores aos limites recomendados pela [PCA]: \* <sup>1</sup> *The Effect of Secondary Ettringite Formation on the Durability of Concrete — A Literature Analysis*. Os teores de  $MgO$ ,  $Na_2O$



e  $Fe_2O_3$ , também são apontados como fatores que interferem neste fenômeno. Ampla abordagem sobre o tema poderá ser consultada na referência – [6].

Ressalta-se que os elevados gradientes gerados durante a queda de temperatura do concreto não resultaram no aparecimento de fissuras de origem térmica.

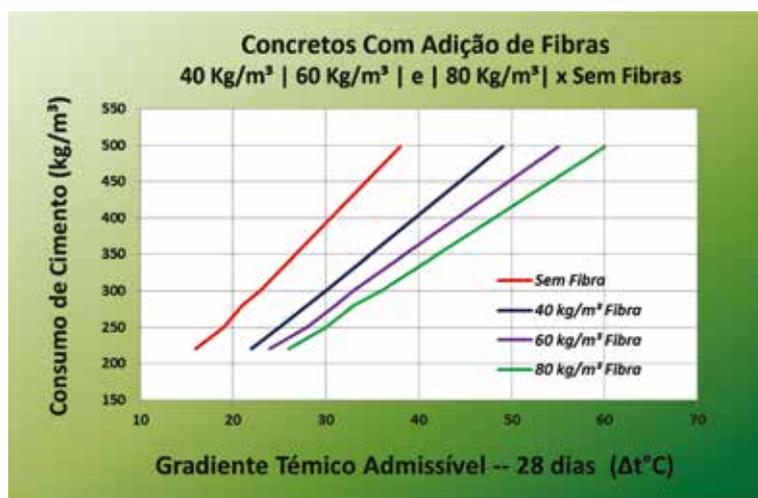
## 6. CONTROLE TÉRMICO DO CONCRETO

O CRFA utilizado no VET foi pré-refrigerado, através de água gelada e substituição de parte desta por gelo em escamas. Adicionalmente, substituiu-se também parte do cimento por sílica ativa. A adição da sílica, dentre outros benefícios, visou reduzir o consumo de cimento, em nível elevado, considerando a resistência à tração requerida. Para monitoramento das temperaturas, foram instalados termômetros elétricos nas estruturas do Extravasor.

As permanentes inspeções das estruturas permitiram comprovar que não ocorreram fissuras de origem térmica onde foi utilizado o CRFA. Com base nesta constatação e nas medições de temperatura efetuadas nas estruturas do VET, foram estimados os gradientes térmicos admissíveis para diferentes consumos de cimento e teores de fibras variáveis. Essas simulações visaram ilustrar os níveis de resfriamento suportados pelo concreto (com e sem adição de fibras) e, em consequência, a busca do emprego de fibras metálicas em concretagens massivas em geral. Em resumo, destacou-se a eficiência da adição de fibras para o controle de fissuração de origem térmica do concreto. Neste sentido, o uso da

fibra pode diminuir a demanda de refrigeração ou até mesmo substituí-la integralmente. Ressalta-se que, a adição de fibras não muda a cinética de liberação de calor, tendo em vista que a elevação da temperatura do concreto é oriunda do calor de hidratação do cimento.

Para as estimativas, foram adotados como referência: o gradiente térmico suportado (sem fissuras) pelo concreto com 80 kg/m<sup>3</sup> de fibras, a resistência à tração na flexão (referida aos 28 dias) e o coeficiente de elevação de temperatura (°C/kg/m<sup>3</sup> de cimento). Este coeficiente permite prever a elevação de temperatura para os diversos consumos de cimento. Conhecendo-se as temperaturas máximas atingidas pelo concreto e os consequentes gradientes térmicos admissíveis (resfriamentos até a temperatura ambiente de equilíbrio), determinam-se as tensões de tração geradas por esses gradientes térmicos. Essas tensões de tração, de origem térmica, são comparadas com as tensões resistentes do concreto. Desta forma, podem ser determinados os gradientes térmicos admissíveis para garantir o controle da fissuração.



► **Figura 8**  
Gradiente térmico admissível x consumo de cimento x teor de fibra

A partir das simulações consideradas, estão sintetizados na Figura 8 os gradientes térmicos admissíveis do concreto, obtidos para diferentes teores de adição de fibras metálicas [10].

A título comparativo, observa-se na Figura 8 que, para o consumo de cimento de 300 kg/m<sup>3</sup>, os resfriamentos suportados pelo concreto com 80 kg/m<sup>3</sup> de fibras e sem fibras correspondem a 37°C e 23°C, respectivamente. Considerando as condições climáticas da região da obra da UHESA, isto significa que a temperatura do concreto com 80 kg/m<sup>3</sup> de fibras poderia atingir o pico de 67°C, sem resultar em fissuração, quando do seu resfriamento. Para esta temperatura máxima, não haveria possibilidade do concreto sem fibras resistir ao resfriamento e, obrigatoriamente, teria que ser pré-refrigerado até pelo menos 16°C. Portanto, a fibra pode viabilizar concretagens envolvendo elementos de grandes dimensões e com controle térmico menos rigoroso, minimizando o risco de fissuração oriundo dos gradientes térmicos, que ocorrem com o resfriamento progressivo dos mesmos. Conforme exposto na Figura 8,

<sup>1</sup> \*NOTA: EM FUNÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS MASSIVAS DAS ESTRUTURAS DA UHESA, ASSOCIADAS AO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO CONCRETO, AS RECOMENDAÇÕES RELATIVAS ÀS PRECAUÇÕES QUANTO À FORMAÇÃO DA ETRINGITA TARDIA, FORAM APONTADAS PELOS CONSULTORES, NOTADAMENTE O ENGO. WALTON PACELLI DE ANDRADE. NESTE SENTIDO, FORAM REALIZADOS ESTUDOS E PESQUISAS DE DURABILIDADE, ENVOLVENDO OS LABORATÓRIOS DE FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. – GOIÂNIA E LABEST/PEC/COPPETEC/UFRJ – [7-8]. OS RESULTADOS DOS ESTUDOS NÃO INDICARAM COMPORTAMENTOS ANÔMALOS. ANÁLISES COMPLEMENTARES PARA AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DO CONCRETO FORAM EFETUADAS PELO PROFO. PAULO J. M. MONTEIRO – [9].

observa-se o aumento dos gradientes térmicos admissíveis em função do teor de fibras.

## 7. CONCLUSÕES

A eficiência dos métodos de produção e aplicação do CRFA resultou dos estudos prévios à execução, garantindo a adequação do material às condições de aplicação e, simultaneamente, às exigências de serviço.

Para o caso da estrutura do VET, a economia como um todo está associada à eliminação da blindagem e trilhos inicialmente previstos no projeto, e ao tipo de concreto. Ou seja, qualquer concreto para atingir a resistência à tração prevista (em substituição aos revestimentos), exigiria o emprego de dosagem em categoria de alto desempenho, o que exigiria também em aplicações massivas cuidados especiais que contribuiriam para a elevação dos custos. Dentre esses, os cuidados na prevenção de provável quadro de intensa fissuração. Embora as temperaturas na estrutura tenham atingido níveis elevados, com a utilização do CRFA, os riscos de fissuração foram controlados.

Visando a busca da viabilização do emprego das fibras metálicas como elemento contribuinte ao controle da fissuração do concreto originada por gradientes térmicos, é importante avaliar os índices de custos decorrentes da adição desse material, considerando somente o envolvimento (envolopamento) das camadas de concretagens com o CRFA, em espessuras variáveis (e.g. entre 0,30 m e 0,20 m). Este envelopamento consistiria na proteção das faces periféricas (ao longo do perímetro das camadas) e também das superfícies finais (última subcamada).

Desta forma, este procedimento para proteção do concreto possibilitaria o controle da formação de fissuras. Contribuiria, também, para o aumento do tempo de exposição das camadas (fator fundamental para o controle térmico) até sua cobertura, como no caso, por exemplo, de circuitos hidráulicos de geração. Conforme dados obtidos, observa-se que às primeiras idades, a resistência à tração na flexão — para o teor de 80 kg/m<sup>3</sup> de fibras — é praticamente o dobro em relação ao concreto sem fibras, contribuindo

sobremaneira ao exposto neste item. Nestas etapas, as camadas ficam expostas por períodos mais longos, em função das diferentes atividades de preparação (principalmente armaduras e embutidos), para as concretagens subsequentes, resultando em maiores solicitações térmicas decorrentes do resfriamento do concreto.

Embora a utilização do CRFA tenha como um de seus objetivos principais, reduzir a fragilidade e evitar a ruptura brusca de elementos estruturais, há que se destacar a sua excelente contribuição para o controle da fissuração de origem térmica.

## 8. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos engenheiros Nelson Caproni Jr., Welson Corrêa Pinto (Santo Antônio Energia S.A.) e Antônio Sergio Barbin (Consórcio Santo Antônio Civil), pela participação durante a construção da UHESA e autorização à divulgação deste artigo. Ao Eng. Wesley Santana Gonçalves (Furnas Centrais Elétricas S.A.), pelo desenvolvimento dos estudos experimentais e controle da aplicação do concreto. 

## ▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FIGUEIREDO, A. D. Concreto Reforçado com Fibras. São Paulo, 2011. 247p. Tese (Livre-docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [2] REAL, L. V.; NOGUEIRA, A. B.; SIMÃO, L.; FIGUEIREDO, A. D.; BARBOZA, A. S. R. — “Contribuição das fibras de aço para o dimensionamento à flexão de viga armada” — Revista Concreto & Construções — IBRACON — Ed. 87 — Jul-Set 2017 .
- [3] PACELLI, W. A. (editor). — “Concretos — Massa, Estrutural, Projetado e Compactado com Rolo — Ensaio e Propriedades” — Equipe de FURNAS — Laboratório de Concreto, Goiânia — novembro 1997.
- [4] CHIEREGATO, A. C.; GUERRA, E. A.; GOMES, F. M. P.; TRABOULSI, M. A.; RIVELINO, R. S.; GONÇALVES, W. S. — “Propriedades do CRFA Utilizado na Construção do Vertedouro Extravasador de Troncos da UHE Santo Antônio” — 58º Congresso Brasileiro do Concreto — outubro de 2016.
- [5] RODRIGUES, A. E. S.; BARBIN, A. S.; GUERRA, E. A.; FONTOURA, J. T. F.; RIVELINO, R. S.; PINTO, W. C. — “Construção do Vertedouro Extravasador de Troncos da UHE Santo Antônio” — 58º Congresso Brasileiro do Concreto — outubro de 2016.
- [6] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. — “CONCRETO — Microestrutura, Propriedades e Materiais” — 2ª Edição em Português — Publicada por IBRACON, São Paulo — 2014.
- [7] SANTANA, W. G.; HASPARYK, N.; MARQUES, R. A.; BITTENCOURT, R. M. — “Consolidação dos Relatórios de Ensaio de Durabilidade” — Relatório S-RT-GEG00-G00-0022/GST.E.004.2013-RO — Consórcio Santo Antônio Civil — maio de 2013.
- [8] TOLEDO Filho, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R.; BALTHAR, V. K. C. B. L. M.; VELASCO, R. V. — “Estudo da formação de etringita tardia em concreto usado na construção da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio” — Projeto COPPETEC PEC 14864 — Relatório Técnico — janeiro de 2012.
- [9] MONTEIRO, P. J. M. — “Análise Crítica da Microestrutura, Propriedades Mecânicas e Durabilidade dos Concretos na UHE Santo Antônio” — Relatório Técnico — março de 2015.
- [10] MIRANDA, A. B.; DEMARCHI, F. V.; FRANÇA, G. S.; FONTOURA, J. T. F.; LEOCÁDIO, L. P.; CAPRONI, Jr. N. — “Contribuição das Fibras de Aço para Controle Térmico do Concreto” — 58º Congresso Brasileiro do Concreto — outubro de 2016.



# Parâmetros para especificação e controle do concreto projetado com fibras aplicado como revestimento de túneis

---

ALAN RENATO ESTRADA CÁCERES – ENGENHEIRO CIVIL

---

FELIPE PEREIRA SANTOS – ENGENHEIRO CIVIL

---

ANTONIO DOMINGUES DE FIGUEIREDO – ENGENHEIRO CIVIL

---

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

## I. INTRODUÇÃO

A aplicação do concreto projetado para o revestimento de túneis é fortemente vinculada ao método NATM (*New Austrian Tunneling Method*). O objetivo do método NATM inclui mobilizar os esforços induzidos pelo terreno para garantir a estabilidade global com menor nível de tensões para a estrutura (Vandewalle, 1997). Trata-se de um método tradicional, com registros de aplicação no Brasil já na década de 1970 na execução das obras da Ferrovia do Aço e dos túneis da primeira pista da Rodovia dos Imigrantes (Rocha, 2012). No entanto, apenas 20 anos depois, na década de 1990, ocorreram as primeiras aplicações do concreto projetado reforçado com fibras (CPRF) para o revestimento de túneis, como foram os exemplos da Hidrelétrica de Itá e da construção da Via Expressa Sul, em Santa Catarina, por volta do ano de 1996.

Progressivamente, o CPRF acabou assumindo a condição de um dos principais usos em termos de volume de

fibras consumido no Brasil (Figueiredo, 2011), ficando atrás apenas do uso para pavimentos. No entanto, a especificação do CPRF ainda é feita de maneira empírica e, muitas vezes, sujeita a equívocos de interpretação. Boa parte do problema pode ser creditado ao fato de ainda não haver normas brasileiras específicas publicadas no tema. Mesmo os desenvolvimentos recentes para o concreto reforçado com fibras (CRF), como foi a publicação do novo fib Model Code em 2010, não chegaram ao CPRF. O próprio texto do fib Model Code 2010 explicita que o mesmo não é aplicável para o CPRF. Isto faz com que alguns especificadores se omitam no estabelecimento de requisitos para o comportamento mecânico, limitando-se a fixar um teor mínimo de fibras, desvinculando a caracterização do material do desempenho estrutural. Tendo esse cenário em vista, procura-se aqui apresentar os principais aspectos a serem considerados para a especificação do CPRF para túneis com foco no desempenho estrutural do material, le-

vando-se em conta os ganhos recentes obtidos em pesquisas focando o tema.

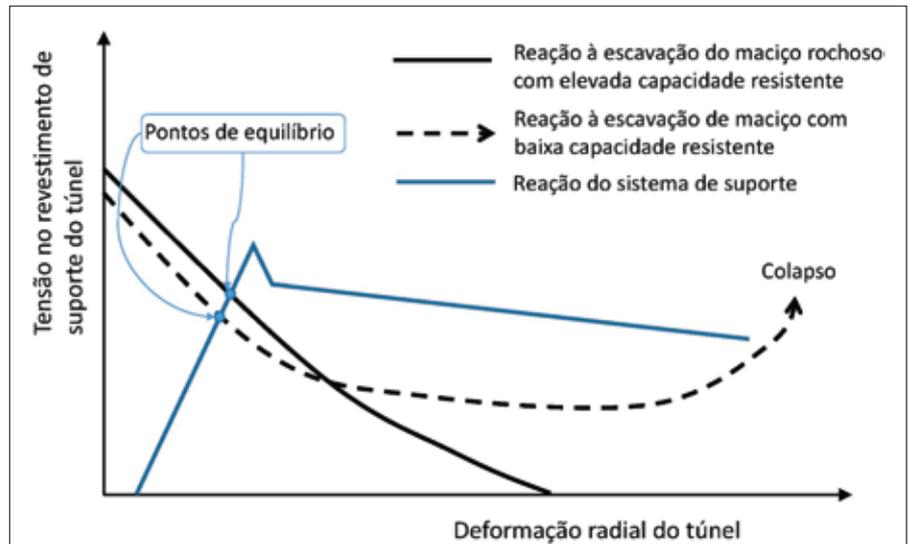
## 2. PARÂMETROS PARA ESPECIFICAÇÃO DO USO DO CPRF EM TÚNEIS

Um dos enfoques mais tradicionais para a vinculação da aplicação do CPRF em túneis NATM é o Q-System, que vem sendo desenvolvido por Barton *et al.* desde 1974 (*apud* Palmstron, Broch, 2006). Este é um enfoque empírico e associado a uma classificação de maciços rochosos onde os túneis são escavados. O mesmo apresenta uma série de limitações, como o fato de não vincular o uso de fibras para o reforço do concreto projetado a qualquer exigência de comportamento mecânico mínimo. No entanto, ele associa a necessidade de ductilização do revestimento do túnel à maior deformabilidade do maciço. Essa ductilização garante maior segurança durante a execução do túnel e a estabilização final das deformações do maciço de acordo com o modelo proposto por Rabcewicz

(1965), que é representado de maneira adaptada na Figura 1. O revestimento de túnel mais eficiente é aquele que mobiliza o maciço de modo a garantir menores níveis de tensões para o revestimento (Vandewalle, 1997).

Como o túnel é uma obra contínua, sem juntas de dilatação, o mesmo apresentará certo grau de fissuração no sentido transversal de sua seção. Além disso, há também a convergência do túnel que vai acomodar as deformações do maciço que devem ser estabilizadas pelo revestimento de suporte (Celestino *et al.*, 1988). Essas deformações impostas pelo maciço ao revestimento de concreto recém-projetado podem superar o limite elástico do material, especialmente pelo fato de sua resistência ainda ser baixa nesta etapa. Assim, a ductilização da estrutura irá garantir uma maior segurança e controlar o nível de fissuração da estrutura. O grau de ductilização deverá ser maior para estruturas com menor grau de suporte, ou nas quais seja previsto um nível maior de exigência em termos de tensões de cisalhamento, como ocorre em maciços rochosos fraturados. Dessa forma, o projetista deve definir que nível de exigência o CPRF deverá apresentar em termos de absorção de energia ou resistência residual.

No sentido de fornecer uma referência de classificação de comportamento estrutural do CPRF, foi publicada a especificação produzida pela EFNARC (1996). Esta especificação procurou classificar o comportamento do CPRF em função da sua capacidade resistente residual pós-fissuração e ductilidade através de dois ensaios básicos, sendo um de punção de placas quadradas e outro de flexão de prismas. Estes ensaios e os parâmetros a serem avaliados estão descritos a seguir.



► **Figura 1**  
Modelo esquemático do comportamento esperado para o revestimento de túneis NATM (adaptado de Rabcewicz, 1965)

## 2.1 Ensaio de punção de placas

Os revestimentos de CPRF são muitas vezes exigidos para resistir a cargas pontuais, como acontece com o uso de tirantes para túneis em rocha. Assim, foi natural buscar a avaliação do desempenho do CPRF através da aplicação de uma carga pontual numa placa que representa uma porção de um revestimento contínuo (Bernard, 2002). O ensaio de punção de placas quadradas do CPRF (Figura 2A) é um ensaio europeu tradicional (Vandewalle, 1997), que foi incorporado à especificação da EFNARC (1996) e, atualmente, é norma europeia (EN14488-5). A medida do deslocamento imposto à placa durante o ensaio não é bem detalhada nas normas e, por isso, recomenda-se utilizar sistemas como o esquematizado na Figura 2B para obter maior precisão (Figueiredo, 2011).

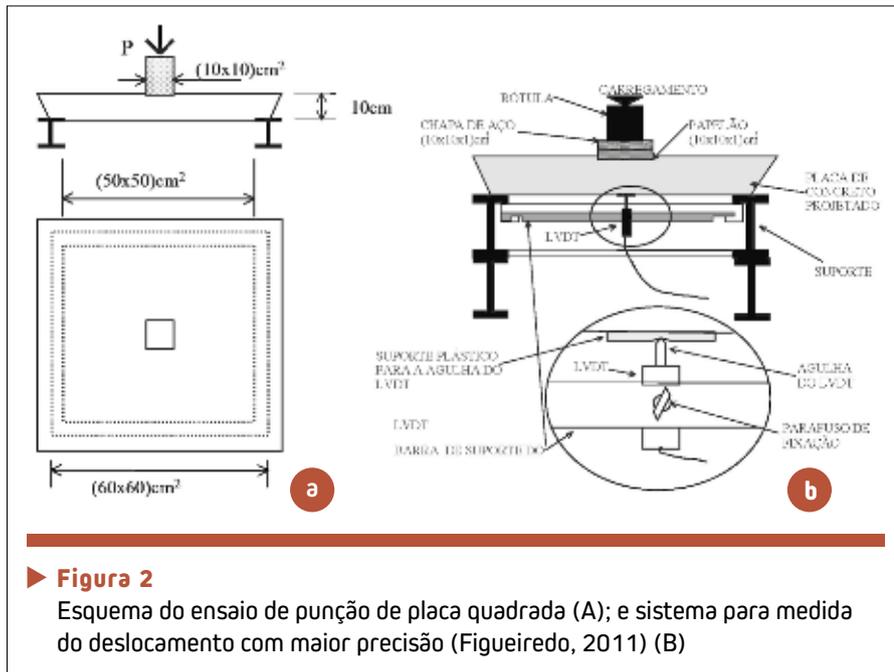
O deslocamento máximo imposto no ensaio é de 25 mm, o que gera elevado nível de abertura de fissuras, como ilustrado na Figura 3. A partir do

ensaio é possível obter uma curva de carga por deslocamento (Figura 4A), a qual serve de base para a determinação da curva de absorção de energia, calculada pela área sob a curva de carga por deslocamento (Figura 4B). A partir da energia total absorvida no ensaio é possível verificar a classe do CPRF segundo os critérios apresentados na Tabela 1. Assim, o CPRF do ensaio exemplificado na Figura 4 se enquadraria na Classe B. Salienta-se que é um ensaio de grandes dificuldades executivas e de grande dispersão

► **Tabela 1 – Requisitos de absorção de energia no ensaio de punção de placas quadradas (EFNARC, 1996)**

Classificação da tenacidade	Energia absorvida no ensaio de punção de placas até um deslocamento de 25 mm (Joules)
A	500
B	700
C	1000





► **Figura 2**  
Esquema do ensaio de punção de placa quadrada (A); e sistema para medida do deslocamento com maior precisão (Figueiredo, 2011) (B)

de resultados (Bernard, 2002; Myren; Bjantergaard, 2010).

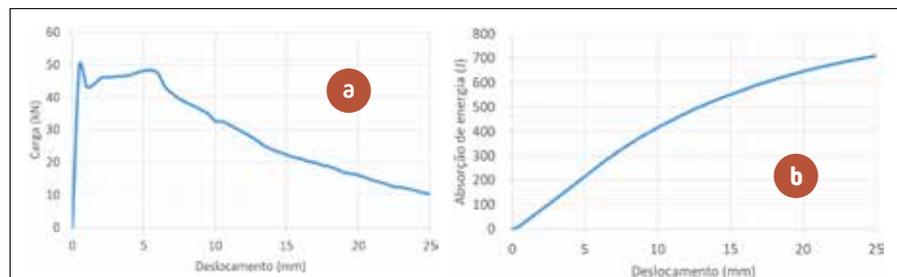
## 2.2 Ensaio de flexão de prismas

Outro ensaio usado pela EFNARC (1996) para classificar o CPRF é o de flexão de prismas, o qual já está normalizado na Europa (EN14488-3). O esquema do ensaio é apresentado na Figura 5. Na Figura 6 é apresentada a forma como os testemunhos devem ser serrados da placa para a produção dos corpos de prova. Ressalta-se que os testemunhos são removidos do fundo da placa de projeção para garantir

uma condição menos favorável e a favor da segurança em termos de incorporação de fibras. As cargas medidas no ensaio a diferentes níveis de deslocamento são convertidas em tensão com os padrões estabelecidos para as faixas de resistência residual apresentadas na Figura 7.

$$f_{cti} = \frac{P_i \cdot L}{b \cdot h^2} \quad [1]$$

Onde,  
 $f_{cti}$  = resistência residual (MPa) para o deslocamento  $i$  (0,5 mm, 1 mm, 2 mm e 4 mm);



► **Figura 4**  
Curva padrão de carga por deslocamento (A) e a curva resultante de absorção de energia (B)



► **Figura 3**  
Nível elevado de fissuração imposto às placas de CPRF durante o ensaio de punção devido ao deslocamento imposto de 25 mm (Figueiredo, 2011)

$P_i$  = carga (N) resistida no deslocamento  $i$  (0,5 mm, 1 mm, 2 mm e 4 mm);

$L$  = distância entre cutelos inferiores (mm);

$b$  = largura do corpo de prova (mm).

$h$  = altura do corpo de prova (mm).

Vale ressaltar que as quatro classes de resistência residual do ensaio de flexão de prismas não são correlacionadas com as três classes de absorção de energia medidas pelo ensaio de punção de placas. Portanto, o projetista deve selecionar condições coerentes com as demandas do revestimento e a qualificação do CPRF deve ser realizada nos estudos prévios de dosagem, adotando-se o teor de fibras que atenda a todos os requisitos simultaneamente.

Outro aspecto importante a ser notado é que este ensaio é distinto do antigo método JSCE-SF4 (Figueiredo, 2011), que ainda é muito utilizado no Brasil. No entanto, o método da JSCE já se encontra em desuso em seu país de origem (Japão) e apresenta mais problemas em relação ao método europeu (EN14488-3), que é superior em termos de redução dos níveis de instabilidade e mais próximo do enfoque atual para qualificação do CRF.

Contudo, o ensaio de flexão de prismas requer equipamento mais sofisticado, dotado de controle fechado de deformação, de modo a evitar a instabilidade pós-pico. Bernard (2002) indica que os prismas são os corpos de prova mais caros de produzir, pois exigem um corte cuidadoso antes do teste.

### 2.3 Outros ensaios

Novos ensaios vêm sendo propostos como alternativas aos tradicionais. Assim, a ASTM (ASTM C1550) publicou um ensaio de punção de placas circulares e, mais recentemente, a própria EFNARC propôs um novo ensaio de flexão de placas quadradas com entalhe (EFNARC, 2011). Neste último, também se prescreve o controle para distintos níveis de abertura de fissura. No entanto, apesar dos aprimoramentos, esses ensaios ainda apresentam grande dificuldade executiva e muito raros são os laboratórios capacitados para realizá-los no Brasil.

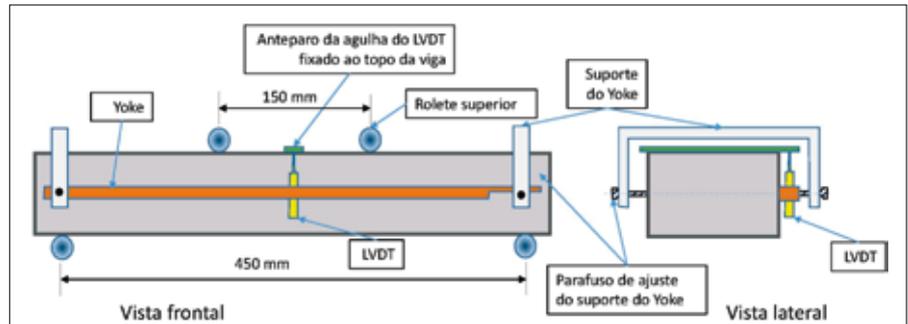
Uma alternativa promissora com enfoque diferenciado é o ensaio Barcelona. Este ensaio já é normalizado na Espanha (AENOR UNE 83515:2010) e consiste no duplo puncionamento de cilindros de 100 mm de diâmetro e 100 mm de altura, obtidos a partir de testemunhos extraídos das placas (Figura 8). Segundo Zhang e Morgan (2015), a extração de amostras do revestimento do túnel é necessária se os resultados das placas de CPRF não atendem a especificação. Os corpos de prova de menores dimensões facilitam a obtenção de amostras de maior número, possibilitando uma análise mais robusta e representativa de resultados (Galobardes; Figueiredo, 2015). A grande vantagem do método de ensaio é exigir equipamentos simples de ensaio, bastando

possuir controle de deslocamento, o que é encontrado em grande número de laboratórios.

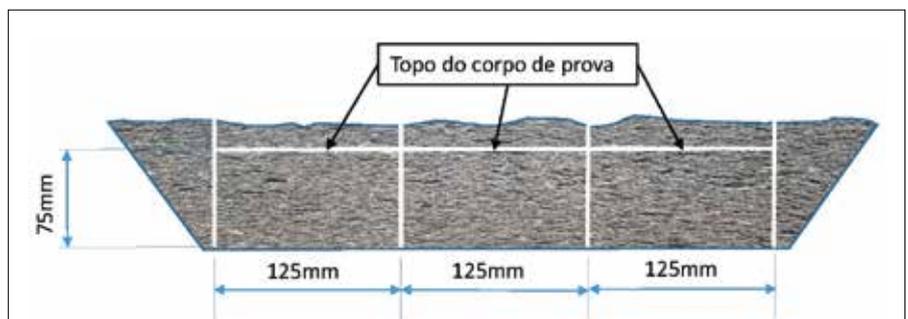
É um ensaio facilmente correlacio-

nável com os ensaios de flexão, inclusive o EN14488-3, conforme comprovado pelo estudo de Silva (2017).

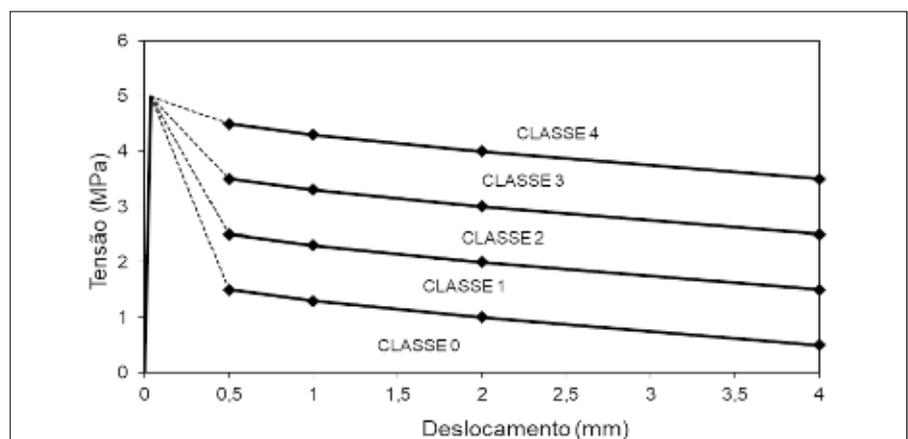
No referido trabalho, foi realizada uma



► **Figura 5**  
Esquema do ensaio de flexão de prismas EN14488-3 utilizado pela EFNARC (1996) para classificar a resistência residual do CPRF



► **Figura 6**  
Esquema da extração dos testemunhos para serem utilizados no ensaio de flexão de prismas EN14488-3



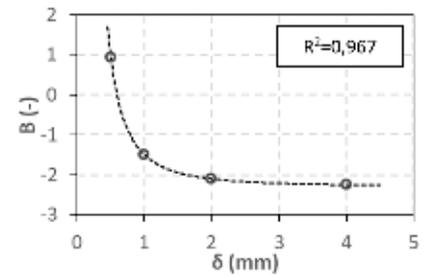
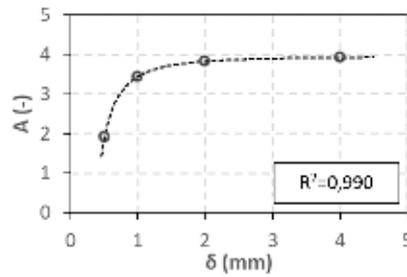
► **Figura 7**  
Classes de resistência residual do CPRF avaliada pelo ensaio de flexão de prismas EN14488-3 segundo o critério proposto pela EFNARC (1996)





► **Figura 8**  
Corpo de prova de CPRF durante a realização do ensaio de duplo puncionamento (Silva, 2017)

análise multi-paramétrica para correlacionar as cargas ( $F_{BCN,\delta}$ ) e as energias ( $E_{BCN,\delta}$ ) obtidas pelo ensaio de duplo puncionamento e os parâmetros de resistência residual do ensaio de prisma (EN14488-3) ( $f_{Rim}$ ), a qual seguiu o equacionamento apresentado na Equação (2). Os parâmetros A e B da referida equação são equacionáveis com o nível de deslocamento ( $\delta$ ) e são determinados pelas Equações (3) e (4). A correlação desses parâmetros se encontra ilustrada na Figura 9.



► **Figura 9**  
Correlação entre os parâmetros A e B para  $\delta$  (Silva, 2017)

$$f_{Rim} = A \cdot E_{BCN;2,5} \left( \frac{B}{F_{BCN;2,5}} \right) \quad [2]$$

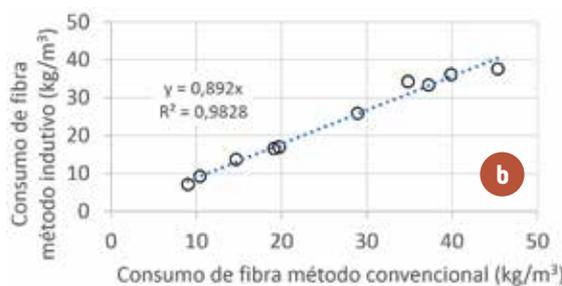
$$A_i = \frac{-0,512}{\delta^2} + 3,955 \quad [3]$$

$$B_i = \frac{0,809}{\delta^2} - 2,299 \quad [4]$$

Um aspecto importante é a determinação do teor de fibras efetivamente incorporado ao CPRF. Devido ao efeito da reflexão, o teor de fibra que estará no CPRF do revestimento do túnel é variável. O teor efetivo de fibras pode ser determinado através de métodos como o proposto pela EFNARC (1996) ou, simplesmente, através da realização do ensaio de reconstituição de traço (ABNT NBR 13044:2012), removendo as fibras de aço com um ímã

(Figura 10A) ou através da flutuação das macrofibras poliméricas para separá-las dos agregados.

Alternativamente, pode-se utilizar o método indutivo, concebido por Torrents *et al.* (2012) e López (2013), com o objetivo de compor uma análise não destrutiva, que permita determinar a distribuição e conteúdo de fibras de aço no CRF no estado endurecido. Este ensaio pode ser realizado nos mesmos corpos de prova destinados ao ensaio de duplo puncionamento e obter correlações (Figura 10B) muito confiáveis com o método convencional de determinação do teor de fibras (Silva, 2017), desde que seja adequadamente calibrado (Melo *et al.*, 2017).



► **Figura 10**  
Remoção de fibras de aço com um ímã de acordo a ABNT NBR 13044:2012 (A). Correlação entre os teores de fibra obtidos pelo método tradicional de reconstituição de traço (método convencional) e pelo método indutivo (B) (Silva, 2017)

### 3. ESTUDOS PRÉVIOS E PROCEDIMENTOS DE CONTROLE

Uma prática essencial para o sucesso da aplicação do CPRF é a realização de estudos prévios, conforme o exigido pela norma brasileira ABNT NBR 14026:2012. Essa norma estabelece que “devem ser efetuados estudos prévios ao emprego do concreto projetado visando determinar sua composição (estudos de dosagem), bem como verificar sua adequação às condições reais

de aplicação. Nos estudos prévios devem ser executados os ensaios preconizados no projeto para verificação do atendimento aos requisitos estabelecidos” (ABNT NBR 14026:2012).

Ressalta-se que não é aceitável realizar ensaios prévios em concreto moldado, dado que já foi comprovado que não há correlação confiável entre os concretos moldados convencionalmente e o CPRF. Uma das características marcantes do CPRF é a reflexão que altera o teor de fibra efetivamente incorporado ao material, o que é impossível de reproduzir em laboratório. Nesse contexto, Banthia, Trottier e Beaupré (1994) já demonstraram não haver um perfeito paralelismo entre o concreto projetado e moldado para um mesmo traço. Portanto, não se admite que uma obra de infraestrutura, como é o caso dos túneis, ignore aspecto tão básico da boa tecnologia exigida pela normalização vigente. Dessa forma, devem ser realizados os estudos de dosagem prévios, através da moldagem de placas com a utilização de mão de obra e equipamento que serão empregados na obra, de modo a verificar qual é o teor de fibra que efetivamente cumpra com todos os níveis de exigência estabelecidos pelo projetista.

A título de ilustração, apresenta-se na Tabela 2 a frequência de ensaio recomendada pela EFNARC (1996) para três níveis de rigor de controle. Evidentemente, o nível de rigor é diretamente proporcional à responsabilidade da estrutura, à variabilidade apresentada pelo material e ao grau de risco que sua execução pode representar. O especificador deve fornecer a frequência de ensaio dese-

► Tabela 2 – Frequência da realização dos ensaios segundo o rigor do nível de controle da qualidade (EFNARC, 1996)

Tipo de ensaio de controle	Reduzido	Normal	Rigorouso
Resistência à compressão	500	250	100
Resistência à tração na flexão	–	500	250
Tenacidade na flexão	–	1000	500
Absorção de energia em placas	–	1000	500
Aderência	–	500	250
Conteúdo incorporado de fibra	–	250	100
Espessura da camada projetada	50	25	10
Área em m <sup>2</sup> de revestimento produzido entre testes			

da e, também, o critério de aceitação para o material. Vale comentar que os ensaios de absorção de energia em placas e flexão de prismas, específicos do CPRF, apresentam a menor frequência entre todos os ensaios especificados. Isto ocorre porque a EFNARC (1996) tem implícita a ideia de que uma vez que se controla a adequação da matriz (ensaios de resistência à compressão) e o conteúdo de fibra, obtém-se uma razoável confiabilidade para o processo.

Pode-se ampliar a frequência de verificação específica do CPRF e, a critério do projetista, dispensar o uso dos ensaios de punção e flexão de prismas, através do uso conjunto do ensaio Barcelona e do método indutivo. Obviamente, isto só é possível atendendo-se à exigência de realização de estudos prévios que calibrem de maneira confiável as correlações entre os ensaios. Infelizmente, ainda não há métodos equivalentes ao método indutivo para a quantificação do teor de macrofibras poliméricas incorporadas ao CPRF. Portanto, neste caso, a determinação do conteúdo de fibra deve ser feita de maneira independente do ensaio de duplo punção.

#### 4. COMENTÁRIOS FINAIS

O fato do concreto projetado ter seu comportamento extremamente afetado pelo processo de projeção impede que se faça a simples importação de parâmetros de especificação e controle do concreto convencional para esta aplicação. Dessa maneira, deve-se ter muito cuidado na observação das especificidades do CPRF, entre as quais o fato de ter um teor de fibra incorporado variável. Muitas especificações se restringem a estabelecer um teor de fibra, o que é um equívoco do ponto de vista tecnológico. É ainda mais grave a situação quando, mesmo tendo um teor de fibra especificado, nem mesmo esse parâmetro é controlado. Isto claramente não contribui para que os túneis produzidos com esta tecnologia tenham garantida a conformidade do CPRF que compõe a sua estrutura. Portanto, recomenda-se fortemente que não se ignore a normalização vigente no país e que estas obras realizem estudos prévios, devidamente acompanhados pelo projetista, de modo a garantir que o programa de controle da obra seja feito de maneira confiável. 🏠



## ▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BARTON, N., LIEN, R., LUNDE, J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mech.* 6 (4), 1974. 189–236.
- [2] BANTHIA, N.; TROTTIER, J-F.; BEAUPRÉ, D. Steel-fiber-reinforced wet-mix shotcrete: comparisons with cast concrete, *Can. J. Civ. Eng.* 21 (1994) 564-575.
- [3] BERNARD, E. S. Correlations in the behaviour of fibre reinforced shotcrete beam and panel specimens. *Materials and Structures*, v. 35, p. 156-164, 2002.
- [4] CELESTINO, T. B.; FERRARI, O. A.; MITSUSE, C. T.; AND DOMINGUES, L. C. Progress in the Use of NATM for the São Paulo Subway. (1988). *International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering. Proceedings.* 29.
- [5] EFNARC. European Specification for Sprayed Concrete. European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structures (EFNARC), Hampshire, UK, 1996. 30p.
- [6] EFNARC. Testing Sprayed Concrete. EFNARC Three Point Bending Test on Square Panel with Notch. European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structure (EFNARC), 2011. 12p.
- [7] FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON – FIB. *Fib Model Code for Concrete Structures 2010.* Switzerland, 2013. 402p.
- [8] FIGUEIREDO, A. D. *Concreto Reforçado com Fibras.* São Paulo, 2011. 247p. Tese (Livre-docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [9] GALOVARDES, I.; FIGUEIREDO, A. Correlation between beam and Barcelona tests for FRC quality control for structural applications. *Fibre Concrete 2015.* September10-11, Prague, Czech Republic, 2015.
- [10] LÓPEZ, R. Determinación de cuantía y orientación de fibras en HRFA por inducción magnética: mejora de un método existente e implantación para probetas cilíndricas. Tesis de máster. UPC, Barcelona, España, 2013.
- [10] MELO, A. H. V.; MONTE, R.; BARBOZA, A. S. R. Ensaio não destrutivo para determinar a quantidade e a orientação média das fibras em CRFA por meio da indução eletromagnética. *Concreto & Construções.* Ed. 87, Jul–Set, 2017. Pp. 91-97.
- [12] MYREN, S. A.; BJANTEGAARD, O. Round and square panel tests – a comparative study. *Shotcrete Elements of a System – Bernard (ed).* Tayos & Francis Group, London, 2010.
- [13] PALMSTROM, A. BROCH, E. Use and misuse of rock mass classification systems with particular reference to the Q-system. *Tunnelling and Underground Space Technology.* V. 21, 2006. P. 575–593.
- [14] ROCHA, H. C. Panorama do mercado brasileiro de túneis: passado, presente e futuro. In: 54º Congresso Brasileiro do Concreto do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), Maceió, 2012.
- [15] RABCEWICZ, L. *The New Austrian Tunnelling Method, Parts III.* Water Power. Londres, nov. 1965.
- [16] SILVA, C. L. Proposta de metodologia alternativa para controle de qualidade da aplicação estrutural do concreto projetado reforçado com fibras de aço. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2017. 89p.
- [17] TORRENTS, J. M. et al. Inductive method for assessing the amount and orientation of steel fibers in concrete. *Materials and Structures*, v.45, n.10, p.1577-1592, 24 abr. 2012.
- [18] VANDEWALLE, M. *Tunnelling the World.* Belgium. N. V. BEKAERT S. A., 1997.
- [19] ZHANG, L.; MORGAN, D. Quality control for wet-mix fiber reinforced shotcrete in ground support. *Engineering Conferences International*, 2015.

## Durabilidade do Concreto

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



Ed. JEAN-PIERRE OLLIVIER e ANGÉLIQUE VICHOT

Editores da tradução: Oswaldo CASCUDO e Helena CARASEK

# 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](http://www.ibracon.org.br)

### DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-22-0

Edição: 1ª edição

Formato: 18,6 x 23,3cm

Páginas: 615

Acabamento: Capa dura

Ano da publicação: 2014



FHECOR  
DO BRASIL  
Engenharia



# Projeto de segmentos para obras de túneis com tuneladora utilizando concreto com fibras

ALBERT DE LA FUENTE – PROFESSOR DOUTOR  
UPC BARCELONATECH

RENATA MONTE – PESQUISADORA DOUTORA  
ANTONIO D. DE FIGUEIREDO – PROFESSOR ASSOCIADO  
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (USP)

ISSAC GALO BARDES – PROFESSOR DOUTOR  
XI'AN JIAOTONG – LIVERPOOL UNIVERSITY (XJTLU)

## I. INTRODUÇÃO

○ concreto reforçado com fibras (CRF) aplicado com finalidade estrutural, substituindo parte ou a totalidade da armadura passiva convencional, é um material de uso crescente em várias aplicações, como lajes e tubos de concreto, por exemplo. Isto se deve a razões tanto econômicas como técnicas, o que foi intensificado por sua

inclusão no fib Model Code 2010 (FIB, 2013). Neste sentido, os segmentos de concreto pré-fabricado para anéis de revestimento de túneis executados com tuneladoras (TBM) são os elementos que possivelmente foram mais beneficiados pela possibilidade de substituir parte ou a totalidade das barras de aço.

Particularmente em nível de projeto, a idade do concreto  $t$  na qual ocor-

rem as fases transitórias de desmoldagem, giro, estocagem e transporte (figura 1) é a crítica para se garantir que as solicitações de esforços de tração sejam inferiores à resistência do material ( $f_{ct,t}$ ). Nesse caso, apenas se exige um reforço mínimo de fibras para garantir o comportamento dúctil (de la FUENTE et al., 2012; LIAO et al., 2015a), no caso de ocorrer uma eventual fissuração ou por algum efeito dinâmico associado ao manuseio, estocagem e instalação. Na fase de uso do túnel sob condições geotécnicas padrões, os segmentos trabalham comprimidos, esforço para qual o material trabalha de forma ótima e com mínima possibilidade de fissuração e, conseqüentemente, demanda uma quantidade de armadura mínima.

A solução tradicional de armação com barras de aço (figura 2) é associada à necessidade de espaço e meios auxiliares para a colocação das barras. Isto torna o processo de execução complicado e tende a aumentar o custo da execução, especialmente em centros urbanos, como São Paulo, onde o aluguel de áreas de estocagem é muito caro. Além disso, há sempre a necessidade de cobertura da armadura por razões de durabilidade e



proteção ao fogo (BAKHSI e NASRI, 2014). Como a região do cobrimento não possui reforço está sujeita a fissuras e lascamentos com os consequentes prejuízos estéticos e à durabilidade que, geralmente, requerem reparos com custos extras associados (figura 3). Essas situações também podem ocorrer durante a fase de aplicação de cargas pelos macacos da TBM (figura 4) devido ao efeito de concentração de cargas localizadas e aos estados de tensão específicos produzidos por esse esforço (BURGUERS et al., 2007; LIAO et al., 2015b). Uma alternativa atrativa para melhorar o comportamento do concreto frente a essas ações é o uso de fibras. Desse modo, se o consumo de fibra  $C_f$ , bem como seu tipo, são adequados, é possível evitar os lascamentos e a fissuração originada por efeito dinâmico de impactos nas fases prévias à colocação em obra. Por essas razões, o uso do CRF foi viabilizado para dezenas de obras pelo mundo (LIAO et al., 2015a) e no Brasil, como ocorreu com as obras das linhas 4, 5 e 6 do Metrô de São Paulo.

O projeto de um segmento de CRF pode ser desenvolvido de duas formas: (1) quando os esforços aos quais a segmento está submetido não conduzem à fissuração do elemento, mesmo aquelas associadas à zona de transmissão de carga dos macacos, e somente se requer um reforço mínimo para garantir o seu comportamento dúctil, se pode adotar o uso de fibras estruturais em um consumo moderado e, conseqüentemente, garantir as condições de segurança de manuseio; e (2) um reforço híbrido que combine certa quantidade de fibras em conjunto com os vergalhões posicionados como um re-



► **Figura 2**  
(a) fases de estocagem e (b) colocação da armadura passiva convencional



► **Figura 3**  
(a) imagem do lascamento produzido durante a estocagem de segmentos e (b) o reparo sendo realizado



► **Figura 4**  
(a) fissuras formadas durante o esforço provocado pelos macacos de protensão e (b) consequentes infiltrações

forço localizado nas zonas onde se concentram as tensões produzidas pelo empuxo dos macacos. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar como metodologias para projeto de CRF vêm sendo empregadas no projeto de diversos túneis.

## 2. PROJETO DE SEGMENTOS EM CRF BASEADO NO CRITÉRIO DE DUCTILIDADE

### 2.1 Situações transitórias de carga

Em geral, as situações transitórias

de carga às quais estará submetido um anel segmentado, apresentadas na figura 1, podem ser as mais desfavoráveis no dimensionamento, pois podem conduzir aos esforços de flexão de maior magnitude que os atuantes durante o uso do elemento. Mesmo assim, devido às dimensões da seção transversal dos segmentos e por envolver apenas as ações do peso próprio (amplificado por efeitos dinâmicos, em alguns casos), as necessidades de reforço são reduzidas, o que demanda quantidades mínimas de armadura para atingir os níveis de segurança adequados. Adicionalmente, se devem considerar ações climáticas nas situações de estocagem, as quais podem provocar fortes gradientes de deformação e, conseqüentemente, tensões de tração e fissuras (não estruturais) nas faces externas dos segmentos. Para essas situações, as fibras proporcionam uma melhor resposta que as armaduras convencionais por controlar a abertura de fissura em todo o volume do segmento.

## 2.2 Critérios para substituir as barras da armação por fibras estruturais

Os seguintes critérios podem ser considerados para confirmar o potencial de substituição das barras por fibras estruturais:

- ▶ Análise seccional e/ou estrutural considerando as equações constitutivas propostas no *fib Model Code 2010* (FIB, 2013) para simular o comportamento  $\sigma - \varepsilon$  do CRF – para este tipo de análise se empregam valores característicos das resistências dos materiais;
- ▶ Ensaios em escala real de elementos submetidos à flexão com as dimensões representativas do segmento objeto de análise.

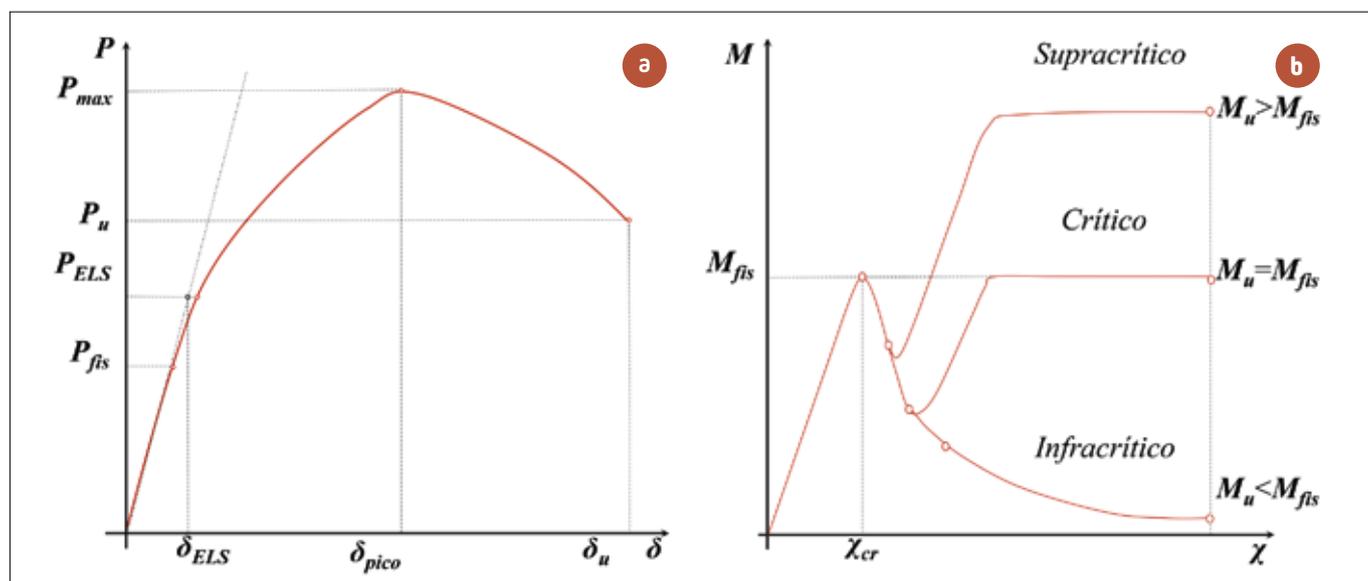
## 2.3 Procedimento de projeto segundo a consideração de segurança dos estados limite

No caso de se empregarem somen-

te fibras, o *fib Model Code 2010* (FIB, 2013) estabelece três requisitos baseados na curva de carga ( $P$ ) por deslocamento ( $\delta$ ) apresentada na figura 5:

- 1) A carga última ( $P_u$ ) deve ser superior à de fissuração ( $P_{fis}$ ) e à de serviço ( $P_{ELS}$ ).
- 2) O deslocamento para  $P_u$  ( $\delta_u$ ) deve ser superior ao correspondente ao ELS ( $\delta_{ELS}$ ).
- 3) O deslocamento para o ELS ( $\delta_{ELS}$ ) deve ser ao menos 5 vezes inferior ao deslocamento de pico ( $\delta_{pico}$ ) associado à carga máxima ( $P_{max}$ ).

O requisito 1 foi postulado para evitar a ruptura frágil do elemento quando se atinge a fissuração. Este requisito, em elementos isostáticos, também pode ser expresso em termos de momentos, como  $M_u \geq M_{fis}$  (momento último e de fissuração, respectivamente). A relação  $P_{fis} \geq P_{ELS}$  ( $M_{fis} \geq M_{ELS}$ ) pode ser imposta no projeto dos segmentos (sem fissuração em qualquer das fases transitórias e de serviço); portanto, o requisito 2 se cumpre por consequência



▶ **Figura 5**  
(a) curvas  $P-\delta$  e (b) diagrama  $M-\chi$  para elementos de CRF com diferentes volumes de fibra

nos segmentos (em momentos  $M_u \geq M_{fis} \geq M_{SLS}$ ).

O requisito 3 é estabelecido para elementos hiperestáticos e nos que se consideram a capacidade de redistribuição de esforços. Esta não é a situação dos segmentos e, portanto, não é aplicável.

O diagrama momento (M) – curvatura ( $\chi$ ) apresentado na figura 5 (b) reflete três tipos possíveis de ruptura (infracrítica, crítica e supracrítica). Essas respostas podem ser obtidas com armadura convencional (CA), com fibras (CRF) ou com uma combinação de ambas (CA/RF).

### 2.3.1 PROJETO DO REFORÇO ATRAVÉS DE ANÁLISE SECCIONAL

#### 2.3.1.1 Avaliação do momento de fissuração de projeto

O momento de fissuração de projeto ( $M_{fis,d}$ ) para uma seção retangular de largura (b) e altura (h) pode ser estimado com a equação 1.

$$M_{fis,d} = \frac{bh^2}{6} f_{ctd,fl} \quad [1]$$

O valor de projeto da resistência à

tração na flexão  $f_{ctd,fl} = f_{ctm,fl}/\gamma_{ct}$ , sendo  $f_{ctm,fl}$  o valor médio de  $f_{ct,fl}$  e  $\gamma_{ct}$  o coeficiente ponderador da resistência  $f_{ct,fl}$  e que pode ser considerado como 1,50.

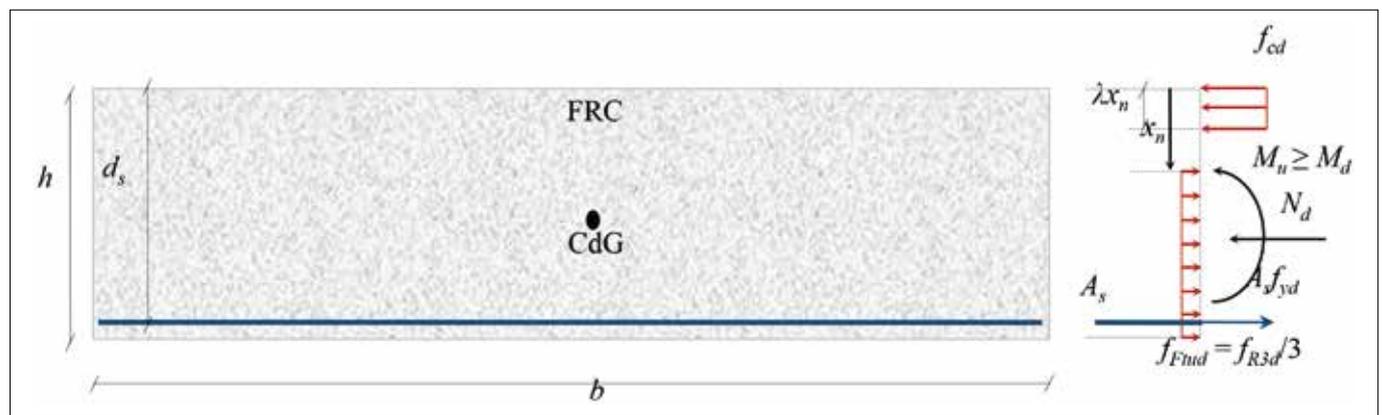
#### 2.3.1.2 Estimativa do valor $f_{R3k}$ requerido para um $M_d$ estabelecido

Para a análise da seção no ELU se tem considerado o modelo apresentado na figura 6, na qual o comportamento à compressão e à tração do CRF é simulado por meio de diagrama de tensões na seção plastificada. Além disso, as seguintes situações devem ser consideradas:

- ▶ A área de armadura passiva ( $A_s$ ) se concentra a uma profundidade (altura útil)  $d_s$ ;
- ▶ O aço para armaduras passivas plastifica a um valor de resistência de projeto  $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$ ; sendo  $f_{yk}$  o valor característico de tensão de escoamento e  $\gamma_s$  o coeficiente ponderador da resistência do aço, de valor 1,15;
- ▶ O bloco de concreto comprimido está caracterizado pelo valor da resistência de projeto à compressão  $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_{cc}$ ; sendo  $f_{ck}$  o valor característico da resistência à compressão do

concreto e  $\gamma_{cc}$  o coeficiente ponderador da resistência do concreto, para o qual se considera o valor 1,50; a profundidade do bloco de compressão se concentra a uma distância  $\lambda x_n$ ; sendo  $x_n$  a profundidade da linha neutra e  $\lambda$  coeficiente de valor 0,8;

- ▶ O bloco de concreto tracionado está representado pelo valor de projeto da resistência à tração residual do CRF  $f_{Fld} = f_{R3d}/3$ ; sendo o  $f_{R3d} = f_{R3k}/\gamma_{CRF}$  o valor  $f_{R3d}$  de projeto e  $f_{R3k}$  o característico; a resistência residual à tração na flexão para uma abertura de fissura  $CMOD = 2,5$  mm ( $f_{R2}$ ) é obtida com o ensaio de flexão de prismas entalhados preconizado pela norma EN 14651:2007; pode-se adotar o valor de 1,50 para o coeficiente ponderador da resistência para o CRF tracionado ( $\gamma_{CRF}$ );
- ▶ Em situações transitórias de carga (figura 1) a magnitude da força normal de projeto ( $N_d$ ) é reduzida e pode ser considerada nula; em situação de serviço, devido à convergência do túnel e da introdução de forças axiais de valor não desprezível,  $N_d$  deverá ser levado em conta nas equações de equilíbrio; no entanto, devido ao fato da força normal de compressão e a



▶ **Figura 6**  
Resposta de tensões da seção transversal de um segmento no ELU

relação  $M_d/N_d$  ser reduzida na situação de uso, a quantidade de reforço pode também ser considerada como valor mínimo (exceto em situações que envolvam sismos).

Com base no modelo da figura 6 e impondo as condições de equilíbrio e compatibilidade, se pode obter o valor de  $M_u$ . Impondo ainda a condição ótima de projeto  $M_u \geq M_d$ , se pode obter as equações 2-3 para determinar a profundidade relativa da linha neutra ( $\xi_n = x_n/h$ ) e  $f_{R3k}$ .

$$\xi_n = \frac{5}{32} \cdot (4 - 5w_s) \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - 64 \cdot \frac{2v_d + w_s(1 - 2\xi_s)}{(4 - 5w_s)^2}} \right) \quad [2]$$

$$f_{R3k}/f_{ck} \geq \frac{3}{5} \cdot \frac{\gamma_{FRC}}{\gamma_{cc}} \cdot \frac{4(\xi_n - w_s)}{1 - \xi_n} \quad [3]$$

Considerando, também,  $v_d = M_d / c_d \cdot bh^2$ ;  $w_s = A_s f_{sd} / f_{cd} \cdot bh$  e  $\xi_s = d_s / s$ .

### 2.3.2 SEGMENTOS COM CA/RF

$$\epsilon M_u \geq M_{fis,d}$$

Em segmentos com reforço híbrido ( $A_s \neq 0$  e  $C_f \neq 0$ ) com resposta supracrítica após a fissuração ( $M_u \geq M_{fis,d}$ ), a  $f_{R3k}$  requerida se obtém através das equações 2-3. Além disso, se deve garantir que se alcance um  $f_{R3k,min}$  que cumpra  $M_u \geq M_{fis,d}$  (equação 4).

$$f_{R3k,min}/f_{ctm,fl} \geq \frac{\gamma_{FRC}}{\gamma_{ct}} \cdot \left( 1 - \frac{w_s}{w_{s,min}} \right) \quad [4]$$

O valor de  $w_{s,min}$  pode ser estimado com a equação 5.

$$w_{s,min} = \frac{1}{6\xi_s} \cdot \frac{\gamma_s}{\gamma_{ct}} \cdot f_{ctm,fl} \quad [5]$$

### 2.3.3 SEGMENTOS DE CRF COM $M_u \geq M_{fis,d}$

Em segmentos de CRF ( $A_s = 0$  e  $C_f$

$\neq 0$ ), com resposta supracrítica após a fissuração ( $M_u \geq M_{fis,d}$ ), a resistência residual  $f_{R3k}$  requerida é obtida através das equações 6-7.

$$\xi_n = \frac{5}{8} (1 - \sqrt{1 - 8v_d}) \quad [6]$$

$$f_{R3k}/f_{ck} \geq \frac{12}{5} \cdot \frac{\gamma_{FRC}}{\gamma_{cc}} \cdot \frac{\xi_n}{1 - \xi_n} \quad [7]$$

Se deve, além disso, garantir que se alcança um  $f_{R3k,min}$  que cumpra o critério  $M_u \geq M_{fis,d}$  (equação 8).

$$f_{R3k,min}/f_{ctm,fl} \geq \frac{\gamma_{FRC}}{\gamma_{ct}} \quad [8]$$

### 2.3.4 SEGMENTOS DE CRF COM $M_u < M_{fis,d}$

Nas condições de carga transitórias, os segmentos são projetados para não fissurar, garantindo valores de  $f_{ct,fl}$  adequados à cada idade  $t$  considerada. É importante enfatizar que os danos originados nas fases transitórias não comprometem a aptidão em serviço da estrutura, pois o segmento danificado é rejeitado. Assim, a consideração de um CRF com  $M_{fis,d} > M_u \geq M_d$  se torna atrativa do ponto de vista técnico e econômico porque se pode otimizar o valor de  $C_f$  em função de  $M_d$ , e não em função de  $M_{fis,d}$  (que pode ser da ordem de 2 a 3 vezes superior a  $M_d$ ). Um segmento projetado segundo este critério poderia ser considerado como infrareforçado com ductilidade melhorada e deverá cumprir, adicionalmente:

- ▶ Uma condição para o material:  $f_{R1k}/f_{LOPK} \geq 0,4$  e  $f_{R3k}/f_{R1k} \geq 0,5$ .
- ▶ Uma condição estrutural:  $M_u \geq M_d$  que resulta em um valor requerido para  $f_{R3k}$  (equações 6-7).

Os coeficientes parciais de

segurança associados ao CRF devem ser multiplicados por um fator de majoração  $\gamma_n = 1,20$ . Este coeficiente é originado do Euro Código (EC-2 Parte 1-6 Estruturas de hormigón en masa) e não é um coeficiente específico para o CRF, mas para aquelas estruturas que estão infrareforçadas. Ou seja, destina-se a estruturas que têm menos armaduras do que a mínima ( $M_u < M_{cr}$ ), mas que, por sua vez, respeitam a condição de  $M_u \geq M_d$  e  $M_d < 0,80M_{cr}$ . Por último, no caso de realizar o projeto seguindo esse esquema, se recomenda a execução de ensaios em escala real para verificar o comportamento dúctil do segmento, aplicando carregamento que produza a fissuração do elemento.

### 2.3.5 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

Complementarmente aos aspectos expostos anteriormente, se deve considerar:

- ▶ Que o valor médio do peso próprio do segmento deve ser majorado com um coeficiente ponderador de ação permanente  $\gamma_g = 1,35$ ;
- ▶ Nas situações transitórias descritas na figura 1 podem ser produzidos fenômenos dinâmicos e, por isso, se recomenda empregar um coeficiente de majoração da ação estática para consideração do efeito dinâmico da ordem de 2,0;
- ▶ Nas situações transitórias de estocagem e transporte, os elementos de apoio podem estar sujeitos a movimentos que podem alterar suas posições em relação à posição sugerida em projeto. Para levar conta este aspecto, sugere-se considerar excentricidades (na



direção mais desfavorável), com valores acidentais da ordem de 0,10 m sempre que o projetista não disponha de outros valores mais representativos da realidade da obra. Por outro lado, essas excentricidades podem ser desconsideradas quando o construtor tomar medidas adequadas para minimizar os movimentos dos elementos de apoio, como o dispositivo mostrado na figura 7.

### 3. CASO REAL DE ANÁLISE DE UM TÚNEL EM BARCELONA

Neste caso foi analisado o projeto de um anel de um túnel executado na área metropolitana de Barcelona e cujas obras foram finalizadas em 2015. Trata-se de um túnel ferroviário de 2,84 km de extensão, executado com uma TBM de 10,6 m de diâmetro. O revestimento do túnel projetado corresponde a um anel universal de comprimento médio de 1,60 m e diâmetro interno de 9,6 m. O mesmo foi dividido em seis segmentos mais um segmento chave com espessura de 0,32 m.

No projeto inicial se considerou barras de armadura de aço CA50 ( $f_{yk} = 500$  MPa) e concreto com  $f_{ck}$  de 45 MPa. Esse valor de  $f_{ck}$  foi estabelecido para garantir resistência suficiente para suportar os esforços de flexo-compressão na fase de serviço, quando o túnel está completamente comprimido. Por outro lado, foi verificado que os esforços de projeto não superaram a resistência à fissuração do segmento em nenhuma das etapas de carga e se estabeleceu uma armadura mínima composta por  $13\Phi 12$  mm em cada face, para garantir o comportamento dúctil. O cobrimento mínimo de concreto (c) exigido foi de

4 cm para fins de durabilidade. Nesse sentido, deve se destacar que o traçado do túnel transcorre por baixo de zonas industriais nas quais se pode encontrar elevado grau de agressividade no lençol freático.

Inicialmente, se propôs a utilização de segmentos de concreto armado convencional (CA). No entanto, foram propostas duas novas alternativas com a utilização do CRF com dois níveis de consistência para o concreto: (1) CRF convencional vibrado e (2) CRF autoadensável (CARF).

Em relação ao reforço do concreto, obteve-se uma taxa de armadura de  $110 \text{ kg/m}^3$  para o caso dos segmentos em concreto armado. Para a definição dos requisitos mecânicos que deveriam ser satisfeitos para o CRF e o CARF, se utilizou os critérios de quantidade mínima de reforço por se tratar de elementos sujeitos a esforços de flexão reduzidos ( $M_d < M_{fis,d}$ ). Assim, adotou-se o critério de ruptura dúctil crítica ( $M_u = M_{fis,d}$ ), de modo a evitar um comportamento frágil do segmento. Para a definição do reforço utilizou-se a equação 4 considerando-se  $b = 1,6 \text{ m}$ ,  $h = 0,32$  e  $\gamma_{cc} = \gamma_{CRF} = 1,50$ .

Foi selecionada uma fibra de aço com ancoragens em gancho com  $50 \pm 5$  mm de comprimento e  $1,0 \pm 0,1$  mm de diâmetro, com tensão limite elástico de 1000 MPa. Foram realizados estudos de dosagem prévios através do ensaio EN 14651:2017. Os resultados mostraram ser necessário um consumo de fibra igual a  $50 \text{ kg/m}^3$  para o CRF e  $45 \text{ kg/m}^3$  para o CARF, para se alcançar os requisitos de resistência residual característica anteriormente estabelecidos. O CARF demanda 10% menos de fibras devido à orientação preferencial



► **Figura 7**  
Dispositivos utilizados para garantir o alinhamento dos apoios dos segmentos durante a estocagem, minimizando excentricidades

da fibra originada pelo fluxo de concretagem e por efeito parede. No entanto, é importante ter em conta que o CARF é mais sujeito à segregação e, portanto, exige maior controle durante a execução (ALFERES FILHO et al., 2016).

Por último, as resistências médias à compressão ( $f_{cm}$ ) obtidas foram praticamente iguais para os distintos concretos, alcançando-se valores 20,2; 53,0 e 64,5 MPa a 1, 7 e 28 dias de idade, respectivamente. Esses resultados evidenciaram a viabilidade de se alcançar a resistência característica ( $f_{ck}$ ) de  $45 \text{ N/mm}^2$ , que fora estabelecida.

### 4. COMENTÁRIOS FINAIS

O modelo de dimensionamento aqui apresentado para os anéis segmentados produzidos com CRF para o revestimento de túneis TBM pode ser considerado uma grande oportunidade para o meio técnico internacional e, em especial, para o brasileiro. Isto porque várias obras executadas no Brasil dependeram de projetistas estrangeiros para a sua realização. Com o advento do fib Model Code 2010 [7] e do próprio

ACI 544 [13], revela-se a possibilidade de utilização de modelos normatizados ou publicados como recomendações de dimensionamento e, com isso, o aumento da autonomia para a definição de projetos e pré-projetos de obras públicas, que são tão necessárias para o Brasil quanto a necessidade de aprimoramento de seus processos de licitação e controle. Um caso real que demonstre a aplicação de um estudo prévio de dosagem é de extrema importância para o Brasil, pouco afeito a essas avaliações e que, por consequência, acaba por desenvolver projetos tão distantes da condição de otimização.

ramento de seus processos de licitação e controle. Um caso real que demonstre a aplicação de um estudo prévio de dosagem é de extrema importância para o Brasil, pouco afeito a essas avaliações e que, por consequência, acaba por desenvolver projetos tão distantes da condição de otimização.

## 5. AGRADECIMENTOS

O primeiro e o segundo autores gostariam de agradecer à FAPESP pelo apoio conseguido através dos projetos FAPESP 2014/24410-6 e 2014/03978-4, respectivamente, o qual tornou possível a realização dos trabalhos de pesquisa em colaboração com a USP. ➤

## ▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Alferes Filho, R. S. Motezuki, F. K. Romano, R. C. O. Pileggi, R. G. Figueiredo, A. D. Evaluating the applicability of rheometry in steel fiber reinforced self compacting concretes. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 9, p. 969-988, 2016.
- [2] Bakhshi M., Nasri V. Developments in design for fibre reinforced concrete tunnel segments. In: FRC 2014 Joint ACI-fib International Workshop. Fibre Reinforced Concrete Applications. 24-25 July, 2014, Montreal, Canada.
- [3] Burguers R, Walraven J, Plizzari GA, Tiberti G. Structural behavior of SFRC tunnel segments during TBM operations. In: World Tunnel Congress ITA-AITES 2007, Prague (Czech Republic), 1461-67.
- [4] de la Fuente A, Blanco A, Pujadas P, Aguado, A. Experiences in Barcelona with the use of fibres in segmental linings. Tunn Undergr Sp Tech 2012;27(1):60-71.
- [5] EN 14651:2007. Test method for metallic fibered concrete. Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality (LOP), residual). 2007.
- [6] FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON – FIB. Fib Model Code for Concrete Structures 2010. Switzerland, 2013. 402p.
- [7] Liao L, de la Fuente A, Cavalaro S, Aguado A. Design of FRC tunnel segments considering the ductility requirements of the MC 2010. Tunn Undergr Sp Tech 2015a; 47(3): 200-210.
- [8] Liao L, de la Fuente A, Cavalaro S, Aguado A, Carbonari G. Experimental and analytical study of concrete blocks subjected to concentrated loads with an application to TBM-constructed tunnels. Tunn Undergr Sp Tech 2015b;49(1): 295-306.



# Prática Recomendada IBRACON Concreto Autoadensável

**COORDENADOR** Bernardo Fonseca Tutikian  
**SECRETÁRIO** Roberto Christ

Traz para a comunidade técnica os conceitos relacionados ao concreto autoadensável, as recomendações para seleção de materiais, os métodos de dosagem, os procedimentos de mistura, as recomendações para a aceitação do concreto no estado fresco e para seu transporte, lançamento e rastreamento

A obra é resultado do trabalho do Comitê Técnico IBRACON sobre Concreto Autoadensável (CT 202), voltando-se aos profissionais que lidam com a tecnologia do concreto autoadensável nos canteiros de obras, nas indústrias de pré-fabricados, nos laboratórios de controle tecnológico e nas universidades.

### DADOS TÉCNICOS

**ISBN:** 978-85-98576-25-1  
**Edição:** 1ª edição  
**Formato:** Eletrônico  
**Páginas:** 78  
**Acabamento:** Digital  
**Ano da publicação:** 2015

### Patrocínio



# Comparação entre trem-tipo padrão e especial em pontes rodoviárias

---

BRUNO CRISTOVÃO DA SILVA – ENGENHEIRO CIVIL

---

MARIANA FERREIRA DE LIMA – ENGENHEIRA CIVIL

---

HILDEBRANDO PEREIRA DOS SANTOS JUNIOR – PROFESSOR

---

IBERÊ MARTINS DA SILVA – PROFESSOR

---

UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA

## I. INTRODUÇÃO

Para o dimensionamento de uma estrutura rodoviária é necessário conhecer o conjunto de carregamentos móveis que podem produzir solicitações durante sua vida útil. Esses carregamentos móveis são denominados trens-tipo, um conjunto de cargas que representam as ações de um veículo.

A normalização das cargas rodoviárias para fins de dimensionamento das pontes começou em 1943 com a norma ABNT NB6, onde os trens-tipo eram compostos por compressores, caminhões e carga de multidão. Na sua revisão de 1960, a NB6 abordou o tema criando três classes de cargas rodoviárias TB-36, TB-24 e TB-12, que eram aplicadas nas rodovias classes I, II e III, respectivamente.

Em 1984, a norma ABNT NBR 7188 substituiu a NB6, alterando as classes de carga rodoviária para TB-45, TB-30 e TB-12, em função do Código Nacional de Trânsito de 1978, que autorizou a circulação de caminhões com peso bruto total de até 45 ton. A relação direta entre classes de cargas e de rodovias foi retirada da norma, ficando a

critério dos órgãos com jurisdição sobre a rodovia a definição da classe de carga a utilizar.

Na revisão atual, de 2013, determinou-se a carga móvel rodoviária TB-450 (unidades alteradas de tf para kN) como carga padrão para as rodovias brasileiras. A norma contempla ainda uma carga móvel rodoviária para obras em estradas vicinais municipais de uma faixa e obras particulares, denominada TB-240, cuja utilização pode ser instituída pela autoridade sobre a via. As alterações introduzidas em 2013 abrangem diversos fatores, como a definição de forças centrífugas, de frenagem e de aceleração, a substituição do fator de impacto, forças devido à colisão de veículos e até mesmo cargas veiculares em garagens de edifícios.

Essa recente atualização da ABNT NBR 7188 inseriu também o conceito de veículo especial, que já aparecia na instrução de projeto de OAE (Obras de Arte Especial) do DER/SP (Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo), com aplicação em projeto sujeita a critério dos órgãos com jurisdição sobre a rodovia.

Reatores, turbinas, transformadores, partes de aeronave de grande porte ou até mesmo peças que compõem usinas eólicas, são comumente transportadas e fazem parte desta ampla gama de cargas especiais.

Os veículos de cargas especiais têm suas peculiaridades de operação, principalmente durante a travessia de pontes, onde é preciso avaliar a capacidade portante e as restrições geométricas da via, devido ao fato dessas cargas solicitarem a estrutura de modo diferente dos veículos convencionais.

O veículo especial deve seguir várias prescrições durante a transposição de pontes:

- interrupção do tráfego dos demais veículos, ou seja, o transporte de carga especial deve ocorrer isoladamente, por eixo pré-definido (em geral pelo eixo da estrutura);
- o veículo deve trafegar com velocidade constante e inferior a 5 km/h;
- suspender o transporte especial quando da ocorrência de ventos com velocidade acima de 20 m/s;
- se necessário, controlar a liberação do tráfego de forma gradual após a transposição do veículo especial

sobre a obra, evitando congestionamento sobre a estrutura.

A empresa responsável pelo transporte deve apresentar o Estudo de Viabilidade Estrutural, tratando-se de estudo da capacidade portante das Obras de Arte Especiais existentes ao longo do itinerário do veículo especial. Esse estudo compreende a análise das características estruturais e do estado de conservação das OAE e, quando for o caso, do seu projeto e memória de cálculo.

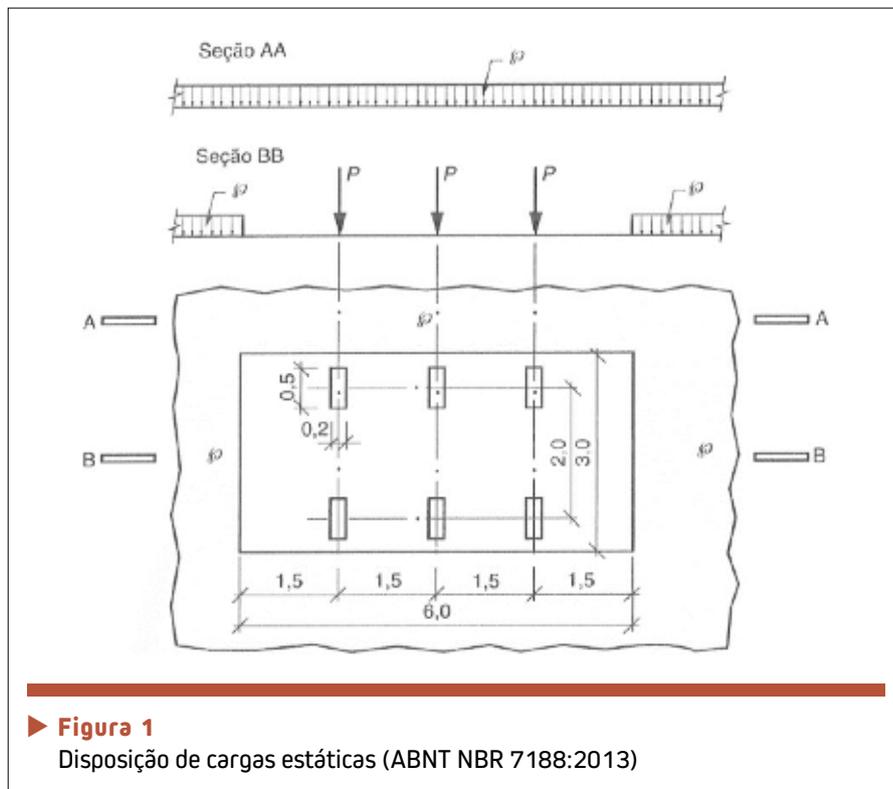
## 2. CARGA MÓVEL RODOVIÁRIA PADRÃO TB-450

A carga móvel rodoviária padrão (TB-450) é definida por um veículo tipo de 450 kN, com seis rodas ( $P = 75$  kN), três eixos de carga afastados entre si em 1,5 m, com dimensões de 3,0 m de largura e 6,0 m de comprimento, circundada por uma carga uniformemente distribuída constante  $p = 5$  kN/m<sup>2</sup>, conforme indicado pela ABNT NBR 7188:2013 e apresentado na Figura 1.

## 3. CARGA DE VEÍCULOS ESPECIAIS

Em seu anexo A (normativo), a NBR 7188:2013 apresenta o veículo-tipo a ser utilizado no dimensionamento de pontes para o transporte de cargas indivisíveis de grandes dimensões e peso. Esse veículo tipo de 5120 kN possui 8 rodas por eixo, com carga estática concentrada de  $P = 20$  kN por roda, havendo 32 eixos, com 3,2 m de largura e 61,5 m de comprimento, conforme esboçado na figura 2.

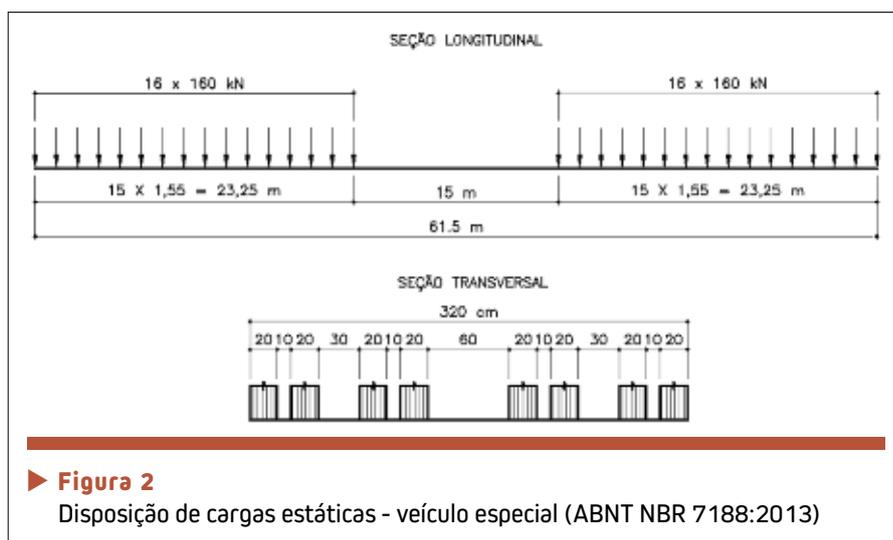
Esse carregamento é considerado em combinação última especial conforme a norma ABNT NBR 8681, desse modo os coeficientes de ponderação das ações apresentam os valores  $\gamma_g = 1,25$  (ações permanentes) e

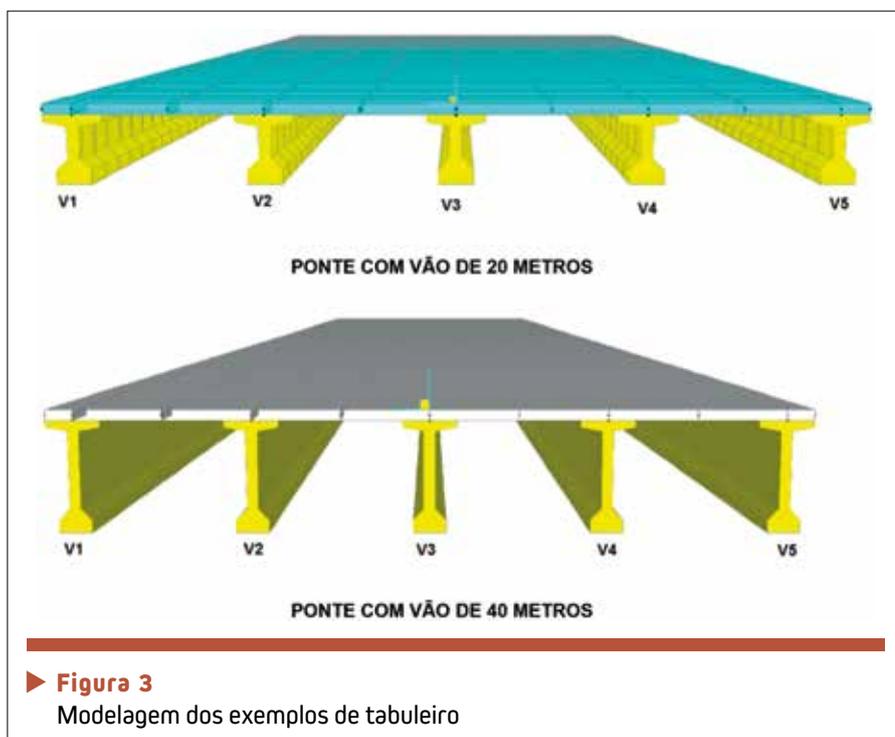


$\gamma_q = 1,30$  (ações variáveis), os quais são menores que aqueles observados na combinação última normal,  $\gamma_g = 1,35$  e  $\gamma_q = 1,50$ . Ainda observa-se que, em virtude das prescrições para transposição da OAE pelo veículo especial, não são considerados o impacto vertical, a carga distribuída de multidão, a frenagem, a força centrífuga e a força de vento na combinação especial.

## 4. EXEMPLO DE APLICAÇÃO - TABULEIRO PADRÃO DER/SP

Para fins de avaliação do impacto da consideração da carga rodoviária especial no projeto de OAEs, foram modelados dois tabuleiros padrão do DER/SP, 14,1 m x 20 m e 14,1 m x 40 m, comparando-se as solicitações de força cortante e momento fletor das longarinas para as combinações





► **Figura 3**  
Modelagem dos exemplos de tabuleiro

últimas normais (carga padrão) e especiais (carga especial).

O carregamento permanente desses tabuleiros engloba o peso próprio dos elementos estruturais, o peso do pavimento rígido com 10 cm de espessura e a carga linear de 7,4 kN/m nas bordas referente às barreiras rígidas com placas de acabamento.

As peças estruturais foram modeladas com concreto C35 (material prescrito no projeto padrão) em software de elementos finitos, seguindo a geometria apresentada nos desenhos PP-DE-C01/101 e PP-DE-C01/129 do DER/SP.

A tabela 1 apresenta os valores máximos das solicitações (força cortante em kN e momento fletor em kNm) na longarina V3 do tabuleiro de 20 m, para as combinações últimas normal e especial.

A tabela 2 apresenta os valores máximos das solicitações (força cortante em kN e momento fletor em kNm) na longarina V3 do tabuleiro de 40 m, para as combinações últimas normal e especial.

## 5. CONCLUSÃO

Para o tabuleiro de 14,1 m x 20 m analisado, as solicitações de projeto na longarina, força cortante e momento fletor, apresentam valores inferiores

para combinação última especial do que para combinação última normal. Ou seja, a consideração da carga rodoviária especial nesse projeto não influencia o cálculo da longarina e o consumo de materiais.

Para o tabuleiro de 14,1 m x 40 m analisado, as solicitações de projeto na longarina, força cortante e momento fletor, apresentam valores ligeiramente superiores para combinação última especial do que para combinação última normal em algumas seções. No caso da força cortante tem-se diferença de 6% no apoio e 24% no meio do vão, sendo que esta última não é crítica no dimensionamento ao cisalhamento. No caso do momento fletor tem-se diferença de 3% em 1/8 do vão e 0,3% em 1/4 do vão, que não são críticas no dimensionamento à flexão. Ou seja, a consideração da carga rodoviária especial nesse projeto influencia muito pouco o cálculo da longarina e o consumo de materiais.

Apesar da diferença de peso total entre os veículos padrão (450 kN) e especial (5120 kN), as condições de tráfego do segundo, a geometria de distribuição das cargas e os coeficientes de ponderação diferenciados faz com que a consideração da carga rodoviária especial no projeto não represente um item oneroso para esse tipo de OAE – grelha de vigas pré-moldadas, muito empregada em nossas estradas.

► **Tabela 1 – Solicitações na longarina V3 do tabuleiro de 20 m**

Solicitação	Combinação	Seções				
		Apoio	1/8	1/4	3/8	1/2
$V_{Sd,max}$	Normal	1.556,0	1.109,7	817,8	559,4	364,0
$V_{Sd,max}$	Especial	1.439,0	1.039,9	753,1	509,0	277,5
$M_{Sd,max}$	Normal	0,0	3.067,1	4.978,1	6.146,4	6.528,5
$M_{Sd,max}$	Especial	0,0	2.860,7	4.709,8	5.772,6	6.136,1

► Tabela 2 – Solicitações na longarina V3 do tabuleiro de 40 m

Solicitação	Combinação	Seções				
		Apoio	1/8	1/4	3/8	1/2
$V_{Sd,max}$	Normal	2.683,6	1.927,7	1.388,0	878,5	449,6
$V_{Sd,max}$	Especial	2.838,0	2.010,4	1.466,5	1.002,0	556,3
$M_{Sd,max}$	Normal	0,0	10.684,7	17.985,7	22.300,3	23.728,1
$M_{Sd,max}$	Especial	0,0	11.016,8	18.041,0	22.086,3	23.414,9

Outro ponto interessante da ABNT NBR 7188:2013 é a recomendação para que a carga rodoviária padrão seja majorada em 10% em obras de anel

rodoviário e em obras com distância inferior a 100 km em rodovias de acesso a terminais portuários. A aplicação desse fator de majoração fica a critério

dos órgãos com jurisdição sobre a rodovia. Observa-se que esses tipos de obra são comumente parte do itinerário das cargas especiais. ↩

## ► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7187 – Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7188 – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- [3] CRISTOVÃO, Bruno et al. Comparação entre trem-tipo padrão e especial em pontes rodoviárias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 58º, 2016, Belo Horizonte. Anais... São Paulo: IBRACON, 2016.

## 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](http://www.ibracon.org.br)  
 (Loja Virtual)

# Execução de tubos de concreto com baixo consumo de cimento e uso de fibras de aço como reforço estrutural

HINOEL ZAMIS EHRENBRING – MsC, PESQUISADOR

VINICIUS DE KAYSER ORTOLAN – MsC, PESQUISADOR

PEDRO HENRIQUE LEUCK – GRADUANDO EM ENGENHARIA CIVIL

BERNARDO TUTIKIAN – PROFESSOR DOUTOR

ITT PERFORMANCE – UNISINOS

DIEGO RECH – SUPERVISOR DE PRODUÇÃO

GERSON KUNZLER – GERENTE GERAL

FELIPE ROHR – DIRETOR

CONSTRUORHR

## I. INTRODUÇÃO

Devido às carências de saneamento básico encontradas no Brasil, é de grande importância aumentar o número de projetos para ampliar a cobertura desses sistemas nas cidades do país. Referente aos materiais constituintes dos sistemas de coleta de águas pluviais e cloacais, encontram-se os tubos de concreto, pelo fato de obterem excelentes propriedades mecânicas e custo financeiro adequado (FIGUEIREDO, 2008). A utilização desses elementos é expressiva, em decorrência da ABNT NBR 8890:2007 - “Tubo de concreto de seção circular para águas pluviais e esgotos sanitários – Requisitos e métodos de ensaios”.

A ABNT NBR 8890:2007 estabelece os requisitos mínimos para execução, dosagem, propriedades físicas, comportamento mecânico e métodos de ensaio para tubos de concreto. Conforme forem as necessidades de implementação dos tubos de concreto, eles deverão suportar determinadas cargas pela matriz e, quando estiver presente, pelo

reforço estrutural. A mesma norma estabelece o diâmetro máximo de 600 mm para tubos de concreto simples, logo, tubos de maiores dimensões deverão ser reforçados com o uso de armaduras metálicas ou com fibras de aço.

Os tubos de concreto são classificados conforme apresentado na Tabela 1.

Para tubos de concreto simples deve-se determinar apenas a carga mínima de ruptura. É possível atender aos requisitos mínimos da norma, realizando uma dosagem adequada do concreto, com agregados em proporções adequadas, relação água/cimento (a/c) reduzida e um consumo de cimento proporcional aos ganhos mecânicos desejados. Porém, em alguns casos, ocorre superdimensionamento da matriz cimentícia, com consumos de cimento elevados que, por sua vez, aumentam o custo do elemento e o impacto ambiental de produção. Tomando alguns cuidados, é possível determinar traços de concretos com baixo consumo de cimento e atingir um comportamento mecânico dentro dos parâmetros normativos.

Já nos tubos armados, o comportamento mecânico depende do tipo de reforço estrutural, tornando o concreto um fator secundário no desempenho mecânico da peça. Nas análises experimentais dos tubos armados, é necessário utilizar diferentes estágios de avaliação, como a carga mínima de fissura / isenta de danos e a carga de ruptura.

Além da armação dos tubos com telas metálicas, é possível o uso de fibras metálicas. O comportamento mecânico dos tubos reforçados com fibras deve seguir a mesma classificação e limites impostos aos tubos com armadura tradicional.

Apesar disso, o uso de fibras em tubos de concreto não é uma prática difundida nas indústrias de artefatos de concreto, mesmo com a possibilidade de melhoria do processo de execução dos elementos. De acordo com Escariz (2012), uma das mudanças evidentes é na velocidade de produção dos produtos, eliminando o processo de confecção das telas armadas e possibilitando a diminuição da mão de obra envolvida na

► Tabela 1 – Classificação de tubos de concreto simples e armado em função da resistência à compressão diametral (águas pluviais)

Diâmetro nominal DN (mm)	Tubo de concreto simples		Tubo armado e tubo com fibra								
	Carga mínima de ruptura (kN/m)		Carga mínima de fissura/isenta de danos (kN/m)				Carga mínima de ruptura (kN/m)				
	PS1	PS2	PA1	PA2	PA3	PA4	PA1	PA2	PA3	PA4	
200	16	24									
300	16	24	12	18	27	36	18	27	41	54	
400	16	24	16	24	36	48	24	36	54	72	
500	20	30	20	30	45	60	30	45	68	90	
600	24	36	24	36	54	72	36	54	81	108	
700	–	–	28	42	63	84	42	63	95	126	
800	–	–	32	48	72	96	48	72	108	144	
900	–	–	36	54	81	108	54	81	122	162	
1000	–	–	40	60	90	120	60	90	135	180	
1100	–	–	44	66	99	132	66	99	149	198	
1200	–	–	48	72	108	144	72	108	162	216	
1500	–	–	60	90	135	180	90	135	203	270	
1750	–	–	70	105	158	210	105	158	237	315	
2000	–	–	80	120	180	240	120	180	270	360	

Fonte: ABNT NBR 8890:2007 (Anexo A)

confecção das peças. Além dos impactos relacionados à produção e velocidade de execução, a adoção de fibras nos tubos de concreto impacta no custo e desempenho da peça. Porém, as premissas só são verdadeiras se houver um cuidado especial no processo de dosagem da matriz e execução dos elementos.

Referente à execução, a ABNT NBR 8890:2007 determina parâmetros relacionados ao acabamento superficial interno e externo de tubos reforçados com fibras de aço, assim como as características geométricas das peças. Segundo a norma, quando são aplicadas fibras de aço, não é admissível o afloramento dos filamentos na face interna do tubo, visto que pode prejudicar o escoamento dos fluidos. Na superfície externa são permitidas falhas pontuais, desde que

não comprometam o desempenho da peça. Com isso, os procedimentos convencionais de moldagem e dosagem dos concretos para tubos devem ser alterados. Algumas alternativas são adotadas para eliminar as falhas de concretagem em tubos com inserção de fibras, tais como: alterações na composição do traço da matriz cimentícia (consumo de cimento, dimensões dos agregados, relação a/c), uso de aditivos químicos (modificador de viscosidade, superplastificantes), teores ótimos de adição das fibras de aço, entre outros.

A ABNT NBR 8890:2007 ainda especifica características do traço da matriz cimentícia, como a relação água/cimento máxima e consumo mínimo de cimento da mistura. Os valores estipulados para relação água/cimento são de, no máximo, 0,50 para tubos

destinados a águas pluviais e 0,45 para tubos destinados a esgoto sanitário. O consumo de cimento deve ser utilizado conforme ABNT NBR 12655:2015, a qual prescreve que, para utilizações na zona de agressividade ambiental classe I, o consumo deverá ser maior que 260 kg/m<sup>3</sup>; ao ser empregados concretos para a classe de agressividade IV, o consumo mínimo de cimento deverá não ser inferior a 360 kg/m<sup>3</sup>. Caso seja almejado o uso de tubos reforçados com fibras de aço, tais filamentos metálicos devem seguir a classificação e estipulações requeridas pela ABNT NBR 15530:2007 - “Fibras de aço para concreto”.

Na produção de tubos de concretos torna-se inevitável o uso de uma matriz com baixa consistência (concreto seco), a fim de garantir a moldagem da peça, conforme apresenta a Figura 1.





Fonte: acervo dos autores

► **Figura 1**  
Processo de produção de tubos de concreto com fibras de aço

No caso da adição de fibras metálicas em concretos para tubos, o processo de inserção dos reforços deve ser feito com cuidados para que não ocorram grumos de fibras que, por sua vez, prejudicam o comportamento mecânicos e acabamento superficial da peça (QUININO, 2015). Além dos cuidados na mistura, devem ser estipulados os teores de adição do filamento.

Algumas pesquisas, como Figueiredo (2008) e Escariz (2012), apresentam diversos teores de fibras de aço para

produção de tubos de concreto, variando de  $15 \text{ kg/m}^3$  até  $40 \text{ kg/m}^3$ . Em casos específicos, dependendo do dimensionamento mecânico dessas peças, os teores de fibras podem ser superiores.

## 2. OBJETIVO

O objetivo desse artigo é reproduzir uma pesquisa com o intuito de identificar a resistência mecânica de tubos de concreto simples e armados com diâmetros nominais variados. Os tubos foram dimensionados para atender a classe

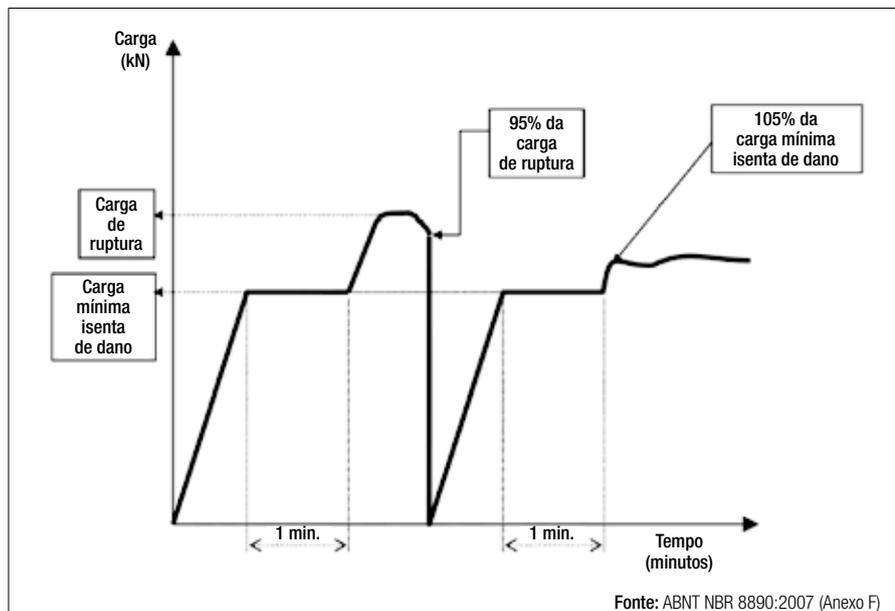
PS1, PS2 e PA1, de acordo com a ABNT NBR 8890:2007. Nos concretos reforçados com fibras foram utilizados diferentes teores do reforço, a fim de analisar os ganhos mecânicos com cada composição. Já nos tubos sem reforço, variou-se o consumo de cimento da matriz.

## 3. METODOLOGIA

Para a caracterização mecânica dos elementos foi realizado o ensaio de compressão diametral, seguindo os procedimentos da ABNT NBR 8890:2007 frente às rampas de carregamento de cada tubo. Os tubos simples e armados com telas metálicas seguem a curva de carregamento linear até atingir a carga máxima do ensaio, ou seja, a carga de ruptura do material. Já, os tubos armados com fibras seguem uma curva diferenciada, de acordo com a Figura 2.

A operação do ensaio de resistência à compressão diametral dos tubos de concreto pode ser observada nas Figura 3 e Figura 4.

A classificação da fibra de aço utilizada para a confecção de cada tipo de tubo pluvial, de acordo com a ABNT



► **Figura 2**  
Curva de carregamento para tubos de concreto reforçados com fibras



Fonte: acervo do autor

► **Figura 3**  
Compressão diametral em tubos de 200 mm (itt Performance/Unisinos)

► Tabela 2 – Proporção dos materiais em cada mistura expostos em massa para o volume de 1 m<sup>3</sup>

Mistura	Cimento (kg)	Água (kg)	Areia 1 (kg)	Areia 2 (kg)	Areia de Britagem (kg)	Agregado graúdo (kg)	Aditivo (mL)
1	150	72	324	756	732	372	495
2	180	86	313	731	714	363	594
3	210	101	315	735	705	358	693

NBR 15530:2007, é do Tipo A e Classe 1. O comprimento do filamento é de 60 mm e fator de forma (L/D) é igual a 80.

As proporções dos componentes utilizados em cada mistura estão dispostas na Tabela 2, que apresenta a quantidade, em massa, dos materiais para compor o volume de 1 m<sup>3</sup>. Na Tabela 3 é exposto o diâmetro máximo dos agregados utilizados nas misturas.

## 4. RESULTADOS

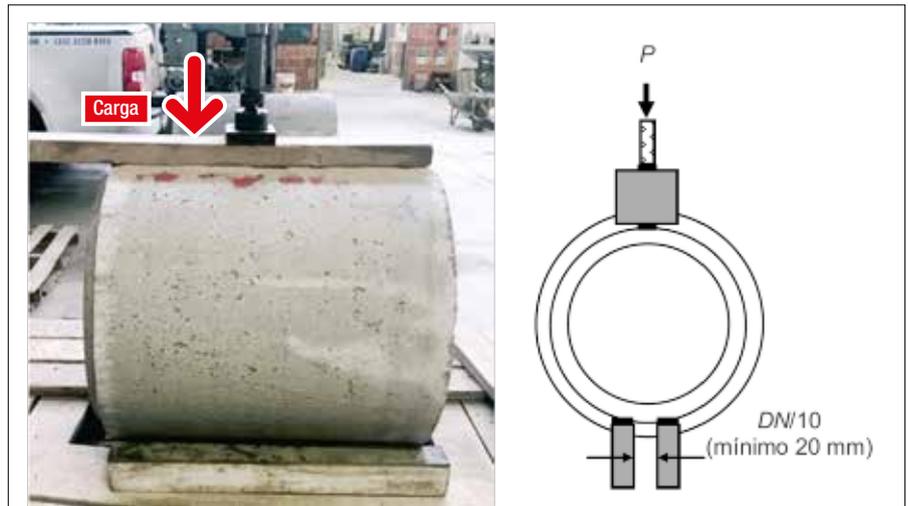
### 4.1 Tubos em concreto simples

A Tabela 4, juntamente com a Figura 5, apresenta os resultados das cargas de rupturas de tubos em concreto simples com diferentes diâmetros e variações no consumo de cimento.

Os resultados apontados na Tabela 4 expressam bons desempenhos mecânicos dos tubos de concreto simples, onde todos atingiram a classificação mínima exigida pela norma, para o PS1. Os ganhos de resistência foram possíveis até com baixo consumo de cimento (150 kg/m<sup>3</sup>), como é o caso dos tubos de diâmetro nominal de 200 e 400 mm. Os tubos de 200 mm, com

baixo consumo de cimento, ficaram próximos à classe PS2, atingindo 23 kN/m. Para os mesmos tubos, utilizou-se o consumo de cimento igual a 210 kg/m<sup>3</sup>, ultrapassando em 38% a carga

mínima de ruptura do elemento para a classe PS2. Assim, seria possível reduzir ainda mais o consumo de cimento da matriz, passando de 210 para 180 kg/m<sup>3</sup>, para atender a classe PS1.



Fonte: elaborado pelo autor

► Figura 4

Compressão diametral de tubos de concreto pluvial com DN 800

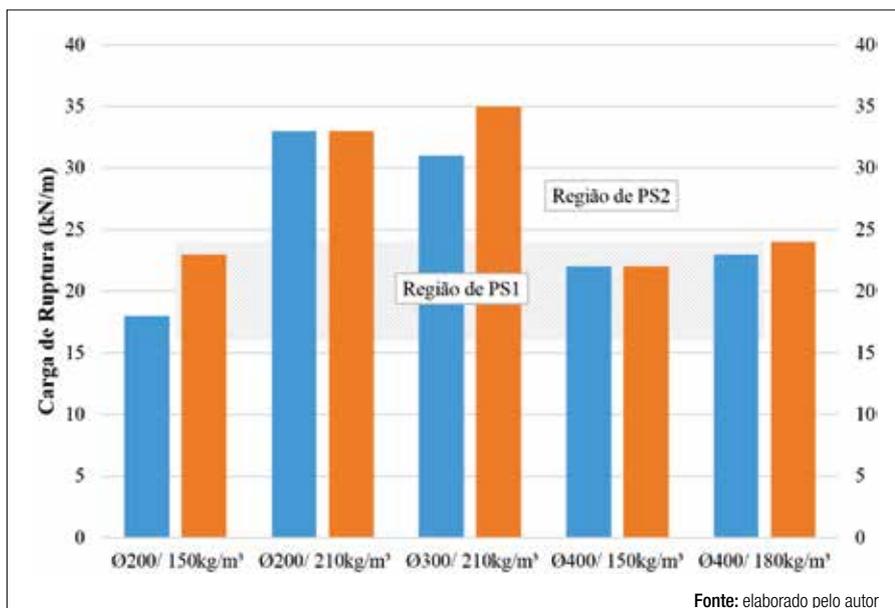
► Tabela 4 – Resultados para tubos em concreto simples

Composição	Diâmetro (mm)	Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Carga de ruptura (kN/m)	Carga mínima de ruptura (kN/m) PS1	Carga mínima de ruptura (kN/m) PS2
Tubo de concreto simples	200	150	18	16	24
		210	23		
	300	210	33		
		150	33		
	400	210	31		
		180	35		

Fonte: elaborado pelo autor

► Tabela 3 – Dimensão máxima dos agregados utilizados nas misturas

Material	Dimensão máxima (mm)
Areia 1	0,87
Areia 2	2,80
Areia de britagem	3,76
Agregado graúdo	5,58



► **Figura 5**  
Resultados para tubos em concreto simples

Os tubos de 300 mm superam em até 46% a resistência à compressão diametral requerida para a classe PS2. Sendo necessário obter carga de ruptura mínima de 24 kN/m, o consumo de cimento para esses tubos também poderia ser reduzido para faixas próximas aos 180 kg/m<sup>3</sup>. Já os tubos de 400 mm, a utilização de 180 kg/m<sup>3</sup> de cimento foi capaz de proporcionar a classificação da peça em PS2. O consumo de 150

kg/m<sup>3</sup> apresentou leve redução na carga de ruptura dos elementos, permanecendo na classe PS1. Dessa forma, baixos consumos de cimento podem proporcionar desempenhos mecânicos muito favoráveis aos tubos de concreto simples. Consumos de cimento na ordem de 150 e 180 kg/m<sup>3</sup> foram suficientes para atingir com segurança os requisitos mínimos de resistência à compressão diametral das peças.

É importante ressaltar que, na medida em que se aumenta o diâmetro nominal dos tubos, a rigidez geométrica da peça também é elevada. Esse aumento de rigidez é devido a espessura das paredes do tubo, sendo requerida uma espessura em torno de 10% em função do DN da peça. E, como os tubos são simples, não houve preocupação quanto à durabilidade por corrosão da armação.

## 4.2 Tubos armados e reforçados com fibras de aço

A Tabela 5 e a Figura 6 expressam os resultados encontrados na realização dos ensaios de caracterização mecânica e física dos tubos de concreto com fibras de aço.

Analisando as peças reforçadas com fibras de aço, nota-se que a variação no teor de adição dos filamentos promove resultados distintos. Adotando teores iguais a 20, 25 e 32 kg/m<sup>3</sup> nas matrizes cimentícias, aumenta-se linearmente a carga de ruptura dos tubos por meio da compressão diametral. Os tubos com diâmetro nominal de 400 mm atingiram classificação PA1, conforme suas dimensões, e o aumento no consumo de filamentos por metro cúbico proporcionou melhorias de até 50% na resistência mecânica da peça. Em relação à carga de ruptura dos tubos de 400 mm e teor de 25 kg/m<sup>3</sup> de fibras, os mesmos aproximam-se dos tubos classe PA2. Com isso, o teor de 25 kg/m<sup>3</sup> foi um valor balizador para a tomada de decisão na alteração de classificação dos tubos.

Ao contrário dos elementos com consumo de 25 kg/m<sup>3</sup>, a adoção do teor de fibras em 20 kg/m<sup>3</sup> nos tubos de 400 mm torna-se mais adequado e próximo ao teor ótimo de reforços para

► **Tabela 5 – Resultados para tubos de concreto com fibras de aço e armado**

Tubo de concreto	Diâmetro (mm)	Reforço	Carga mínima isenta de dano (kN/m)	Carga de ruptura (kN/m)
Fibras	400	20 kg/m <sup>3</sup> de fibra	16	29
			16	24
		25 kg/m <sup>3</sup> de fibra	16	35
			16	36
Armado	800	32 kg/m <sup>3</sup> de fibra	32	64
			32	67
		Tela simples Q196	44	50
			44	54

Fonte: elaborado pelo autor

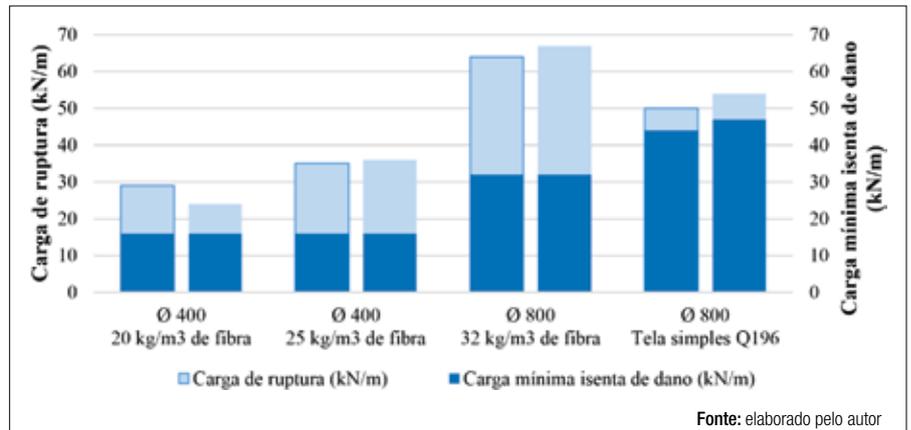
atingir a classe PA1. Confrontando os resultados obtidos em cada tubo de 400 mm, verifica-se que a redução de 5 kg/m<sup>3</sup> de fibras de aço proporcionou uma queda de 19% na carga de ruptura de um mesmo elemento.

Utilizando como fator comparativo, os resultados atingidos nos tubos de DN 800 mm foram muito superiores às peças de menores dimensões. Referente à carga mínima de ruptura, os tubos de 800 mm superaram-na em 40%. Com isso, o teor de 32 kg/m<sup>3</sup> de fibras poderia ser reduzido. Visando reduzir os custos dos tubos, pode-se tomar como base o comportamento dos tubos de 400 mm, onde com a redução de 5 kg/m<sup>3</sup> de fibras, diminuiu-se em quase 20% a carga de ruptura. A partir desses resultados, há a possibilidade de passar o teor de adição de 32 kg/m<sup>3</sup> para 27 kg/m<sup>3</sup>. Essa escolha torna o custo e o desempenho da peça mais apropriados na concepção do dimensionamento inicial.

A Figura 7 apresenta o tubo reforçado com fibras de aço após a sua ruptura, a fim de verificar a distribuição dos reforços ao longo da peça.

Ainda, foi feita uma comparação entre os tubos de concreto armado com tela de aço e os com fibras de aço. Na Tabela 5 verifica-se que as cargas de ruptura dos tubos são maiores quando se utilizam fibras de aço. Os tubos de concreto reforçados com fibras de aço obtiveram resistência à ruptura superior a 60 kN/m, enquanto os armados 54 kN/m.

Os resultados encontrados nos tubos reforçados com fibras de aço estão associados à mudança de comportamento da matriz. Segundo Quinino (2015), ao inserir filamentos com propriedades mecânicas superiores à matriz, com sistema de ancoragem (ganchos nas extremidades) e que sejam compatíveis



► **Figura 6**  
Resultados para tubos de concreto com fibras de aço e armado

dimensionalmente com os agregados graúdos, ocorre o melhoramento das propriedades mecânicas do compósito, tornando esses reforços alternativas interessantes. Além das propriedades do filamento, o uso de concretos com fibras torna-se mais eficiente pela área de atuação dos reforços ao longo de toda a peça, podendo combater, pontualmente, o surgimento de fissuras e servindo como ponte de transferência de tensões nas fissuras da matriz, conforme enfatiza Figueiredo (2000).

Já os tubos armados com telas metálicas não apresentaram desempenho mecânico tão surpreendente quanto o

compósito com fibras. Em um dos casos, a peça não atingiu a classe PA1, que deve apresentar carga de ruptura superior a 48 kN/m. Uma das justificativas para o comportamento dessas peças nos ensaios mecânicos é de que a posição da armadura se encontra no centro da parede do tubo, local onde as tensões são reduzidas e, por sua vez, não atua com o desempenho esperado. Com isso, a fissuração e fragilização da peça ocorrem precocemente. A simples alteração de posicionamento da armadura para as bordas tracionadas (externas) pode melhorar seu comportamento mecânico, evitando o mal



Fonte: elaborado pelo autor

► **Figura 7**  
Tubos com fibras de aço após o ensaio de compressão diametral



► Tabela 6 – Composição do preço unitário de um tubo de 800 mm de diâmetro (1 dólar americano = R\$ 3,18)

Composição	Reforço	Custo unitário de produção (R\$)
TC armado	Tela simples Q196	100,36
TC fibras	Fibra de aço 32 kg/m <sup>3</sup>	95,91

dimensionamento e comportamento mecânico do sistema.

A Tabela 6 apresenta os custos unitários envolvidos na produção por tubo de 800 mm de diâmetro nominal, calculados por fornecedor local, quando reforçados com fibras de aço e quando armados com telas metálicas.

De posse dos custos unitários relacionados à produção dos tubos de concreto, constata-se que os tubos armados são as peças que obtêm o maior custo de confecção, contemplando os valores dos materiais e mão de obra. Já os tubos reforçados com fibras de aço atingiram as melhores propriedades mecânicas e o menor custo. A resistência à compressão

diametral das peças com fibras foi cerca de 24% maior em relação aos armados e o custo 4% menor, respectivamente. Um dos fatores relacionados à redução dos custos unitários é a velocidade de produção dos elementos. Além deste, a mão de obra envolvida na produção dos tubos de concreto com fibras de aço é reduzida, pelo fato de não haver necessidade de conformar as telas armadas, que atuam como armaduras.

## 5. CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento da pesquisa em questão, foi possível verificar que a escolha de baixos consumos de cimentos na dosagem de concretos para tubos simples pode ser uma alternativa interessante, reduzindo o impacto ambiental na produção das peças e o custo envolvido na sua confecção. Para tubos de concreto simples de até 400 mm de diâmetro nominal, consumos de cimento entre 150 e 180 kg/m<sup>3</sup> foram satisfatórios para obter um desempenho mecânico adequado.

O uso de fibras de aço em tubos de concreto pode auxiliar positivamente na capacidade portante desses elementos, evoluindo a re-

sistência à compressão diametral, melhorando a forma de ruptura e modo de nucleação de fissuras. Além dos ganhos de desempenho, pode-se verificar que o processo de execução dos tubos com fibras, quando comparados aos tubos armados, é mais simples, aumentando a produção da fábrica, diminuindo possíveis erros de execução e disponibilizando ao consumidor um produto de melhor qualidade. Nesses casos, os tubos de concreto reforçados com fibras de aço tornam-se um excelente material com custo/benefício atraente, quando comparados aos armados. Também deve-se destacar que o dimensionamento correto dos elementos de reforço leva a resultados mecânicos coerentes e de menores custos de produção, como foi visto nos tubos reforçados com fibras.

Vale salientar a preocupação com a durabilidade desses materiais, pois a redução do consumo de cimento, requer estudos quanto à corrosão dos materiais metálicos. Por não ser objetivo do estudo, os quesitos de durabilidade não foram considerados, porém, a preocupação é pertinente, principalmente, para tubos destinados ao esgoto sanitário. 

## ► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Tubo de concreto de seção circular para águas pluviais e esgotos sanitários – Requisitos e métodos e ensaios. NBR 8890, ABNT, Rio de Janeiro, 2007.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Fibras de aço para concreto – Especificações. NBR 15530, ABNT, Rio de Janeiro, 2007.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. NBR 12655, ABNT, Rio de Janeiro, 2015.
- [4] ESCARIZ, R. C. Análise comparativa de desempenho mecânico e tubos de concreto reforçados com macrofibras poliméricas e fibras de aço. 2012, f. 133. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia e Construção Civil, São Paulo, São Paulo.
- [5] FIGUEIREDO, A. D. Manual Técnico de Drenagem e Esgoto Sanitário, Capítulo: 5.4 Fibras de Aço para Tubos de Concreto. Associação Brasileira de Tubos de Concreto – ABTC, 2008, pp.197-214
- [6] FIGUEIREDO, A. D. Concreto com fibras de aço: 2000. 70 f. Boletim Técnico – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Construção, São Paulo, SP, Brasil.
- [7] QUININO, U. C. M. Investigação experimental das propriedades mecânicas de compósitos de concreto com adições híbridas de fibras: 2015. 243 f. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFGRS), Porto Alegre, RS, Brasil.



1960 e 1975. Todas apresentam características estruturais e geométricas que as classificam como Obras de Arte Especiais típicas, conforme dados do DNIT.

A primeira ponte, denominada ponte 1, tem um único vão e tabuleiro em duas vigas simplesmente apoiadas. A segunda (ponte 2) tem tabuleiro em duas vigas com um vão e dois balanços. A terceira (ponte 3) tem tabuleiro em duas vigas contínuas com dois tramos iguais.

As principais características das pontes estão indicadas nas figuras 1, 2 e 3, que mostram cortes longitudinais na geometria original de cada obra. A figura 4 mostra a seção transversal original, com 10m de largura do tabuleiro, que é a mesma para as três pontes, condição necessária para a análise comparativa.

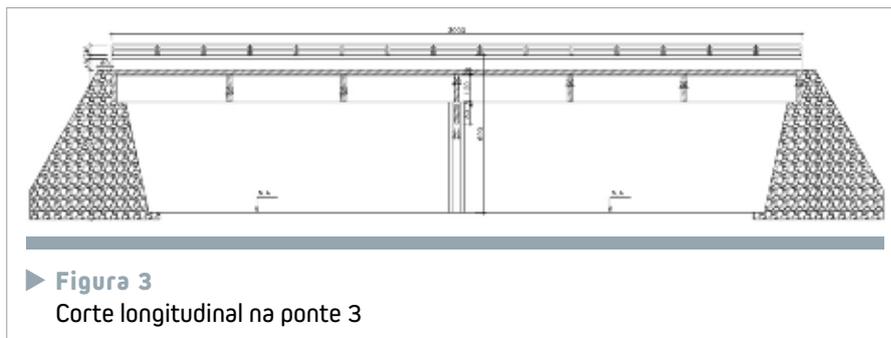
Foram realizadas inspeções e medições sobre as características geométricas e estruturais das três pontes, para garantir um estudo comparativo consistente entre os quatro métodos de alargamento e reforço relacionados a seguir: concreto armado moldado no local, vigas pré-moldadas de concreto, vigas mistas (aço e concreto) e protensão externa. A análise da estrutura foi linear, conforme a ABNT NBR 6118 (2014), sendo utilizado o software de elementos finitos STRAP para a discretização dos tabuleiros originais e dos tabuleiros alargados, de modo a obter e comparar os esforços e deslocamentos antes e depois dos alargamentos.

Nos tabuleiros originais foi usado o Trem-tipo Classe 360KN da ABNT NB-6 (1960), em vigor à época da construção das pontes. Nos tabuleiros alargados foi utilizado o Trem-tipo Classe 450KN da ABNT NBR-7188 (2013) atualmente em vigor.

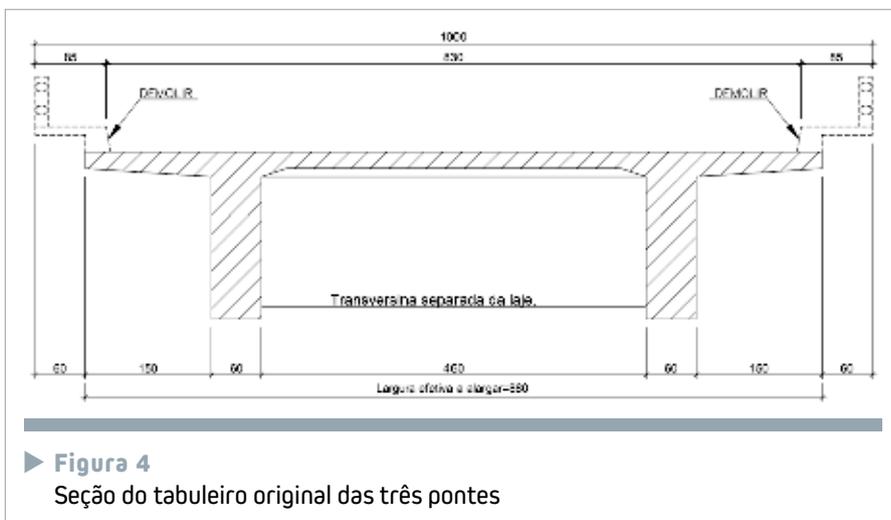
#### 4. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS QUATRO MÉTODOS DE ALARGAMENTO E REFORÇO

Os tabuleiros alargados ficarão com 12,80m, que é o gabarito

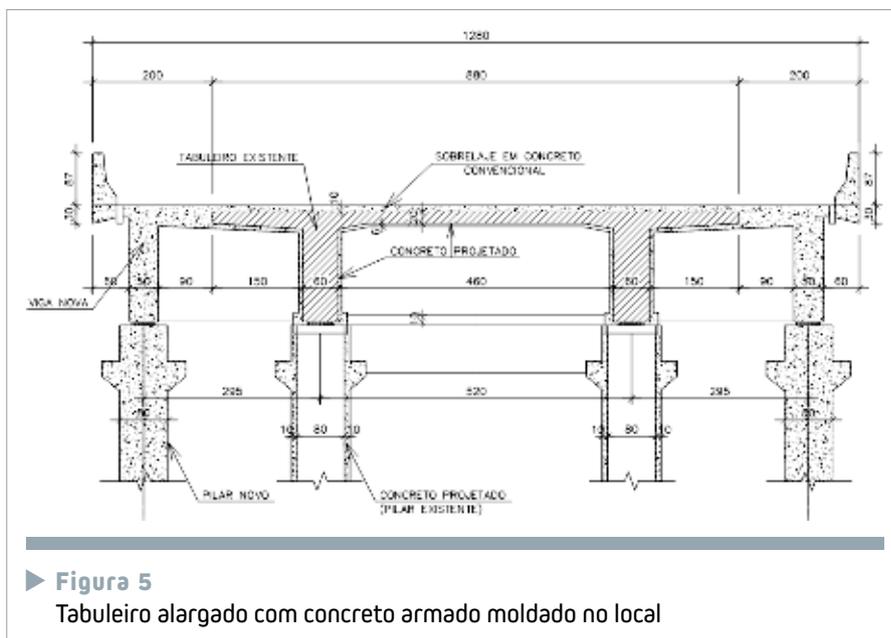
transversal utilizado nos projetos do DNIT para as pontes das rodovias de pistas simples. A seguir uma descrição sumária dos quatro métodos estudados.



► **Figura 3**  
Corte longitudinal na ponte 3



► **Figura 4**  
Seção do tabuleiro original das três pontes



► **Figura 5**  
Tabuleiro alargado com concreto armado moldado no local

#### 4.1 Alargamento e reforço com concreto armado moldado no local

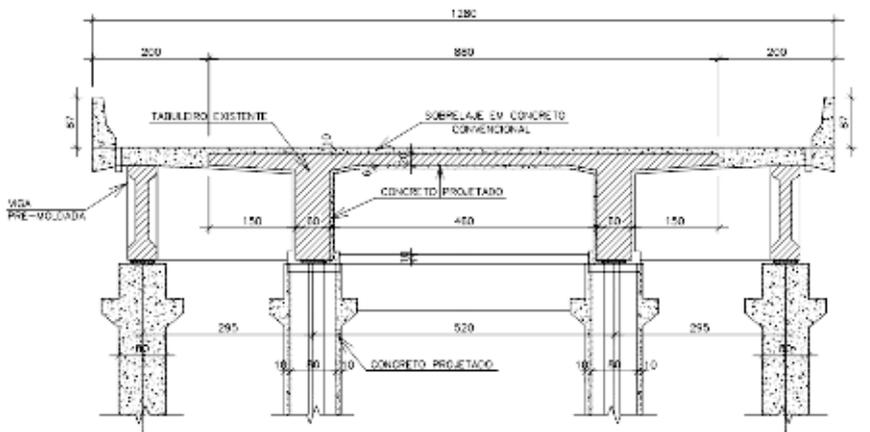
Trata-se de um dos sistemas mais utilizados no Brasil. Caracteriza-se pela incorporação de novas longarinas, lajes e transversinas ao tabuleiro existente por meio de concretagem “in loco”, formando assim uma nova grelha, conforme mostra a figura 5, que ilustra a seção transversal das pontes estudadas depois de alargadas por esse método.

#### 4.2 Alargamento e reforço com o uso de vigas pré-moldadas de concreto

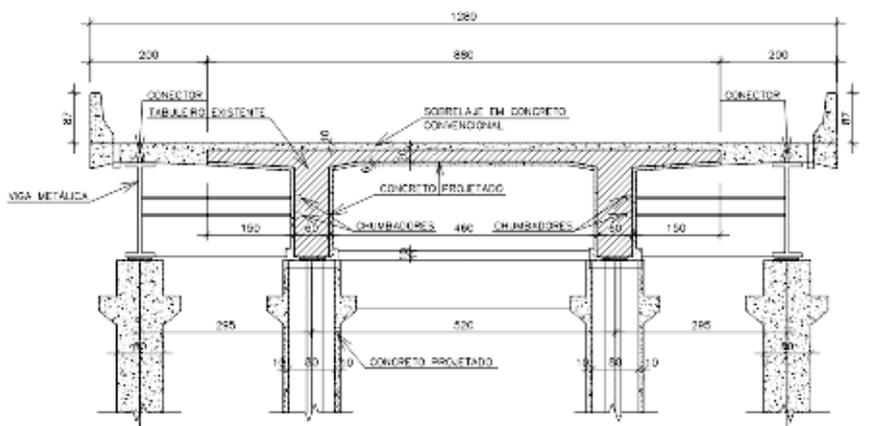
Esse sistema se caracteriza pelo uso de elementos compostos, cujas seções resistentes são constituídas por vigas pré-moldadas (de concreto armado ou protendido) de seção parcial, complementadas com lajes de concreto moldadas no local. O comportamento estrutural é regido pela transferência das tensões de cisalhamento na interface do concreto pré-moldado da viga com o concreto da laje moldado no local. O tabuleiro alargado com o uso desse sistema está ilustrado na figura 6.

#### 4.3 Alargamento e reforço com o uso de vigas mistas

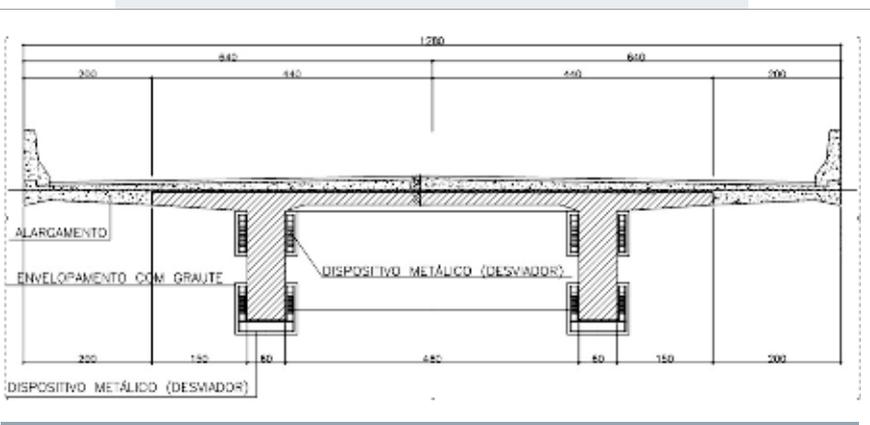
Esse método consiste no acréscimo de novas longarinas constituídas por perfis metálicos solidarizados à laje de concreto do tabuleiro por meio de conectores de cisalhamento. Uma das questões importantes a serem consideradas é a transmissão das tensões de cisalhamento ao longo da conexão entre a viga e a laje, conhecida como efeito “*Shear Lag*”. A figura 7 ilustra a seção alargada com o uso de vigas mistas e transversinas metálicas.



► **Figura 6**  
Tabuleiro alargado com vigas pré-moldadas



► **Figura 7**  
Tabuleiro alargado com vigas mistas



► **Figura 8**  
Tabuleiro alargado com protensão externa

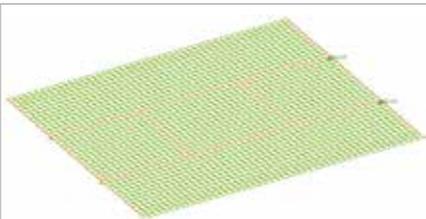




► **Figura 9**  
Reforço das longarinas de uma ponte com protensão externa

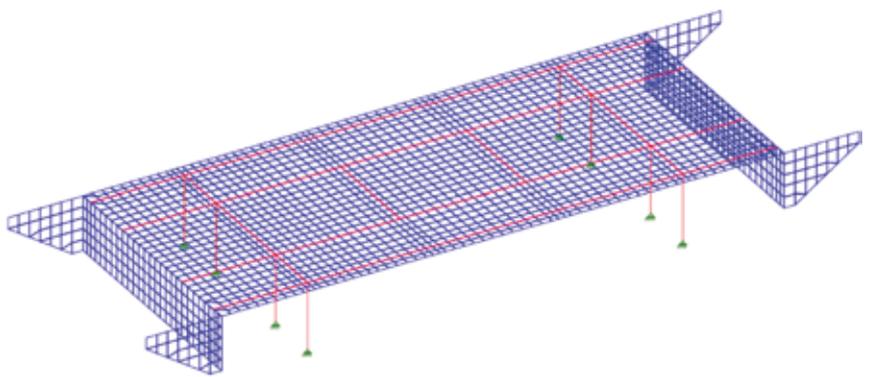
#### 4.4 Alargamento e reforço com protensão externa

Trata-se de sistema bastante eficiente para ampliar a capacidade de carga das pontes que necessitam ser alargadas e reforçadas. A protensão externa aumenta a capacidade de carga das vigas principais e da laje do tabuleiro, diminui a fissuração, elimina as deformações e melhora a resistência ao cisalhamento. A figura 8 mostra o detalhamento da seção transversal alargada das pontes estudadas com a utilização desse sistema.

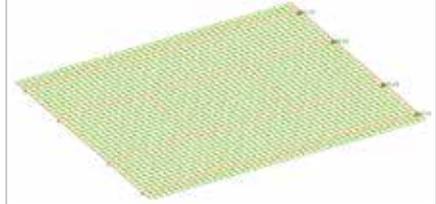


► **Figura 11**  
Discretização do tabuleiro alargado da ponte 1 com protensão externa

No Brasil, grande parte dos reforços das longarinas existentes é feito com monocordoalhas agrupadas em feixes rentes às faces laterais das vigas e fixadas à estrutura por meio de desviadores de aço especial; tais desviadores são geralmente fixados às vigas com barras Dywidag, protendidas no sentido transversal. Na figura 9 está ilustrada a execução do reforço das vigas de uma ponte com protensão externa.



► **Figura 12**  
Discretização do tabuleiro alargado da ponte 2 com vigas moldadas no local, vigas pré-moldadas e vigas mistas

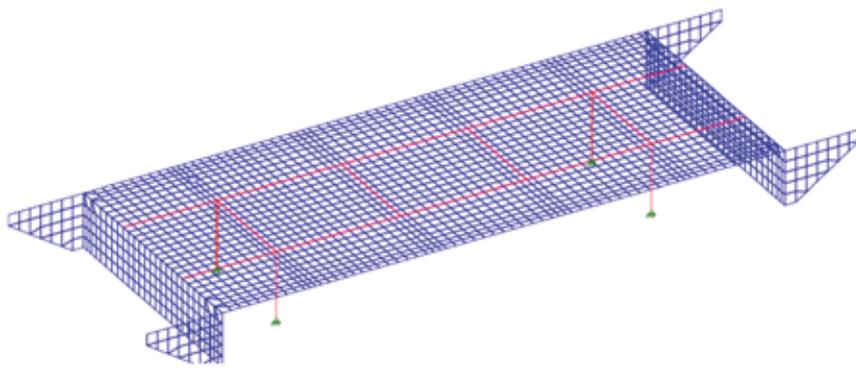


► **Figura 10**  
Discretização do tabuleiro alargado da ponte 1 com vigas moldadas no local, vigas pré-moldadas e vigas mistas

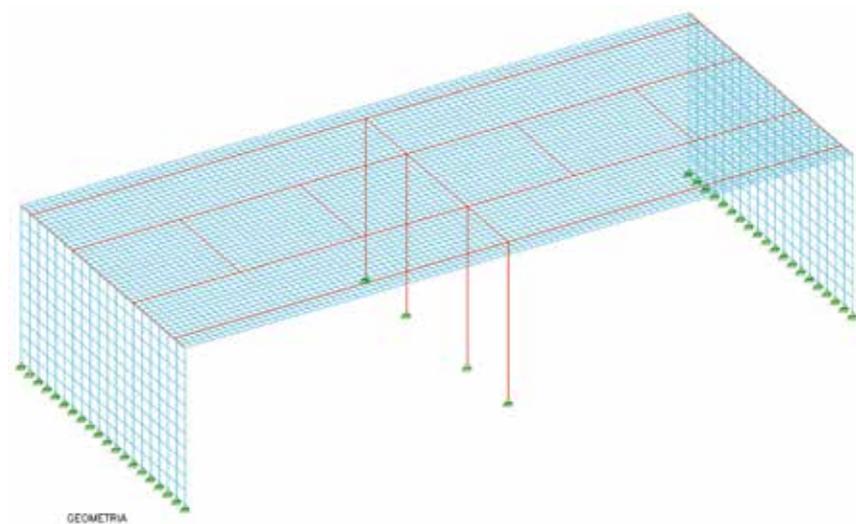
#### 5. MODELO DE DISCRETIZAÇÃO DOS TABULEIROS

Nos projetos de pontes em geral, a utilização do método dos elementos finitos tem propiciado um elevado grau de precisão, obtido pelas modelagens utilizadas para cada situação. O modelo constituído por barras e elementos de casca, adotado neste estudo, é muito útil para tabuleiros em grelha de vigas. Nesses tabuleiros, que correspondem à maioria das pontes das rodovias brasileiras, tal modelo apresenta uma resposta consistente às ações atuantes, sejam nas pontes retas ou esconsas.

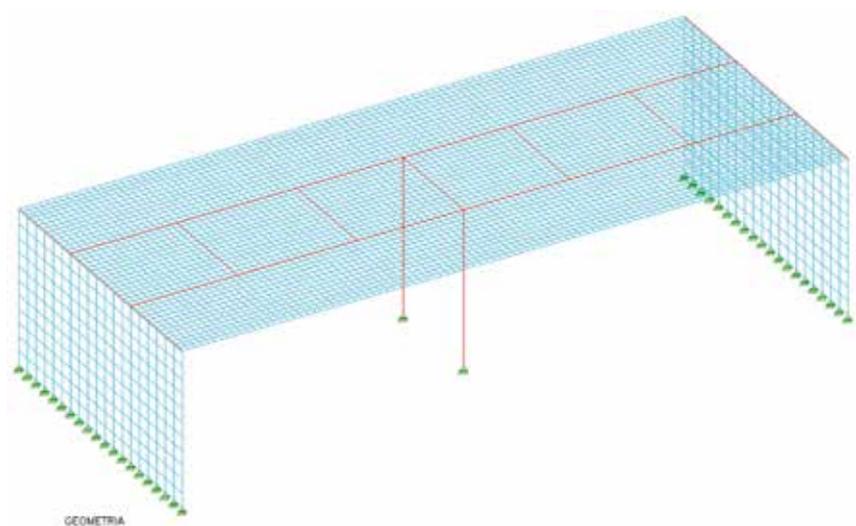
Nas figuras 10, 11, 12, 13, 14 e 15 estão ilustrados os modelos de discretização com elementos de barras



► **Figura 13**  
Discretização do tabuleiro alargado da ponte 2 com protensão externa



► **Figura 14**  
Discretização do tabuleiro alargado da ponte 3 com vigas moldadas no local, vigas pré-moldadas e vigas mistas



► **Figura 15**  
Discretização do tabuleiro alargado da ponte 3 com protensão externa

(vigas) e elementos de casca (shell), aplicados aos tabuleiros alargados das três tipologias de pontes, com o uso do software STRAP. Também foram modelados os tabuleiros originais (antes do alargamento), que não são mostrados neste trabalho. Na análise dos tabuleiros originais, a resistência característica à compressão do concreto ( $f_{ck}$ ) foi 20MPa. Para o concreto dos alargamentos o valor considerado foi 30MPa. Para os perfis metálicos das vigas mistas foi adotado o aço ASTM A572 G50. É importante esclarecer que este estudo é direcionado apenas para a análise dos tabuleiros e não inclui os aspectos relacionados às mesoestruturas e às fundações das pontes.

## 6. RESULTADOS DA ANÁLISE

### 6.1 Estudo das lajes alargadas

O estudo permitiu a obtenção dos valores dos esforços ao longo das lajes dos tabuleiros alargados pelos quatro métodos. Nas figuras 16 e 17 estão representados os diagramas dos momentos fletores transversais nas lajes das três pontes após o alargamento por cada método, cujos valores estão indicados nas tabelas 1 e 2. A análise dos esforços indicados no diagrama da figura 16 mostrou que o momento  $M_c$  representou um acréscimo de 24% quando comparado ao mesmo esforço nos tabuleiros originais, enquanto  $M_{ic}$  representou um acréscimo de 8%. Os momentos  $M_{bi}$  e  $M_i$  não existiam nas pontes originais.

Nos esforços do diagrama da figura 17 verificou-se que o momento  $M_{bc}$  foi aproximadamente três vezes maior que mesmo esforço nos tabuleiros originais, devido ao aumento da extensão dos balanços transversais da laje e das cargas móveis. Já o momento

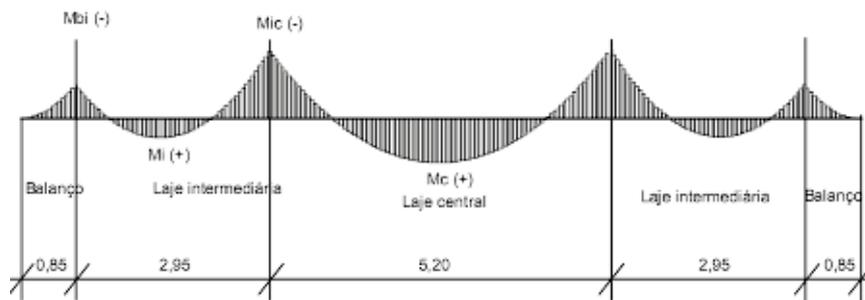
Mc teve um acréscimo de 7% quando comparado com o momento da laje central das pontes originais.

## 6.2 Estudo das longarinas

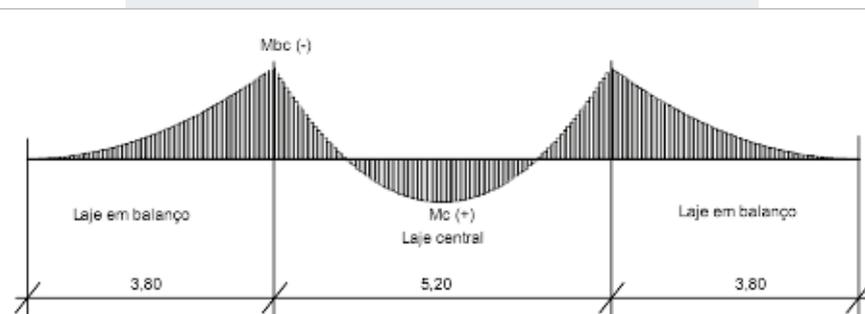
As modelagens dos tabuleiros alargados possibilitaram a obtenção dos esforços e dos deslocamentos nas duas longarinas existentes e nas duas longarinas que foram adicionadas. No caso do alargamento com protensão externa, foram calculados os esforços nas longarinas existentes.

Foram calculados os esforços e deslocamentos em todas as seções ao longo da extensão das longarinas. Neste texto são apresentados apenas os resultados das seções consideradas mais importantes para o estudo, que foram denominadas seções notáveis.

Nas tabelas 3, 4 e 5 estão indicados os valores dos momentos fletores, dos esforços cortantes e das flechas (imediatas e diferidas) nas seções notáveis das longarinas existentes e das longarinas novas dos tabuleiros alargados por cada um dos métodos. De modo geral, os valores obtidos estão compatíveis com as tipologias geométricas, estruturais e com as ações atuantes nos tabuleiros alargados objetos deste estudo. Apenas os esforços nas vigas mistas da ponte 2 (tabela 4) apresentaram valores bem menores, quando comparados aos obtidos nos outros métodos de alargamento. As causas de tais resultados estão relacionadas às próprias características da ponte (um vão e dois balanços) e à grande diferença de rigidez entre as vigas existentes de concreto e as vigas metálicas adicionadas para o alargamento do tabuleiro, que foi modelado como uma única grelha de quatro vigas. Isso está sendo objeto de estudo pelo autor em uma nova etapa da pesquisa.



► **Figura 16**  
Diagrama dos momentos fletores nas lajes dos tabuleiros alargados com a adição de duas vigas



► **Figura 17**  
Diagrama dos momentos fletores nas lajes dos tabuleiros alargados com protensão externa

► **Tabela 1 – Momentos nas lajes dos tabuleiros alargados com a adição de duas vigas**

Ponte / método de alargamento	Momentos fletores (kN.m/m)				
	Balanços (Mbi)	Lajes intermediárias (Mi)	Negativos da laje central (Mic)	Positivos da laje central (Mc)	
Ponte 1	Concreto armado	-29,00	24,00	-68,00	30,00
	Vigas pré-moldadas	-24,00	25,00	-68,00	30,00
	Vigas mistas	-24,00	18,00	-70,00	30,00
Ponte 2	Concreto armado	-24,00	17,00	-66,00	33,00
	Vigas pré-moldadas	-21,00	17,00	-66,00	33,00
	Vigas mistas	-17,00	17,50	-82,00	32,00
Ponte 3	Concreto armado	-31,00	19,00	-57,00	25,00
	Vigas pré-moldadas	-27,00	-21,00	-56,00	25,00
	Vigas mistas	-17,00	20,00	62,00	24,00

► Tabela 2 – Momentos nas lajes dos tabuleiros alargados com protensão externa

Ponte	Lajes em balanço Mbc (kN.m/m)	Lajes centrais Mc (kN.m/m)
1	-266,00	29,00
2	-203,00	31,00
3	-239,00	26,00

## 7. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

A análise comparativa forneceu várias informações sobre os desempenhos estruturais dos quatro métodos construtivos de alargamento dos tabuleiros das tipologias de pontes estudadas.

Para agregar maior consistência à análise, foi feita uma estimativa preliminar dos custos das obras

de alargamento dos tabuleiros pelos quatro métodos. Essa estimativa, mesmo não sendo apresentada neste texto, contribuiu para complementar as conclusões sobre os métodos que melhor se adequam a cada uma das três tipologias.

É possível, portanto, fazer as seguintes considerações sobre os resultados obtidos. O estudo da ponte 1 mostrou uma equivalência entre

► Tabela 3 – Esforços e deslocamentos nas seções notáveis da ponte 1

Método de alargamento	Longarinas existentes			Longarinas novas		
	Momento fletor (kN.m)	Esforço cortante (kN)	Flecha (cm)	Momento fletor (kN.m)	Esforço cortante (kN)	Flecha imediata + diferida (cm)
Viga concreto armado	5140	1060	3,60	3800	777	3,40
Protensão externa	7550	1350	4,50	–	–	–
Vigas pré-modadas	5610	1120	3,70	2740	603	5,70
Vigas mistas	5760	1160	3,80	2040	327	2,00

► Tabela 4 – Esforços e deslocamentos nas seções notáveis da ponte 2

Método de alargamento	Longarinas existentes				Longarinas novas							
	Mom. fletor vão (kN.m)	Esforços cortantes vão (kN)	Mom. fletor balanço (kN.m)	Esforços cortantes balanço (kN)	Flecha total (cm)		Mom. fletor vão (kN.m)	Esforços cortantes vão (kN)	Mom. fletor balanço (kN.m)	Esforços cortantes balanço (kN)	Flecha imediata + diferida (cm)	
					Vão	Balanço					Vão	Balanço
Viga de concreto armado	4060	1450	-5140	1070	2,80	1,00	2650	921	-3370	686	2,80	0,80
Protensão externa	6420	2060	-8030	1610	3,40	0,80	–	–	–	–	–	–
Viga de concreto armado	4170	1460	-5150	1110	2,80	1,00	2240	811	-2690	595	2,96	0,81
Protensão externa	4310	1540	-6330	1250	2,80	0,90	1200	481	-1880	308	2,10	0,60



► Tabela 5 – Esforços e deslocamento nas seções notáveis da ponte 3

Método de alargamento	Longarinas existentes				Longarinas novas			
	Mom. fletor vão (kN.m)	Mom. fletor apoio (kN.m)	Esforço cortante (kN)	Flecha total (cm)	Mom. fletor vão (kN.m)	Mom. fletor apoio (kN.m)	Esforço cortante (kN)	Flecha imediata + diferida (cm)
Viga de concreto	2640	-3010	1140	2,30	1640	-2430	788	2,45
Protensão externa	3830	-4180	1470	2,60	-	-	-	-
Vigas pré-moldadas	2830	-3140	1200	2,30	1810	-	491	3,73
Vigas mistas	2800	-3110	1190	2,30	1730	-	453	1,78

as alternativas em concreto armado moldado no local, vigas pré-moldadas de concreto e vigas mistas. Essas três opções apresentaram desempenhos estruturais e econômicos bem aproximados, porém as duas últimas poderão ser ainda mais competitivas pelo fato de prescindirem de escoramento e terem mais agilidade construtiva. O uso de protensão externa ficou praticamente inviável para o vão dessa ponte (18m) por causa do alto custo.

No estudo da ponte 2, a melhor alternativa foi a protensão externa, pelo fato de reduzir as deformações nos balanços e a fissuração nas longarinas existentes. Essa alternativa mostrou-se competitiva com o método de vigas pré-moldadas, mas a protensão apresenta um desempenho estrutural mais satisfatório, principalmente quando comparado à vigas pré-moldadas em balanço.

Ainda na ponte 2 verificou-se que os métodos com o uso do concreto armado moldado “in loco” (em torno de 36% mais caro) e de vigas mistas (em torno de 22% mais caro), são pouco competitivos econômica e estruturalmente. O primeiro pela grande

densidade de armaduras de flexão e de cisalhamento nos balanços das vigas. O segundo, pelo alto custo das peças metálicas (enrijecedores e diafragmas) necessárias para combater os efeitos da flambagem lateral, com distorção causada pelo momento fletor negativo nos balanços das vigas mistas.

A análise da ponte 3, que pode até ser considerada um caso típico das pontes em vigas contínuas de concreto armado, mostrou que a melhor alternativa para o alargamento é a adição de vigas de concreto armado moldado no local; porém, também ficou evidente que a utilização de vigas mistas pode ser competitiva quando utilizadas como longarinas simplesmente apoiadas, com lajes de continuidade nos apoios. É importante lembrar que os alargamentos com concreto moldado no local, mesmo questionáveis por causa de algumas dificuldades construtivas (fôrmas, escoramentos, maiores prazos, etc), ainda continuam sendo utilizados em pontes de pequeno porte, especialmente nas rodovias localizadas em regiões mais distantes e em locais de difícil acesso.

O resumo das melhores opções de alargamento obtidas no estudo está na tabela 6. A indicação de mais de um método por tipologia significa que não há grandes diferenças entre os desempenhos estruturais e construtivos, e que também há uma razoável equivalência de custos entre eles (variação máxima da ordem de 10%). Tais diferenças poderão ser compensadas conforme as peculiaridades de cada caso, que dependerão dos locais das obras, dos tipos de fundações e de outros fatores que possam interferir no resultado final da obra de alargamento e reforço.

► Tabela 6 – Melhores opções de alargamento por tipologia de ponte

Ponte	Melhor método obtido do estudo
1	Concreto armado moldado no local Vigas pré-moldadas de concreto Vigas mistas
2	Protensão externa Vigas pré-moldadas de concreto
3	Concreto armado moldado no local Vigas mistas

## 8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante dos resultados obtidos, é possível chegar às seguintes conclusões e recomendações:

► Considerando a carência no Brasil de literatura apropriada para a avaliação de pontes existentes, a escolha da melhor opção de alargamento e reforço depende dos estudos de cada caso específico, que deverão incluir os seguintes fatores: tipologia estrutural da ponte; características de

resistência dos materiais; estado de conservação e condições das fundações – esses fatores permitirão uma análise comparativa mais consistente dos desempenhos estruturais, funcionais e de custos das possíveis soluções;

► O fato de os projetos de reforço e alargamento de pontes existentes serem realizados com o uso de normas elaboradas para o dimensionamento de pontes novas pode causar distorções quanto aos níveis de confia-

bilidade aceitáveis, com implicações nas reais condições de estabilidade e nos custos de execução das obras;

► Finalmente, recomenda-se que, a exemplo de outros países, seja priorizado o investimento em estudos e pesquisas que definam procedimentos mais avançados, inclusive normativos, para estabelecer padrões aceitáveis de confiabilidade às avaliações estruturais e à segurança das pontes existentes, incluindo a utilização de métodos probabilísticos. ◀

## ► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB6. Cargas móveis em pontes rodoviárias. Rio de Janeiro, 1960.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto-Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188. Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. Rio de Janeiro, 2013.
- [4] VITÓRIO, J. A. P. Um estudo comparativo sobre métodos de alargamento de pontes rodoviárias de concreto armado, com a utilização das normas brasileiras e eurocódigos. Tese de Doutorado na Universidade do Porto, Portugal, 2013.

## Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais

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

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

→ Informações: [www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)

### DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-21-3

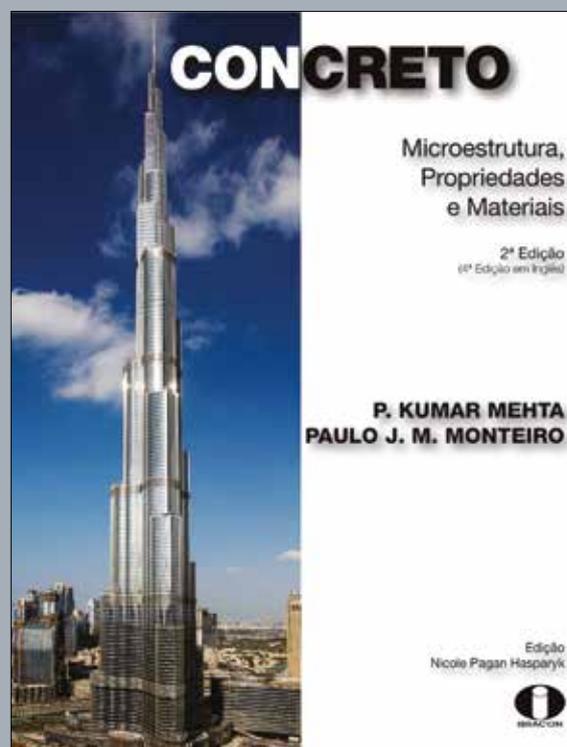
Edição: 2ª edição

Formato: 18,6 x 23,3cm

Páginas: 782

Acabamento: Capa dura

Ano da publicação: 2014



Patrocínio



## Seminário Sul Brasileiro de Pontes e Estruturas

Com o objetivo de difundir as soluções de cálculo, reforço, recuperação, construção e manutenção de pontes, foi realizado no último dia 10 de novembro o I Seminário Sul Brasileiro de Pontes e Estruturas pela Regional do IBRACON no Paraná, Regional Sul da Associação Brasileira de Pontes e Estruturas (ABPE) e Instituto de Engenharia do Paraná (IEP).

Com um público de 385 profissionais, o evento contou com palestras do Eng. José Rodolfo Lacerda (presidente do IEP), Eng. Sérgio Hampshire (presidente da ABPE), Eng. Julio Timerman (presidente do IBRACON), Eng. Ilo Borba (ABPE), Eng. Bruno Contarini (BC Engenharia), Eng.



Gilberto Piva (Legnet Engenharia) e Eng. Carlos Henrique Siqueira (Ponte AS). Julio Timerman apresentou

método de construção acelerada de pontes para atender as demandas por infraestrutura nacional.

## Workshop técnico em Ribeirão Preto

Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (Sinduscon-SP), a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), a Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (Abece) e o Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) realizaram no último dia 21 de novembro o Workshop “Prevenção de Acidentes e Danos em Construções de Concreto”, no auditório da Fundação Armando Álvares Penteado (FAAP), em Ribeirão Preto.

O presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman integrou a mesa de abertura do evento e fez uma palestra sobre a importância da inspeção de pontes de

concreto para a prevenção contra acidentes. A abertura do evento foi feita pela Diretor Regional do Sinduscon-SP, Eng. José Batista Ferreira.

Participaram do workshop os seguintes diretores do IBRACON Prof. Paulo Helene (“Afinal qual é a resistência do concreto para fins de verificação de segurança?”), Prof. Cláudio Sbrighi Neto (“Prevenção da reação álcali-agregado em edificações de concreto”) e Prof. Bernardo Tutikian (“Prevenção de acidentes em edificações de concreto em situação de incêndio”). O presidente do Comitê Editorial da Revista CONCRETO & Construções, Prof. Guilher-

me Parsekian apresentou também uma palestra no Workshop (“A importância do controle na construção de edifícios: proposta da nova norma de alvenaria estrutural”) e coordenou os debates. Por fim, a Profª Fernanda Giannotti da Silva Ferreira, diretora Administrativa da Regional São Carlos, apresentou a palestra “Manifestações Patológicas Frequentes em Edificações de Concreto”.

Com participação de 120 profissionais, o Workshop técnico teve o objetivo de aprofundar a discussão sobre as causas de patologias e acidentes em edificações e indicar procedimentos para sua prevenção.

## Palestra técnica no Ceará

Com o objetivo de levar conhecimento sobre fundações e torres eólicas em concreto foi realizada no último dia 14 de novembro a palestra

“Energia eólica: projeto, fundações e execução do concreto”, em Fortaleza, Ceará.

Com participação de 35 profissionais,

o evento foi uma realização conjunta da Regional IBRACON e Abece, contando com o apoio do Sinduscon-CE e Uni-construir.

## Atividades em Mato Grosso do Sul

No dia 19 de outubro último foi realizado o Workshop “Parede de Concreto” no auditório Arq. Arnaldino da Silva, em Campo Grande, com o objetivo de apresentar o sistema ao público técnico local. Participaram como palestrantes Rubens Monge Silveira (ABCP), João Batista Silva (IBTS), Arcindo Vaqueiro y Mayor (Abesc), Arnaldo Augusto Wendler Filho (Wendler Projetos) e Kátia Rosa Dinodé Macuglia (Katia Dinodé Arquitetura e Interiores). O evento contou com a presença de 170 profissionais e estudantes, e com a participação de seis empresas expositoras.

Já, no último dia 12 de dezembro foi realizado na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul o I Seminário de Durabilidade do Concreto, com palestras do Prof. Paulo Helene (PhD Engenharia), do Eng. Emilio Takagi (MC Bauchemie)

e do Eng. Roberto Curra (Supporting Engenharia).



## Palestra sobre interação solo-estrutura

A interligação entre estrutura, fundação e terreno foi abordada em palestra no Clube de Engenharia do Rio de Janeiro, no último dia 27 de se-

tembro, pelo diretor da Terratek, Eng. Alberto Ortigão. A palestra foi uma realização da Regional do IBRACON no Rio de Janeiro, da

Regional Abece no estado e da Divisão Técnica de Estruturas do Clube de Engenharia do Rio, e contou com o apoio do núcleo regional ABMS.

## Minascon em Uberlândia

A 14ª edição do Minascon, evento que reúne toda a cadeia da construção de Minas Gerais, foi realizada pela primeira vez em Uberlândia, de 11 a 13 de setembro. Realizado pelo Sinduscon do Triângulo Mineiro e Alto Para-

naíba (Sinduscon-TAP), pela Federação das Empresas de Minas Gerais (FIEMG), pelo Sebrae e pela Regional do IBRACON na região, o Minascon contou com a participação de oito mil pessoas, que puderam conhecer os produtos e servi-

ços de 84 empresas do setor, além de assistir à programação técnica do evento, que contou com seis congressos, nove painéis, um workshop, um seminário, dezenas de palestras, dois concursos e diversos cursos.

## Atividades na Regional do Espírito Santo

A Regional do IBRACON no Espírito Santo organizou o II Seminário Capixaba de Manutenção de Estruturas de Concreto Armado no último dia 24 de novembro, no auditório da Federação das Indústrias do

Espírito Santo (Findes), em Vitória. O Seminário contou com palestra do diretor de relações institucionais do IBRACON, Prof. Paulo Helene, sobre conformidade da resistência do concreto.

O Prof. João Luiz Calmon Nogueira da Gama, diretor regional do IBRACON, participou da II Semana Tecnológica de Edificações do Instituto Federal do Espírito Santo, no dia 13 de setembro, no campus de Vitória. ➤





# 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](http://www.ibracon.org.br)

 [facebook.com/ibraconOffice](https://facebook.com/ibraconOffice)

 [twitter.com/ibraconOffice](https://twitter.com/ibraconOffice)

NÓS O CONVIDAMOS PARA VIR AO



# 60° CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

FOZ DO IGUAÇU | 17 A 21 DE SETEMBRO - 2018

## TEMAS

- ▼ Gestão e Normalização
- ▼ Materiais e Propriedades
- ▼ Projeto de Estruturas
- ▼ Métodos Construtivos
- ▼ Análise Estrutural
- ▼ Materiais e Produtos Específicos
- ▼ Sistemas Construtivos Específicos
- ▼ Sustentabilidade

dam world

2018

## Third International Dam World Conference

BRAZIL · Foz do Iguaçu · September 17-21, 2018

SUBMETA SEUS RESUMOS DE TRABALHOS TÉCNICO-CIENTÍFICOS, ACESSANDO: [www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)

INFORME-SE  
sobre cotas

Telefone

(11) 3735-0202

e-mail

arlene@ibracon.org.br

- ▼ Cotas de Patrocínio e Exposição
- ▼ Excelentes oportunidades para divulgação, promoção e relacionamento
- ▼ Espaços comerciais na XIV FEIBRACON  
Feira Brasileira das Construções em Concreto
- ▼ Palestras técnico-comerciais no Seminário de Novas Tecnologias
- ▼ Inscrições gratuitas no evento

## REALIZAÇÃO



Rua Julieta do Espírito Santo Pinheiro, nº 68 – Jardim Olimpia | CEP 05542-120  
São Paulo – SP – Brasil | Telefone (11) 3735-0202 | Fax (11) 3733-2190

[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)

[twitter.com/ibraconOffice](https://twitter.com/ibraconOffice)

[facebook.com/ibraconOffice](https://facebook.com/ibraconOffice)