

CONCRETO

& Construções

Ano LIII

118

ABR-JUN | 2025

ISSN 1809-7197
www.ibracon.org.br



IBRACON

MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS

ESTADO DA ARTE DO CRF, FRP E UHPC PARA REFORÇO DO CONCRETO E A REVOLUÇÃO DO 3CDP

PERSONALIDADE ENTREVISTADA

RENATA MONTE:
EXPERTISE EM CONTROLE
TECNOLÓGICO DE CRF

ESTRUTURA EM DETALHES

TÚNEL IMERSO
SANTOS-GUARUJÁ

ENCONTRO E NOTÍCIAS

EVENTO
TÉCNICO-BENEFICENTE
DO IBRACON

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

ADITIVOS



Eficiência em
Aditivos para
Concreto

ADITIBRAS

Aditivos para Concreto e Auxiliares para Construção Civil



Borregaard

chryso
SAINT-GOBAIN



PENETRON
TOTAL CONCRETE PROTECTION



BUILDING TRUST



ADIÇÕES

Elkem



Tecnosil
SOLUÇÕES ESPECIAIS

PROTENSÃO

EVEHX
GLOBAL CO

ARMADURA



ArcelorMittal

belgo
arames



GERDAU

RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL

ONSITE
ESTRUTURAS

EQUIPAMENTOS



INSTRON



ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



idd-educação avançada

ipt

INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLOGICAS

PUC
CAMPINAS
PONTIFÍCA UNIVERSIDADE CATÓLICA



ESCRITÓRIOS DE PROJETOS



PhD
Engenharia

TQS

JUNTE-SE A ELAS

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

PRÉ-FABRICADOS



CONTROLE TECNOLÓGICO



FÔRMAS



FIBRAS



CONSTRUTORAS



CIMENTO



GOVERNO



EVENTOS



SUMÁRIO

ENTENDENDO O CONCRETO

- 15** Evolução, Métodos e Materiais na Manufatura Aditiva aplicada à Construção Civil



- 21** Concreto reforçado com fibras: aplicabilidade, dosagem e controle

NORMALIZAÇÃO TÉCNICA

- 28** As Novas Normas Brasileiras para Estruturas de Concreto com Barras de FRP

ESTRUTURAS EM DETALHES

- 34** Aspectos do túnel imerso Santos-Guarujá



PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

- 42** Reforço à flexão de vigas de concreto com laminados de CFRP: Comparação entre sistemas passivo e protendido em situação de serviço

- 49** A importância da caracterização mecânica bidirecional de telas de GFRP

- 56** Influência do ângulo de inclinação no ensaio de Cisalhamento Inclinado na interface concreto convencional UHPC

- 62** O Resíduo da Casca do Cacau (RCC) como adição em argamassas: impacto na consistência, massa específica e resistência à compressão



CRÉDITOS DE CAPA
ENSAIO DEWS

CRÉDITO: RENATA MONTE

Seções

- 5** EDITORIAL
- 6** COLUNA INSTITUCIONAL
- 7** CONVERSE COM O IBRACON
- 9** HOMENAGENS PÓSTUMAS
- 10** PERSONALIDADE ENTREVISTADA: RENATA MONTE
- 26** ENTIDADES DA CADEIA
- 68** ENCONTROS E NOTÍCIAS
- 74** ACONTECE NAS REGIONAIS



REVISTA OFICIAL DO IBRACON

Revista de caráter científico, tecnológico e informativo para o setor produtivo da construção civil, para o ensino e para a pesquisa em concreto.

ISSN 1809-7197

Tiragem desta edição: 2.500 exemplares | Publicação trimestral distribuída gratuitamente aos associados

EDITOR-CHEFE

→ Prof. Enio Pazini Figueiredo

JORNALISTA RESPONSÁVEL

→ Fábio Luis Pedrosa — MTB 41.728
fabio@ibracon.org.br

PUBLICIDADE E PROMOÇÃO

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

PROJETO GRÁFICO E DTP

→ Gill Pereira
gill@elementto-arte.com

ASSINATURA E ATENDIMENTO

office@ibracon.org.br

GRÁFICA

Elyon
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 2025 IBRACON

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



INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

Fundado em 1972

Declarado de Utilidade Pública Estadual
Lei 2538 de 11/11/1980

Declarado de Utilidade Pública Federal
Decreto 86871 de 25/01/1982

JULIO TIMERMAN

DIRETOR PRESIDENTE

PAULO HELENE
DIRETOR 1º VICE-PRESIDENTE

ENIO PAZINI FIGUEIREDO
DIRETOR 2º VICE-PRESIDENTE

CLÁUDIO SBRIGHI NETO
DIRETOR 1º SECRETÁRIO

JOSÉ VANDERLEI ABREU
DIRETOR 2º SECRETÁRIO

NELSON COVAS
DIRETOR 1º TESOUREIRO

PAULA LACERDA BAILLOT
DIRETORA 2ª TESOUREIRA

ERICIO THOMAZ
DIRETOR TÉCNICO

MAURÍCIO BIANCHINI
DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS

LEANDRO MOUTA TRAUTWEIN
DIRETOR DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

MARCO ANTONIO CARNIO
DIRETOR DE PUBLICAÇÕES

TÚLIO NOGUEIRA BITTENCOURT
DIRETOR DE EVENTOS

JÉSSICA MARIANA PACHECO MISKO
DIRETORA DE CURSOS

CÉSAR HENRIQUE SATO DAHER
DIRETOR DE CERTIFICAÇÃO DE PESSOAL

RAFAEL TIMERMAN
DIRETOR DE MARKETING

JÉSSICA ANDRADE DANTAS
DIRETORA DE ATIVIDADES ESTUDANTIS

IBRACON

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

PRESIDENTE DO COMITÊ EDITORIAL

Enio Pazini Figueiredo

COMITÊ EDITORIAL MEMBROS

- Carlos Massucato (sustentabilidade)
- Eduardo Aquino Gambale (barragens)
- Fabiano Ferreira Chotoli (qualidade e desempenho)
- Jairo José de Oliveira Andrade (durabilidade)
- Lydio dos Santos B. de Mello (normalização)
- Manfredo Belohuby (cimentos e aditivos)
- Marco Carnio (estruturas e materiais não convencionais)
- Paulo Eduardo F. de Campos (Arquitetura)
- Paulo Fernando Araújo da Silva (controle da qualidade)
- Paulo Helene (tecnologia do concreto)
- Públio Penna Firme Rodrigues (pisos e pavimentos)

→ Ricardo Couceiro Bento (projeto estrutural)

→ Vinicius Caruso (saneamento)

PRESIDENTE DO COMITÊ CIENTÍFICO

Gláucia Dalfré

COMITÊ CIENTÍFICO MEMBROS

- Andrielli Moraes (UFG)
- Ana Elizabete Jacintho (PUC-Campinas)
- Cristiane Bueno (UFSCAR)
- Edna Possan (Unila)
- Emerson Felix (UNESP)
- Fernanda G. da Silva Ferreira (UFSCAR)
- Fernando Couto (UFMG)
- Leandro Mouta (UNICAMP)
- Luiz Carlos de Almeida (UNICAMP)

→ Marcelo Ferreira (UFSCAR)

→ Marcelo H. Farias de Medeiros (UFPR)

→ Margot Fabiana Pereira (UFSCAR)

→ Maria Tereza da Silva Melo (UFCAT)

→ Mariana Posterliti (UFMT)

→ Nadia Carazim (PUC-Campinas)

→ Ricardo Carrazedo (USP/São Carlos)

→ Roberto Christ (UNISINOS)

→ Rodrigo de Melo Lameiras (UNB)

→ Rogério Carrazedo (USP/São Carlos)

→ Sérgio Roberto da Silva (PUC-RS)

→ Wallison Medeiros (UFCAT)

→ Wellington Andrade da Silva (UFCAT)

Discussões relevantes **sobre materiais não convencionais na construção**



Nossa revista está cada vez mais interessante e nos traz como sempre assuntos extremamente importantes para a Engenharia Nacional. Neste número buscamos trazer o Estado da Arte do Concreto Reforçado com Fibras (CRF), do Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC — *Ultra High Performance Concrete*), das Barras de

Polímeros Reforçados com Fibras (FRP — *Fiber Reinforced Polymer*) e também sobre a Revolução da Impressão do Concreto em 3D (3DCP — *3D Concrete Printing*).

Ainda temos outros assuntos interessantes que envolvem o túnel imerso Santos-Guarujá, artigos de pesquisadores que trazem informações sobre adição de resíduos de casca de cacau em argamassas, ensaios em elementos estruturais com reforço de sistemas laminados de polímeros reforçados com fibras (FRP) e também sobre ensaios de telas com barras de polímeros reforçados com fibras (FRP).

Nossa Personalidade Entrevistada é a Profa. Dra. Renata Monte, profissional comprometida com o desenvolvimento de materiais não convencionais para reforço do concreto. Sua entrevista mostra sua dedicação aos temas desta revista.

Todo esse movimento de desenvolvimento dos materiais não convencionais aconteceu por meio do CT303 que surgiu a partir de uma integração entre IBRACON e ABECE, tendo como referência as discussões que foram realizadas na ABECE com a criação, em 2011, do Comitê Técnico “Concreto Reforçado com Fibras”, cujos objetivos eram o aprofundamento de estudos da aplicação estrutural do CRF, o estabelecimento de diretrizes para projeto de estruturas e controle tecnológico do CRF para aplicações estruturais e contribuir para a normalização sobre o assunto. À época

foi utilizado como referência o Código Modelo 2010 da *fib* (Federação Internacional do Concreto Estrutural) e então foi produzido um primeiro texto intitulado “Estruturas de Concreto Reforçado com Fibras — Recomendações para projeto”, publicado em outubro de 2014.

Após alinhamento entre IBRACON e ABECE, foi instalado, em 2015, o CT 303 que foi constituído inicialmente com quatro Grupos de Trabalhos: GT1 — Estruturas de concreto reforçado com fibras, GT2 — Reforço de estruturas existentes de concreto com materiais não convencionais, GT3 — Estruturas de concreto com armadura de materiais não convencionais e GT 4 — Caracterização de materiais não convencionais e fibras para reforço estrutural. Posteriormente, um 5º Grupo de Trabalho foi constituído, o GT5 — Estruturas de Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC). Hoje, os Grupos de Trabalhos se transformaram em Sub-Comitês e estão em atividades.

Com o avanço tecnológico da utilização dos materiais não convencionais, é de fundamental importância o aprofundamento de estudos no que concerne à terminologia, requisitos, métodos de ensaio e procedimentos para projeto e execução. Nesse sentido, os trabalhos desenvolvidos no CT 303 foram um primeiro passo para a normalização desses materiais, tendo atualmente várias normas brasileiras publicadas, algumas em fase de consulta nacional e outras ainda em discussão e novas comissões de normas da ABNT sendo instaladas neste ano (Reforço de Elementos Estruturais aplicados externamente com Sistemas de FRP).

Trabalho coletivo e participativo envolvendo muitos profissionais dedicados em contribuir com o desenvolvimento da Engenharia Nacional. Um pouco disso tudo está nesta revista. Desejo que todos aproveitem e participem das discussões do CT303, pois temos muito que avançar ainda.

Boa leitura!

PROF. DR. MARCO ANTONIO CARNIO
DIRETOR DE PUBLICAÇÕES DO IBRACON
EDITOR-ASSOCIADO DESTA EDIÇÃO 

Venha para o 66º Congresso Brasileiro do Concreto!



Os preparativos para o 66º Congresso Brasileiro do Concreto seguem a todo vapor para que tenhamos um congresso inesquecível. Nosso evento ocorrerá na cidade de Curitiba, conhecida mundialmente por sua infraestrutura e qualidade de vida e uma das metrópoles mais seguras do país. Com uma ampla rede gastronômica

e hoteleira, pontos turísticos fantásticos e uma intensa vida noturna, a cidade oferecerá muito aos participantes de nosso congresso.

A programação técnico-científica desta edição está insuperável, palestras magnas com grandes nomes da engenharia mundial, como o professor Joaquim A. O. Barros, da Universidade do Minho, em Portugal, referência global em engenharia estrutural, o professor Stefan, Foster, da Universidade Novas Gales do Sul, na Austrália, e a professora Karen Scrivener, da Escola Politécnica Federal de Lausanne, na Suíça, referência mundial em descarbonização na construção civil.

Mais de uma dezena de seminários serão realizados dentro do congresso abordando temas como sustentabilidade, materiais não convencionais, concreto dosado em central, temas controversos, nanomateriais para aplicação em concretos, análises de falhas estruturais, inspeção e manutenção de obras de arte, dentre outros.

Além disso teremos a sessão corujão, apresentando os Paradoxos da Engenharia de Concreto Estrutural, com participação de nossos diretores Claudio Sbrighi e Paulo Helene.

Para completar esta vasta programação, ainda teremos centenas de artigos científicos sendo apresentados em sessões orais e em sessões pôsteres. E é claro os concursos estudantis, COCAR, Quem Sabe Faz ao Vivo e Ousadia serão as competições deste ano.

Além de tudo isso, em uma cidade tão inovadora como Curitiba, não teríamos palco melhor para lançar a *Concrete Island*, uma novidade dentro do CBC, sendo esta sua primeira edição. Será um espaço exclusivo para as start ups apresentarem soluções inovadoras para transformar o futuro do concreto.

A indústria também estará presente massivamente em nosso congresso, algumas das maiores empresas do setor já confirmaram sua participação na FEIBRACON, nossa exposição que acontece junto ao Congresso Brasileiro do Concreto, onde teremos stands das maiores empresas do país do setor de concreto e engenharia.

A abertura do evento ocorrerá no Teatro Positivo, um dos melhores locais de espetáculos de Curitiba, o congresso e a FEIBRACON serão realizados no VIASOFT Experience, que conta com uma infraestrutura fenomenal e proporcionará uma experiência inesquecível aos participantes do congresso. Teremos nosso jantar de encerramento no Salão Azul do Clube Curitibano, renomado espaço de eventos e com uma gastronomia de excelência.

Esperamos todos em Curitiba entre os dias 28 e 31 de outubro, em um evento que, com certeza, ficará para a história, não perca esta oportunidade de participar de um dos maiores eventos técnico científicos do país e ainda se divertir e conhecer tudo que Curitiba pode oferecer.

MAURÍCIO BIANCHINI

DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS

DIRETOR REGIONAL DO PARANÁ

PERGUNTAS TÉCNICAS

ESTOU EXECUTANDO UMA OBRA NA QUAL, PARA UMA DETERMINADA LAJE, O CONCRETO COMPRADO COM f_{ck} 40 MPa APRESENTOU RESISTÊNCIAS QUE NÃO PASSARAM DE 30 MPa NOS ENSAIOS EXECUTADOS PELO LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA DO CONCRETO PARA ACOMPANHAR TODA A CONCRETAGEM.

AO QUESTIONAR A CONCRETEIRA, FORAM EXTRAÍDOS TESTEMUNHOS APÓS PASSADOS 164 DIAS DA CONCRETAGEM. NO RELATÓRIO COM 6 LOTES (36,4/38,7/40,4/40,6/42,6/49,6) DE EXTRAÇÃO, 2 LOTES FORAM REPROVADOS POR VALOR ABAIXO DE 40 MPa. PORÉM, SOB MEU PONTO DE VISTA, OS DEMAIS LOTES, PARA SEREM CONSIDERADOS APROVADOS, DEVEM SER CORRIGIDOS POR UM COEFICIENTE, POR TEREM 164 DIAS. QUAL COEFICIENTE UTILIZAR? E ATÉ ONDE ESTOU CERTO?

Renato Rodrigo de Araujo
ENG. CIVIL CREA MG 85932/D

Caro Renato. Em primeiro lugar, costumo e recomendo separar bem os objetivos: um objetivo é COMERCIAL e diz respeito a ter comprado uma resistência e ter recebido, aparentemente, outra.

Isso é fácil de resolver se você tiver certeza da qualidade das operações de ensaio do Laboratório (o Laboratório é Acreditado pelo INMETRO para moldar em campo e romper os corpos de prova na sede?).

Deve-se lembrar que a Concreteira entrega concreto fresco em processo de fabricação e o Laboratório faz a amostragem (em geral, fora da regra), a moldagem (em geral, sem atender à norma), a cura e transporte (em geral, absolutamente fora das normas, pois um concreto jovem de 24h a 36h é um “bebê” que precisa de muito carinho e cuidado), leva para um tanque de

água fora da temperatura e sem cal hidratada, faz uma pilha que não pode, não lixa os topos e usa um capeamento de neoprene vencido, e rompe sem centralizar nem comprovar com um papel carbono.

Nossa experiência e a da maioria dos laboratórios sérios e com Acreditação pelo INMETRO é que de cada 3 resultados que condenam o concreto, 2 são erros de ensaio e apenas 1 é deficiência do concreto!!

Qualquer erro e desacordo com as normas de amostragem, coleta, moldagem, adensamento, cura nas primeiras 36h, transporte, armazenamento, cura/sazonamento no laboratório, preparação dos topos, aferição da prensa, centralização do corpo de prova na prensa, planicidade do contato com os pratos da prensa, só reduzem a resistência à compressão do concreto.

Nada aumenta a resistência de concreto que chegou fresco e bem misturado na obra... a não ser desonestidade (*aumentar deliberadamente a velocidade de carga na prensa ou secar o cp antes de romper*)! Se alguém encontrar uma maneira de aumentar a resistência do concreto depois de amassado, entregue na obra e conforme com o Recebimento, não perca tempo, patenteie a descoberta e vai ficar bilionário!!!!... e, por favor, me avise para eu mudar o meu discurso!

Então, se você tem um Laboratório acreditado pelo INMETRO e que faz corretamente as operações de ensaio e você confia nele, fica simples: comprou um $f_{ck} = 40$ MPa e recebeu um $f_{ck} = 30$ MPa, paga o preço de $f_{ck} = 30$ MPa e cobra da Concreteira as demais despesas decorrentes deste fato.

O segundo objetivo é COMPROVAÇÃO, ou seja, comprovar se o laboratório acertou ou errou nas operações de ensaio. Neste caso, precisa extrair testemunhos de concreto (NBR 7680), fazer uma contraprova, mas, infelizmente, bem meia-boca, porque já é difícil um laboratorista amostrar, moldar, adensar, curar de forma correta um concreto... imagina esse concreto na mão dos “peões” de obra!!!!

O concreto da obra terá SEMPRE uma resistência bem mais baixa que o concreto do corpo de prova padrão submetido a condições ideais. Óbvio que se o resultado do extraído for maior que o do moldado, quem errou foi o Laboratório... e isso acontece muitas vezes!!!! Neste caso não cobrar nada da Concreteira e cobrar do Laboratório as despesas desnecessárias.

O importante é dizer que se os Laboratórios erram no feijão com arroz do corpo de prova moldado, imagina quanto erram nas operações de extração e ensaio de testemunhos. Já atendi casos em que um Laboratório erra no controle, outro Laboratório (nunca o mesmo) erra na extração e ensaio do testemunho e precisa um TERCEIRO laboratório para encontrar a real resistência do concreto que sempre esteve lá na estrutura, mas os ensaios nos diziam, equivocadamente, que o concreto era não conforme.

O terceiro objetivo é TÉCNICO, ou seja, entender o que significa a resistência medida através de testemunhos extraídos e qual a consequência desse resultado na segurança, durabilidade e desempenho da estrutura.

Envolve o significado da resistência in situ, denominada na *fib* Model Code como $f_{c,ais}$ e no Brasil como $f_{c,ext}$, envolve

a idade, envolve a data de atuação efetiva de cargas elevadas (cargas de projeto $\cdot \gamma_f$), envolve o tipo de cimento, a relação a/c, enfim envolve o significado do f_{ck} e do f_{cd} que, infelizmente, ainda há muita dúvida e confusão no meio técnico do país.

No final da década de 60 e início da década de 70, houve uma grande revolução na forma de introduzir a segurança no projeto das estruturas de concreto capitaneada pelo então CEB, hoje *fib*.

A grosso modo (pois faço uma análise detalhada no meu livro “Manual de Dosagem e Controle do Concreto” que pode ser adquirido na book store da website da PhD: www.phd.eng.br), no CEB Model Code 1970 (1978), foi introduzido o método semiprobabilista ou método dos coeficientes parciais, no qual considera-se as ações (cargas) e as resistências do concreto e aço como variáveis aleatórias.

A valores característicos dessas variáveis, quantil superior de 5% para cargas (ações) e quantil inferior de 5% para as resistências, são aplicados vários coeficientes “de segurança” ou “de desconhecimento”, majorando as ações e minorando as resistências.

Dessa forma, obtêm-se os valores, agora fixos, de cálculo, indicados com o subscrito ‘d’ de design (projeto). Portanto, passa de ações características F_k a ações de cálculo F_d , usando um coeficiente de majoração γ_f .

Para as resistências, mesmo raciocínio, passa de f_{ck} para f_{cd} , usando vários coeficientes (γ_c , α_{cc} , η_{fc}) e o aço de f_{yk} para f_{yd} usando gamas.

Daí pra frente, é tudo fixo e vale a teoria de projetar segundo a mecânica das estruturas, a teoria da elasticidade e

da plasticidade em alguns casos, tudo deterministicamente.

A importância e vantagem desse monte de coeficientes, ao invés de um ou dois como era até 1978, é que cada um representa uma variável desconhecida e à medida que vamos conhecendo melhor essa variável, a gente pode ir aperfeiçoando o método, sem comprometer a segurança.

Por exemplo, hoje o *fib* Model Code 2020 prescreve $\gamma_c = \gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2} \cdot \gamma_{c3} = 1,37 \cdot 1,05 \cdot 1,05 = 1,50$, onde já há um consenso que 1,05 se refere à imprecisão de modelos de cálculo e diferenças geométricas e 1,37 se refere a todas as diferenças entre a resistência do concreto do corpo de prova padrão que fornece a resistência potencial do concreto na boca da betoneira e a resistência do concreto (efetiva) na estrutura real. Muito bacana e podemos ir afinando...

Mas, além do γ_c , tem de levar em conta a idade que interfere no grau de hidratação do cimento durante toda a vida útil da estrutura (50 anos), que aumenta muito a resistência do concreto efetivo da estrutura real comparado com a resistência do corpo de prova na idade de ruptura, em geral 28 dias, conhecido por $f_{ck,est}$. Mas, falta ainda considerar o decréscimo da resistência devido às cargas de longa duração (efeito Rusch). O *fib* Model Code 2020 introduziu então o coeficiente α_{cc} para representar o produto desses dois coeficientes, o que cresce e o que decresce.

Resumindo, admitindo γ_c fixo e igual a 1,5, que é minha recomendação e também a da *fib*, podemos “jogar” com o α_{cc} , que é o produto de duas equações (modelos matemáticos), que representam os dois fenômenos de crescer e de decrescer.

Então para responder a você, a gente precisa fazer o produto para cada caso, levando em conta se o elemento em pauta (pelo que entendi uma laje) já recebeu a carga de projeto nesses 164 dias antes da extração, ou não. Se não recebeu a carga de projeto, mesmo que por apenas 15 minutos ou mais, pode regredir a resistência utilizando o coeficiente s da curva de crescimento, desde que você saiba qual o tipo de cimento utilizado (CP I, II, III, IV ou V), em geral descrito na carta traço.

Se você já carregou a laje antes de extrair os testemunhos, então você deve usar o inverso do α_{cc} , ou seja aumentar $f_{c,ext}$ para regredir a f_c 28 dias.

Minha sugestão final é você “engenhrear” a resposta, ou seja, usar ciência+bom senso. Examina a obra, está bonita, perfeita, laje sem flecha, espessura de laje correta, sem bicheira, sem friabilidade superficial, aceita e esquece.

Se a obra estiver mal feita, laje com flecha, espessura errada para menos ou para mais, superfície friável, com bicheira... considera a resistência média da laje, verifica a segurança e toma as providências cabíveis.

Na minha opinião, regredir resistência a 28 dias admitindo ou supondo uma curva de crescimento e outra de decréscimo é sempre desaconselhável no caso de verificação estrutural, mas pode ser feito no caso de comprovação (contra-prova) do controle do c_p moldado. O ACI 318, eu e outros pesquisadores recomendam desprezar a idade nessas verificações estruturais.

PROF. PAULO HELENE

VICE-PRESIDENTE DO IBRACON,

DIRETOR PhD ENGENHARIA 

Antonio **Laranjeiras**

A engenharia civil brasileira se ressentiu pela perda do renomado professor emérito da Universidade Federal da Bahia, Antonio Carlos Reis Laranjeiras, que faleceu no último 31 de março.

O Professor Laranjeiras, como era conhecido na comunidade virtual que criou – Calculistas-BA, posteriormente denominado Calculistas-BR – e também nos eventos nos quais participava, como as várias edições do Congresso Brasileiro do Concreto, onde foi palestrante convidado por diversas vezes, atuou como engenheiro no Departamento de Infraestrutura de Transporte da Bahia, de 1956 a 1992, e foi professor livre docente da disciplina de estabilidade das construções e professor titular da disciplina de concreto armado na UFBA, onde se formou.

Fez diversos cursos de especialização e pós-graduação, tendo aprendido e trabalhado com o professor Hubert Rüsch, na Universidade de Munique, na Alemanha. De sua extensa formação



Prof. Laranjeiras recebendo prêmio da ABECE do então presidente Braguim



Placa de homenagem ao Laranjeiras, entregue ao Eng. Ademir dos Santos, amigo pessoal e parceiro de vários trabalhos profissionais, que o repassará à viúva, Sra. Lícia Laranjeiras, no evento XVI CBPE — Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

na área, publicou mais de 30 artigos, proferiu diversas palestras, participou ativamente das comissões de estudo e revisão de normas brasileiras e foi professor convidado em universidades federais das regiões Norte, Nordeste e Sudeste.

Como diretor técnico da ACR Laranjeiras, projetou estruturas de obras de arte especiais, edificações, estádios de futebol, reservatórios de água e esgoto e de obras industriais, além de fazer verificação de projetos de recuperação de estruturas.

Pelo legado de seus ensinamentos e projetos, recebeu, em 1983, o Prêmio Emílio Baumgart do IBRACON, como destaque do ano em Engenharia Estrutural; e, em 2008, o Prêmio Francisco de Assis Basílio, como profissional de destaque na região de realização do Congresso Brasileiro do Concreto. Neste ano, recebeu também o título de Personalidade da Engenharia Estrutural da ABECE. Laranjeiras foi ainda diretor regional e sócio honorário do IBRACON.

Gerardo **Santos Filho**

O mês de março foi marcado também pelo falecimento de outro diretor regional do IBRACON, este no Ceará, Gerardo Santos Filho, no dia 29 de março. Ele foi diretor regional de 2009 a 2011 e coordenou a comissão organizadora regional do 52º Congresso Brasileiro do Concreto.



Em 9 de dezembro de 2024, tivemos a perda do engenheiro projetista e sócio honorário do IBRACON, Aluizio D'Ávila, sócio fundador do escritório Aluizio D'Ávila Engenharia de Projetos, ganhador de diversos prêmios por suas obras emblemáticas.

Gerardo
Santos Filho



Renata Monte

O interesse de Renata Monte pela construção civil começou cedo, ainda no colégio, onde cursou edificações. Em seguida, se graduou em construção de edifícios pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC) e engenharia civil pela Universidade de Mogi das Cruzes. Seu mestrado e doutorado em engenharia civil foi realizado na Universidade de São Paulo (USP).

Renata Monte é professora do Departamento de Engenharia de Construção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Por 24 anos, foi especialista em laboratório na instituição, sendo que seu conhecimento das particularidades dos ensaios do Concreto Reforçado com Fibras (CRF) a levaram a integrar o Comitê Técnico 303 do IBRACON, coordenar normas e orientar pesquisas sobre o tema.

Nesta entrevista, a Profa. Monte aborda os propósitos e cuidados na aplicação do CRF, o avanço propiciado pela sua normalização e de outros materiais não convencionais, e o que precisa ainda evoluir no setor construtivo quanto ao uso de materiais não convencionais.

IBRACON PARA CONTEXTUALIZAR QUEM É A RENATA MONTE PARA O LEITOR, RESUMA SUA TRAJETÓRIA PROFISSIONAL DESDE SUA GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS NA FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO ATÉ SE TORNAR PROFESSORA DOUTORA DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP, DISCORRENDO SOBRE SUAS MOTIVAÇÕES, DESAFIOS E CONQUISTAS.

| **RENATA MONTE** | Na verdade, minha trajetória na área da Engenharia Civil começou antes disso, pois fiz curso técnico em edificações. A motivação pela escolha carreira foi após visitar uma exposição de projetos de alunos na escola técnica. Fiquei encantada! Do técnico, fui cursar a FATEC, onde fiz concurso para auxiliar docente no laboratório de física aplicada. Nesse momento, veio o segundo *insight* de que eu gostava de trabalhar com laboratório e de ensinar. Logo depois de formada, ingressei no Departamento de Engenharia de Construção da Escola Politécnica da USP como Especialista em laboratório, onde fiquei por quase 24 anos, atuando com pesquisas experimentais e aulas laboratoriais para alunos de graduação e pós-graduação. Complementei a graduação em Engenharia Civil na UMC (Universidade Mogi das Cruzes), fiz

mestrado e doutorado, ambos na USP. Desde 2024, deixei o cargo de Especialista e sou professora do mesmo departamento na USP na área de Tecnologia e gestão da construção civil.

IBRACON DESDE SUA GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL, VOCÊ MOSTROU INTERESSE PELAS FIBRAS DE AÇO NO CONCRETO. POR QUE ESTE INTERESSE POR ESTE MATERIAL CONSTRUTIVO?

| **RENATA MONTE** | Eu não tenho interesse apenas em fibras para concreto. Eu definiria que meu interesse é mais concentrado em materiais cimentícios, mas já trabalhei com materiais para impermeabilização que tem matriz polimérica, por exemplo. O que acontece é que o CRF (concreto reforçado com fibras) foi o tema do meu doutorado e sempre esteve muito presente nas pesquisas que participei e publicações que realizei. Além disso, o meu conhecimento dos métodos de ensaio para caracterização desse material, que é tão particular, fez com que eu participasse do CT303 (Comitê Técnico do IBRACON sobre materiais não convencionais), coordenasse as normas brasileiras no tema, orientasse pesquisas e participasse de bancas em outras instituições; por isso sou associada a esse material.

“

[NA AUSÊNCIA DE NORMAS TÉCNICAS], UMA APLICAÇÃO PODE SER AVALIADA COM SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E VALIDADA POR ENSAIOS EM MODELOS FÍSICOS

”

IBRACON QUANDO E PARA QUE FORAM INTRODUZIDAS AS PRIMEIRAS FIBRAS DE AÇO NO CONCRETO? EM QUE MOMENTO E PARA QUE VIERAM AS FIBRAS POLIMÉRICAS E DE VIDRO?

| **RENATA MONTE** | O uso de fibras naturais para reforço de materiais frágeis, como na fabricação de tijolos, é documentado até em escrituras sagradas. O uso mais moderno de materiais industrializados, como as fibras de aço, já tem mais de 60 anos e, mesmo não estando lá, imagino que teve como objetivo diminuir as limitações comportamentais do concreto na tração. As poliméricas só vieram depois com o aperfeiçoamento da tecnologia dos polímeros, tendo iniciado com as microfibras para a preocupação inicial de substituir o amianto, e para redução da retração plástica e *anti-spalling* em situações de incêndio. Depois se avançou para o reforço estrutural do concreto, nesse caso com uso das macrofibras poliméricas e de vidro.

IBRACON NO FINAL DA DÉCADA DE 1980, UM CONVÊNIO ENTRE USP E CBPO DESENVOLVEU UM CONCRETO PROJETADO COM FIBRAS PARA REVESTIMENTO DE TÚNEIS VIA ÚMIDA, QUE FOI APLICADO NUM TRECHO DE MAIS DE 100M DE UM TÚNEL EXPERIMENTAL TIPO NATM. FOI A PRIMEIRA VEZ NO PAÍS QUE SE APLICOU FIBRAS EM CONCRETO?

| **RENATA MONTE** | Eu ainda não estava na USP na época desse convênio e imagino que não tenha sido a primeira aplicação, mas pode ter sido a

primeira mais bem-sucedida e que representou um marco para o concreto projetado com fibras no Brasil. Resultou o desenvolvimento de importantes pesquisas de mestrado e doutorado que demonstraram o potencial desse material.

IBRACON ATUALMENTE, QUAIS AS PRINCIPAIS APLICAÇÕES DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS?

| **RENATA MONTE** | Os pisos industriais ainda são a maior utilização e o volume empregado é mais estável. Isto porque outro uso consagrado é no concreto para túneis, tanto projetado quanto nas aduelas, mas essas aplicações são mais dependentes da existência desses projetos e, por isso, são mais sazonais.

IBRACON AS APLICAÇÕES DE FIBRAS SÃO CLASSICAMENTE REALIZADAS EM PISOS E PAVIMENTOS, TENDO O USO BASTANTE DIFUNDIDO. CONTUDO, O QUE FALTA PARA UMA MAIOR UTILIZAÇÃO EM NOVAS APLICAÇÕES COM MENOR REDUNDÂNCIA ESTRUTURAL? O QUE FAZER QUANDO NÃO HÁ NORMAS QUE REGULAMENTAM TAIS APLICAÇÕES, MESMO EM ÂMBITO INTERNACIONAL?

| **RENATA MONTE** | Essa é uma pergunta interessante. Preciso usar apenas CRF em aplicações como essas? Devemos adotar o material que melhor performa para aquela aplicação. O CRF não precisa atuar sozinho, pode ser um reforço híbrido. A norma técnica não é uma muleta, é sempre bom quando temos uma norma porque,



Ensaio de flexão em corpo de prova prismático com entalhe

quase sempre, indica que houve certa maturidade acadêmica e técnica sobre o tema. Porém, na sua ausência, uma aplicação específica pode ser avaliada com simulação computacional e validada por ensaios em modelos físicos.

IBRACON DO PONTO DE VISTA LEGAL, COMO SE GARANTIR UMA ESTRUTURA EM CRF? ATÉ ONDE EXISTE O LIMITE LEGAL PARA USO DE NORMAS INTERNACIONAIS?

| **RENATA MONTE** | Independente do material, a responsabilidade é do profissional, seja um concreto convencional ou especial ou como o CRF. A norma é um balizador para as atividades de projeto, controle e execução, e não um escudo legal para justificar as decisões de engenharia. Na inexistência de normas nacionais, o uso de normas e referências internacionais validadas com protótipos e condições locais podem embasar as decisões de engenharia.

IBRACON O USO DAS FIBRAS NO CONCRETO CARECE AINDA DE UMA MELHOR CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DAS FIBRAS E DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS? OU OS REQUISITOS MÍNIMOS NECESSÁRIOS DE COMPORTAMENTO DO CRF SÃO BEM CONHECIDOS E DISSEMINADOS PARA SEU DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL PARA DIFERENTES APLICAÇÕES (STRAIN-HARDENING E SOFT-HARDENING)?

| **RENATA MONTE** | Os requisitos para projeto estão explícitos na norma e a forma adequada de caracterizá-los. Porém, a caracterização do CRF não é trivial.

São ensaios mais complexos que demandam infraestrutura e treinamento para realizá-los. Antes da publicação das normas brasileiras, os laboratórios não eram capacitados e dificilmente se encontrava um laboratório fora das universidades para realizar ensaios de CRF. Com alguns anos de publicação das normas, espero que o cenário tenha melhorado e que os laboratórios tenham trabalhado para adequar sua infraestrutura para que se tenha confiança nos ensaios por eles realizados.

IBRACON HOUVE MUDANÇAS CONCEITUAIS E TEÓRICAS DE DIMENSIONAMENTO DO CRF COM A ATUALIZAÇÃO DO CÓDIGO MODELO *fib* 2020, QUE SERVE DE BASE PARA AS NORMAS BRASILEIRAS SOBRE O CRF? QUAIS?

| **RENATA MONTE** | Não. O modelo de dimensionamento e o ensaio de referência, de flexão com entalhe similar ao da norma brasileira NBR 16940, continuam os mesmos. A alteração mais significativa foi a previsão de um modelo para o controle de qualidade do CRF. O código modelo 2020 indica que o controle pode ser feito com o ensaio de duplo puncionamento, que também tem na norma brasileira, a NBR 16939, desde que previamente verificado sua correlação com o ensaio de referência. Além disso, o código modelo atualizado traz referência aos ensaios indutivo e DEWS para avaliar a orientação das fibras no CRF.

IBRACON A NORMALIZAÇÃO DO USO DE FIBRAS NO CONCRETO TEM ACOMPANHADO A DIVERSIFICAÇÃO E EXPANSÃO DO USO DE FIBRAS, TANTO DO PONTO DE VISTA DA SEGURANÇA ESTRUTURAL QUANTO DA DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS?

| **RENATA MONTE** | Com certeza! Agora, além da norma de fibras de aço, temos normas para fibras poliméricas e de vidro AR, que contemplam a avaliação da resistência ao meio alcalino dessas fibras. Isso é fundamental para a durabilidade das fibras no concreto. Do ponto de vista de segurança estrutural, os projetistas têm a norma de projeto de estruturas e as normas de ensaios de caracterização e controle da qualidade.

IBRACON OS ENSAIOS CLÁSSICOS, A EXEMPLO DOS PRECONIZADOS PELA NBR 16940 E EN14651, NÃO SÃO ONEROSOS NO SENTIDO DE REQUEREREM EQUIPAMENTO ESPECIAL DE CIRCUITO FECHADO E NÚMERO ELEVADO DE CORPOS DE PROVA PARA MITIGAR A ELEVADA VARIABILIDADE INTRÍNSECA A ESTES ENSAIOS? NÃO SERIA O CASO DE APRIMORARMOS OS ENSAIOS DE PEQUENA ESCALA – BARCELONA, DEWS, MONTEVIDÉU?

| **RENATA MONTE** | Sim, o ensaio de flexão com entalhe é mais complexo e o equipamento adequado é fundamental para que a instabilidade não comprometa o resultado. Os ensaios de pequena escala são sim excelentes alternativas e, inclusive, o ensaio de duplo puncionamento (também denominado Barcelona) é normalizado no Brasil para ser um ensaio alternativo.

“

ANTES DA PUBLICAÇÃO DAS NORMAS
BRASILEIRAS, OS LABORATÓRIOS NÃO ERAM
CAPACITADOS E DIFICILMENTE SE ENCONTRAVA
LABORATÓRIO FORA DAS UNIVERSIDADES
PARA REALIZAR ENSAIOS DE CRF

”

“

AGORA, ALÉM DA NORMA DE FIBRAS DE AÇO,
TEMOS NORMAS PARA FIBRAS POLIMÉRICAS
E DE VIDRO AR, QUE CONTEMPLAM
A AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA
AO MEIO ALCALINO DESSAS FIBRAS

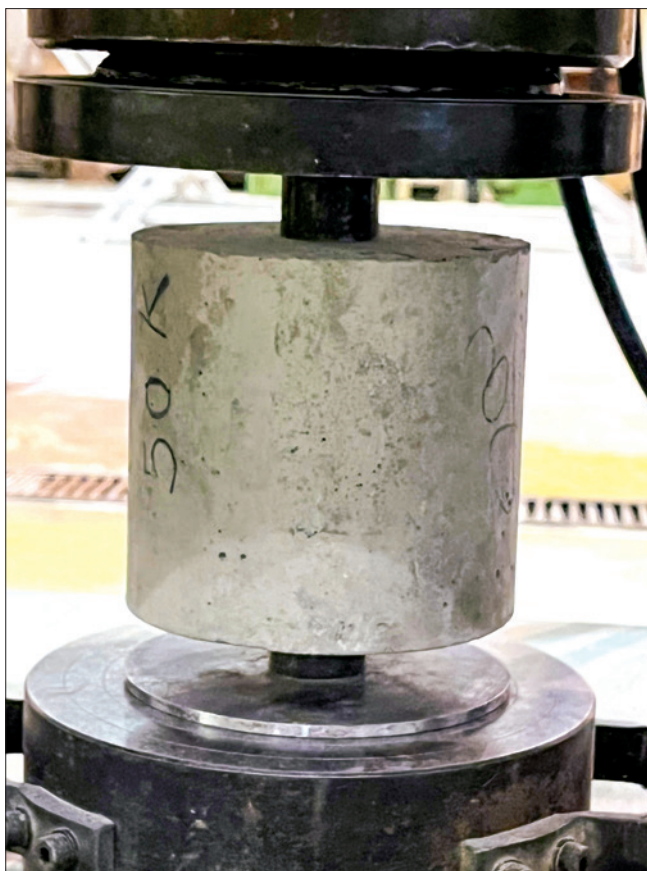
”

Os outros ensaios citados vêm sendo estudados em pesquisas acadêmicas com essa finalidade e espero que, no futuro, tenhamos normas técnicas de outros ensaios para que se tenha mais opções para a caracterização e controle do CRF.

IBRACON **QUAIS AVANÇOS TIVEMOS NO USO DAS FIBRAS NO CONCRETO COM A PUBLICAÇÃO DAS NORMAS BRASILEIRAS SOBRE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE 2021 E OUTRAS CORRELATAS? HOJE AINDA SÃO FEITAS OBRAS DE CRF SEM CONTROLE TECNOLÓGICO ADEQUADO NO PAÍS? OU O ENSAIO DE DUPLO PUNCIONAMENTO É CORRIQUEIRO NESSAS OBRAS?**

| **RENATA MONTE** | A publicação de normas é muito importante, pois ela é um documento de referência, balizamento para o mercado. Ela também contribui para padronizar os procedimentos de ensaio e dar diretrizes para o controle tecnológico. Porém, apenas a existência de normas não resolve o problema da falta de controle tecnológico. É preciso conscientização e responsabilidade técnica por parte do mercado, isso inclui os projetistas, construtores e fornecedores de material. O duplo puncionamento foi proposto como um ensaio mais simples para que pudesse ser utilizado no controle corriqueiro, espero que esteja cumprindo essa função.

IBRACON **POR VEZES SE OUVE A CRÍTICA DE QUE ALGUNS FABRICANTES DE FIBRAS**



Ensaio de duplo puncionamento em corpo de prova cilíndrico

NÃO CARACTERIZAM DEVIDAMENTE SEUS PRODUTOS, COMO NÃO DIZER QUE A FIBRA POLIMÉRICA OU DE VIDRO NÃO É RESISTENTE A ÁLCALIS. A CRÍTICA É APROPRIADA? COMO ESSE CENÁRIO PODE MUDAR?

| **RENATA MONTE** | Desconheço essa crítica, mas agora temos normas para esses materiais e os ensaios para verificação não são complexos e tampouco muito caros.

IBRACON **QUAL A SUA OPINIÃO SOBRE A CRIAÇÃO DE NORMAS E BOAS PRÁTICAS PARA A**

DIFUSÃO DE “NOVAS FIBRAS”, A EXEMPLO DAS FIBRAS CELULÓSICAS, ESPECIALMENTE NOS DIAS ATUAIS EM QUE O TEMA DE SUSTENTABILIDADE É BASTANTE EXPLORADO?

| **RENATA MONTE** | Acho que as normas técnicas e outros documentos técnicos são sempre bem-vindos. Principalmente os boletins técnicos e práticas recomendadas são documentos muito importantes para disseminar o conhecimento e servir de referência para a criação das normas técnicas.

IBRACON **VOCÊ PARTICIPA DO COMITÊ TÉCNICO 303 USO DE MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO. AS FIBRAS PODEM ATUALMENTE SEREM CONSIDERADAS COMO MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS DA CONSTRUÇÃO?**

| **RENATA MONTE** | Sim, com certeza é um material não convencional para estruturas de concreto. Até poucos anos, não tínhamos nenhuma norma técnica para a caracterização do CRF, que não é nada simples. Então, para

mim, ainda vai demorar para que as fibras se tornem um material convencional para uso em estruturas de concreto.

IBRACON **QUAIS SÃO ATUALMENTE OS MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS DA CONSTRUÇÃO MAIS IMPORTANTES? PARA QUAIS FINALIDADES PRINCIPAIS SÃO USADOS? POR QUÊ?**

| **RENATA MONTE** | Com foco em materiais não convencionais para reforço em estruturas de concreto, além das fibras, eu citaria as barras e telas de polímero reforçado com fibras. Tratam-se de barras e telas não metálicas para uso em concreto em substituição das armaduras convencionais. As barras foram recém-normalizadas no Brasil, tanto a caracterização quanto o projeto de estruturas com este material. Tem como vantagens a resistência à corrosão, durabilidade e leveza, mas apresenta comportamento frágil.

IBRACON **O USO DESSES NOVOS MATERIAIS CARECE AINDA DA MELHOR COMPREENSÃO DE SEU COMPORTAMENTO E DE NORMALIZAÇÃO?**

| **RENATA MONTE** | Sim. No caso das barras, é importante continuar os estudos e trabalhos do CT303 para complementar as normas publicadas para situações como o uso das barras de FRP como armaduras ativas, uso híbrido FRP e armadura convencional, por exemplo.

IBRACON **QUANDO DEVEM SER PUBLICADAS AS NORMAS BRASILEIRAS SOBRE O CONCRETO DE ULTRA-ALTO DESEMPENHO? O QUE ESSAS NORMAS CONTEMPLARÃO PARA AUXILIAR NA APLICAÇÃO DESTES CONCRETOS?**

| **RENATA MONTE** | O trabalho da comissão de estudos do CB-18 está pausado no momento, pois já foram entregues à ABNT os textos para editoração e futura consulta nacional. Acredito que ainda esse ano sairão as primeiras normas brasileiras de UHPC com foco na classificação e nos métodos de ensaio para sua caracterização.

IBRACON **QUAIS SUAS RECOMENDAÇÕES PARA QUEM PRETENDE USAR FIBRAS E OUTROS MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO?**

| **RENATA MONTE** | É fundamental se buscar conhecimento sobre o material,



Ensaio indutivo em corpo de prova cilíndrico

suas características e particularidades e partir de referências confiáveis. Não ser um defensor cego de determinado material, entender que cada um tem uso mais indicado para determinada aplicação e fazer uma escolha técnica, e não econômica ou partidária. O uso de materiais sem o conhecimento do seu comportamento, suas limitações e especificidades, pode resultar em insucesso na sua aplicação e até prejudicar a disseminação de uma tecnologia promissora.

IBRACON **FORA DO AMBIENTE DE TRABALHO, O QUE COSTUMA FAZER COMO HOBBIES?**

| **RENATA MONTE** | Eu já tive muitos hobbies relacionados a trabalhos manuais, como a pintura de tecido e de livros e o bordado, mas, no momento, qualquer tempo livre eu uso para assistir a séries, principalmente as asiáticas. ☺

“

ACREDITO QUE AINDA ESSE ANO
SAIRÃO AS PRIMEIRAS NORMAS
BRASILEIRAS DE UHPC COM FOCO NA
CLASSIFICAÇÃO E NOS MÉTODOS DE
ENSAIO PARA SUA CARACTERIZAÇÃO

”

Evolução, métodos e materiais na manufatura aditiva aplicada à construção civil

FELIPE S. B. JORGE - MESTRE - <https://orcid.org/0000-0001-8199-9466> (felipe.jorge@ifro.edu.br) — IFRO Campus Vilhena
CONRADO DE SOUZA RODRIGUES - DR. — CEFET - MG

RESUMO

O ARTIGO ABORDA A EVOLUÇÃO DO PROCESSO DE MANUFATURA ADITIVA CONHECIDO COMO IMPRESSÃO 3D, DESDE SEU SURGIMENTO NOS ANOS 1980 ATÉ SUA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL. INICIALMENTE UTILIZADA NA PRODUÇÃO DE PEÇAS PEQUENAS E COMPLEXAS PARA AS INDÚSTRIAS AUTOMOTIVA E MÉDICA, A TECNOLOGIA AVANÇOU COM NOVOS MÉTODOS, COMO ESTEREOLITOGRAFIA, SINTERIZAÇÃO SELETIVA A LASER E MODELAGEM POR DEPOSIÇÃO FUNDIDA. NA CONSTRUÇÃO CIVIL, A IMPRESSÃO 3D GANHOU DESTAQUE A PARTIR DE 2014 COM A IMPRESSÃO DE CONCRETO (3DCP), PERMITINDO A CRIAÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS SEM FORMAS TRADICIONAIS E REDUZINDO MÃO DE OBRA E DESPERDÍCIO. OS PRINCIPAIS MÉTODOS SÃO A IMPRESSÃO POR EXTRUSÃO E POR LEITO DE PARTÍCULAS, EXIGINDO MATERIAIS ESPECÍFICOS COM BOA BOMBEABILIDADE, EXTRUDABILIDADE E ADERÊNCIA ENTRE CAMADAS. ALÉM DISSO, A PESQUISA DESTACA O USO DE EQUIPAMENTOS COMO PÓRTICOS E BRAÇOS ROBÓTICOS PARA OTIMIZAR O PROCESSO. A TECNOLOGIA APRESENTA DESAFIOS, MAS PROMETE REVOLUCIONAR A ENGENHARIA CIVIL E A ARQUITETURA.

PALAVRAS-CHAVE: MANUFATURA ADITIVA, CONSTRUÇÃO CIVIL, TECNOLOGIA.

1. INTRODUÇÃO

O processo de impressão 3D, ou manufatura aditiva, surgiu no final do século XX com o objetivo de produzir de forma automática peças de tamanhos reduzidos a partir de modelos digitais. A partir do desenvolvimento dessa tecnologia, alguns setores passaram a adotá-la para produção de elementos com alta precisão, como é o caso da indústria automotiva, espacial e na medicina. Desde seu

surgimento, diversos materiais têm sido adotados para diferentes tipos de processos de impressão, como é o caso dos polímeros, metais e, em última análise, os compostos cimentícios e demais materiais de construção.

O objetivo desse trabalho é fazer um apanhado histórico da evolução dos processos de manufatura aditiva, os principais materiais empregados e a evolução dos métodos de impressão. Em uma análise mais aprofundada, serão abordados os primeiros passos dessa tecnologia na construção civil, as características necessárias dos materiais a serem empregados, bem como as diferenças nos processos de execução. Pretende-se, com essa revisão, disseminar o conhecimento acerca dessa tecnologia na busca de mitigar seus entraves, que, apesar de existentes, já apresentam grande evolução em termos de soluções, tornando esse processo construtivo uma realidade promissora na área da Engenharia Civil e Arquitetura.

1.1 Histórico da impressão 3D

Segundo Hager *et al.* (2016), a tecnologia de impressão em 3D surgiu no início da década de 1980, através da pesquisa de Charles W. Hull. Surge o processo de estereolitografia, que consistia na prototipagem rápida de elementos a partir de um software de computador e a utilização de resinas poliméricas com propriedades capazes de viabilizar seu uso em situações específicas. Esse processo permitiu a produção de peças com alta precisão e geometrias mais complexas, possibilitando seu uso em diversas áreas, como a produção de próteses e instrumentos para área mé-

dica, e elementos complexos para a indústria automotiva e aeronáutica.

Apesar das variações dos métodos de impressão, o processo consiste basicamente em três etapas: criação do modelo digital e seu processamento para produção (fatiamento do modelo 3D em camadas 2D), deposição do material e o processo de “cura” do material atingindo as características físicas desejadas (Wu *et al.*, 2016).

1.2 Métodos de impressão

O primeiro método de manufatura aditiva, citado anteriormente, é a Estereolitografia, mas além dele, existem outros métodos, como a Sinterização Seletiva a Laser (SLS), a Modelagem de Deposição Fundida (FDM), Impressão a Jato de Tinta em Pó e a técnica de Construção pelo Contorno (Wu, *et al.*, 2016).

A Estereolitografia consiste na deposição de um polímero líquido em uma plataforma que se desloca para que sejam construídas, camada por camada, as peças desejadas. Um feixe ultravioleta endurece o polímero, tornando possível a construção de múltiplas camadas.

No caso da Sinterização Seletiva a Laser (SLS) é utilizado um material em forma de pó, que recebe um feixe de laser direcionado, fundindo esse material. Geralmente são usados materiais de alta resistência e flexibilidade, como nylon e poliestireno. Também podem ser utilizados metais nesse tipo de processo, o que confere alta resistência nos elementos produzidos por essa técnica (Hager, *et al.*, 2016 e Wu, *et al.*, 2016).

A Modelagem de Deposição Fundida (FDM) foi inventada em 1988 e utiliza

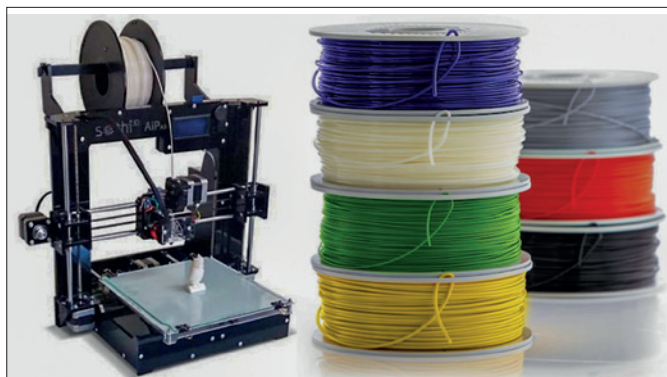


FIGURA 1
IMPRESSORA FDM

FONTE: LNNANO (2025)

filamentos poliméricos para a produção de peças em 3D a partir da sobreposição de camadas e o deslocamento da plataforma (Figura 1). O bico de impressão possui um aquecedor que mantém o filamento no ponto de fusão adequada para sua deposição em camadas. É o método de manufatura aditiva mais popular no mundo pela gama de aplicações que pode ter (Hager, *et al.*, 2016).

O processo de Impressão em Jato de Tinta em Pó consiste na pulverização de um material ligante em um leito de pó. A partir daí, esse material é aquecido e seco através de uma lâmpada e a cura final posterior é feita em um forno. Como nos outros processos, trabalha em camadas em uma plataforma que se desloca para baixo para a deposição sequencial (Wu, *et al.*, 2016).

Dentre os processos de manufatura aditiva, o mais recente e que se apresenta como mais promissor e adequado à construção civil é a Construção por Contorno (CC). Esse processo consiste na utilização de um pórtico de impressão capaz de deslocar o bico de impressão horizontalmente, depositando o material em camadas (Figura 2). Ao contrário das outras técnicas, o CC é executado no local onde ficará o objeto produzido. Em certa medida, se assemelha ao processo de produção de elementos pré-moldados de concreto, mas no CC não há a necessidade de fôrmas ou trabalhadores durante a manufatura, todo o processo é controlado via software. Essa técnica foi inventada pelo grupo de pesquisa da *Southern California University* (Şahin *et al.*, 2022 e Hager, *et al.*, 2016).

- b) SLS: nylon, aço rápido;
- c) FDM: termoplásticos como acrílonitrila butadieno estireno (ABS), elastômero, ácido polilático (PLA), cera, metal;
- d) Impressão jato de tinta em pó: polímeros, metais;
- e) Construção por contorno: matérias cerâmicas (concreto, argamassa).

2. IMPRESSÃO 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os primeiros estudos aplicando a tecnologia de manufatura aditiva na construção civil datam do início dos anos 2000, com a produção de elementos utilizados na construção civil, dada à disponibilidade, até então, de produção de pequenos elementos, tanto que a tecnologia ainda era chamada de “Prototipagem rápida”. Também é nesse período que passam a ser produzidos modelos arquitetônicos através de manufatura aditiva, possibilitando a visualização de geometrias complexas em protótipos arquitetônicos (Wu *et al.*, 2016).

Mas, foi a partir de 2014, que começam a ser produzidos elementos de concreto para construção civil, surgindo o termo 3DCP (3D Concrete

1.3 Materiais

Cada processo de manufatura aditiva está melhor adaptado a algum tipo de material, como vimos no tópico anterior. Segundo (Wu *et al.*, 2016), podemos classificar cada processo associando-os aos seus respectivos materiais:

- a) Estereolitografia: resinas fotossensíveis líquidas;

Printing). Algumas empresas passam a produzir peças de concreto para montagem na obra, de forma semelhante ao processo de construções pré-fabricadas (Wu *et al.*, 2016 e Hager *et al.*, 2016).

Nesse período, em Amsterdã, a empresa Dus Architects inicia a construção da *Canal House*, utilizando peças de concreto produzidas por impressora 3D. Na China, na mesma época, foram construídas casas e um edifício com processo semelhante, adotando, além do concreto, outros materiais incorporados, como fibra de vidro, que melhoraram as propriedades físicas dos elementos em concreto.

Segundo Şahin *et al.*, 2022, as principais vantagens relatadas no processo de manufatura aditiva na construção são:

- ▶ Liberdade geométrica para formas complexas, flexibilidade de design;
- ▶ Eliminação de fôrmas para execução dos elementos;
- ▶ Diminuição da mão de obra no canteiro;
- ▶ Redução da geração de resíduos e desperdício de materiais;
- ▶ Redução tempo de execução.

Conforme mencionado na seção anterior, o principal método de manufatura aditiva utilizado na construção civil é a Construção pelo Contorno. Nesse processo, os materiais são extrudados a partir de um bico acoplado a um pórtico que se desloca nos eixos X e Y, expelindo o material para a construção camada por camada. Entretanto, outra tecnologia, que funciona de forma semelhante à Impressão a Jato de Tinta em Pó, tem sido empregada, na qual o ligante é depositado pelo bico de impressão sobre

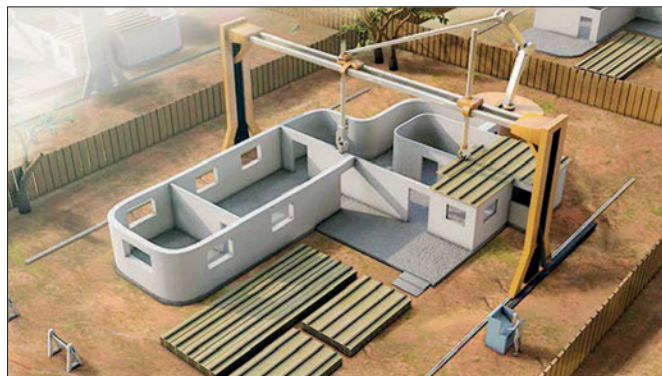


FIGURA 2
IMPRESSORA CONSTRUÇÃO POR CONTORNO (CC)

FONTE: RANJHA *et al.*, 2018



FIGURA 3

ESQUEMA DE IMPRESSÃO POR EXTRUSÃO

FONTE: ADAPTADO DE WANG, *et al.* (2024)

um leito de partículas, conforme detalhado no próximo tópico (Sanjayan *et al.*, 2018).

2.1 Leito de partículas ou impressão à base de pó

Apesar de não ser o foco dessa pesquisa, que abordará com mais detalhes a manufatura aditiva por extrusão, é importante introduzir esse método, uma vez que pesquisas têm sido desenvolvidas através dele, mesmo com limitações que dificultam seu uso na construção civil em larga escala.

O estudo de Wang *et al.*, 2024 apresenta três metodologias de abordagem utilizando a impressão por leito de partículas, que consiste na deposição de um material líquido/pastoso sobre um leito de partículas, que pode variar conforme cada um desses diferentes métodos.

A primeira metodologia, chamada de Ativação Seletiva de Cimento (SCA) (Shakor *et al.*, 2020a *apud* Wang *et al.*, 2024) consiste na deposição de água em um leito de cimento misturado com agregados finos de dimensão máxima 1mm. No segundo método, conhecido como Intrusão Seletiva de Pasta (SPI) (Weger e Gehlen, 2021 *apud* Wang *et al.*, 2024), uma pasta de cimento muito fluida é depositada sobre um leito de agregados finos de dimensões entre 1mm e 5mm. Na terceira proposta, a pesquisa utilizou argamassa depositada sobre um leito de agregados graúdos, com dimensões entre 5mm e 32mm (Yu *et al.*, 2020, 2022 *apud* Wang *et al.*, 2024); esse processo recebeu o nome de Ligação de Agregados Graúdos (*Coarse Aggregate Binding – CAB*).

Todos esses métodos trabalham de forma semelhante; portanto, tendo as mesmas limitações. Uma vez que é necessário que o elemento seja produzido dentro de um leito de partículas, isso acaba limitando a produção a peças de reduzido tamanho, que podem ser usadas como componentes para a construção civil. A execução de uma edificação completa, de forma automática, ainda é inviável.

utilizado na construção civil é a impressão pelo contorno (ou caminho), também chamado de extrusão. Segundo Wang *et al.*, 2024, o processo de manufatura aditiva conhecido por extrusão, de certa forma, é bastante intuitivo, pois é baseado no bombeamento de uma mistura de materiais e seu depósito através de um bico de impressão, camada sobre camada, ao longo de um caminho pré-definido. A Figura 3 ilustra esse processo.

Nesse contexto, além das propriedades dos materiais, também são cruciais, para a impressão correta dos elementos, os parâmetros de impressão (como velocidade, percurso, altura de cada camada, distância entre o bico e o leito de impressão etc.) e as características do equipamento, como tamanho e formato do bico, capacidade da bomba, dimensões do pórtico ou alcance do braço robótico etc. Outro aspecto a ser levado em consideração é o intervalo de sobreposição das camadas, que, no caso de muito curto, pode provocar o colapso da camada superior sobre a inferior (a camada inferior ainda não adquire resistência suficiente) e, no caso de muito longo, prejudica a aderência entre as camadas, reduzindo sua força de ligação (Wang, *et al.*, 2024).

As características dos equipamentos podem provocar alterações no processo de produção, conforme será melhor detalhado em seção adiante.

2.3 Características das misturas (materiais)

Conforme os estudos de Le *et al.* (2012), algumas características das misturas são fundamentais para a execução do 3DCP. Considerando o concreto em estado fresco, essas características se relacionam e a dosagem de cada componente da mistura trará consequências positivas ou negativas para o resultado final, ou seja, para o objeto extrudado de concreto no estado endurecido, que é o momento que ele atinge as propriedades desejadas em

2.2 Impressão de concreto pelo contorno (extrusão)

O outro processo de impressão em concreto

projeto, seja pela resistência mecânica, seja pela geometria. Destacam-se nesse contexto a bombeabilidade, a extrudabilidade (características relacionadas à trabalhabilidade do concreto fresco), o tempo aberto e a construtibilidade (estágio de transição para o estado endurecido).

2.3.1 BOMBEABILIDADE

Segundo Buswell *et al.* (2018), a bombeabilidade é a capacidade da mistura em seu estado fresco de ser transferida do reservatório até o bico extrusor através de uma bomba. Nesse processo, a segregação das partículas ao longo da mangueira pode bloquear a passagem, sendo necessário que a mistura seja completamente homogênea e que seja previsto, desde a fase de projeto da mistura, ou *mix design*, a segregação. Alguns estudos, como o de Le *et al.* (2012), estabelecem a faixa de tensão de escoamento da mistura ao longo da mangueira, para que a mesma seja suficientemente bombeável sem que o filamento fosse descontinuado estabelecendo os limites entre 0,3 kPa e 0,9 kPa (tensões mínima e máxima).

2.3.2 EXTRUDABILIDADE

Essa característica se refere à capacidade da mistura ser aplicada através de um bico extrusor (impressão) sem que haja deformação transversal considerável e que seja mantida a continuidade do filamento (Buswell *et al.*, 2018). A extrudabilidade é diretamente afetada pelo tamanho das partículas, na qual quanto maior o diâmetro das mesmas, mais comprometida fica a passagem do material pelo bico. O estudo de Le *et al.* (2012) faz uma análise de diferentes misturas com variações entre o percentual de areia e material ligante e o resultado mostra que quanto maior a quantidade de areia na mistura, maior a segregação das partículas e menor é a capacidade de extrusão. A extrudabilidade pode ser mensurada a partir de diversos métodos, dentre eles a equação de Benbow-Bridgwater, o uso do *slug test*, *squeeze test method*, resistência à penetração, entre outros (Boddepalli *et al.*, 2023).

Outro fator que deve ser levado em consideração é o formato do bico, que pode variar entre redondo ou retangular.

Essa é uma característica que deve ser levada em consideração principalmente nas mudanças de direção da impressão. Para cada formato de bico, bem como a dimensão do filamento extrudado, há uma janela ideal de velocidade de deposição (Buswell *et al.*, 2018).

2.3.3 TEMPO ABERTO

O percurso de extrusão e a velocidade de deposição do material são fatores-chave no processo, pois devem ser dimensionados para garantir que a mistura de argamassa/concreto tenha escoamento suficiente ao ser bombeada, sendo viável a extrusão através do bico. Além disso, deve garantir que a camada depositada tenha tempo suficiente de endurecimento para que seja capaz de suportar a próxima sem colapsar, mas que não tenha enrijecido a ponto de provocar a “junta fria” entre as camadas. Essa janela é chamada de “tempo aberto” ou “tempo de ciclo” e corresponde ao intervalo de tempo entre a deposição de uma camada de material e a camada superior seguinte (Buswell *et al.*, 2018).

Para o concreto convencional, essa propriedade está relacionada ao tempo de pega (início e fim) e é mensurada através do aparelho de Vicat. Para o 3DCP, o tempo aberto se refere ao momento limite onde a mistura ainda consegue ser bombeada e extrudada (trabalhabilidade) e o momento no qual ela já possui resistência suficiente para suportar a camada superior sem perda das características geométricas e que ainda seja capaz de se fundir com a camada seguinte (sem junta fria). Esse intervalo varia de acordo com os constituintes da mistura e características do conjunto bomba/mangueira/bico (Le *et al.*, 2012).

Dessa forma, o projeto de mistura fornecerá um tempo de ciclo que irá, em conjunto com as propriedades do equipamento de impressão, definir qual o tamanho do percurso a ser impresso, a velocidade de impressão e o intervalo de tempo ideal entre as camadas.

2.3.4 CONSTRUTIBILIDADE

A construtibilidade do 3DCP é dada pela capacidade do mesmo de suportar a deposição das camadas superiores sem

deformações significativas nas camadas inferiores ou o colapso da estrutura impressa (Le *et al.*, 2012). Essa característica está diretamente relacionada ao tempo aberto visto na seção anterior. Caso a mistura não tenha adquirido resistência suficiente, ela não irá suportar o peso próprio das camadas superiores e a estrutura entrará em colapso.

A deformação da camada inferior provocada pelo peso próprio da camada adicionada é, até certo ponto, desejável, pois é por causa dela que ocorre a aderência entre as camadas (Buswell *et al.*, 2018). Ainda segundo os autores, ao longo da deposição de camadas e por consequência, a deformação pelo peso próprio, a distância entre o bico e o leito da impressão tende a ser aumentada, o que deve ser corrigido no decorrer do processo para que não haja variação no filamento, alterando a adesão entre as camadas.

2.4 Equipamento de impressão

Bazli *et al.*, 2023 apresenta em sua pesquisa três maneiras comumente utilizadas nos processos de 3DCP. A primeira delas trata-se de uma estrutura em forma de pórtico, capaz de se deslocar por coordenadas cartesianas XYZ. Nesse processo, o volume do pórtico é que define a capacidade de impressão e a mesma acontece pelo deslocamento horizontal (XY) do bico de impressão e o deslocamento global do eixo de impressão na vertical (eixo Z) define as alturas das camadas sucessivas.

O segundo processo apresentado utiliza braços robóticos. É uma tecnologia mais nova e permite que o bico de impressão tenha maior liberdade de deslocamento, tornando possível movimentos de rotação e inclinação. Essa liberdade de movimentos possibilita

um maior ajuste da deposição das camadas, aproveitando o conceito de “Abordagem de Continuidade Tangencial”, na qual o repasse de carga à camada inferior se dá de forma tangencial, melhorando a transmissão de esforços. Esse sistema também possibilita um ajuste mais refinado durante a extrusão nas curvaturas do percurso. A Figura 4 ilustra a diferença na transmissão de esforços para camadas inferiores. Ao lado esquerdo, vemos a sobreposição de camadas convencional e percebemos a reduzida área de contato nas camadas que não estão exatamente sobrepostas. No lado direito, temos a abordagem de continuidade tangencial, na qual a altura de camadas é variável, entretanto, tem-se uma área de contato maior e constante entre as mesmas, aumentando a aderência. Uma limitação nesse processo é o alcance do braço robótico, que pode interferir nas dimensões de projeto.

Wang *et al.* (2024) ratifica a pesquisa citada anteriormente sobre os dois principais métodos de extrusão de concreto atualmente utilizados.

Ainda há um terceiro método, apresentado na pesquisa de Bazli *et al.* (2023) e mostrado na Figura 5 (esquema) e Figura 6 (robôs em operação). Consiste na utilização de robôs, chamados de *minibuilders* (miniconstrutores), onde um conjunto de três robôs são utilizados para determinadas etapas da construção.

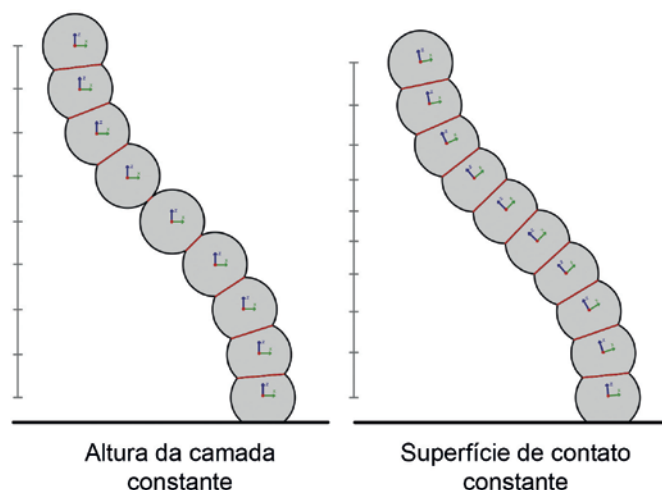


FIGURA 4

TRANSMISSÃO DE ESFORÇOS COM ABORDAGEM TANGENCIAL

FONTE: ADAPTADO DE BUSWELL, *et al.* (2018)

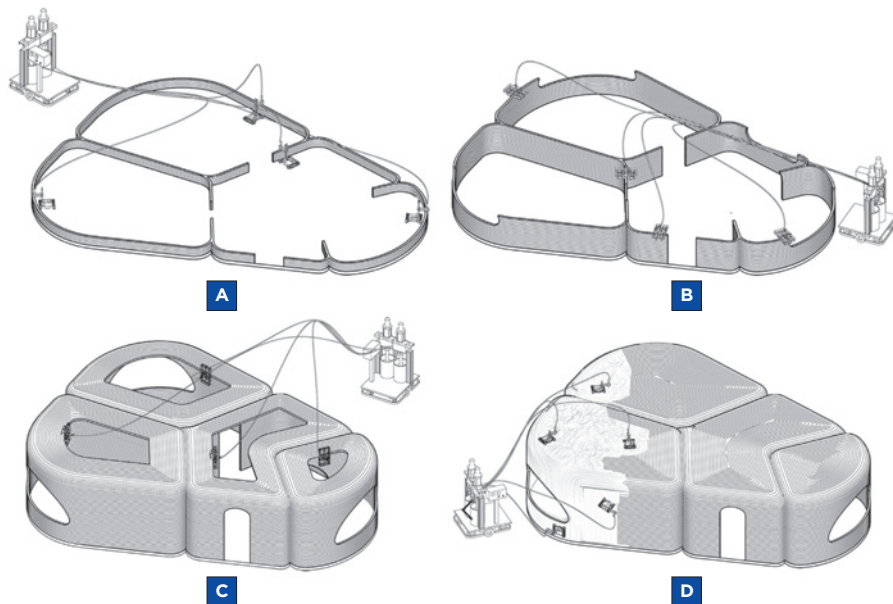


FIGURA 5

ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DOS MINIBUILDERS.

(A) CAMADAS DE FUNDAÇÃO, (B) A CONSTRUÇÃO DAS PAREDES, (C) OS FORROS E (D) REFORÇO COM CAMADAS ADICIONAIS

FONTE: ADAPTADO DE BAZLI *et al.* (2023)

O primeiro robô executa a fundação conforme o caminho previsto em projeto; após a fundação concluída, um segundo robô trabalha na execução das paredes acoplado a rolos que se deslocam sobre a fundação. Há um terceiro robô, que executa os trabalhos de impressão horizontal, fixado através de ventosas (deposição de camadas na vertical).

3. DESAFIOS DO PROCESSO

Embora haja inúmeras vantagens no processo 3DCP, alguns desafios importantes devem ser considerados para sua efetiva implantação em larga escala. Desvincular essa tecnologia de seus pontos negativos é ilusório e pode levar ao fracasso em sua implantação. O estudo de Bazli *et al.* (2023) elenca alguns dos principais desafios para implantação dessa nova tecnologia, entre eles:

- a) **redução de empregos:** impacto na força de trabalho voltada para construção civil provocado pela automatização do processo. Estas atividades tendem a ser ocupadas pelos trabalhadores de classes econômicas mais baixas, sua eliminação pode provocar um problema social e econômico de grande importância;
- b) **aparência das superfícies:** edificações produzidas por extrusão de concreto possuem a superfície mais rugosa que pelo método convencional, o que pode

não atender às expectativas estéticas dos usuários;

- c) **custo:** o custo inicial de uma impressora, bem como sua mobilização, pode gerar gastos elevados, inviabilizando a sua adoção;
- d) **adequação dos materiais:** um grande problema no 3DCP é a disponibilidade de materiais adequados, uma vez que as misturas de concreto precisam possuir características específicas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, conforme descrito no capítulo anterior;
- e) **integridade estrutural e durabilidade:** devido à composição dos elementos de 3DCP ser em forma de filamento, microfissuras podem surgir durante o processo de extrusão, o que pode comprometer a integridade estrutural

dos elementos. Há ainda a necessidade de garantir a aderência entre as camadas, para que respondam de forma solidarizada aos esforços de compressão e flexão. Também há questões a serem resolvidas relacionadas à durabilidade das estruturas, uma vez que os poros existentes nesses elementos costumam ser interconectados entre as camadas, o que afeta significativamente a durabilidade das estruturas;

- f) **mão de obra especializada:** para os processos de manufatura aditiva de concreto, torna-se extremamente necessário o treinamento das equipes de trabalho, desde a elaboração dos projetos de forma a permitir a impressão (BIM), passando pela operação e configuração dos parâmetros de impressão e, principalmente, aos envolvidos no preparo das misturas de concreto, não havendo margem para grandes alterações nos componentes;
- g) **regulamentação:** por último, mas não menos importante, tem-se a necessidade de regulamentação de edificações produzidas com 3DCP. A padronização e atendimento a critérios de produção é o que pode tornar a produção em larga escala viável. Questões culturais e de segurança construtiva dependem da presença de regulamentos específicos para esse tipo de processo de construção. Cita-se ainda que, num cenário onde grande parte das

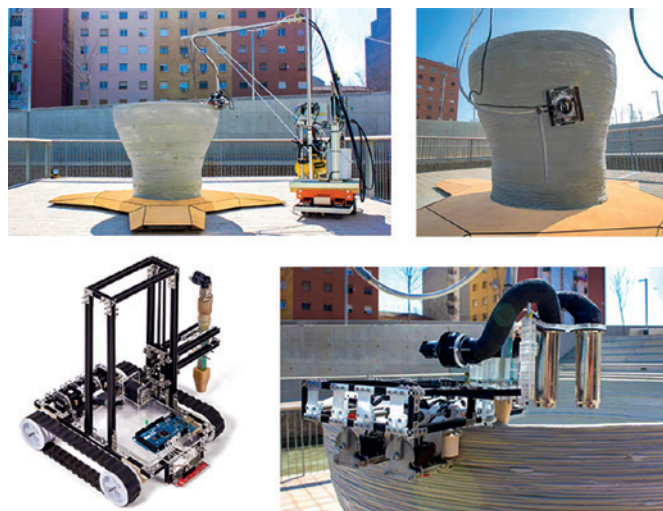


FIGURA 6

MINIBUILDERS EM OPERAÇÃO NA HORIZONTAL E NA VERTICAL (ACIMA), DETALHES DO ROBÔ (ABAIXO)

FONTE: NEWATLAS (2014)

edificações são adquiridas mediante financiamento bancário, se faz necessária a normatização dos processos construtivos visando à segurança das obras.

4. CONCLUSÕES

Após essa análise do contexto atual referente à impressão 3D em concreto, algumas conclusões podem ser fixadas, principalmente referente à solução dos desafios de implantação da mesma em larga escala, graças a uma significativa e rápida evolução na temática.

É necessária uma análise socioeconômica dos impactos desse método construtivo na cadeia da construção civil, principalmente nos países não desenvolvidos, nos quais a mão de obra da construção é parcela significativa da força de trabalho das classes econômicas mais baixas. Atualmente, é latente a preocupação com a redução da mão de obra disponível, por fatores como envelhecimento, maior nível de instrução da população ou desinteresse por atividades braçais pelos mais jovens. Nesse contexto, o real desafio passa a ser a readequação da força de trabalho nos processos relacionados à construção civil.

A sustentabilidade desse método construtivo tem avançado significativamente

nos últimos anos, impulsionada pelo desenvolvimento de produtos específicos para impressão 3D por grandes empresas. Esses produtos são projetados para atender às exigências de bombeabilidade, extrudabilidade e construtibilidade, considerando a reologia das pastas cimentícias. Portanto, hoje há uma gama de produtos disponíveis no mercado capazes de atender à demanda de desempenho desse processo, mas ainda se faz necessária a pesquisa por soluções sustentáveis mais acessíveis no mercado, principalmente aquelas que adotem em sua composição a incorporação de resíduos industriais, visando à redução do impacto ambiental gerado nos processos produtivos.

Com relação aos aspectos construtivos dessa tecnologia, como aparência das superfícies e integridade estrutural, são condicionantes inerentes a qualquer método construtivo e devem ser considerados e mitigados em conformidade com a demanda. Sendo assim, podem ser tratados como limitantes secundários ao uso da técnica.

Existem muitas variáveis envolvidas nesse processo construtivo, como matéria-prima, mão de obra especializada, tipos de equipamentos de impressão, variabilidade das bombas e dos bicos de impressão, caminho a ser percorrido e tempo aberto de

impressão. Assim como nas construções com concreto convencional, à medida que cada condicionante tenha seu impacto reduzido ou neutralizado, a produção em larga escala torna-se cada vez mais viável.

Dos desafios apresentados como limitadores da disseminação desse método construtivo, a regulamentação pode ser o entrave mais significativo. Em muitos países, inclusive o Brasil, esse tema tem sido largamente discutido e caminha-se, ainda que a passos curtos, para uma normatização dessa técnica, o que pode acelerar sua democratização.

Os problemas apresentados por esse método de construção ainda são consideráveis e a popularização desse processo perpassa pela superação desses desafios, inclusive culturais. Diversas pesquisas têm sido conduzidas com o objetivo de superar tais entraves, e resultados significativos tem sido alcançados, seja na produção dos materiais, seja na evolução dos equipamentos e sua logística ou ainda na aceitação do mercado e sua regulamentação.

Apesar de ser uma tecnologia recente, que teve seu início em 2014, a impressão 3D em concreto apresenta uma evolução significativa, podendo já ser considerada uma realidade e com potencial promissor para um futuro a curto prazo. ☺

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BAZLI, M.; ASHRAFI, H.; RAJABIPOUR, A.; KUTAY, C. 3D printing for remote housing: Benefits and challenges. *Automation in Construction*, 148, p. 104772, 2023/04/01/ 2023.
- [2] BODDEPALLI, U.; PANDA, B.; RANJANI GANDHI, I. S. Rheology and printability of Portland cement-based materials: a review. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 12, n. 7, p. 789-807, 2023.
- [3] BUSWELL, R. A.; LEAL DE SILVA, W. R.; JONES, S. Z.; DIRRENBARGER, J. 3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research. *Cement and Concrete Research*, 112, p. 37-49, 2018/10/01/ 2018.
- [4] HAGER, I.; GOLONKA, A.; PUTANOWICZ, R. 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? *Procedia Engineering*, 151, p. 292-299, 2016.
- [5] LE, T. T.; AUSTIN, S. A.; LIM, S.; BUSWELL, R. A. et al. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete. *Materials and structures*, 45, p. 1221-1232, 2012.
- [6] LNNANO, Laboratório Nacional de Nanotecnologia. <https://lnnano.cnpem.br/instalacoes/micro-e-nanofabricacao/microfabricacao/impressao-3d/>. Acesso em 10/02/2025.
- [7] NEWATLAS, Science, Tech & Innovation News. <https://newatlas.com/minibuilder-robots-3d-print-large-scale-structures/32573/>. Acesso em 25/04/2025.
- [8] RANJHA, S.; KULKARNI, A.; SANJAYAN, J., 3D Construction printing—a review with contemporary method of decarbonisation and cost benefit analysis. 1-11, 2018.
- [9] SANJAYAN, J. G.; NEMATOLLAHI, B.; XIA, M.; MARCHMENT, T. Effect of surface moisture on inter-layer strength of 3D printed concrete. *Construction and building materials*, 172, p. 468-475, 2018.
- [10] WANG, X.; LI, W.; GUO, Y.; KASHANI, A. et al. Concrete 3D printing technology for sustainable construction: A review on raw material, concrete type and performance. *Developments in the Built Environment*, 17, p. 100378, 2024/03/01/ 2024.
- [10] WU, P.; WANG, J.; WANG, X. A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. *Automation in Construction*, 68, p. 21-31, 2016.
- [12] ŞAHİN, H. G.; MARDANI-AGHABAGLOU, A. Assessment of materials, design parameters and some properties of 3D printing concrete mixtures; a state-of-the-art review. *Construction and Building Materials*, 316, p. 125865, 2022/01/17/ 2022.

Concreto reforçado com fibras: aplicabilidade, dosagem e controle

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

A junção de dois materiais construtivos para combinar as propriedades desses materiais e melhorar o desempenho do compósito é uma ideia intuitiva e antiga. Os egípcios e hebreus da Antiguidade adicionavam palha aos tijolos de barro secos ao sol para que esses resistissem à fissuração e à fragmentação induzidas por variações repetitivas de temperatura e umidade. Esta combinação está registrada no livro de Êxodo, da Bíblia, nos versículos sexto e sétimo: “Naquele mesmo dia, o Faraó deu esta ordem aos inspetores do povo e aos capatazes: não continueis a fornecer palha ao povo, como antes, para o fabrico dos tijolos”.

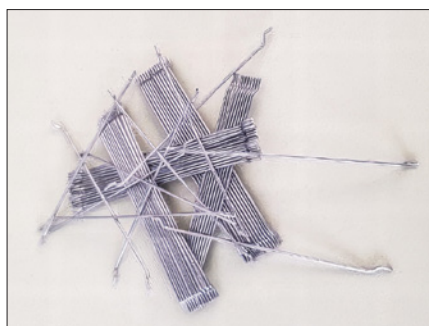
Na modernidade, não demorou para que se percebesse, com o desenvolvimento do cimento Portland e do concreto, que as estruturas de concreto deveriam receber um reforço de aço, para compensar a baixa resistência do concreto às forças de tração e flexão. Em 1847, Joseph Lambot obteve uma patente que sugeria a adição de fibras contínuas de arame ou de tela de arame ao concreto fresco, para reforçar sua resistência aos esforços de tração. Surgiu a noção inicial do concreto armado.

Em 1874, foi concedida, na Califórnia, nos Estados Unidos, a primeira patente de um concreto com adição de sucatas de ferro, a Berard. Já, em 1899, Hatschek desenvolveu o cimento amianto, que nada mais é do que um compósito de cimento e fibras minerais, usado até recentemente na produção de coberturas e tubos. O passo seguinte foi adicionar peças curtas de aço ao concreto, para aumentar a estabilidade do concreto armado, proposta feita em 1911 por Grahman (NAAMAN, 1985). Nascia assim a concepção do concreto reforçado com fibras.

Nesta breve descrição, nota-se que o concreto, material de comportamento frágil, isto é, com baixa capacidade de

deformação e ruptura brusca, foi reforçado com aço, inicialmente na forma de ar-

maduras dispostas em sua porção sujeita a flexão e tração e, posteriormente, na



A



B



C



D



E

FIGURA 1

FIBRAS METÁLICAS COM ANCORAGEM (A), FIBRAS METÁLICAS CORRUGADAS PLANAS (B), FIBRAS METÁLICAS CORRUGADAS CILÍNDRICAS (C) E FIBRAS SINTÉTICAS (D E E)

forma de pequenas fibras descontínuas distribuídas aleatoriamente. Assim, em peças sujeitas a esforços localizados de tração e flexão, como vigas e lajes, foram dispostos vergalhões para contrabalançar essas cargas, como as peças projetadas por Hennenbique no final do século XIX. Por sua vez, em peças submetidas a esforços de tração e flexão em todos os sentidos, o reforço foi conseguido com o uso de fibras de aço. Esta ideia já estava contemplada na patente de Martin, de 1927, que descrevia o uso de fibras de arame retas ou onduladas para reforço de tubos de concreto. Etheridge propôs, em 1933, a utilização de fibras anulares de tamanhos diferentes para melhorar a resistência à fissuração e à fadiga do concreto usado em dormentes de ferrovias.

Os propósitos do uso do concreto reforçado com fibras já estavam bem compreendidos na patente obtida por Constantinesco, na Inglaterra, em 1943, e nos Estados Unidos, em 1954: aumentar a resistência à fissuração e a capacidade de absorção de energia pelo compósito (tenacidade).

Apesar disso, poucas foram as aplicações do concreto com fibras até que estudos sistemáticos para sua utilização comercial terem sido iniciados a partir de 1971, nos Estados Unidos, Reino Unido e Japão (TEZUKA, 1989). Esses estudos levaram a um melhor entendimento da mecânica de reforço com fibras e à identificação das características desejáveis das fibras em função das aplicações. Elas foram responsáveis pela introdução de fibras de diferentes materiais – como de aço, vidro, minerais e polipropileno –, com diferentes geometrias e formatos, com ou sem ancoragem, no mercado da construção (Figura 1).

O mercado global do concreto reforçado com fibras vem paulatinamente crescendo desde então (Figura 2). Uma pesquisa da *Allied Market Research*, feita em 2023, prevê seu crescimento em 8,2% no período de 2022 a 2031, quando deve atingir 4,8 bilhões de dólares.

CONTROLE DA FISSURAÇÃO PROMOVIDO PELAS FIBRAS

No processo de hidratação do cimento, há perda de água na mistura por evaporação da água devido à temperatura de rea-

ção e à temperatura ambiente, com consequente retração de volume do concreto. A retração da pasta é restringida pelos agregados, o que gera tensões de tração na pasta e sua microfissuração. Isto ocorre naturalmente no endurecimento do concreto.

Ao se adicionar fibras ao concreto, distribuídas aleatoriamente, algumas delas formam pontes sobre as microfissuras na pasta, funcionando como canais de transferência de tensões e, assim, reduzindo sua concentração nas bordas das fissuras (Figura 3), concentração que ocasionaria a abertura e propagação dessas fissuras na pasta de concreto.

O controle da fissuração pelas fibras reduz a microfissuração do concreto, concorrendo para tornar o elemento de concreto menos suscetível ao ataque de agentes agressivos do meio, como dióxido de carbono e cloretos, que, no longo prazo, acabam por deteriorar as armaduras no interior do elemento estrutural.

Para este tipo de uso das fibras, generalizado no Brasil e no mundo, utilizam-se microfibras de aço, sintéticas e de vidro. Uma obra da engenharia nacional que fez uso das microfibras para controlar fissuração foi o pavimento restaurado do vão central da Ponte Rio-Niterói, que anteriormente e por anos apresentou sérios e repetidos problemas de fissuração.



FIGURA 2

LANÇAMENTO DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS

RESISTÊNCIA À FADIGA E COMPORTAMENTO PSEUDODÚCTIL DO CRF

O concreto reforçado com fibras submetido a cargas repetitivas e dinâmicas tem uma melhor distribuição de tensões de tração por toda a extensão do compósito, fazendo com que o elemento de concreto se comporte como uma placa flexível, o que minimiza sua fissuração e, consequentemente, aumenta sua vida útil, ao impacto. Essa capacidade do elemento de absorver impactos repetitivos por um longo período

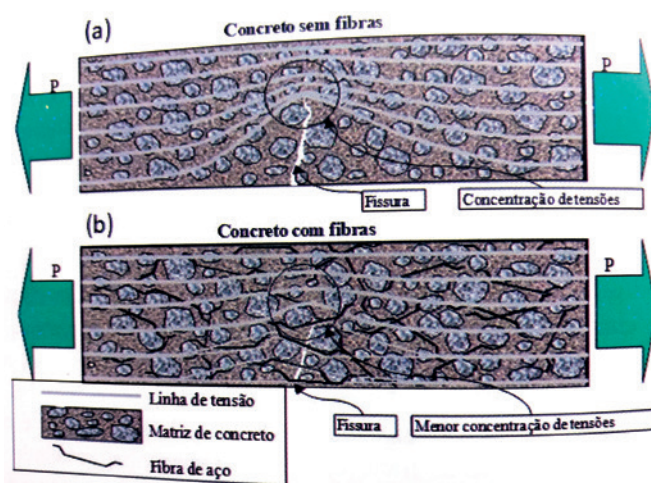


FIGURA 3

ESQUEMA DE CONCENTRAÇÃO DE TENSÕES EM CONCRETO SIMPLES E CONCRETO COM FIBRAS

FONTE: FIGUEIREDO et. al (2022)

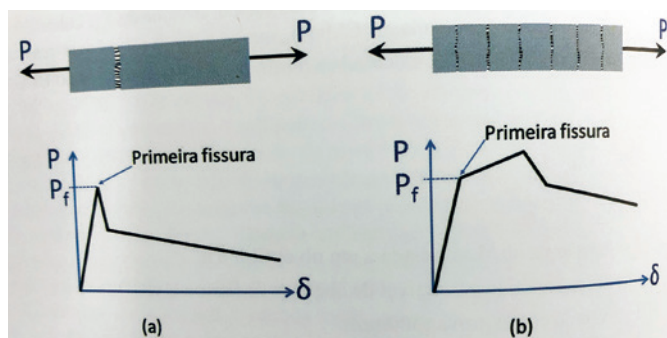


FIGURA 4

DIAGRAMAS DE FORÇA POR DEFORMAÇÃO TÍPICOS DOS COMPORTAMENTOS *SOFTENING* (A) E *HARDENING* (B)

FONTE: FIGUEIREDO *et. al* (2022)

de tempo, preservando sua funcionalidade, é sua tenacidade.

Quanto mais tenacidade tiver o concreto, maior será sua resistência à fadiga, isto é, a esforços cíclicos, como os produzidos por rodas de veículos em pavimentos e de máquinas em pisos industriais.

Por sua vez, quando a tensão de tração ou flexão ultrapassa os valores de resistência do concreto, rompendo-o, as fibras, como as armaduras de aço, atuam para que o elemento estrutural não colapse de imediato. Neste caso, a carga é suficiente para vencer a resistência mecânica da matriz de concreto, mas não das armaduras e das fibras. As armaduras servem sobretudo para garantir a segurança dos usuários após o rompimento da matriz de concreto, porque elas atuam no estado limite último, ou seja, para evitar o colapso da estrutura por meio do escoamento progressivo do aço, de modo que a conferir tempo para que o usuário abandone a obra. Já, as fibras servem, no estágio pós-fissuratório crítico, para dar sobrevida à estrutura, evitando, tanto quanto possível, que está entre na fase de colapso. Elas buscam manter o estado último de serviço da estrutura, o ponto no qual ainda é possível manter sua funcionalidade, com segurança.

Isto ocorre devido à maior resistência à tração do conjunto de fibras e ao seu maior módulo de elasticidade. Isto garante que as fibras não se rompam, mas se alonguem, provocando a deformação da estrutura sem levar ao seu colapso. Sendo assim, as fibras conferem ao concreto, um compósito frágil, que colapsa quase sem se deformar,

tendente à tração superior a que apresentava antes do rompimento, sua resistência residual. Este comportamento '*strain-hardening*' é explicado pelo fato de haver um número tão grande de fibras costurando as fissuras que o somatório de suas resistências individuais à tração ultrapassa o valor da resistência à tração da matriz de concreto. "Este tipo de comportamento é requerido em elementos estruturais com esforços de flexão elevados, como em vigas e lajes", explica o coordenador do CT 303 (Comitê Técnico do IBRACON de Materiais não convencionais), Prof. Marco Cárnio.

Por outro lado, quando o teor de fibras é baixo, este somatório não se equipara à resistência à tração da matriz e o concreto reforçado com fibras vê sua resistência residual à tração cair à medida que se alonga, apresentando o comportamento '*strain-softening*'. "Ele é recomendado para aplicações em que os elementos estruturais têm interface com o meio elástico, como em pavimentos, pisos, radiers e concreto projetado, bem como em aplicações de concreto armado ou protendido", esclarece Cárnio.

um comportamento pseudodúctil, que se deforma antes de colapsar.

Esse comportamento pseudodúctil do concreto reforçado pode ser de dois tipos, a depender do teor das fibras (Figura 4). O volume adicionado de fibras no concreto pode ser de tal ordem que este, ao se romper, apresentará uma capacidade resis-

Como as fibras são cerca de três vezes mais caras que o cimento, seu uso é especificado para determinados tipos de aplicações. Além disso, sua adição aumenta a viscosidade do concreto fresco, reduzindo produtividade de execução, e requer profissionais e empresas habilitados para elaborar a dosagem e o controle tecnológico do concreto reforçado com fibras.

"Tradicionalmente, seu maior uso é em pisos de concretos para galpões, seguido por concretos projetados. Porém, ultimamente sua aplicação tem avançado para paredes de concreto, radiers e pré-fabricados", exemplifica Cárnio (Figura 5).

FATORES IMPORTANTES NA DOSAGEM DAS FIBRAS

Viu-se que o teor de fibras é um parâmetro importante para determinar o comportamento do concreto reforçado com fibras.

Outro parâmetro importante de dosagem da fibra é seu comprimento crítico, aquele que possibilita atingir sua tensão de ruptura. À medida que a fibra é arrancada da matriz de concreto, aumenta a parcela da tensão por atrito relativamente à parcela da tensão elástica. Por isso, o comprimento da fibra e sua seção transversal são determinantes da força de aderência e, consequentemente, da resistência pós-fissuração do concreto reforçado com fibra.

No comprimento crítico, a fibra, ao ser arrancada, rompe, justamente por sua



FIGURA 5

CRF APLICADO EM RADIER

tensão por atrito ser maior que sua tensão elástica. Por isso, as fibras precisam ser menores que seu comprimento crítico, para terem maior tenacidade e ductilidade.

O comprimento crítico da fibra é definido pelo fabricante por meio do ensaio de arrancamento, que consiste em submeter uma amostra à tração uniaxial até que a fibra seja removida da matriz.

O parâmetro adimensional do fator de forma – relação entre o comprimento da fibra e sua seção transversal – considera a influência simultânea dessas grandezas no comportamento do concreto, servindo de requisito mínimo para a qualificação das fibras. Desde que não ultrapasse o comprimento crítico, quanto maior o fator de forma, maior será a capacidade resistente pós-fissuração do concreto reforçado com fibra.

Para que a fibra atue como reforço do concreto, não como reforço da pasta do concreto, recomenda-se que seu comprimento seja igual ou superior ao dobro da dimensão máxima característica do agregado graúdo. Com tal dimensão, a fibra atuará para conter as fraturas que se propagam preferencialmente na interface entre agregado e pasta. Assim, em pavimentos utilizam-se fibras de até 60 mm, compatíveis com agregados de 19 a 25 mm; já, no concreto projetado, utilizam-se fibras de 25 a 35 mm, compatíveis com agregados de 9,5 mm, necessários para que o concreto passe pelo mangote (Figura 6).

Por fim, as fibras com ancoragem devem ser usadas para aplicações nas quais se preveem baixos níveis de deformação. Isto porque a ancoragem traz maior aderência da fibra à matriz enquanto não houver esforços que provoquem sua deformação e ruptura.

Esses parâmetros são recomendações gerais de dosagem de fibras. Devido à complexidade de fatores que influenciam a interação entre matriz e fibras, como composição da matriz, geometria da fibra, material da fibra, característica superficial da fibra, orientação das fibras e durabilidade das fibras, cada aplicação requer dosagem adequada e devidamente informada pelas normas técnicas pertinentes, para que se garanta a viabilidade econômica e o consumo mínimo necessário de fibras no concreto.

“As dosagens mais usuais são relativamente baixas, entre 0,25% e 0,75% do peso

específico do material da fibra”, complementa Cárnio. Segundo ele, dosagens mais altas requerem estudos mais elaborados para a homogeneização das fibras no concreto.

CONTROLE DA QUALIDADE DAS FIBRAS E DO CRF

No Brasil, há um conjunto de normas técnicas para o controle da qualidade das fibras e para o controle tecnológico do concreto reforçado com fibras.

No que diz respeito às fibras de aço, a ABNT NBR 15530 classifica as fibras de aço e orienta sobre requisitos e tolerâncias, principalmente sobre sua geometria e resistência. Ela parte da resistência mínima de 500 MPa



FIGURA 6

CRF DOSADO PARA PREENCHER AS FÔRMAS DO SISTEMA DE PAREDES DE CONCRETO

e traz diferentes níveis de resistência mínima em função do tipo e classe da fibra.

São três tipos normatizados: fibras de aço com ancoragens; fibras de aço corrugada; e fibras de aço retas. E três classes segundo o formato da seção transversal, que é função do tipo de aço utilizado na produção: fibras oriundas de arame trefilado a frio; fibras originadas de chapa laminada cortada a frio; e fibras providas de arame trefilado e escarificado.

Para a pré-qualificação da resistência das fibras pelos fabricantes, usam-se as normas brasileira ABNT NBR 6207

e ASTM A370 para os ensaios de tração.

A ABNT NBR 15530 tolera 10% de variação do comprimento e 5% de variação do valor do diâmetro da fibra em relação aos valores especificados, para reduzir variabilidade nas propriedades das fibras no concreto. A medição das dimensões deve ser feita numa amostra de 60 fibras de um lote de quatro toneladas.

Já, a verificação de defeitos nas fibras, como emendas, corte da ancoragem e oxidação, é feita numa amostra mínima de 200 g por lote. O lote é aceito quando a amostra apresenta, no máximo, 5% da massa de fibras com defeito.

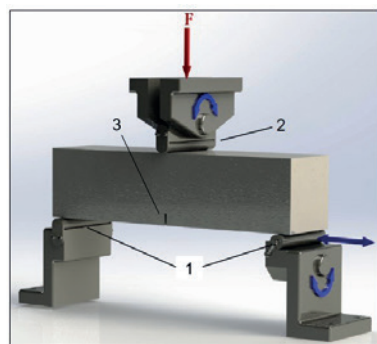
Já, as fibras poliméricas são classificadas pela ABNT NBR 16942 em microfibras e macrofibras: estas têm função de reforço estrutural do concreto, enquanto aquelas têm função de controle de fissuração e proteção passiva contra lascamentos do concreto.

Por fim, as fibras de vidro álcali-resistentes são classificadas pela ABNT NBR 16941, que traz também requisitos mínimos e métodos de ensaio.

Um aspecto importante para o controle da qualidade das fibras é avaliar seu potencial de degradação nas matrizes cimentícias. As fibras metálicas são compatíveis com o ambiente alcalino no interior do concreto. No entanto, os agentes agressivos do meio podem causar sua corrosão. Para evitar isto, a ABNT NBR 15530 recomenda que elas sejam revestidas com zinco ou ligas de zinco e alumínio, cabendo ao fabricante declarar o tipo e quantidade deste revestimento.

Com relação às fibras poliméricas, algumas são instáveis (como as de polietileno tereftalato, PET), enquanto outras não (como as de polipropileno, PP), em ambiente alcalino. Em vista disso, a NBR 16942 exige que as fibras poliméricas usadas no concreto sejam resistentes em meio alcalino, o que deve ser declarado pelo fabricante. A norma preconiza o ensaio acelerado de submeter as fibras numa solução de hidróxido de sódio, durante 30 dias, a 60°C, para verificar a perda de massa e alterações superficiais e estruturais dos filamentos da fibra.

Por fim, a exposição das fibras de vidro a um ambiente alcalino leva a um rápido processo de deterioração, com perdas de resistência, massa e diâmetro do filamento. Para mitigar esse processo, a ABNT NBR 16941 especifica um teor mínimo de 16% de



LEGENDA
1 – roletes de suporte
2 – roletes de aplicação de carga
3 – entalhe

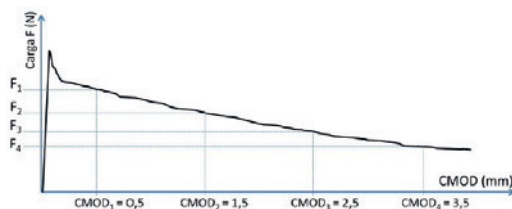


FIGURA 7

ESQUEMA DO ENSAIO DE FLEXÃO COM ENTALHE

dióxido de zircônia para fibras de vidro a serem usadas no concreto.

O controle tecnológico do concreto reforçado com fibras é realizado pelo método de flexão com entalhe preconizado na norma ABNT NBR 16940. Consiste em submeter um corpo de prova prismático, com dimensões de 150 mm x 150 mm x 550 mm,

no qual é feito um entalhe de 5mm de espessura no centro de sua face inferior, a uma carga central na sua face superior para provocar sua flexão e a abertura do entalhe. A curva gerada de carga x abertura é analisada para determinar a resistência à tração na flexão, as resistências residuais e o limite de proporcionalidade (Figura 7).

Atualmente, o principal desafio do controle tecnológico do CRF no país é conseguir uma rede de laboratórios com capacidade suficiente para realização dos ensaios com condições mínimas de reprodutibilidade. Os problemas vão desde a uniformidade na moldagem dos corpos de prova (garantindo que haja um tempo mínimo de permanência sobre a mesa vibratória), passando pela limpeza adequada dos cutelos (para garantir sua rolagem sem bloqueios), até o controle de saturação dos corpos de prova nas câmaras de cura (cujo índice altera a resposta do material).

“A falta de mais laboratórios de tecnologia do concreto, com competência e infraestrutura adequadas, é um dos fatores limitantes para maior uso das fibras no concreto em nosso país”, opina Cárnio. ☹

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ACCETTI, K; PINHEIRO, L. Tipos de fibras e propriedades do concreto com fibras. São Paulo: IBRACON, 2000
- [2] FIGUEIREDO, A.D. Concreto reforçado com fibras. Tese (Livro Docência). São Paulo: EPUSP, 2011
- [3] FIGUEIREDO, A.D.; MONTE, R; BITENCOURT JR, L.A.G. Concreto com fibras. IN: Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2022



NO PRUMO

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

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

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

Com textos de Paulo Helene, professor titular da USP e diretor-presidente do IBRACON, e diretor da PhD Engenharia, e de Guilherme Aragão, jornalista e escritor, especialista em formação política e econômica do Brasil.

FORMATO: 21 x 29 cm

PÁGINAS: 170

ANO: 2017

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

PRODUÇÃO



PATROCÍNIO



REALIZAÇÃO



IFRC lança Programa de Qualidade para fibras de reforço do concreto

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

O Instituto Brasileiro de Fibras para Reforço do Concreto (IFRC) realizou seu primeiro encontro – I Encontro Nacional de Fibras para Reforço do Concreto – no último dia 24 de abril, no auditório da empresa Sika, em São Paulo – SP, que foi também transmitido simultaneamente pela internet.

Com participação de cerca de 150 profissionais, o Enafibras trouxe informações valiosas para fabricantes de fibras e seus clientes, para os profissionais da construção, pesquisadores, e para os usuários finais das obras de concreto reforçado com fibras e concreto reforçado com barras de Polímero Reforçado com Fibras (FRP).

No evento foi anunciado o Programa de Qualidade do IFRC – PQ Fibras – em parceria com o Instituto IBELQ, organismo certificador de produtos acreditado pelo INMETRO para materiais de construção civil, cujo objetivo é certificar as fibras e barras de FRP com um selo de conformidade. O Programa se encontra atualmente na fase de planejamento de seu escopo, que deve ir até junho. Em seguida, começará a homologação dos laboratórios que farão os ensaios pelo INMETRO. Só então começará o processo de auditoria individual das empresas para certificação de seus produtos.

Com respeito à qualidade de fibras, o diretor técnico do IFRC, Eng. Igor Torres, apresentou algumas especificações normativas para as fibras de aço, poliméricas e de vidro com vistas a assegurar sua durabilidade. Ele salientou a obrigatoriedade para os fabricantes das fibras poliméricas e de vidro de que estas sejam resistentes ao ambiente alcalino do concreto, o qual normalmente apresenta pH em torno de 13. Há uma exigência normativa que requer um teor mínimo de 16% de dióxido de zircônio na composição das fibras de vidro, o que encarece o produto, mas garante que ele não se degrade rapidamente no interior do concreto, perdendo suas caracte-



Diretor de marketing do IFRC, Eng. Jorge Lima, após apresentar o PQ Fibras, passa a palavra ao palestrante Igor Torres

rísticas de resistência residual à tração, tenacidade e ductilidade, que fazem com que as fibras sejam incorporadas ao concreto.

Um ensaio rápido para alertar se as fibras poliméricas são compostas por polímeros não álcali-resistentes é as mergulhar em água e verificar se flutuam. Se não o fizerem, como ocorre com as fibras PET, elas não são resistentes aos álcalis no concreto. Torres salientou que tal teste não é normatizado e que precisa ser utilizado com cautela, pois há exceções, como ocorre com as fibras PVA, as quais também afundam, embora sejam álcali-resistentes.

Em condições normais, as fibras metálicas não se deterioram no interior do concreto, justamente porque o ambiente alcalino forma uma película protetora contra sua corrosão. No entanto, dependendo do ambiente onde a obra está instalada, como um meio marinho ou industrial, essa película protetora pode ser afetada por dióxido de carbono ou cloretos, de modo a promover a corrosão da fibra, ocasionando sua perda de seção e, por conseguinte, sua resistência à tração. Para averiguar

a probabilidade da atividade de corrosão das fibras de aço no concreto, Torres indicou o ensaio do potencial de corrosão da norma norte-americana ASTM C876, além de outros métodos complementares.

No sentido de incrementar o controle da qualidade das fibras usadas para reforço do concreto, Igor sugeriu que os ensaios microanalíticos de DSC e FTIR, normalmente usados para caracterizar aditivos e também outros materiais, fossem estendidos para caracterização complementar das fibras.

Adicionalmente, ele apresentou um estudo comparativo baseado em Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) com foco em três categorias de impacto ambiental: Potencial de Aquecimento Global (GWP), Demanda Acumulada de Energia (CED) e Potencial de Criação de Ozônio fotoquímico (POCP). Dois cenários distintos de reforço para pisos foram avaliados – um reforçado com tela metálica (taxa de 3 Kg/m²) e outro reforçado com fibras poliméricas (4kg/m³), ambos equivalentes em termos de capacidade resistente. Para o piso em concreto reforçado com fibras

poliméricas, os resultados apontaram queda de até 12 pontos percentuais nas emissões de gases de efeito estufa (Kg CO₂ equivalente), redução de 15 pontos percentuais na quantidade total de energia primária necessária e redução de 10 pontos percentuais no potencial de criação de ozônio fotoquímico, poluente extremamente perigoso para o meio ambiente e para a humanidade.

BOAS PRÁTICAS DE USO DE FIBRAS EM PAVIMENTOS E TÚNEIS

Igor Torres apontou as falhas e incongruências na normalização e guias nacionais sobre o uso de fibras em pavimentos de concreto. Apesar da sugestão do uso de fibras metálicas e de polipropileno em pavimentos de concreto, não há qualquer metodologia clara de projeto e dimensionamento para pavimentos de concreto reforçado com fibras.

“Há necessidade de as entidades trocarem informações e ideias e fazerem revisão das recomendações e normativas técnicas”, diagnosticou Torres.

Ele foi sucedido, no ciclo de palestras técnicas, pelo professor da PUC-Campinas e diretor de publicações do IBRACON, Prof. Marco Cárnio, que fez comentários gerais sobre as normas disponíveis para o projeto, a execução e controle tecnológico do concreto reforçado com fibras.

Cárnio listou o arsenal de normas brasileiras vigentes para cada etapa da engenharia de pavimentos de concreto reforçado com fibras:

- ▶ Para o projeto: ABNT NBR 6118, ABNT NBR 16935 e PR 1011;
- ▶ Para a execução: ABNT NBR 14931;
- ▶ Para controle: ABNT NBR 16938.

Já, o Eng. Paulo Fernando, diretor da Núcleo Engenharia, com extensa experiência na consultoria de concreto reforçado com fibras para obras de infraestrutura, trouxe a importância do uso das fibras no concreto projetado. Para ele, a vantagem é óbvia: as fibras no concreto eliminam a necessidade de instalação de telas metálicas no revestimento de túneis, facilitando sua execução, aumentando sua produtividade e a segurança dos funcionários no canteiro de obras. Além das macrofibras poliméricas e das fibras metálicas para o reforço do revestimento de túneis, ele recomendou o uso de microfibras de polipropileno para evitar o ‘spalling’ no caso de incêndio, isto é, o efeito explosivo do concreto do revestimento



Eng. Manfredo Belohuby palestrando sobre o concreto 3D

de túneis quando sob altas temperaturas.

INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS COM USO DE FIBRAS

O engenheiro do Exército, Eng. Júlio Nunes, doutorando da PUC-RJ, apresentou seu estudo experimental de um concreto de ultra alto desempenho (UHPC) com fibras usado na execução de obras resistentes a impactos dinâmicos, como queda de pesos, explosões e impactos balísticos.

O grupo de pesquisa do qual participa conseguiu produzir um UHPC de 130 MPa. O uso de fibras propiciou alto nível de controle da fissuração, de deflexão e de fadiga e boa capacidade de resistência ao fogo.

O grupo vem experimentando também a confecção de peças com gradação funcional de UHPC e CRF.

Já, o gerente de inovações da Sika, Eng. Manfredo Belohuby, abordou a manufatura digital. Segundo ele, o concreto usado para impressão 3D de peças e estruturas é mais sujeito à retração plástica e à fissuração. Ele mostrou estudos publicados em revistas científicas internacionais que concluíram que o uso de microfibras de polipropileno no concreto 3D é uma das melhores medidas para controlar a fissuração. Outra medida recomendada é o uso combinado de agentes de cura específicos.

Os estudos mostraram também que a adição de fibras ao concreto não altera suas características de bombeabilidade, extrudabilidade e construtibilidade.

A prova de conceito foi obtida com a construção 3D de uma residência de 80 m² em Caxias do Sul/RS, que levou cerca de 80 horas para ficar pronta, com o uso de ape-

nas dois funcionários. A residência foi construída no sistema off-site, isto é, no próprio canteiro, com uso de pórticos robóticos e o concreto fornecido pela Sika.

Por fim, coube à professora da PUC-Campinas, Prof^a Nádia Forti, abordar os polímeros reforçados com fibra (FRP), que devem crescer cerca de 10% ao ano até 2032, segundo pesquisa do Allied Market Research, em 2022.

Ela apresentou e comentou as normas recém-lançadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas para projeto e controle da qualidade do FRP. A ABNT NBR 17196 Projeto de estruturas de concreto armado com barras de polímero reforçado com fibras traz os critérios e diretrizes gerais para seu uso, como as classes de resistência do concreto (C20 a C50), a possibilidade de combinação com fibras discretas para aumento de capacidade de deformação do concreto, as classes de agressividade do meio e as especificações de dosagem e cobrimento, módulo mínimo de elasticidade (45 GPa), resistência à tração mínima característica (800 MPa) e deformação última a tração mínima (17,7 %).

Já a ABNT NBR 17201 Barras de polímero reforçado com fibras destinadas a armaduras para estruturas de concreto armado, vai da parte 1 que estabelece os requisitos gerais até a parte 12, que trata justamente da perda de resistência à tração e perda de aderência após exposição ao meio alcalino.

Sem dúvida, o ciclo de palestras mostrou as potencialidades das fibras e barras de FRP para fabricantes, especificadores e consumidores, alargando o horizonte para o qual deve ser pensado o escopo do Programa de Qualidade do IFRC. ☺

As novas normas brasileiras para estruturas de concreto com barras de FRP

DANIEL C. T. CARDOSO - PROF. - <https://orcid.org/0000-0002-8171-7956> (dctcardoso@puc-rio.br) – **PUC Rio**
NÁDIA C. DA SILVA FORTI - PROF^a. - <https://orcid.org/0000-0001-9994-5546> (nadia.cazarim@puc-campinas.edu.br) – **PUC Campinas**

RESUMO

AS BARRAS DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRAS (FRP) TÊM SE CONSOLIDADO COMO UMA ALTERNATIVA INOVADORA ÀS TRADIÇÃOAIS ARMADURAS DE AÇO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, DESTACANDO-SE PELA ALTA RESISTÊNCIA MECÂNICA, LEVEZA, TRANSPARÊNCIA ELETROMAGNÉTICA E NOTÁVEL RESISTÊNCIA À CORROSÃO. SEU USO É ESPECIALMENTE VANTAJOSO EM AMBIENTES AGRESSIVOS, ONDE A DURABILIDADE E A BAIXA MANUTENÇÃO SÃO REQUISITOS ESSENCIAIS. O MERCADO GLOBAL DE FRP TEM CRESCIDO EXPRESSIVAMENTE, IMPULSIONADO POR AVANÇOS NORMATIVOS COMO AS DIRETRIZES ACI-440.11-22 E AS RECÉM-PUBLICADAS ABNT NBR 17201 E ABNT NBR 17196, QUE ESTABELECEM CRITÉRIOS PARA ESPECIFICAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E PROJETO ESTRUTURAL. ESTE ARTIGO APRESENTA UM PANORAMA DAS PRINCIPAIS DISPOSIÇÕES NORMATIVAS BRASILEIRAS, ENFATIZANDO A IMPORTÂNCIA DA PESQUISA CONTÍNUA PARA APRIMORAR O USO DO MATERIAL EM ENGENHARIA ESTRUTURAL. AS NOVAS NORMAS BRASILEIRAS REPRESENTAM UM PASSO SIGNIFICATIVO PARA A REGULAMENTAÇÃO DO FRP NO PAÍS, VIABILIZANDO SUA APLICAÇÃO EM PROJETOS INOVADORES E SUSTENTÁVEIS.

PALAVRAS-CHAVE: BARRAS DE FRP, PROJETO ESTRUTURAL, ESPECIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO.

1. INTRODUÇÃO

As barras de polímero reforçado com fibras (FRP, do inglês *fiber-reinforced polymer*) para uso como armadura em estruturas de concreto vêm ganhando cada vez mais a atenção de engenheiros civis ao redor do mundo, em razão de suas vantagens frente às barras de aço convencional, como elevada resistência mecânica, leveza traduzida em facilidade de transporte e

manuseio, transparência eletromagnética e resistência à corrosão. Essas características fazem com que o concreto armado com barras de FRP se apresente como uma excelente alternativa em obras de infraestrutura localizadas em ambientes agressivos e com expectativa de baixa manutenção. Estudos recentes também têm apontado o uso de barras de FRP em concretos produzidos com água do mar e areia de praia como uma estratégia sustentável para superar desafios associados à escassez de areia de rio e água doce no mundo (HU, ZHANG e ZHANG, 2022).

As barras de FRP são materiais compostos obtidos a partir da combinação de fibras contínuas e uma matriz de polímero termofixo, i.e., que não pode ser remoldado após o endurecimento. As principais fibras utilizadas no processo são as de vidro, basalto, carbono e aramida, com maior destaque para as fibras de vidro, que possuem menor custo. Enquanto isso, as principais matrizes são as obtidas a partir de resinas éster vinílicas ou epóxi. As barras são produzidas por um processo automatizado denominado pultrusão, no qual as fibras contínuas são puxadas para um recipiente contendo a resina, e são impregnadas antes de passarem por um molde aquecido, onde ocorre a cura. Na saída do molde, as barras também recebem tratamento superficial, que normalmente consiste no enrolamento de um fio helicoidalmente ao redor da barra ou no revestimento com areia. Destaca-se ainda que, no caso de barras dobradas, o processo de dobra é realizado antes da cura da resina, para evitar danos às barras.

Apesar das vantagens, as barras de FRP também possuem características que

necessitam de atenção, como menor módulo de elasticidade, natureza frágil, menor resistência em regiões de dobras, impossibilidade de realização de dobras em campo e maior vulnerabilidade ao fogo e a altas temperaturas. Nesse último caso, é importante destacar que a matriz polimérica passa a apresentar comportamento borrachoso após a temperatura, no material, ultrapassar a temperatura de transição vítrea (T_g) - normalmente da ordem de 100 °C - e se degrada quando exposta a temperaturas da ordem de 300 °C a 350 °C. Adicionalmente, as barras também podem sofrer degradação ao longo da sua vida útil (FENG *et al.*, 2022) com perda de propriedades mecânicas, como:

- i) fotodegradação quando expostas à ação de raios UV durante o armazenamento;
- ii) degradação associada à absorção de água (hidrólise, plastificação e inchamento); e
- iii) degradação das fibras de vidro quando em contato com meio alcalino, por ocasião da interação dos íons hidroxila com o vidro, com quebra de ligações Si-O-Si e formação de grupos silanol.

O uso de estruturas de concreto com barras de FRP no mundo vem se difundindo rapidamente. Após a Segunda Guerra Mundial, na década de 1940, o uso de compostos de polímero reforçado com fibras cresceu significativamente na indústria, especialmente no setor aeroespacial, devido à sua combinação de alta resistência e leveza. Na década de 1960, esses materiais começaram a ser utilizados como reforço para estruturas de concreto. Projetos notáveis como uma estrutura de cúpula em Benghazi (1968) e a estrutura de cobertura no aeroporto de Dubai (1972) foram

construídas com GFRP (polímero reforçado com fibras de vidro) durante esse período. Os fabricantes de fibra e FRP começaram a se concentrar na redução de custos no final da década de 1980 e início da década de 1990, à medida que o segmento militar de defesa declinava (BAKIS *et al.* 2002). A lista de obras feitas com o material hoje inclui construções, tais como: tubulações, tanques de armazenamento subterrâneos, fachadas de edifícios, componentes arquitetônicos, decks de pontes e estruturas de contenção à beira-mar (KHODADADI *et al.*, 2024). Destaca-se ainda que o mercado global de barras de FRP foi avaliado em US\$ 654,5 milhões em 2022 e deve atingir US\$ 1,8 bilhão até 2032, crescendo a uma taxa anual composta (CAGR) de 10,6 % de 2023 a 2032 (RESEARCH AM, 2024).

Para garantir o uso seguro do material, normas para projeto e construção vêm sendo desenvolvidas no mundo, suportadas por um grande volume de pesquisas realizadas em instituições de renome. Dentre as normas mais recentes destacam-se a ASTM D8505/D8505M-23 e a ISO 10406-1:2015 para especificação das barras e ensaios de caracterização, e a ACI-440.11-22 e o Anexo R do Eurocode 2, voltados para o projeto estrutural. A norma canadense CSA S806:12 (R2021), uma das mais completas e modernas, engloba recomendações para projeto e ensaio em um único documento.

No Brasil, as principais aplicações do concreto com barras de FRP estavam vol-

tadas para *soft-eyes* em paredes diafragma na construção de linhas metroviárias e pequenas estruturas em ambientes industriais. A partir de 2018, no entanto, o cenário começou a mudar, com a entrada no país de barras de FRP importadas e com a construção de fábricas dedicadas à produção nacional. Desde então, as aplicações estruturais têm sido as mais diversas, mas com destaque para o uso em lajes de piso apoiadas sobre o solo. Com relação ao desenvolvimento de documentação orientativa, a primeira iniciativa no país foi a publicação, em 2021, das Práticas Recomendadas para Estruturas de Concreto Armado com Barras de Polímero Reforçado com Fibras (FRP), fruto do trabalho do comitê conjunto ABECE/IBRACON CT303 (Uso de Materiais Não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras).

A partir de 2022, um passo maior foi dado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com a instalação da Comissão de Estudo CE-002:124.026 e da Comissão Especial de Estudo CEE 193, que seriam responsáveis pela elaboração das Normas Brasileiras voltadas para especificações e caracterização, e projeto estrutural, respectivamente. Após quase três anos, as normas ABNT NBR 17196 (Projeto de Estruturas de Concreto com Barras de FRP) e ABNT NBR 17201 (Barras de polímero reforçado com fibras (FRP) destinadas a armaduras para estruturas de concreto –

Partes 1 a 12) foram finalmente publicadas no começo de 2025. O presente artigo tem como objetivo apresentar um resumo das principais disposições das normas, bem como lançar luz sobre as necessidades de estudo e pesquisa.

2. ESPECIFICAÇÃO DAS BARRAS DE FRP E ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

2.1 Escopo

A ABNT NBR 17201 estabelece os requisitos para barras de polímero reforçado com fibras contínuas (FRP), utilizadas em armadura de estruturas de concreto armado. As fibras, que devem ser de vidro (GFRP) ou basalto (BFRP), são embebidas em polímeros termorrígidos. Nessa versão publicada, as fibras de aramida e de carbono não são contempladas.

Para a resina da matriz polimérica, são permitidos polímeros termofixos de epóxi ou vinil éster, assegurando que o produto acabado atenda aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR 17201. Durante os encontros do CEE 193, foi avaliada a possibilidade de utilização da matriz poliéster. No entanto, normas e orientações internacionais (D7957/D7957M; AFGC, 2023) e estudos nacionais (SANTOS *et al.*, 2025) indicam que esse tipo de matriz sofre degradação em ambientes alcalinos, comprometendo a manutenção da resistência ao longo

TABELA 1
PROPRIEDADES REQUERIDAS E MÉTODOS DE ENSAIO PARA CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO

Propriedades	Valores característicos das propriedades para barras de GFRP e BFRP	Método de ensaio
Áreas efetivas da seção transversal (mm²)	Tabela 1 da ABNT NBR 17201-1	ABNT NBR 17201-2
Resistência à tração ^a (MPa)	≥ 800	ABNT NBR 17201-3
Módulo de elasticidade (GPa)	≥ 45	ABNT NBR 17201-3
Deformação específica à tração (%)	≥ 1,1	ABNT NBR 17201-3
Resistência ao esforço cortantea (MPa)	≥ 150	ABNT NBR 17201-4
Resistência de aderência d'a barra ao concreto ^a (MPa)	≥ 12	ABNT NBR 17201-6
Resistência à tração em regiões de dobraa (MPa)	≥ 60% da resistência à tração mínima requerida para a barra	ABNT NBR 17201-7
Temperatura de transição vítrea (°C)	≥ 100	ABNT NBR 17201-8
Grau de cura (%)	≥ 95	ABNT NBR 17201-9
Absorção de água por saturação (%)	≤ 1,0	ABNT NBR 17201-11
Resistências à tração e de aderência ao concreto após exposição ao meio alcalino (MPa)	≥ 80 % da resistência à tração inicial	ABNT NBR 17201-12

^a O VALOR CARACTERÍSTICO FORNECIDO PELO FABRICANTE DEVE SER MENOR OU IGUAL À MÉDIA MENOS TRÊS DESVIOS-PADRÃO DAS AMOSTRAS ENSAIADAS DE ACORDO COM O MÉTODO ESPECIFICADO.

TABELA 2

CLASSES DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL E REQUISITOS MÍNIMOS PARA DURABILIDADE

Classe de agressividade ambiental	Descrição do ambiente	Requisitos mínimos
CAA-FRP-I (Fraca)	Estruturas em ambiente urbano ou rural sem contato permanente com água.	Fator $a/c \leq 0,60$; Concreto de classe mínima C20; Cobrimento mínimo de 30 mm para vigas e de 20 mm para lajes.
CAA-FRP-II (Moderada)	Estruturas em contato permanente com água com teor baixo a moderado de sulfatos, em ambiente marinho ou em contato permanente com água do mar, ou em contato com solo com concentração baixa a moderada de sulfatos.	Fator $a/c \leq 0,50$; Concreto de classe mínima C30; Cobrimento mínimo de 40 mm para vigas e lajes.
CAA-FRP-III (Forte)	Estruturas em contato permanente com água com alto teor de sulfatos, em contato com solo contaminado com produtos químicos ou com alta concentração de sulfatos, ou em ambientes quimicamente agressivos como tanques industriais	Fator $a/c \leq 0,40$; Concreto de classe mínima C45; Cobrimento mínimo de 55 mm para vigas e lajes.

dos anos. Além disso, essas barras devem conter um reforço contínuo mínimo de 75 % em relação à massa total e apresentar acabamento superficial adequado. Quanto ao formato, podem ter seção transversal contínua ou ser dobradas, conforme a necessidade de estribos e ancoragens.

A ABNT NBR 17201 é composta por 12 partes, abrangendo verificações que incluem propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade. Essas diretrizes são fundamentais para assegurar a qualidade e o desempenho do material em diversas aplicações. As propriedades requeridas e métodos de ensaio para caracterização do produto estão listados na Tabela 1.

As Normas ABNT NBR 17201-5 - Determinação da resistência ao cisalhamento horizontal aparente pelo método de viga curta e ABNT NBR 17201-10 - Determinação do teor de fibra pelo método de combustão e do teor de aditivo mineral pelo método de ataque por ácido apresentam requisitos para propriedades requeridas e métodos de ensaio para controle do produto e declaração do fabricante.

As propriedades físicas, como o grau de cura e a temperatura de transição vítrea das matrizes poliméricas, desempenham um papel fundamental no desempenho das barras de FRP. A cura corresponde ao processo de endurecimento da resina da matriz polimérica, formando uma estrutura estável e resistente.

Um grau de cura adequado maximiza a resistência mecânica das barras e melhora a transferência de tensões entre as fibras de reforço. Além disso, a cura completa proporciona maior proteção contra agen-

tes químicos agressivos, como ambientes alcalinos, prevenindo a degradação ao longo do tempo. Resinas que não atingem o grau de cura ideal podem apresentar problemas como absorção excessiva de água, comprometendo sua durabilidade. A cura insuficiente pode resultar em microfissuras na resina, afetando a integridade estrutural do material. Já um processo de cura bem executado assegura estabilidade térmica e resistência à fluência, assegurando um desempenho adequado. Deficiências no grau de cura também podem reduzir a aderência das barras ao concreto, prejudicando a eficiência do reforço estrutural.

A temperatura de transição vítrea (T_g) é um parâmetro fundamental para as barras de FRP, pois define o limite térmico em que a matriz polimérica muda de um estado rígido e vítreo para um estado mais flexível e borrachoso. Esse fator impacta diretamente o desempenho estrutural e a durabilidade das barras. A temperatura de transição vítrea define os limites de uso seguro das barras de FRP, influenciando sua resistência mecânica, estabilidade térmica e vida útil.

3. PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO COM BARRAS DE FRP

3.1 Escopo

Considerando o horizonte limitado de trabalho e a necessidade de haver um documento consolidado com diretrizes e requisitos para um projeto seguro, o escopo da ABNT NBR 17196 foi limitado ao uso de barras de FRP de vidro ou basalto e polímero termofixo como armadura passiva em con-

cretos estruturais com ou sem fibras discretas até a classe C50, sozinhas ou em combinação com armaduras passivas metálicas para fins de ductilidade e comportamento em condições extremas. A norma não inclui previsões para casos em que a armadura de FRP esteja sujeita a temperaturas superiores a 80 °C, para estados-limites gerados por ações extremas como sismos, impactos, explosões e fogo, bem como para sistemas de lajes apoiadas diretamente sobre pilares ou de lajes nervuradas.

3.2 Diretrizes para Durabilidade das Estruturas

Visando à durabilidade das estruturas, a norma chama atenção para os cuidados necessários para evitar a degradação dos materiais constituintes. Para as barras de FRP, inclui a necessidade de comprovar a eficiência frente ao ataque alcalino, a manutenção das barras em condição abrigada de umidade e de ação UV durante o armazenamento e a necessidade de proteção térmica em ambientes com possibilidade de altas temperaturas. A norma também define classes de agressividade ambiental e requisitos em termos de classe mínima de resistência do concreto e cobrimento da armadura, conforme apresentado na Tabela 2.

3.3 Propriedades dos materiais e comportamento conjunto

Com relação às propriedades dos materiais consideradas em projeto, recomenda-se utilizar as normas ABNT NBR 6118 para obtenção das propriedades de

concreto e aço e a ABNT NBR 16935 para as propriedades do concreto com fibras. Para as barras de FRP, recomenda-se que, na ausência de ensaios, o comportamento seja assumido como linear elástico, com resistência à tração característica (f_{fk}) e módulo de elasticidade longitudinal (E_f) de 800 MPa e 45,8 GPa, respectivamente. Além disso, a resistência à compressão da barra é desprezada e, em regiões de dobras, a resistência característica (f_{fck}) é reduzida conforme Equação 1 a seguir:

$$[1] \quad f_{fbk} = \left(\frac{0,05r_b}{\phi} + 0,3 \right) f_{fk}$$

Onde:

r_b é o raio interno de dobra e;

ϕ é o diâmetro nominal da barra.

A ABNT NBR 17196 também apresenta disposições para uso conjunto dos materiais, como expressões para cálculo da resistência de aderência, f_{bd} , (Equação 2) e do comprimento de ancoragem necessário, $l_{b,nec}$ (Equação 3). Essas expressões sofreram adaptações com relação à forma daquelas constantes em normas internacionais, para maior semelhança com as diretrizes utilizadas para estruturas de concreto armado convencional. A norma também apresenta disposições com relação ao raio mínimo do raio de dobra ($\geq 3\phi$) e ao comprimento do trecho reto ($\geq 12\phi$) em regiões de ancoragem de barras dobradas e estribos, além de previsões para emenda de barras por traspasse ($\geq 1,3 \times$ comprimento de ancoragem básico, 300 mm ou 20ϕ) e para armadura transversal em regiões de ancoragem e emendas.

$$[2] \quad f_{bd} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 f_{ctd}$$

$$[3] \quad l_{b,nec} = \alpha l_b \frac{A_{f,calc}}{A_{f,ef}} \geq 12\phi \text{ ou } 200 \text{ mm}$$

Na Equação 2, f_{ctd} é a resistência à tração de cálculo do concreto e η_1 , η_2 , η_3 e η_4 são coeficientes que levam em consideração o tipo de revestimento ($\eta_1 = 1,5$ para revestimento de areia ou $1,3$ para barras com fios enrolados), a posição da barra no concreto ($\eta_2 = 1,0$ para boa aderência ou $0,7$ para má aderência), o diâmetro ($\eta_3 = 1,0$ para $\phi \leq 20$ mm ou $0,8$ caso contrário) e o tipo de material ($\eta_4 = 1,0$ para barras com fibras de basalto e vidro). Já na Equação 3, $\alpha = 1,0$ para barras sem gancho e $0,7$ para barras com gancho, $A_{f,calc}/A_{f,ef}$ é a

razão entre as áreas de armadura de FRP necessária e a efetivamente adotada e l_b é o comprimento de ancoragem básico, dado conforme Equação 4, onde σ_{fd} é a resistência à tração de cálculo da barra, considerando ou não a presença de dobra, conforme a necessidade.

$$[4] \quad l_b = \frac{\phi \sigma_{fd}}{4 f_{bd}}$$

3.4 Estados-limites, ações e resistências

O projeto de estruturas de concreto com barras de FRP é baseado no método dos estados-limites, tal qual ocorre na ABNT NBR 6118 para estruturas de concreto convencionais. Em geral, as ações e as combinações a serem consideradas são aquelas que constam na ABNT NBR 8681. Entretanto, de forma a considerar a reduzida ductilidade do material e as consequências de uma possível ruptura frágil, recomenda-se que os coeficientes de ponderação das ações (coeficientes de majoração) no estado-limite último (ELU) sejam multiplicados por um coeficiente de ajustamento $\gamma_{n,l} = 1,1$.

Com relação às resistências de cálculo, por conveniência, foram mantidos os coeficientes de ponderação das ações (coeficientes redutores) para concreto e aço especificados na ABNT NBR 6118. Já, para o FRP, a resistência de cálculo pode ser obtida de forma genérica por meio da Equação 5, onde o coeficiente γ_{FRP} – adotado como $1,3$ para combinações normais de ações – foi calibrado de modo que o índice de confiabilidade estrutural fosse superior a $3,5$ e C_E é um coeficiente de redução ambiental tomado como $0,85$.

$$[5] \quad f_d = C_E \frac{f_k}{\gamma_{FRP}}$$

3.5 Limites para dimensões, deslocamentos e aberturas de fissuras

Considerando a maior flexibilidade das estruturas de concreto com barras de FRP, as dimensões mínimas dos elementos são iguais ou superiores às aquelas requeridas pela ABNT NBR 6118 para estruturas de concreto ar-

mado convencional: 15 cm para largura de vigas, 19 cm para pilares (sem possibilidade de dimensões inferiores) e 10 cm ou 12 cm para lajes, sendo o valor mais alto prescrito para lajes em balanço ou suportando veículos. A ABNT NBR 17196 requer ainda o uso de coeficiente ajustador para lajes em balanço, bem como limitações geométricas em regiões de furos. Por fim, os deslocamentos-limites seguem as disposições da ABNT NBR 6118 e as aberturas de fissura limites são estabelecidas de acordo com a classe de agressividade ambiental: 0,7 mm para CAA-FRP-I, 0,6 mm para CAA-FRP-II e 0,5 mm para CAA-FRP-III.

3.6 Análise estrutural, instabilidade e análise de 2ª ordem

Um dos grandes desafios na análise de estruturas de concreto com barras de FRP é a ausência de ductilidade, restringindo a possibilidade de análises plástica e linear com redistribuição. A análise linear sem redistribuição pode ser realizada considerando-se a seção bruta dos elementos estruturais, tal qual ocorre na ACI-440.11-22. No entanto, como a distribuição de esforços pode ser influenciada pela fissuração, a ABNT NBR 17196 oferece como alternativa a obtenção dos esforços a partir de análise utilizando a distribuição de rigidez fissurada dos elementos estruturais.

Embora reconheça as limitações associadas ao comportamento frágil do material, a ABNT NBR 17196 propõe uma abordagem interessante, conferir ductilidade às estruturas: i) por meio da incorporação de fibras discretas no concreto; ii) por meio da utilização de armadura que produza confinamento do concreto sob compressão; e iii) por meio da combinação com armaduras metálicas. Nos dois primeiros casos, a estratégia resulta em maior deformação do concreto sob compressão, incrementando ductilidade em elementos superarmados.

Na análise global de 2ª ordem das estruturas, a ABNT NBR 17196 propõe o uso do método do coeficiente γ_2 , também disponível na ABNT NBR 6118, e recomenda considerar os efeitos apenas quando eles superarem 10% dos efeitos de 1ª ordem. Reconhecendo a menor

rigidez dos elementos de concreto com barras de FRP, recomenda-se que as rigidezes de pilares e vigas/lajes sejam reduzidas a 0,40 e 0,15 de seus valores de rigidez não fissurada, respectivamente. Finalmente, os efeitos de 2ª ordem locais devem ser considerados para pilares com esbeltez superior a 35, sendo 50 a maior esbeltez tolerada. Os métodos geral e do pilar-padrão com rigidez aproximada podem ser utilizados para obtenção dos efeitos locais de 2ª ordem. Os efeitos da fluência devem ser considerados a partir de redução no momento de inércia equivalente.

3.7 Dimensionamento de vigas e pilares no estado-limite último (ELU)

Para elementos lineares sujeitos a solicitações normais de flexão composta, a verificação estrutural pode ser realizada com auxílio da construção de diagramas de interação obtidos a partir de análise seccional, considerando as hipóteses usuais de seções planas, compatibilidade de deformações e tensões obtidas a partir dos diagramas tensão-deformação dos materiais, bem como desprezando-se as contribuições do concreto tracionado e das barras de FRP comprimidas. Além disso, as simplificações associadas ao bloco retangular de tensões de compressão podem ser adotadas para o caso de seções transversais retangulares.

No caso de vigas sujeitas à flexão simples, o momento resistente de cálculo é determinado em função da taxa de armadura, $\rho_f = A_f/(bd)$, onde A_f é a área de armadura tracionada na seção transversal, d é a altura útil e b é a largura da viga, em comparação com a taxa balanceada, ρ_{fb} , que é aquela para a qual acontece a transição entre os modos de falha por ruptura da armadura e por esmagamento do concreto, dada pela Equação 6:

$$[6] \quad \rho_{fb} = \lambda \alpha_c \eta_c \frac{f_{cd}}{f_{fd}} \frac{E_f \epsilon_{cu}}{E_f \epsilon_{cu} + f_{fd}}$$

Onde:

$\lambda = 0,8$ é o fator de profundidade do bloco retangular de compressão;

$\alpha_c \eta_c f_{cd}$ é a resistência à compressão adotada

para o concreto conforme ABNT NBR 6118; f_{fd} é a resistência à tração de cálculo do FRP, determinada conforme Equação 5; ϵ_{cu} é a deformação limite à compressão do concreto na flexão e; E é o momento resistente de cálculo computado como:

$$[7] \quad M_{Rd} = \sigma_{fd} A_f (d - \lambda x/2)$$

Onde:

x é a profundidade da linha neutra (Equação 8) e;

σ_{fd} é a tensão nominal a ser considerada na barra (Equação 9).

$$[8] \quad x = \begin{cases} \frac{f_{fd} A_f}{\lambda \alpha_c \eta_c f_{cd} b}, & \rho_f \leq \rho_{fb} \\ \frac{1}{2b} \frac{\epsilon_{cu} A_f E_f}{\lambda \alpha_c \eta_c f_{cd}} \left(-1 + \sqrt{1 + 4 \frac{\lambda \alpha_c \eta_c f_{cd}}{\epsilon_{cu} A_f E_f} b d} \right), & \rho_f > \rho_{fb} \end{cases}$$

$$[9] \quad \sigma_{fd} = \begin{cases} f_{fd}, & \rho_f \leq \rho_{fb} \\ \frac{b \lambda x \alpha_c \eta_c f_{cd}}{A_f}, & \rho_f > \rho_{fb} \end{cases}$$

Para o dimensionamento à força cortante, a verificação no ELU se dá para duas condições:

i) esmagamento da diagonal comprimida; e
ii) ruptura das armaduras transversais tracionadas. Para o primeiro caso, a verificação é realizada de forma análoga ao concreto armado convencional, conforme ABNT NBR 6118.

No segundo caso, os modelos disponíveis na literatura e em normas internacionais são variados, como o modelo baseado na teoria do campo de compressão modificado da CSA S806:12 (R2021) e o modelo de treliça com contribuição adicional dos mecanismos complementares do concreto da ACI-440.11-22. A proposta da ABNT NBR 17196 segue este último e a verificação deve ser feita conforme Equação 10.

$$[10] \quad V_{sd} \leq V_c + V_f = 0,6 f_{ctd} b x_{II} + 0,9 d f_{fvd} \left(\frac{A_{ft}}{s} \right)$$

Onde:

V_{sd} é o cortante solicitante de cálculo;

V_c é a parcela de contribuição dos mecanismos do concreto;

V_f é a parcela de contribuição da armadura transversal;

x_{II} é a profundidade da linha neutra no estágio II;

A_{ft}/s é a área de armadura transversal por unidade de comprimento da viga e;

f_{fvd} é a resistência nominal do estribo, comutada conforme Equação 5, mas limitada a 0,5 % E_f/γ_{FRP} .

Nota-se que a ABNT NBR 17196 considera diagonais a 45° e assume que as tensões nas barras da armadura interceptadas pela armadura sejam iguais. Além disso, para levar em consideração as consequências da maior flexibilidade da armadura, como maiores aberturas de fissura com redução de engrenamento dos agregados e menor contribuição de efeito de pino, a parcela de contribuição do concreto é inferior àquela adotada para concreto armado convencional.

A ABNT NBR 17196 também apresenta requisitos para dimensionamento à torção e para solicitações combinadas, bem como orienta para que as tensões na armadura no estágio II para combinação quase permanente de ações não superem $CEff_k/3,0$, para evitar ruptura por fluência da armadura. Além disso, a ABNT NBR 17196 propõe armaduras longitudinais e transversais mínimas para os elementos estruturais.

3.8 Verificações no estado-limite de serviço (ELS)

As principais verificações em serviço apresentadas na ABNT NBR 17196 são referentes ao estado-limite de deformação excessiva e ao estado-limite de fissuração. Para o estado-limite de deformação excessiva, adota-se a formulação de Bischoff and Gross (2011) para cálculo do momento de inércia efetivo (Equação 11), que apresenta melhores resultados do que os obtidos pela expressão de Branson tradicionalmente adotada em concreto armado.

$$[11] \quad I_e = \frac{I_{II}}{1 - \gamma \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^2 \left(1 - \frac{I_{II}}{I_c} \right)} \leq I_c$$

Onde:

M_a é o momento solicitante na seção crítica do trecho considerado;

I_c e I_{II} são os momentos de inércia da seção bruta e no estágio II, respectivamente;

$\gamma = 1,7 - 0,7(M_r/M_a)$ e;

$M_r = f_{ctk,inf} l / y_t$ é o momento de fissuração, com $f_{ctk,inf}$ e y_t seguindo as mesmas definições da ABNT NBR 6118.

Destaca-se que a expressão de M_r leva a um momento de fissuração menor do que aquele adotado para o concreto armado convencional, reproduzindo o fenômeno observado em ensaios. Finalmente, a flecha diferida é determinada seguindo-se os requisitos da ABNT NBR 6118, mas desprezando-se a contribuição de armaduras comprimidas de FRP.

Para o estado-limite de fissuração, a abertura de fissura característica pode ser obtida conforme Equação 12, onde: c_{nom} é o cobrimento nominal da armadura, f_{ctm} e E_{cs} são a resistência à tração média e o módulo de deformação secante do concreto, ρ_{ef} é a taxa de armadura efetiva, σ_f é a tensão de tração na armadura de FRP determinada no estágio II e τ_b é a tensão de aderência nominal, que pode ser tomada como $1,8 f_{bd}$. A ABNT NBR 17196 permite ainda considerar a contribuição das fibras no controle da fissuração por meio da substituição de f_{ctm} por $(f_{ctm} - f_{ctr})$, onde f_{ctr} corresponde à resistência residual à tração do concreto com fibras para uma abertura CMOD (*crack mouth opening displacement*) de 0,5 mm (ABNT NBR 16938).

$$[12] \quad w_k = \frac{2}{E_f} \left[1,5c_{nom} + \frac{1}{4} \frac{f_{ctm} \phi}{\tau_b \rho_{ef}} \right] \left[\sigma_f - \frac{1}{2} \frac{f_{ctm}}{\rho_{ef}} \left(1 + \frac{E_f}{E_{cs}} \rho_{ef} \right) \right] \geq 0$$

3.9 Outros tópicos

A ABNT NBR 17196 aborda ainda outros tópicos importantes para o projeto estrutural, de forma resumida destacamos a seguir:

- Dimensionamento no ELU e verificações no ELS de lajes: seguem critérios para vigas, com exceção de aspectos como armadura secundária e critérios para dimensionamento quanto à força cortante sem armadura transversal, onde uma expressão semelhante àquela que consta na ABNT NBR 6118 é utilizada;
- Detalhamento de armaduras em vigas, pilares e lajes: requisitos como espaçamentos entre barras das armaduras longitudinal e transversal, estribos para prevenir flambagem de barras de FRP, disposição da armadura longitudinal para cobertura do diagrama de força de tração decalado em vigas, ancoragem nos apoios extremos e intermediários, armadura de pele e armaduras para suspensão em apoios indiretos e para ligações mesa-alma em vigas;
- Dimensionamento de elementos especiais: introduz diretrizes para uso do método das bielas e tirantes para projeto de estruturas de concreto com barras de FRP, incluindo reorientações de trajetórias permitidas, expressão para determinação da área de tirantes e dimensões das bielas para as verificações quanto ao esmagamento;
- Verificação aos estados-limites asso-

ciados a ações dinâmicas e cíclicas: diretrizes para verificações quanto à vibração excessiva, ressonância e fadiga.

4. CONCLUSÕES

Ao longo do presente artigo foram apresentadas algumas diretrizes e requisitos propostos nas recém-publicadas Normas ABNT NBR 17201 e ABNT NBR 17196, respectivamente voltadas para especificação/caracterização de barras de FRP e para o projeto de estruturas de concreto com armaduras de FRP. As duas normas foram desenvolvidas considerando-se o estado da arte e as disposições das principais normas internacionais, mas com adaptações para o contexto brasileiro. No entanto, há de se reconhecer que, embora modernas, há diversos aspectos que ainda podem ser melhorados e incorporados e que serão objeto de revisão futura, como o uso de telas e barras de transferência, o comportamento em situação de incêndio e o uso de armaduras ativas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IBRACON, à ABECE e à ABNT por todo o apoio durante o desenvolvimento das ABNT NBR 17196 e ABNT NBR 17201, bem como às empresas e aos participantes das Comissões de Estudo, que se mantiveram ativamente engajados e forneceram contribuições valiosas para a construção das normas publicadas. Os autores agradecem ainda às agências de fomento nacionais e estaduais pelo apoio concedido. ☺

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Hu X, Xiao J, Zhang K, Zhang Q. The state-of-the-art study on durability of FRP reinforced concrete with seawater and sea sand. J Build Eng 2022;51:104294. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104294>.
- [2] Feng G, Zhu D, Guo S, Rahman MZ, Jin Z, Shi C. A review on mechanical properties and deterioration mechanisms of FRP bars under severe environmental and loading conditions. Cem Concr Compos 2022;134:104758. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104758>.
- [3] Bakis CE, Bank LC, Brown VL, Cosenza E, Davalos JF, Lesko JJ, et al. Fiber-Reinforced Polymer Composites for Construction — State-of-the-Art Review. J Compos Constr 2002;6:73–87. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0268\(2002\)6:2\(73\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0268(2002)6:2(73)).
- [4] Khodadadi N, Roghani H, Harati E, Mirdarsoltany M, De Caso F, Nanni A. Fiber-reinforced polymer (FRP) in concrete: A comprehensive survey. Constr Build Mater 2024;432:136634. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136634>.
- [5] Research AM. Fiber Reinforced Polymer Composite Rebar (FRP Rebar) Market Size, Share, Competitive Landscape and Trend Analysis Report, by Fiber Type, by Resin Type, by Application: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast. 2024.
- [6] AFGC. Recommendations for the use of FRP (Fibre Reinforced Polymer) rebars for reinforced concrete structures. 2023.
- [7] Santos LFO, da Silva Forti NC, Cardoso DCT, dos Santos NV, Pimentel LL, de Avila Jacintho AEPG. Hydrothermal aging of polyester-based GFRP bars in alkaline environment. Mater Struct 2025;58:106. <https://doi.org/10.1617/s11527-025-02629-6>.
- [8] Bischoff PH, Gross SP. Design Approach for Calculating Deflection of FRP-Reinforced Concrete. J Compos Constr 2011;15:490–9. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000195](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000195).

Aspectos do túnel imerso Santos-Guarujá

MARCOS ANTONIO PEREIRA DE GODOY - ENG. - <https://orcid.org/0009-0007-4940-6940> (mapgodoy@yahoo.com) ;

TARCÍSIO BARRETO CELESTINO - GER. DE ENG. - <https://orcid.org/0000-0002-5062-6779> – Themag Engenharia

RENE KUIPER - ENG. - TUNNEL ENGINEERING CONSULTANTS, AMERSFOORT, HOLANDA

SELMO CHAPIRA KUPERMAN - DIR. – Desek Ltda

APRESENTAM-SE ALGUNS ASPECTOS TÉCNICOS DO PRIMEIRO TÚNEL IMERSO PROJETADO NO BRASIL, INTERLIGANDO-SE AS CIDADES DE SANTOS E GUARUJÁ, SOB O CANAL DO PORTO DE SANTOS. O TÚNEL POSSUI CERCA DE 1.500 M DE EXTENSÃO E SEU TRECHO CENTRAL, PROJETADO COMO TÚNEL IMERSO, POSSUI 870 M, SENDO COMPOSTO POR SEIS ELEMENTOS SUBDIVIDIDOS EM SETE SEGMENTOS. O TRAÇADO DO TÚNEL ATENDE A GABARITO DE NAVEGAÇÃO DEFINIDO PELAS AUTORIDADES PORTUÁRIAS (LARGURA: 220 M; ALTURA: 21 M). A SEÇÃO TRANSVERSAL DO TÚNEL (LARGURA: 37,06 M; ALTURA: 10,7 M) ABRANGE TRÊS CÉLULAS, DUAS PARA TRÁFEGO RODOVIÁRIO (TRÊS FAIXAS CADA), ALÉM DA CENTRAL COM GALERIA SUPERIOR (UTILIDADES) E INFERIOR (PEDESTRES E CICLISTAS). DESTACAM-SE AS SOLUÇÕES INOVADORAS, RESULTANTES DO APERFEIÇOAMENTO DA TECNOLOGIA DE IMERSÃO, A QUAL FOI CRIADA PARA A CONSTRUÇÃO DE TÚNEIS LOCALIZADOS PRINCIPALMENTE SOBRE TOPO ROCHOSO PROFUNDO EM ESTUÁRIOS E ÁREAS PORTUÁRIAS.

PALAVRAS-CHAVE: TÚNEL IMERSO, DOCA SECA, MODELO BIELA E TIRANTE.

1. INTRODUÇÃO

As cidades de Santos e Guarujá são separadas pelo Canal de Acesso ao Porto de Santos, o qual possui cerca de 500 m de largura e é assentado sobre perfil geológico com topo rochoso profundo. Atualmente, a principal conexão entre as cidades é realizada por balsas, exigindo a implantação de uma alternativa complementar fixa para atender ao aumento do transporte e à expansão portuária. O Túnel Imerso (IMT, *immersed tunnel*, em língua inglesa) [1], é a solução ideal para o local, região portuária urbanizada, reduzindo a distância rodoviária entre estas cidades, que atualmente é de 46 km, para apenas 2 km. A Secretaria dos Transportes

Metropolitanos do Estado de São Paulo coordenou o projeto do túnel, o qual foi desenvolvido entre os anos 2015 e 2018.

O comprimento total do túnel, com cerca de 1.500 m, abrange um trecho central imerso e os acessos. Com extensão de 870 m, o trecho imerso é composto por seis elementos de túnel (TE, *tunnel element*, em inglês), a unidade estrutural da fase de navegação, imersão e montagem, com comprimento de 145 m cada. Cada TE contém sete segmentos de túnel (TS, *tunnel segment* em inglês), a unidade estrutural da fase de operação.

Para a navegação, o traçado do túnel atende ao gabarito definido pela Autoridade Portuária (220 m de largura e 21 m de profundidade).

O túnel comporta seis faixas rodoviárias em dois sentidos, com altura livre de 5,5 m, além de duas galerias superpostas

na célula central, para a passagem de pedestres e ciclistas, e abrigar utilidades na galeria superior (Figura 1).

Em dois lotes de três, os seis TE serão construídos em Doca Seca (DD, *dry dock* em inglês) temporária localizada em trecho de 500 m do Acesso Guarujá. A DD, com cerca de 14 m de profundidade, é conformada lateralmente por paredes diafragma e complementada por parede *combi-wall* removível, voltada ao canal. Para redução dos esforços solicitantes, o topo das paredes diafragma é contraventado (tubo metálico uniformemente espaçado), o solo de fundação é enrijecido (placa de concreto submerso; injeção de argamassa), e o solo lateral é drenado (redução das pressões externas e eventuais infiltrações).

Após construído cada lote de TE e inundada a DD, os TE flutuam e são rebocados, estacionando temporariamente ao

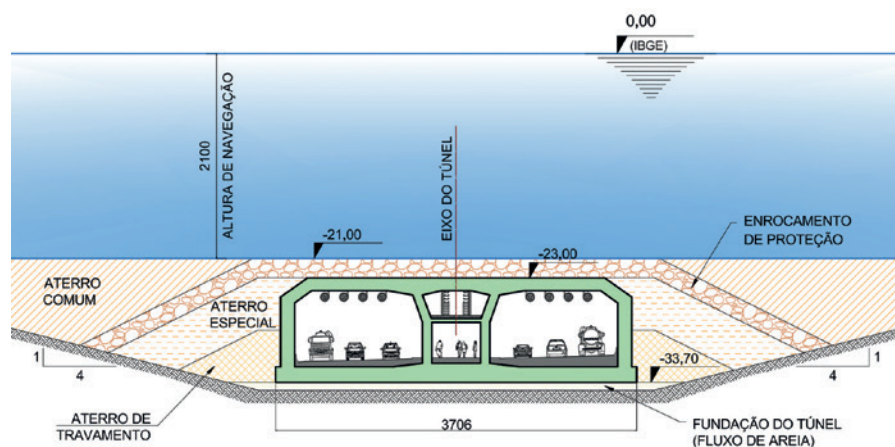


FIGURA 1

SEÇÃO TRANSVERSAL DO IMT ENVOLVIDO POR REATERRO ESPECIAL TÍPICO (MEDIDAS EM CM E NÍVEIS EM M)

FONTE: OS AUTORES

lado da DD. Apenas o sexto TE permanece na DD até a imersão e instalação dos demais, sendo então direcionado para a finalização do trecho imerso. Após o posicionamento final dos seis TE, uma Junta de Fechamento (CLJ) é construída entre TE6 e o Acesso Guarujá.

2. NOMENCLATURA

Apresenta-se o glossário baseado na *International Tunneling Association* [2], padronizando a comunicação internacional sobre o tema:

- ▶ **Túnel imerso:** denominação associada a método construtivo de unidades estruturais temporárias tamponadas (TE) e construídas em DD, que flutuam, navegam e emergem em direção à posição final de operação;
- ▶ **Imersão:** fase de construção do túnel desde a flutuação do TE até a sua

instalação em posição de operação sobre fundação pré-instalada ou suportes temporários;

- ▶ **Doca seca:** local idealmente próximo ao IMT, onde os TE são construídos em ambiente seco, passível de inundação e drenagem controladas, e separado do canal por contenção removível;
- ▶ **Elemento de túnel:** estrutura formada por conjunto de TS, temporariamente consolidado por protensão longitudinal e tamponado nas extremidades, permitindo sua flutuação, navegação e imersão;
- ▶ **Segmento de túnel:** unidade estrutural permanente do IMT, separada das adjacências por juntas verticais vedadas;
- ▶ **Junta de imersão:** junta estrutural impermeável entre TE adjacentes, dotada de vedação dupla de borracha: tipo Gina (bloco contínuo permanentemente comprimido entre TE adjacentes); e

tipo Ômega (lâmina delgada contínua interna conectada a TE adjacentes);

- ▶ **Junta de fechamento:** trecho de finalização do IMT, sempre dotado de dispositivos para manutenção das vedações Gina comprimidas, neste caso em particular localizada na região de interface do TE6 com o Acesso Guarujá; e
- ▶ **Modelo biela e tirante:** método para dimensionamento estrutural principalmente de regiões rígidas, onde bielas representam resultantes de campos de compressão e tirantes resultantes da armadura adotada [3] [4] [5].

3. SEÇÃO TRANSVERSAL

A geometria da seção transversal do IMT deve atender a aspectos operacionais e de navegação, com distribuição dos esforços internos solicitantes compatíveis com a espessura estrutural correspondente. O perímetro da seção de concreto armado deve:

- a) ter densidade global inferior à da água, permitindo a flutuação e navegação das unidades temporárias (TE), mas abrangendo a máxima quantidade de concreto estrutural possível. Uma razão de 2,60 (pouco superior à relação entre densidade do concreto armado e da água) entre área do perímetro da seção transversal e área da seção de concreto fornece uma definição inicial promissora;
- b) posicionar o centro de gravidade do concreto estrutural abaixo do centro de flutuação, proporcionando equilíbrio e estabilidade ao TE durante flutuação, navegação e imersão; e
- c) distribuir os esforços solicitantes compatibilizados com a correspondente espessura estrutural resistente, otimizando a armadura estrutural adotada.

Em túneis com três células, onde a central é mais estreita que as laterais, a adoção de paredes centrais inclinadas melhora a distribuição dos esforços solicitantes da laje superior, contribuindo positivamente para os três aspectos mencionados (Figura 2).

Com tal redução dos esforços internos, a massa de concreto estabelecida pelo critério de flutuação pode ser redistribuída, com menor espessura média na laje superior, compensada por maior espessura na laje inferior. Este arranjo de espessuras, rebaixando o centro de gravidade da seção, beneficia a estabilidade do TE durante as fases de flutuação, transporte e imersão.

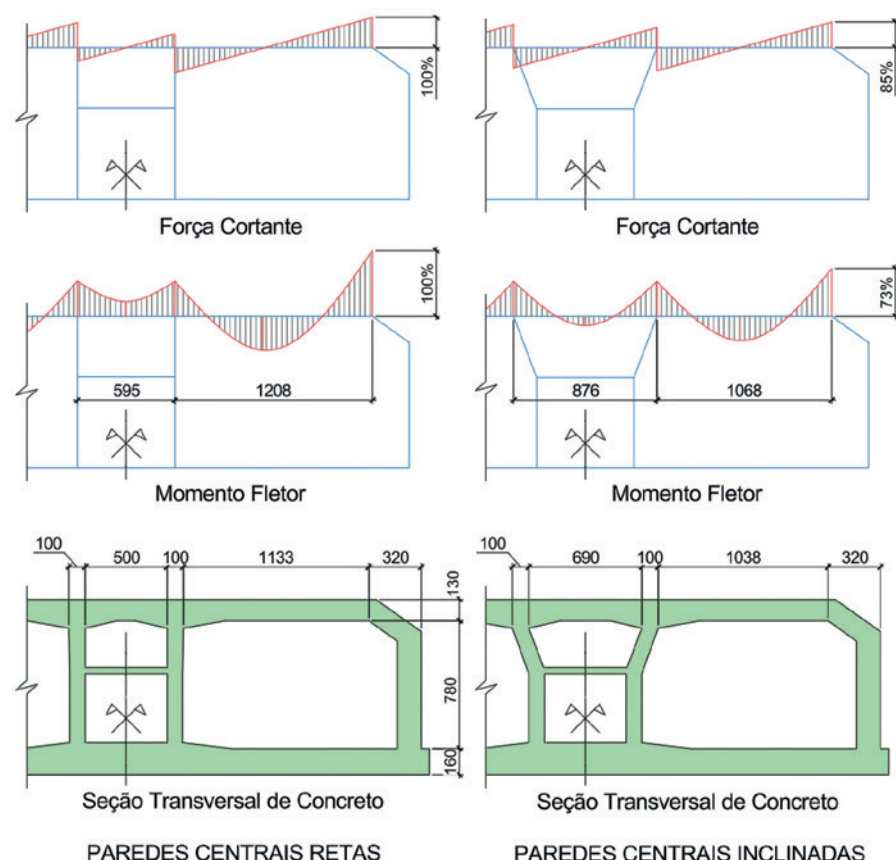


FIGURA 2

COMPARATIVO ENTRE ESFORÇOS INTERNOS ATUANTES EM SEÇÃO TRANSVERSAL DE IMT DOTADO DE PAREDES INTERNAS RETAS E PAREDES INTERNAS INCLINADAS (MEDIDAS EM CM)

FONTE: OS AUTORES

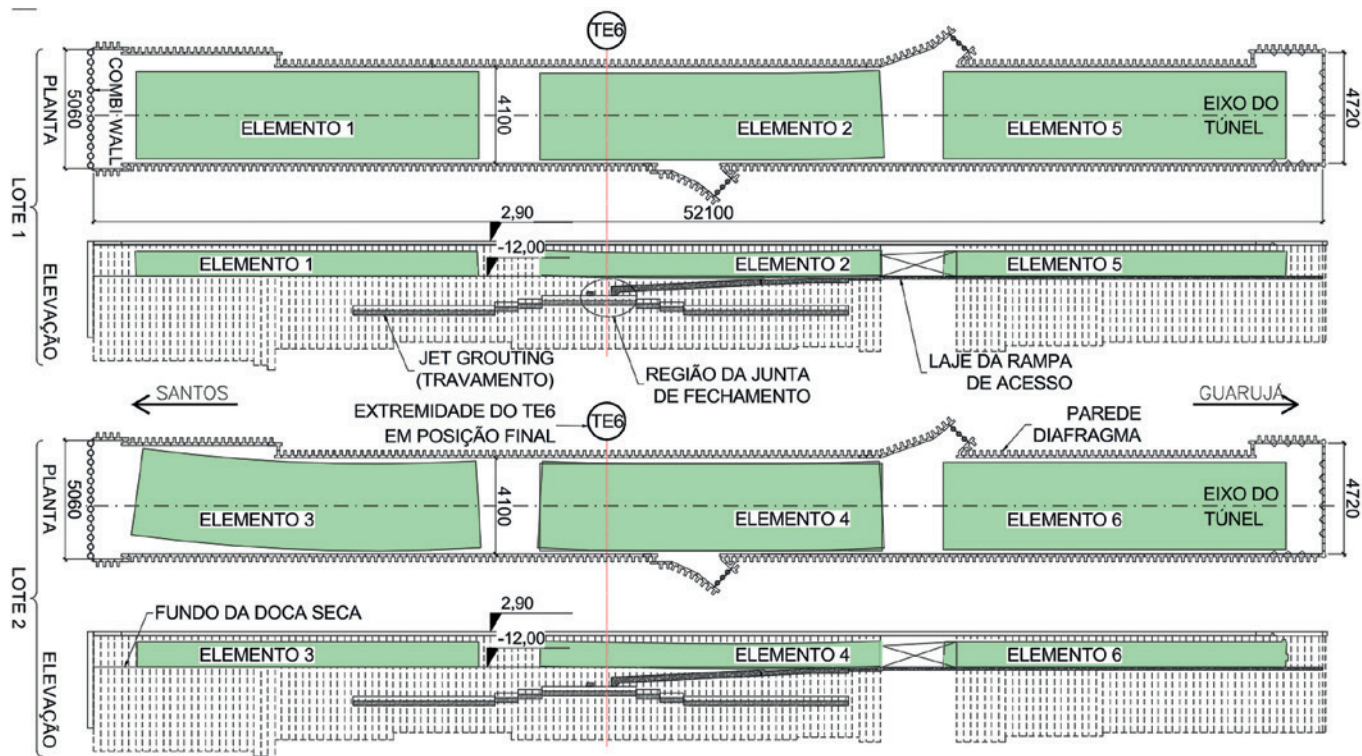


FIGURA 3

PRODUÇÃO EM DUAS ETAPAS DOS SEIS TE NA DD. O EIXO TE6 INDICA A EXTREMIDADE GUARUJÁ DE TE6 (EM POSIÇÃO FINAL) E A LOCALIZAÇÃO DA CLJ (MEDIDAS EM CM E NÍVEL EM M)

FONTE: OS AUTORES

Com o maior equilíbrio do comportamento estrutural obtido com paredes centrais inclinadas, obteve-se uma redução na taxa de armadura esperada, estimada, neste caso, em cerca de 15%.

4. DOCA SECA

Sem local adequado próximo a Santos para a DD, e descartando-se opções distantes por riscos no transporte, optou-se, para tanto, pelo uso de parte do Acesso Guarujá.

Devido às limitações de espaço e possível redução da resistência do solo quando das movimentações da parede *combi-wall*, opta-se pela construção dos TE em dois lotes de três unidades. Com profundidade da DD em cerca de 14 m, comparativamente ao perfil inclinado do Acesso Guarujá, há necessidade de sobre-escavar o trecho voltado ao Guarujá e postergar a escavação do trecho junto ao canal.

Os TE possuem geometrias distintas: TE1, TE5 e TE6 são retos, todo o TE3 abrange quase toda a curva horizontal do IMT, e TE2 e TE4 (simétricos) complementam

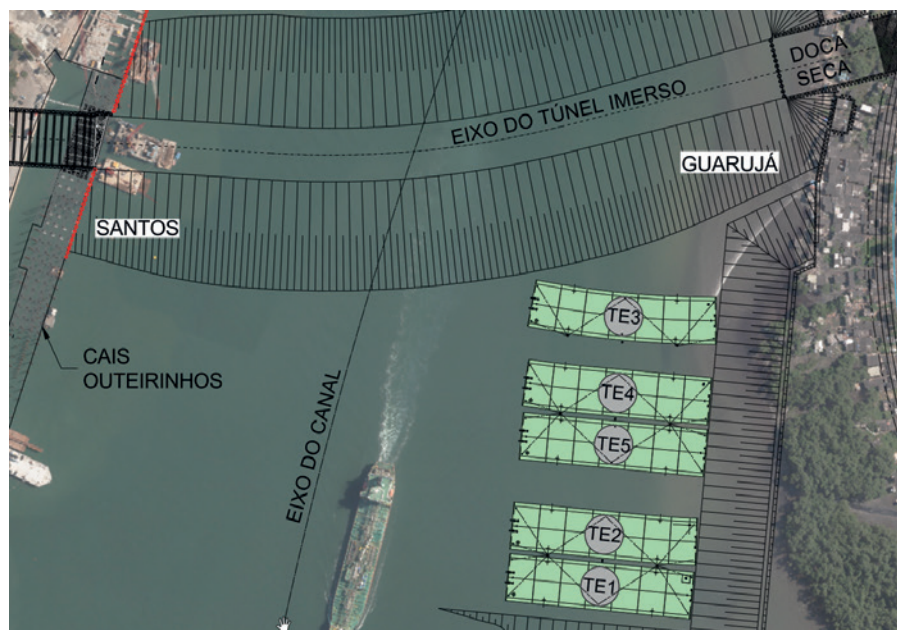


FIGURA 4

ESTACIONAMENTO TEMPORÁRIO DE TE1 A TE5. PLANTA

FONTE: OS AUTORES

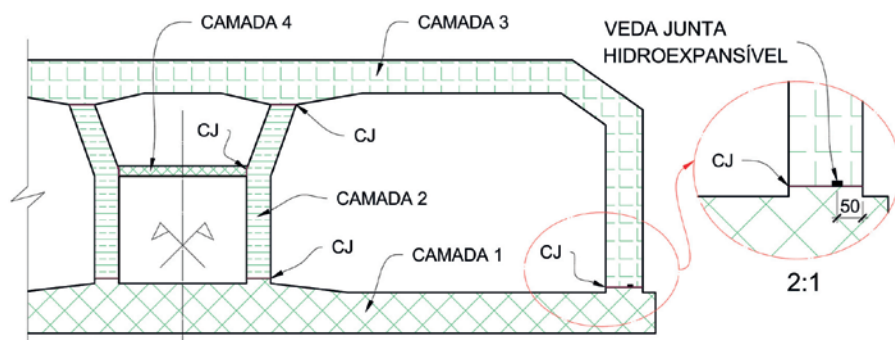


FIGURA 5

SEÇÃO TRANSVERSAL. SEQUÊNCIA E JUNTAS DE CONCRETAGEM (MEDIDAS EM CM)

FONTE: OS AUTORES

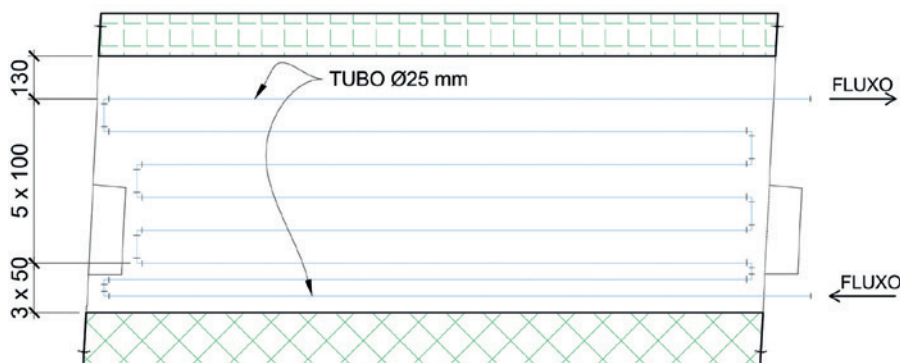


FIGURA 6

SEÇÃO LONGITUDINAL DAS PAREDES EXTERNAS EM ELEVÇÃO.
SISTEMA DE PÓS-REFRIGERAÇÃO PARA UM TS TÍPICO (MEDIDAS EM CM)

FONTE: OS AUTORES

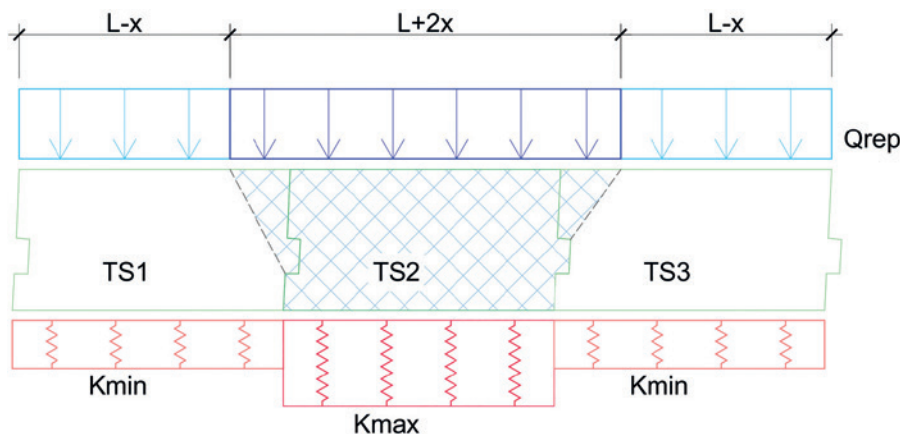


FIGURA 7

EXEMPLO ESQUEMÁTICO NA DIREÇÃO LONGITUDINAL EM ELEVÇÃO. INTERAÇÕES ENTRE TS ADJACENTES DEVIDO À DIFERENÇA DE RIGIDEZ NA FUNDAÇÃO (K_{MAX} ; K_{MIN})

FONTE: OS AUTORES

a curva central horizontal e abrangem as curvas verticais do IMT.

A disposição adequada dos TE na DD (Lote 1: TE1, TE2 e TE5; Lote 2: TE3, TE4 e TE6; Figura 3) otimiza espaço e execução, destacando-se:

- TE3 na saída da DD exige apenas um alargamento localizado para acomodar a curva horizontal;
- TE2 e TE4, simétricos e em lotes distintos, acomodam a curva vertical com reduzido escavamento localizado adicional da DD; e
- TE6, no Lote 2 e no fundo da DD, aguarda no local de construção pela imersão.

Após concluídos, TE1 a TE5 são removidos da DD, estacionando ao lado da DD (Figura 4), enquanto TE6 permanece na DD por não interferir com a imersão dos demais. Após a imersão dos seis TE, a CLJ entre TE6 e o Acesso Guarujá é finalizada com a DD ensecada.

5. CONCRETAGEM DO TE

O TS é a unidade estrutural monolítica dos TE, com comprimento de 20,60 m (cinco TS centrais) ou 20,94 m (TS das extremidades). Sua concretagem ocorre em quatro etapas: laje inferior, paredes internas, paredes externas junto com o teto, e laje interna da célula central. A critério do empreiteiro, as camadas 2 e 4 podem ser unificadas. Apenas duas juntas de concretagem (CJ, *concrete joint* em inglês) ficam no perímetro externo da estrutura, recebendo vedação hidroexpansível para garantia da estanqueidade (Figura 5).

Para controle da retração térmica do concreto, adota-se duplo resfriamento: pré-resfriamento do concreto (substituição parcial da água por gelo) e pós-resfriamento do concreto (nas primeiras horas de hidratação do cimento, circulação de água fria por dutos localizados nas paredes externas (Figura 6).

Como máximas temperaturas de lançamento do concreto (segurança de 20%), o estudo térmico estabeleceu:

- laje inferior, $T_{max} < 20\text{ °C}$;
- paredes internas, $T_{max} < 30\text{ °C}$;
- paredes externas, $T_{max} < 25\text{ °C}$; e
- teto, $T_{max} < 29\text{ °C}$.

Sem pós-resfriamento, a máxima temperatura de lançamento do concreto nas paredes externas seria de 15°C, valor pouco provável em Santos.

6. CHAVE DE CISALHAMENTO

A variação geológica da fundação gera interações de cargas entre TS adjacentes, cargas transmitidas por Chaves de Cisalhamento (SK, *shear key* em inglês), livres apenas de deslocamentos longitudinais. Analisam-se as forças resultantes destas interações considerando-se TS, adjacentes sobre fundações com rigidezes alternadas (máxima e mínima, definidas pela análise geotécnica). Estas forças sobrecarregam as seções transversais das extremidades do TS (Figura 7).

Para avaliação da extensão das regiões sobrecarregadas pela SK, utilizam-se dois Modelos Biela e Tirante (STM, *strut-and-tie model* em inglês) planos, representando a extremidade da parede longitudinal do TS (Figura 8).

O STM idealizado auxilia no dimensionamento das armaduras principais, definindo a extensão das seções transversais sobrecarregadas (igual a 5 m, neste caso). A favor da segurança, desconsideram-se na análise as interações das tensões internas com eventuais cargas externas atuantes e reações da fundação.

7. JUNTAS DE IMERSÃO E FECHAMENTO

Os seis TE são sucessivamente instalados a partir do Acesso Santos, quando a região entre TE adjacentes, a Junta de Imersão (IJ, *immersion joint* em inglês), recebe dupla vedação de borracha contínua: a) Gina, alojada junto ao perímetro externo do TE, com extremidade macia para uma vedação inicial sob baixa compressão, posteriormente complementada pela diferença das pressões hidráulicas entre as extremidades seca (lado Santos) e molhada (lado Guarujá) do TE em instalação; e b) Ômega, fixada nas extremidades dos TE adjacentes e internamente à Gina.

Uma Placa de Reação (RP, *reaction plate* em inglês) horizontal localizada junto à extremidade de TE6 (de espera; fixada nas paredes diafragma da DD) é adotada com a finalidade de impedir movimentações longitudinais dos TE instalados e consequente descompressão das vedações Gina. Esta região, de travamento de TE6 e de interação funcional com o Acesso Guarujá, é denominada junta de fechamento (CLJ, *closure joint* em inglês).

O contato de TE6 com a RP é realizado por duas escoras provisórias de concreto

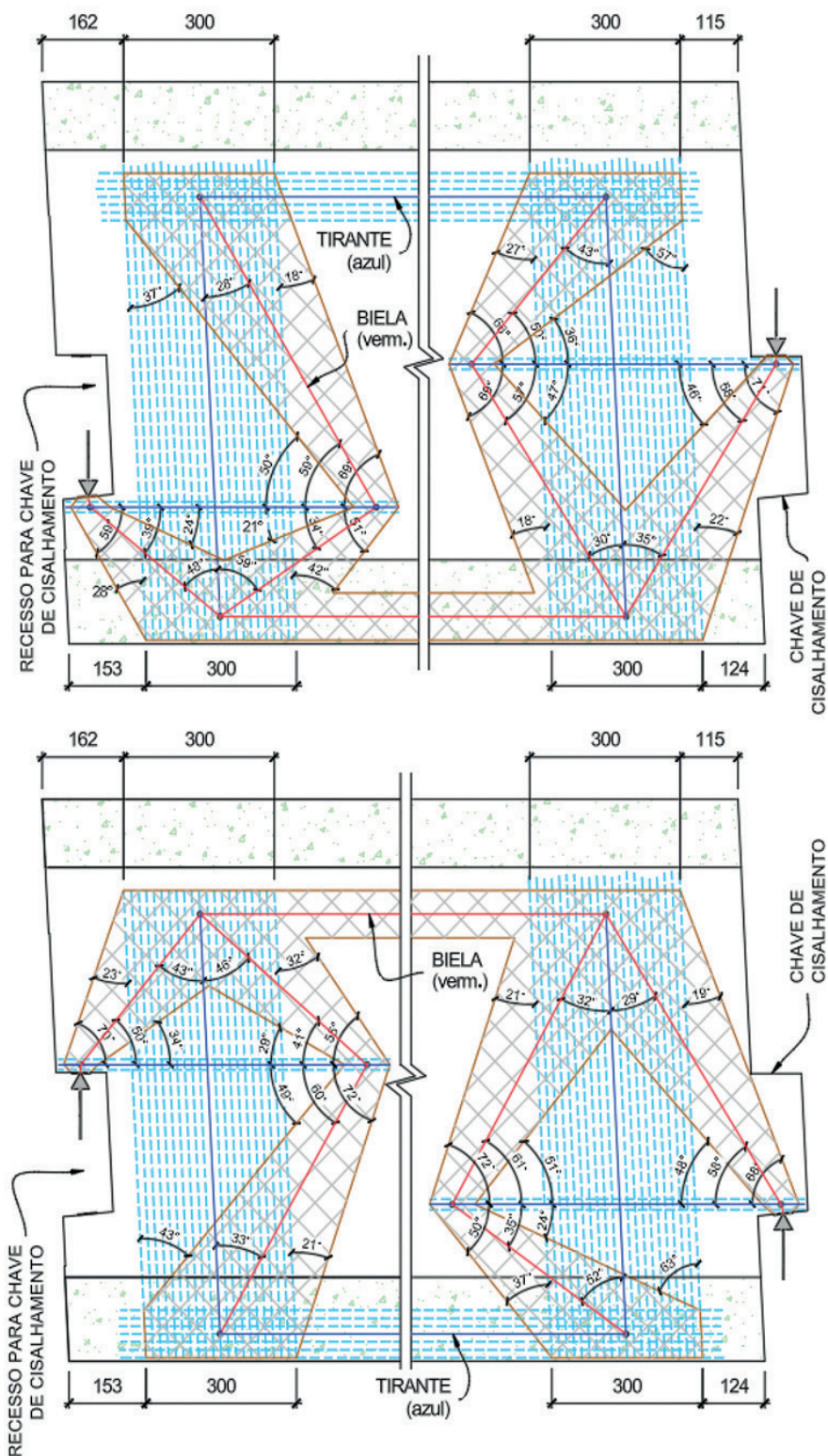


FIGURA 8

STM. EXTREMIDADES DA PAREDE LONGITUDINAL TÍPICA DO TS EM ELEVÇÃO RECEBENDO CARGAS DE TS ADJACENTES (ACIMA) E PARCIALMENTE APOIADA NOS TE ADJACENTES (MEDIDAS EM CM)

FONTE: OS AUTORES

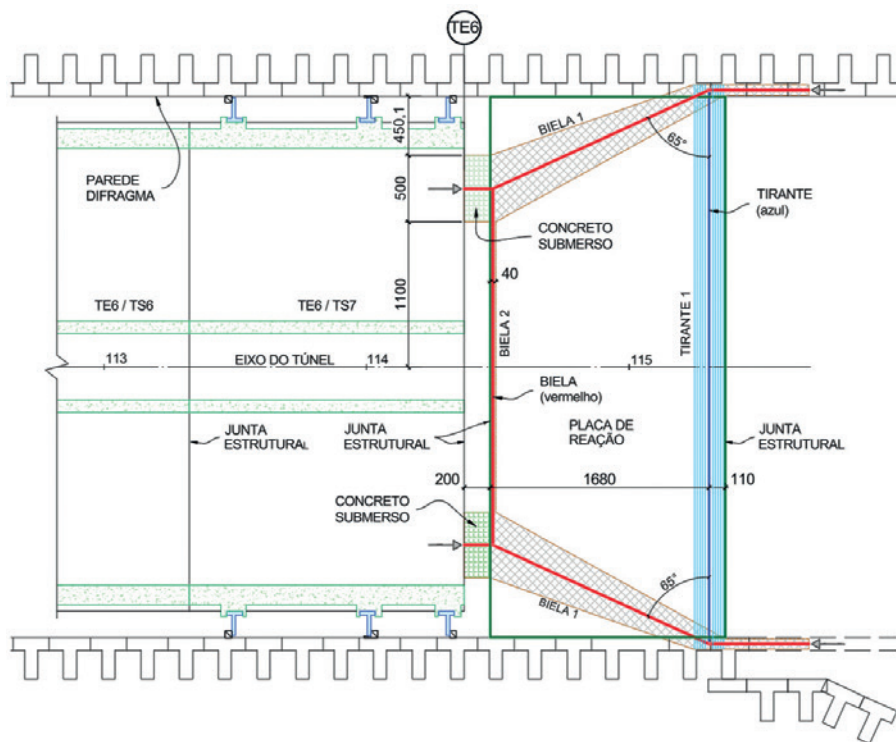


FIGURA 9

STM. CAMPO INICIAL DAS TENSÕES INDUZIDAS PELO TE6 NA PLACA DE REAÇÃO DA REGIÃO DA CLJ. PLANTA (MEDIDAS EM CM)

FONTE: OS AUTORES

submerso (Figura 9), substituídas, após o ensecamento da DD, por escoras definitivas de concreto armado (Figura 10). A carga atuante na RP resulta da decompressão hidráulica quando do ensecamento da DD. Para o ensecamento do Acesso Guarujá, adota-se um barramento hidráulico eficaz em todo o entorno de TE6 (Figuras 11 e 12).

O barramento hidráulico no entorno de TE6 abrange os seguintes itens:

- a) estrutura auxiliar à RP sob TE6, estabelecendo uma transição entre estacas-prancha (controle de percolação no solo) e face inferior do TE6; transição dotada de veda-junta inflável, pré-fixado, moldável por expansão à face inferior do TE6;
- b) geobags preenchidos com argamassa de cimento e bentonita nas laterais de TE6, junto com três placas transversais de concreto pré-moldado, próximas à região a ser drenada (poços de operação automática em cada lado do IMT, em sistema redundante, com fornecimento de energia garantido por gerador); e
- c) ensecadeira de solo lançada sobre o TE6, com material composto no mínimo por 20% de argila, com plasticidade média a baixa, e livre de matéria orgânica.

8. TRATAMENTO DO SOLO DE FUNDAÇÃO

O IMT apoia-se em camada de areia lançada gradualmente sob cada TE (em posição definitiva sobre apoios temporários) por sistema de bombeamento fluante, preenchendo todo o espaço entre o topo do terreno dragado e a face inferior do TE (cerca de 80 cm).

Um afloramento rochoso próximo à junta entre TE1 e TE2 exige reforço de fundação em regiões adjacentes (colunas de argamassa injetada), minimizando recalques diferenciais. No lado Guarujá, devido às condições do solo, toda a fundação de TE6 e parte da TE5 recebem o mesmo reforço de fundação para reduzir recalques diferenciais.

9. PEDESTRES E CICLISTAS

A célula central do IMT contém duas galerias superpostas: a superior, abrigando serviços e utilidades à operação do túnel, e a inferior, destinada a pedestres e ciclistas, também é utilizada como rota de fuga (Figura 13). Ciclistas e pedestres adentram o túnel através de facilidades instaladas em Prédios de Acesso e Operação, localizados nas extremidades da travessia.

Durante a operação normal do túnel, as portas das rotas de fuga (conexões entre as células laterais através da central, a cada 145 m) permanecem bloqueadas. Em caso

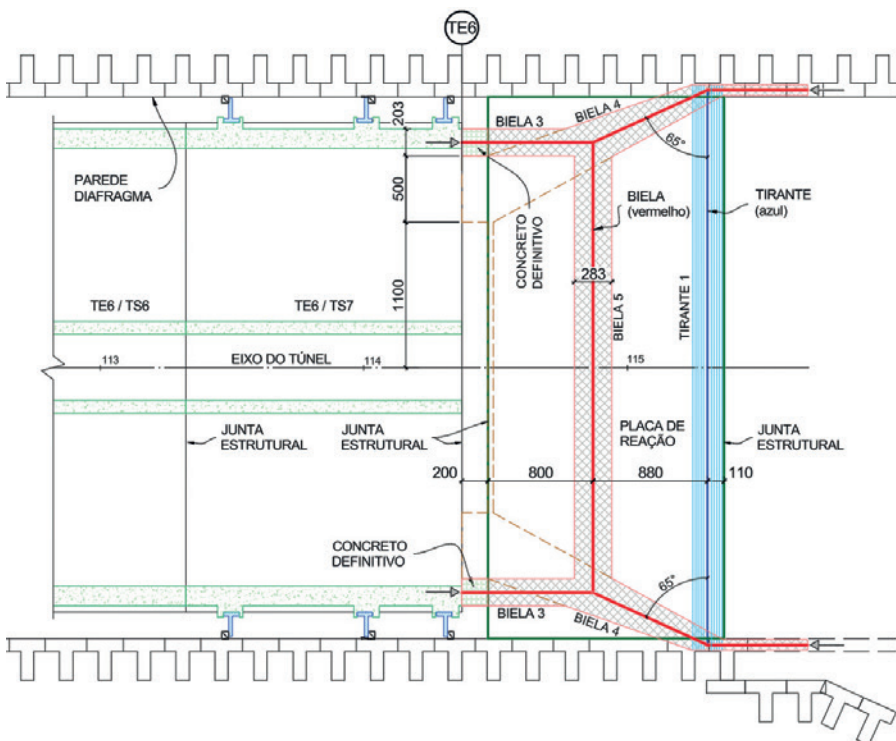


FIGURA 10

CAMPO PERMANENTE DE TENSÕES ATUANDO NA RP (MEDIDAS EM CM). PLANTA.

FONTE: OS AUTORES

de emergência, as portas são destravadas à distância, permitindo o acesso do Corpo de Bombeiros e Equipes de Resgate às três células, inclusive com a passagem de veículos utilitários.

10. TRAÇADO LONGITUDINAL

O gabarito de navegação definido para o canal de navegação (220 m x 21 m) atende a requisitos esperados de futuras embarcações, inclusive as semissubmersíveis. Para a definição do traçado longitudinal do IMT, compatibilizando-o ao gabarito de navegação e aos acessos pré-definidos, uma única curva horizontal é localizada no eixo do canal. Assim, as duas curvas verticais do túnel, alocadas junto aos Acessos, ficam independentes da curva horizontal (Figuras 14 e 15). Este arranjo geométrico, além de favorecer a segurança do tráfego rodoviário, simplifica a construção e a navegação dos TE, e minimiza as dimensões internas (altura e largura) da DD.

Devido à geometria do perfil vertical do túnel, dotada de inclinações favoráveis a ciclistas, e restrições ambientais para extensão da vala de imersão do IMS, projeta-se a construção do Acesso Santos a céu aberto e em vala de construção profunda. A vala é estruturada por paredes diafragma em seção T, contraventamento de fundo com concreto submerso, contraventamento intermediário e de topo com concreto armado, e um sistema externo de bombeamento de água para alívio de pressão durante a construção.

11. DADOS DO PROJETO ESTRUTURAL

Foram considerados os seguintes carregamentos no projeto estrutural:

Permanentes:

- peso próprio;
- peso do lastro de concreto;
- pressão hidrostática.

Variáveis:

- pressão hidrostática;
- pressão de solo;
- carga de tráfego;
- variações de temperatura.

Acidentais:

- explosão interna;
- navio sobre o túnel;
- inundação interna;
- nível extremo de água (com elevação dos oceanos em 50 cm);
- explosão externa;
- queda externa de âncora;
- impacto interno de veículo.

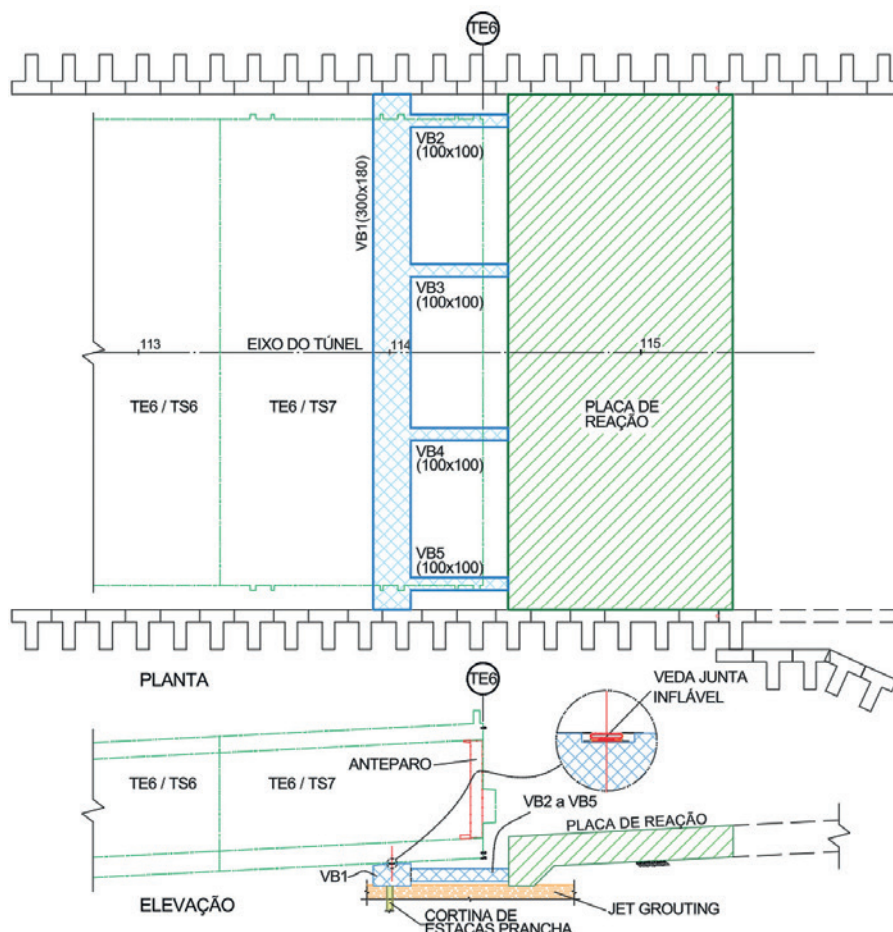


FIGURA 11

ESTRUTURA AUXILIAR SOB A EXTREMIDADE DO TE6, NECESSÁRIA PARA GARANTIR A ESTANQUEIDADE DESTA REGIÃO APÓS A DRENAGEM DO ACESSO GUARUJÁ

FONTE: OS AUTORES

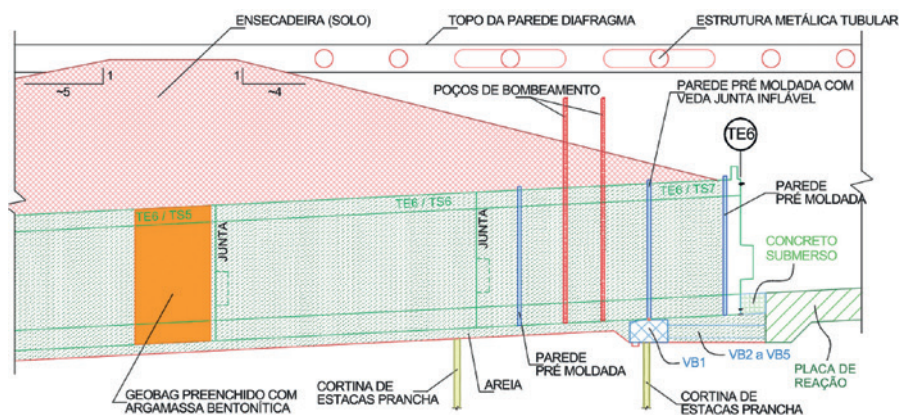


FIGURA 12

DISPOSITIVOS ADOTADOS NO ENTORNO DA EXTREMIDADE DO TE6 (LADO GUARUJÁ) PARA CONTENÇÃO DA ÁGUA DO CANAL, NECESSÁRIOS PARA O ENSECAMENTO DA REGIÃO DA CLJ. ELEVÇÃO

FONTE: OS AUTORES

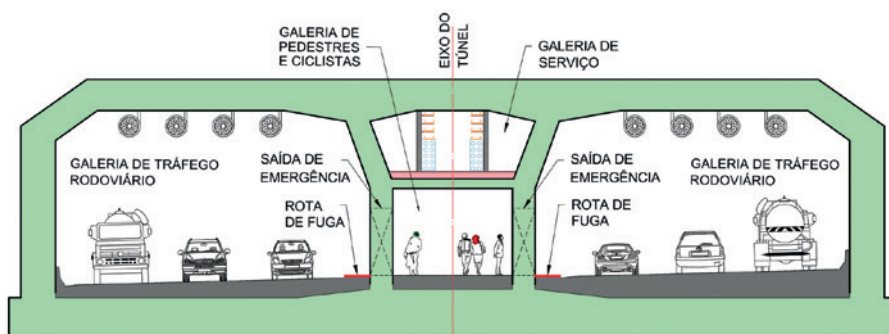


FIGURA 13

FUNCIONALIDADES DISTRIBUÍDAS NA SEÇÃO TRANSVERSAL DO IMT

FONTE: OS AUTORES



FIGURA 14

DISPOSIÇÃO EM PLANTA DO TÚNEL FINALIZADO (IMT EM VERDE; ACESSOS EM MARROM)

FONTE: OS AUTORES

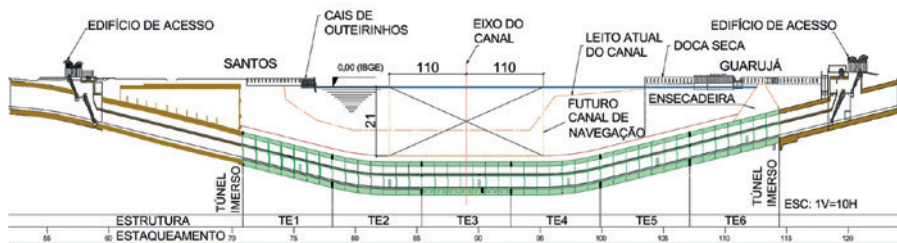


FIGURA 15

PERFIL VERTICAL DO IMT (VERDE) E ACESSOS (MARROM) (VIDE ESCALAS; MEDIDAS EM M)

FONTE: OS AUTORES

Classes de agressividade ambiental [6]:

- a) ambiente externo: Classe IV (muito forte);
- b) ambiente interno: Classe III (forte).

Cobrimento mínimo da armadura:

- a) ambiente externo: 6 cm;
- b) ambiente interno: 6 cm (abrange instalação prévia de placa de proteção passiva contra incêndio), exceto laje interna da célula central, com 4 cm.

Limites para a abertura de fissuras [6]:

- a) ambiente externo: $w_k = 0,20$ mm;
- b) ambiente interno: $w_k = 0,30$ mm.

Resistência característica do concreto estrutural:

- a) concreto armado (IMT; parede diafragma): $f_{ck} = 40$ MPa.
- b) Concreto submerso (CLJ): $f_{ck} = 25$ MPa.

12. CONCLUSÕES

Apresentaram-se aspectos do primeiro projeto executivo de um IMT desenvolvido no Brasil, relatando dificuldades enfrentadas e respectivas soluções adotadas, algumas inovadoras, destacando-se:

- a) procedimentos para a definição da seção transversal do IMT;
- b) otimização do espaço interno da DD localizada no Acesso Guarujá, devido à otimização do traçado geométrico e disposição adequada dos TE;
- c) duplo sistema de resfriamento do concreto para controle da fissuração de origem térmica;
- d) solução para instalação de CLJ no recinto da DD utilizando parte da estrutura da rampa de acesso; e
- e) uso de STM para dimensionamento e detalhamento das armaduras.

AGRADECIMENTOS

Os Autores agradecem à Themag Engenharia e à Royal HaskoningDHV pelo suporte material e pessoal proporcionados ao longo do desenvolvimento do projeto.

Os Autores ressaltam que as informações e opiniões incluídas no artigo são de responsabilidade destes, não refletindo posição do Governo ou de outros entes públicos. ☹

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LUNNIS, R.; BABER, J. Immersed Tunnel, Boca Raton, USA: CRC Press Taylor & Francis Group, 2013, 506p.
- [2] International Tunnel Association (ITA), Lausanne, Swiss. An Owners Guide to Immersed Tunnels. ITA Working Group 11 for Immersed and Floating Tunnels. ITA Report no 7, 2016, 12p.
- [3] FIP Fédération Internationale de la Précontrainte. fib CEB-FIP. FIP Recommendations. Practical Design of Structural Concrete, 1999.
- [4] FIB Fédération Internationale du Béton. Technical Report. Bulletin 61. Design Examples for Strut-and-Tie Models, 2011.
- [5] Schlaich, J., e Schäfer, K. Konstruieren im Stahlbetonbau. Beton-Kalender, Teil 22, 1993, p.327-486.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. - NBR 6118, Rio de Janeiro, 2014.

Reforço à flexão de vigas de concreto com laminados de CFRP: comparação entre sistemas passivo e protendido em situação de serviço

GLÁUCIA MARIA DALFRÉ - PROF. - <https://orcid.org/0000-0003-3623-5103> (glauucia.dalfre@ufscar.br) ;

MARCELO FERNANDES PEREIRA - DOUTORANDO - <https://orcid.org/0000-0002-7303-811X> ;

MARCELO DE ARAÚJO FERREIRA - PROF. DR. - <https://orcid.org/0000-0001-5175-2171> – UFSCar

RESUMO

ESTE ESTUDO AVALIOU O DESEMPENHO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO EM ESCALA REAL REFORÇADAS À FLEXÃO COM LAMINADOS DE CFRP, COMPARANDO SISTEMAS PASSIVOS E PROTENDIDOS EM SITUAÇÃO DE SERVIÇO. OS RESULTADOS DEMONSTRARAM QUE AMBOS OS SISTEMAS DE REFORÇO AUMENTARAM A CAPACIDADE RESISTENTE DAS VIGAS, SENDO O SISTEMA PROTENDIDO MAIS EFICIENTE, COM INCREMENTOS DE FORÇA DE ATÉ 45,23% PARA UM MESMO NÍVEL DE DESLOCA-
MENTO. ALÉM DISSO, A PROTENSÃO REDUZIU AS DEFORMAÇÕES NO CONCRETO E NO AÇO, MELHORANDO O COMPORTAMENTO EM SERVIÇO. O REFORÇO PROTENDIDO TAMBÉM CONTRIBUIU PARA A REDUÇÃO DA ABERTURA DE FISSURAS EM 32,5%, ASSIM COMO NO ESPAÇAMENTO ENTRE FISSURAS. ASSIM, OS RESULTADOS OBTIDOS CONFIRMAM QUE A UTILIZAÇÃO DE LAMINADOS DE CFRP PROTENDIDOS É UMA SOLUÇÃO EFICAZ PARA O REFORÇO ESTRUTURAL, PROPORCIONANDO MAIOR CAPACIDADE RESISTENTE, CONTROLE DE FISSURAÇÃO E DESLOCA-
MENTO, REDUZINDO A ABERTURA DE FISSURAS E MOBILIZANDO COM MAIOR EFICÁCIA O MATERIAL DE REFORÇO.

PALAVRAS-CHAVE:

TÉCNICA EBR, LAMINADO DE CFRP, REFORÇO PROTENDIDO, REFORÇO PASSIVO, FLEXÃO.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) em técnicas de reforço estrutural se destaca pelas suas boas propriedades mecânicas, elevada resistência à corrosão e à fadiga, com baixo peso específico, o que facilita seu manuseio e transporte em áreas ou acessos em que os materiais de técnicas tradicionais são de difíceis aplicações.

A eficiência do reforço à flexão de vigas e lajes de concreto armado por meio da colagem externa passiva de FRP é comprovada em diversos programas experimentais, nos quais incrementos significativos na capacidade última dos elementos reforçados, da ordem de até 50%, quando comparadas com os elementos não reforçados, foram observados (Hong; Park, 2017; Wang *et al.*, 2022). Entretanto,

as técnicas com colagem externa passiva de FRP apresentam algumas desvantagens, como o modo de ruptura associado ao descolamento brusco ou frágil do FRP junto ao substrato de concreto, sendo que nesta condição, apenas 20% a 50% da capacidade última do material de reforço é efetivamente utilizada (Michels *et al.*, 2015; Dushimimana *et al.*, 2023).

De modo a resolver as limitações da colagem externa passiva, diferentes estudos passaram a avaliar o comportamento de sistemas de reforço com laminados de FRP protendidos (Correia *et al.*, 2015; Michels *et al.*, 2015; dentre outros). Além de ser colado ao elemento reforçado com o uso de resina, como ocorre nas técnicas EBR (Externally Bonded Reinforcement) e NSM (Near-Surface Mounted), o laminado ou manta de FRP também é fixado em

suas extremidades por meio de ancoragem metálicas e chumbadores (Figura 1a), condição que permite aplicar força de protensão com o uso de atuador hidráulico (Figura 1b).

Os sistemas de reforço com laminados de CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) protendidos são uma combinação das técnicas de

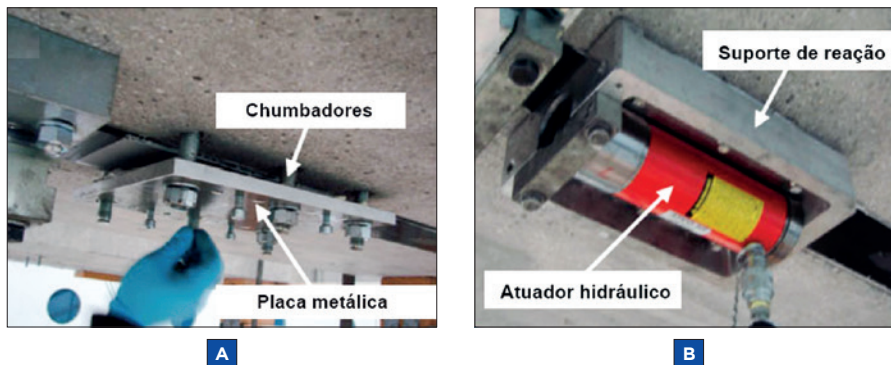


FIGURA 1

SISTEMA DE REFORÇO COM LAMINADOS DE CFRP PROTENDIDOS

FONTE: ADAPTADO DE MICHELS *et al.* (2015)

reforço com colagem externa passiva de FRP e dos conceitos do concreto protendido, em especial, a protensão externa, resultando em um melhor aproveitamento dos materiais envolvidos e melhorando o comportamento em serviço do elemento reforçado, com capacidade de reduzir fissuras e deslocamentos existentes (Correia *et al.*, 2015; Michels *et al.*, 2015; Sena-Cruz *et al.*, 2017). De acordo com resultados obtidos na literatura, quando comparado com a técnica de colagem passiva, a protensão do FRP resulta em melhor comportamento em serviço do elemento reforçado, condição que se dá em função da força de protensão aplicada no ato do reforço, assim como, proporciona maior capacidade resistente devido aos sistemas de ancoragens comumente utilizado na referida técnica. Quanto aos níveis de solicitação do material de reforço, enquanto no reforço passivo a solicitação do laminado geralmente é inferior a 50% de sua capacidade última, no reforço protendido tal solicitação e aproveitamento chega a ser superior a 80%.

Neste âmbito, o presente estudo conta com um programa experimental com vigas de concreto armado em escala real reforçadas à flexão com laminados passivos e protendido, tendo como objetivo analisar o comportamento em serviço das vigas para dois limites de deslocamentos verticais impostos pela norma NBR 6118 (ABNT, 2023, p. 77), (16,0 mm) e (22,4 mm), onde se refere ao vão livre da viga de 560,0 cm. De acordo com a norma NBR 6118 (ABNT, 2023, p. 76), os limites de deslocamentos indicados acima são valores práticos adotados para verificações em serviço do estado-limite de deformações excessivas no elemento estrutural. Ambos os limites indicados se referem a efeitos na estrutura relacionados à aceitabilidade sensorial, como deslocamentos visíveis em elementos e vibrações sentidas na estrutura.

2. DESENVOLVIMENTO

Um programa experimental composto por três vigas de concreto armado em escala real, reforçadas à flexão com laminados de CFRP passivos e protendidos, aplicados segundo a técnica EBR, foi realizado. A resistência média à compressão das vigas é de 47,5 MPa, seção retangular com 40 cm de largura, 50 cm de altura e 600 cm de comprimento, onde 3 barras

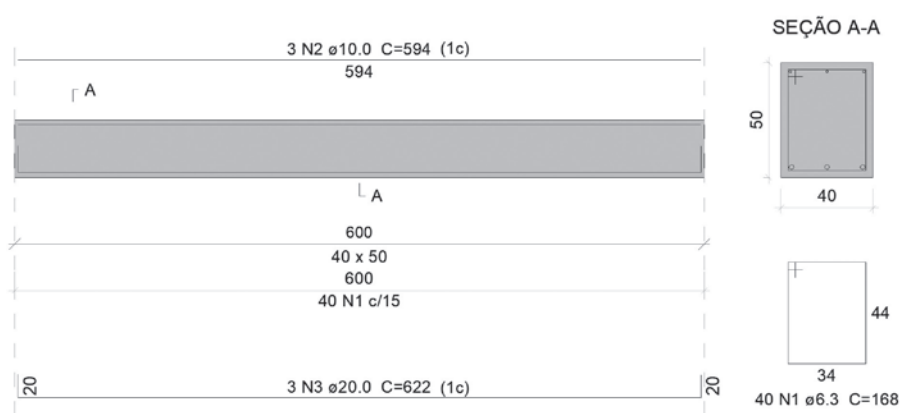


FIGURA 2

DETALHAMENTO DAS VIGAS DE CONCRETO ARMADO (DIMENSÕES EM CM)

FONTE: PEREIRA (2024)

com diâmetro de 20,0 mm foram utilizadas como armadura longitudinal inferior e estribos de 6,3 mm, espaçados a cada 15 cm e com cobrimento de 3 cm, como armadura transversal (Figura 2).

Duas vigas foram reforçadas com laminados de fibras de carbono com seção transversal de 1,4 x 100 mm², com tensão de tração última média de 2800 MPa e módulo de elasticidade médio de 170 GPa, os quais foram aplicados segundo os arranjos apresentados na Figura 3. A caracterização completa dos materiais pode ser encontrada em Pereira (2024).

O comportamento das vigas foi avaliado por meio de ensaios de flexão de

quatro pontos, os quais foram realizados no Núcleo de Estudo e Tecnologia em Pré-Moldados de Concreto (NetPre) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). O esquema de ensaio de flexão adotado no presente estudo é apresentado na Figura 4.

Para isso, utilizaram-se pórticos metálicos com capacidade de 500 kN, atuador hidráulico Enerpac modelo RC-506 (capacidade de 50 tf), o qual estava ligado a uma bomba hidráulica elétrica para aplicação de carregamento incremental monotônico, e célula de carga (CC 080804) com capacidade de 1000 kN e precisão de 0,246 kN.

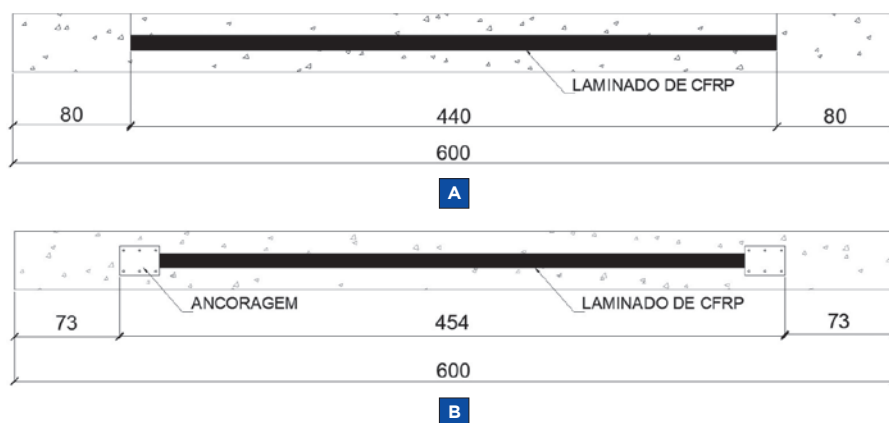


FIGURA 3

CONFIGURAÇÃO DO REFORÇO À FLEXÃO COM CFRP PASSIVO (A) E PROTENDIDO (B) – VISTA INFERIOR (DIMENSÕES EM CM)

FONTE: PEREIRA (2024)

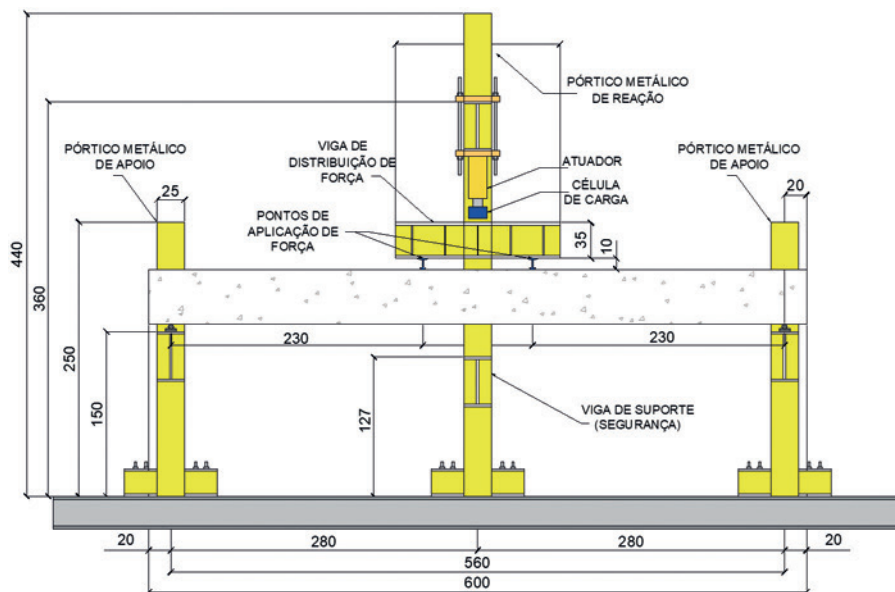


FIGURA 4

ESQUEMA DO ENSAIO DE FLEXÃO POR QUATRO PONTOS DAS VIGAS (DIMENSÕES EM CM)

FONTE: PEREIRA (2024)

Neste estudo, um total de três vigas foram analisadas, das quais uma não foi reforçada (B1-O-0, a qual serviu de referência para comparação com as vigas reforçadas), uma reforçada à flexão com colagem externa de laminado de CFRP passivo (B2-NPC-NP) e uma reforçada à flexão com colagem externa de laminado de CFRP protendido (B4-NPC-P), onde uma deformação média de 4% foi aplicada no laminado no ato da protensão. Dois diferentes tipos de ensaios de flexão foram realizados: (i) no primeiro, o ensaio era formado por uma única etapa, onde a viga B1-O-0 foi submetida a carregamento até sua ruína/ruptura; no segundo (ii), o ensaio foi realizado em 2 etapas: a primeira baseada na aplicação do sistema de reforço e espera da cura da resina (7 dias) e a segunda com o carregamento das vigas até sua ruína/ruptura, vigas B2-NPC-NP e B3-NPC-P.

Os deslocamentos verticais das vigas foram aferidos com o uso de dois transdutores de deslocamento (HS100 50257529 e 50257530), da marca Vishay, com campo de leitura de 100 mm ($\pm 0,15$ mm), posicionados a meio vão, distantes 230 cm dos apoios. A deformação no concreto foi medida por meio de um extensômetro elétrico tipo PA-06-1500BA-120 posicionado

a meio vão e no topo das vigas (SG1). A deformação na armadura longitudinal foi medida com o uso de um extensômetro elétrico tipo PA-06-250BA-120-L, também posicionado a meio vão da armadura longitudinal central (SG2). Por fim, as deformações no laminado de CFRP foram aferidas

com o uso sete extensômetros elétricos tipo KFG-10-120-C1-11, os quais foram posicionados ao longo do comprimento do material de reforço. A Figura 5 apresenta o arranjo de extensometria utilizado.

Por fim, para a verificação de Estado Limite de Serviço (ELS), fez-se a aferição da abertura de fissuras das vigas com o uso de Microscópio Digital com alcance de foco 0-40mm e ampliação até 1600x, quando os deslocamentos verticais equivalentes à e foram atingidos (Figura 6).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 7, são apresentados os diagramas Força versus deslocamentos verticais da viga de referência (B1-O-0) e das externamente reforçadas com laminados de CFRP passivo (B2-NPC-NP) e protendido (B3-NPC-P). Na Tabela 1, é apresentado um resumo dos principais resultados referentes à Força aplicada (F), deslocamentos verticais médios (δ) e deformações no concreto, aço e CFRP (ϵ_c , ϵ_s e ϵ_f), respectivamente, sob os deslocamentos verticais equivalentes a $L/350$ (16,0 mm) e $L/250$ (22,4 mm).

Analisando-se o diagrama Força versus Deslocamento a meio vão da viga de referência (B1-O-0), Figura 7, verifica-se que essa apresenta os três estágios típicos de comportamento de elementos submetidos à flexão: o primeiro representa o concreto

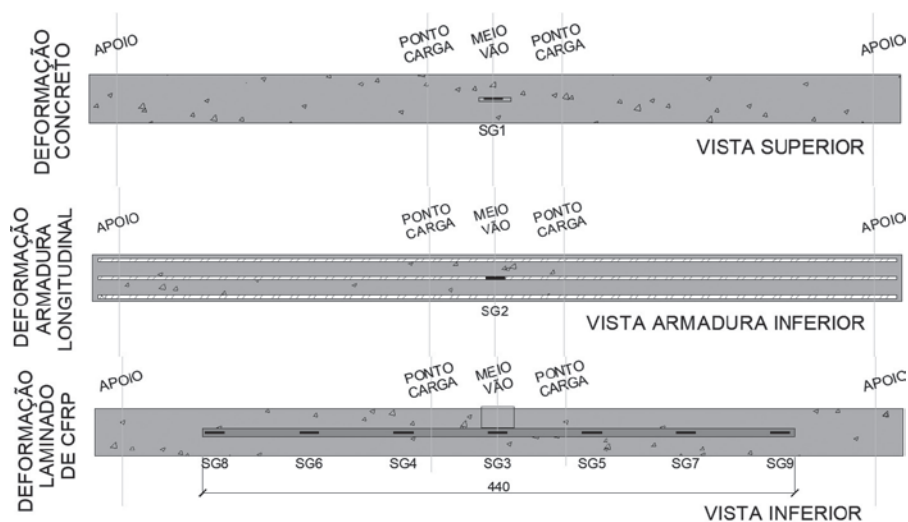


FIGURA 5

POSICIONAMENTO DOS EXTENSÔMETROS — MEDIDAS EM CM

FONTE: PEREIRA (2024)

TABELA 1
RESULTADOS OBTIDOS PARA L/350 E L/250

Viga	L/350 (16,0 mm)				L/250 (22,4 mm)			
	F (kN)	ϵ_c (‰)	ϵ_s (‰)	ϵ_f (‰)	F (kN)	ϵ_c (‰)	ϵ_s (‰)	ϵ_f (‰)
B1-O-0	128,45	-0,94	2,29	—	170,50	-1,17	3,18	—
B2-NPC-NP	139,83	-0,74	1,91	2,15	185,82	-0,98	2,55	2,87
B3-NPC-P	186,55	-0,65	2,11	6,64	231,39	-0,85	2,76	7,32

FONTE: PEREIRA (2024)

não fissurado, o segundo corresponde ao concreto fissurado com o aço no regime elástico, e o terceiro equivale ao concreto fissurado com escoamento da armadura longitudinal de tração. Quando a viga B1-O-0 atingiu o deslocamento vertical de , uma força aplicada de 128,45 kN foi registrada, com deformações no concreto de -0,94 ‰ e no aço de +2,29 ‰. Para , uma força aplicada de 170,50 kN, com deformações no concreto de -1,17 ‰ e no aço de 3,18 ‰ foram verificadas.

Analisando-se o diagrama da Figura 7, observa-se que as vigas reforçadas também apresentaram os mesmos três estágios de comportamento da viga de referência. Porém, após o escoamento do aço, verifica-se que o sistema de reforço contribui para o aumento da capacidade de carga da viga, justificando o comportamento linear da curva por consequência do comportamento elástico-linear do laminado de CFRP.

Quando a viga B2-NPC-NP atingiu o deslocamento vertical de , uma força aplicada de 139,83 kN foi verificada, com deformações no concreto de -0,74 ‰, no aço de +1,91 ‰ e no laminado (SG3) de +2,15‰. Para , uma força aplicada de 185,82 kN, com deformações no concreto de -0,98 ‰, no aço de 2,55 ‰ e no laminado (SG3) de 2,87 ‰ foram verificadas.

Com relação à viga B3-NPC-P, seu deslocamento vertical inicia-se com valores negativos (de aproximadamente 1,0 mm), o qual é proveniente da contra-flecha exercida na viga devido ao ato de protensão do reforço, confirmando a capacidade que o sistema de reforço com laminado de CFRP protendido possui em reduzir deslocamentos pré-existentes nos elementos estruturais. Quando o deslocamento vertical de foi atingido, uma força aplicada de 186,55 kN foi registrada, com deformações no concreto de -0,65 ‰, no aço



FIGURA 6
AFERIÇÃO DA ABERTURA DE FISSURAS COM MICROSCÓPIO DIGITAL
FONTE: PEREIRA (2024)

de +2,11 ‰ e no laminado (SG3) de +6,64%. Para , uma força aplicada de 231,39 kN, com deformações no concreto de -0,85 ‰, no aço de 2,76 ‰ e no laminado (SG3) de 7,32 ‰ foram verificadas.

Analisando-se os resultados das vigas reforçadas apresentados na Tabela 1 e os comparando ao da viga da referência, percebe-se que ambos os sistemas de reforço (passivo e protendido) resultaram

em incrementos de força de 8,9% e 45,23% para e 9,0% e 35,71% para , respectivamente. Verifica-se, também, a redução das deformações no concreto e no aço, confirmando a eficiência da protensão do laminado de CFRP em conferir melhor comportamento em serviço, permitindo maiores níveis de carregamento para um mesmo nível de deslocamento vertical. Com rela-

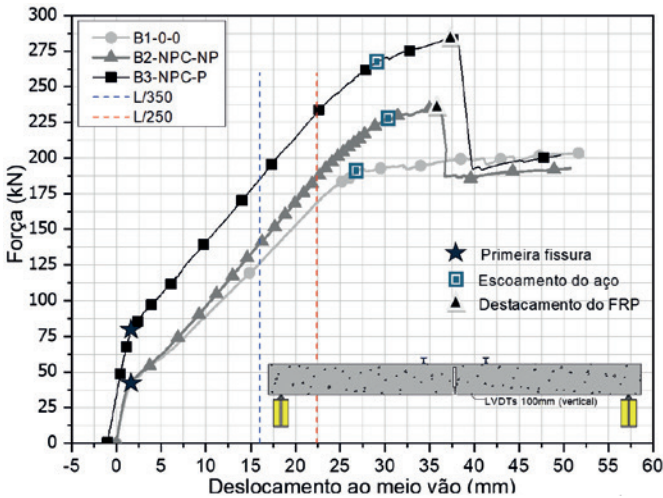


FIGURA 7
DIAGRAMA FORÇA VERSUS DESLOCAMENTO VERTICAL
DAS VIGAS ENSAIADAS
FONTE: PEREIRA (2024)

TABELA 2
RESUMO DOS PRINCIPAIS RESULTADOS

Viga	S_{cr} (cm)	w_{cr} L/350 (mm)	w_{cr} L/250 (mm)
B1-O-0	14,50 (18,48)	—	0,40 (6,25)
B2-NPC-NP	13,90 (31,50)	0,25 (8,77)	0,32 (6,95)
B3-NPC-P	12,13 (46,50)	0,21 (10,87)	0,27 (12,85)

NOTA: (VALOR) = COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%) = (DESVIO PADRÃO/MÉDIA).100
FONTE: PEREIRA (2024)

ção ao tipo de reforço, fica evidenciada a capacidade do sistema de reforço pretendido em conferir maiores níveis de deformação ao material de reforço quando comparado ao reforço passivo.

Durante o ensaio de flexão fez-se a aferição das aberturas das fissuras nas vigas com o auxílio de um microscópio digital, de modo a comparar os valores obtidos com condições de estado limite

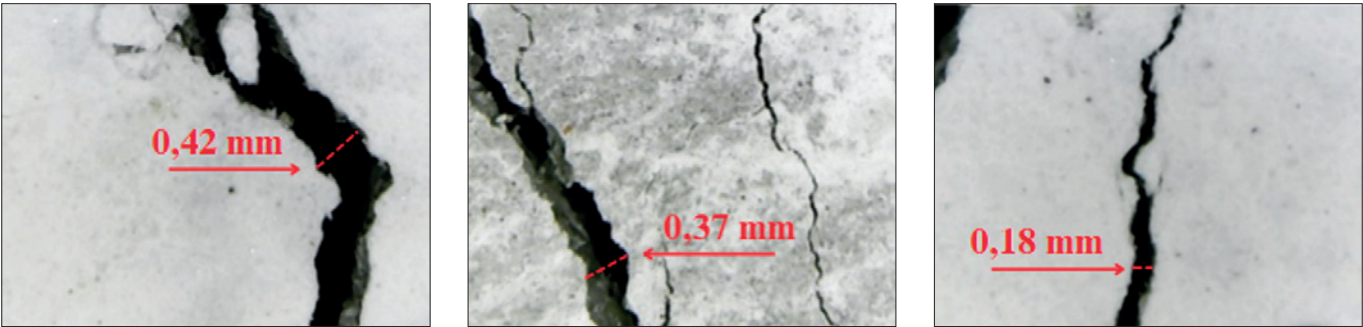


FIGURA 8
ABERTURAS DE FISSURAS DA VIGA B1-O-0: L/250
FONTE: PEREIRA (2024)

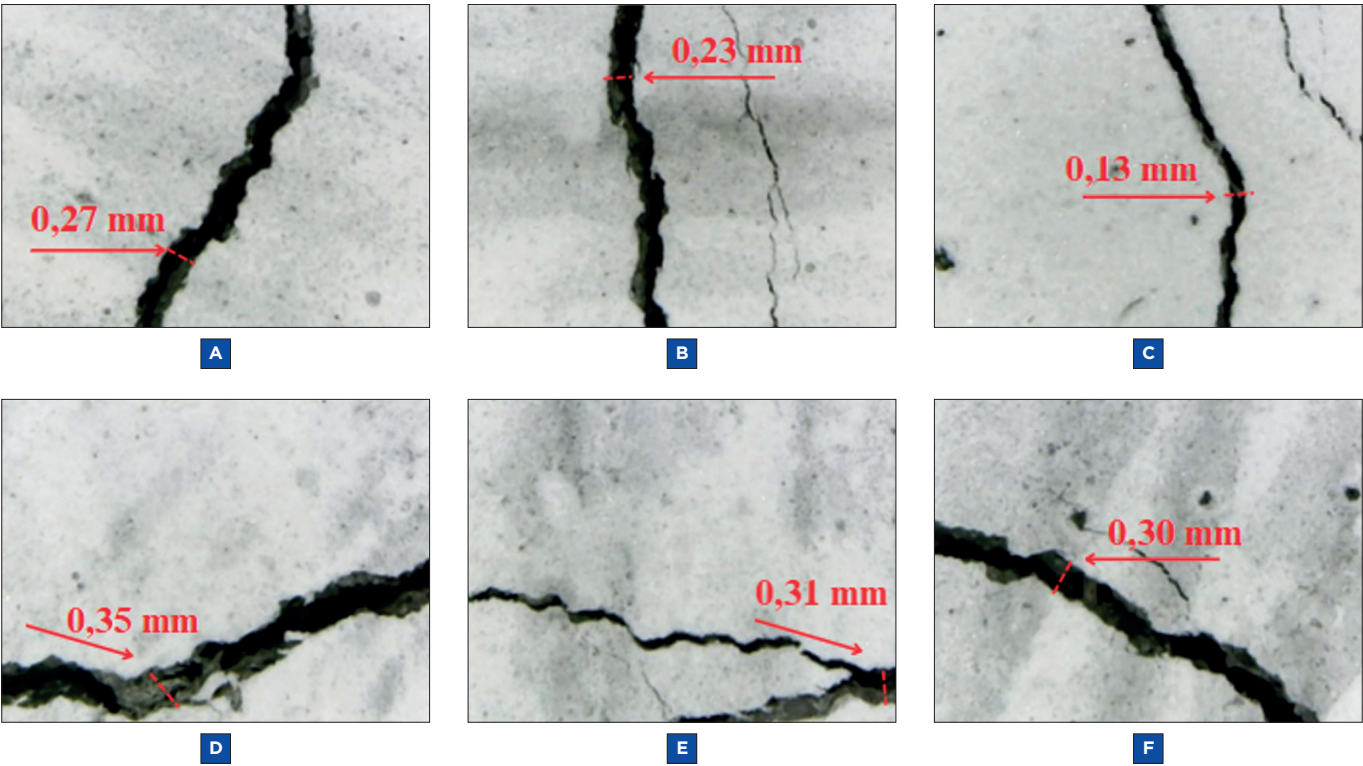


FIGURA 9
ABERTURAS DE FISSURAS DA VIGA B2-NPC-NP: (A-C) L/350 E (D-F) L/250
FONTE: PEREIRA (2024)

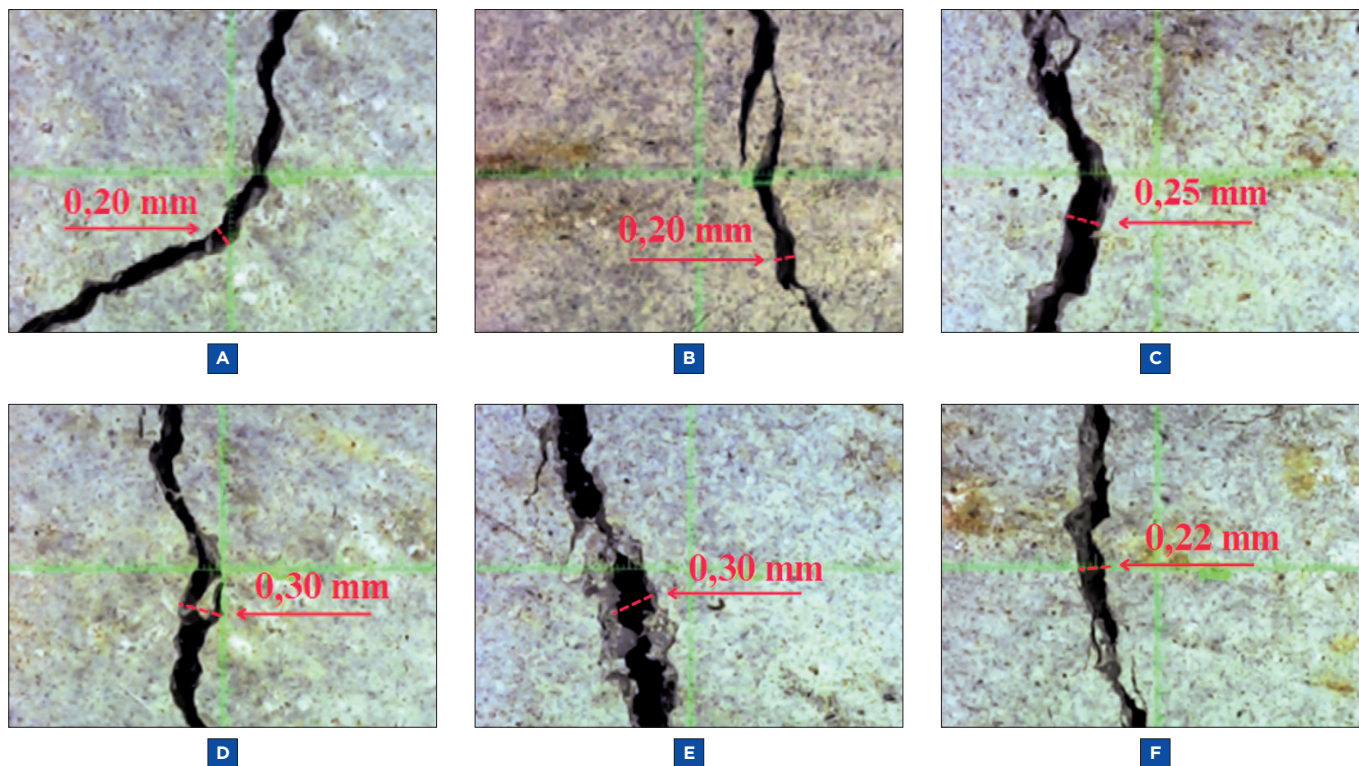


FIGURA 10

ABERTURAS DE FISSURAS DA VIGA B3-NPC-P: (A-C) L/350 E (D-F) L/250

FONTE: PEREIRA (2024)

de serviço impostos pela norma NBR 6118 (ABNT, 2023), sendo tomadas imagens nos deslocamentos equivalentes a L/350 e L/250 (Figuras 8 a 10). Na Tabela 2 são resumidos os principais resultados quanto ao padrão fissuratório e abertura média (w_{cr}) de três fissuras monitoradas, na região central, ao longo do ensaio para os deslocamentos verticais equivalentes à L/350 e L/250, respectivamente. Apresenta-se, também, o espaçamento médio entre as fissuras (s_{cr}), aferido com o uso de trena após a finalização dos ensaios de flexão.

Os resultados apresentados na Tabela 2 e Figuras 8 a 10 indicam que, para um mesmo nível de deslocamento, os sistemas de reforço conferem menores aberturas das fissuras. Fissuras com 0,40 mm (6,25), 0,32 mm (6,95) e 0,27 mm (12,85) foram registradas, sob deslocamento vertical de L/250, para B1-O-O, B2-NPC-NP e B3-NPC-P, respectivamente, indicando reduções das aberturas médias com a aplicação de sistemas de reforço quando comparadas à viga de referência.

Verificou-se que o reforço passivo reduziu a abertura das fissuras em 20%, enquanto os laminados de CFRP protendidos alcançaram uma redução de 32,5%. Assim, verifica-se a capacidade do reforço protendido em postergar o surgimento das fissuras, obtendo-se menores aberturas quando comparado ao reforço passivo.

Na Figura 11, apresenta-se o padrão de fissuração das vigas após a finalização de cada ensaio. Verifica-se que todas as vigas apresentaram padrão fissuratório típico de elementos submetidos à flexão, inicialmente com o surgimento de primeiras fissuras verticais a meio vão, no ponto de máximo momento fletor, seguido da propagação das fissuras e leve inclinação para as regiões próximas aos apoios. Com relação às fissuras, observa-se a redução do espaçamento médio entre as fissuras das vigas com a aplicação dos sistemas de reforço quando comparadas com a viga de referência. Verifica-se que o reforço passivo reduziu o espaçamento entre as fissuras em 4,3 %, enquanto o

reforço com laminado protendido levou a uma redução de 19,5 %.

Com relação aos modos de ruína que regem o comportamento das vigas de concreto armado biapoiadas avaliadas nesta pesquisa, a viga não reforçada (referência) apresentou escoamento da armadura longitudinal de tração. A viga com reforço passivo exibiu ruína caracterizada pelo destacamento frágil do laminado de CFRP, enquanto o laminado de CFRP protendido exibiu ruína baseada por ruptura parcial e pelo destacamento do material do reforço. Observou-se que o uso de ancoragem metálicas alterou a ruína do sistema de reforço quando comparado ao laminado passivo de CFRP, postergando o colapso do material de reforço e resultando em maiores níveis de tensão no material compósito.

4. CONCLUSÕES

Este estudo avaliou o desempenho de vigas de concreto armado reforçadas com laminados de CFRP, comparando sistemas passivos e protendidos em situação de



FIGURA 11

PADRÃO FISSURATÓRIO DAS VIGAS ENSAIADAS: (A) B1-O-O, (B) B2-NPC-NP E (C) B3-NPC-P

FONTE: PEREIRA (2024)

serviço. Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- ▶ A utilização de laminados de CFRP, tanto na configuração passiva quanto na protendida, contribui significativamente para o aumento da capacidade resistente à flexão das vigas de concreto armado, melhorando seu desempenho estrutural;
- ▶ Ambos os sistemas de reforço (passivo e protendido) resultaram em incrementos de força de 8,9% e 45,23% para L/350 e 9,0% e 35,71% para

L/250, sendo o sistema protendido mais eficaz;

- ▶ Menores deformações foram observadas no concreto e no aço, confirmando que a protensão do laminado de CFRP proporciona um melhor desempenho em serviço, permitindo que a viga suporte maiores cargas para o mesmo nível de deslocamento vertical;
- ▶ As aplicações dos sistemas de reforço (passivo e protendido) reduziram as aberturas das fissuras em 20% para o

sistema passivo e de 32,5% para o sistema protendido, indicando um efeito positivo na durabilidade da estrutura; e

- ▶ No que diz respeito ao padrão de fissuração, verificou-se que as vigas reforçadas apresentaram espaçamento reduzido entre as fissuras quando comparadas à viga de referência; o espaçamento médio das fissuras foi reduzido em 4,3% para o reforço passivo e 19,5% para o reforço protendido, confirmando o efeito benéfico da protensão no controle de fissuração.

Dessa forma, os resultados desta pesquisa evidenciam que a utilização de laminados de CFRP protendidos é uma solução eficiente para o reforço de vigas de concreto armado, promovendo não apenas maior capacidade resistente, mas também melhor controle de deslocamentos e fissuração, aspectos fundamentais para a segurança, funcionalidade e durabilidade das estruturas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Núcleo de Estudo e Tecnologia em Pré-Moldados de Concreto (NetPre), o Laboratório de Sistemas Estruturais (LSE), ao Laboratório de Materiais e Componentes da Construção Civil (LMC) e ao Laboratório de Polímeros do Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) da UFSCar pela realização do programa experimental apresentado neste trabalho. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.
- [2] CORREIA, L.; TEIXEIRA, T.; MICHELS, J.; ALMEIDA, J.; SENA-CRUZ, J. Flexural behaviour of RC slabs strengthened with prestressed CFRP strips using different anchorage systems. *Composites Part B: Engineering*, v. 81, p. 158-170, 2015.
- [3] DUSHIMIMANA, A.; CORREIA, L.; CRUZ, R.; CABRAL-FONSECA, S.; PEREIRA, J.M.; SENA-CRUZ, J. Analytical Prediction of flexural behaviour of RC slabs strengthened with non-prestressed and prestressed CFRP strips. 11th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (Cice). Rio de Janeiro, 2023.
- [4] HONG, S.; PARK, S. K. Concrete beams strengthened with prestressed unbonded carbon-Fiber-reinforced polymer plates: An experimental study. *Polymer Composites*, v. 38, n. 11, p. 2459-2471, 2017.
- [5] MICHELS, J.; BARROS, J. A. O.; SENA-CRUZ, J. Prestressed FRP systems Chapter 7 Prestressed FRP Systems. Book: Design Procedures for the Use of Composites in Strengthening of Reinforced Concrete Structures - State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 234-DUC-Chapter: 7 - Publisher: Springer, 2015.
- [6] PEREIRA, M. F. Reabilitação de vigas de concreto armado em escala real com reforço à flexão com laminados de CFRP passivos e protendidos. 2024. 202p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2024.
- [7] SENA-CRUZ, J.; CORREIA, L.; FRANÇA, P.; MICHELS, J. Short and long-term behaviour of RC slabs strengthened with prestressed CFRP laminate strips. IABSE Conference, Vancouver 2017: Engineering the Future - Report, p. 2475-2482, 2017.
- [8] WANG, H.-T. *et al.* Experimental Study on the Flexural Behavior of Large-Scale Reinforced Concrete Beams Strengthened with Prestressed CFRP Plates. *Journal of Composites for Construction*, v. 26, n. 6, p. 1-11, 2022.

A importância da caracterização mecânica bidirecional de telas de GFRP

GLÁUCIA M. DALFRÉ - PROF.^a - <https://orcid.org/0000-0003-3623-5103> (glauca.dalfre@ufscar.br) ;
AMANDA D. E. MAZZÚ - DRA. - <https://orcid.org/0000-0001-9383-3260> (amandadescobal@hotmail.com) – UFSCar

RESUMO

ESTE ARTIGO INVESTIGA A EVOLUÇÃO DO USO DE BARRAS DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRAS DE VIDRO (GFRP) NA CONSTRUÇÃO CIVIL, COM ÊNFASE NOS AVANÇOS RECENTES RELACIONADOS AO USO DE TELAS. EMBORA A APLICAÇÃO DOS FRP VENHA CRESCENDO, AS NORMAS EXISTENTES, TANTO NO BRASIL QUANTO NO EXTERIOR, CONCENTRAM-SE PREDOMINANTEMENTE NA CARACTERIZAÇÃO DE BARRAS INDIVIDUAIS, DEIXANDO LACUNAS IMPORTANTES QUANTO ÀS DIRETRIZES PARA TELAS. ASSIM, FORAM ANALISADAS AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS TELAS DE GFRP, COM ESPECIAL ATENÇÃO À RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E AO MÓDULO DE ELASTICIDADE, VISANDO SEU EMPREGO EM ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO. OS RESULTADOS INDICARAM QUE ALGUMAS BARRAS APRESENTARAM ÁREA EFETIVA INFERIOR À ESPECIFICADA NO PROJETO DE NORMA UTILIZADO À ÉPOCA DOS ENSAIOS, REQUERENDO AJUSTES. OBSERVOU-SE TAMBÉM UMA SIGNIFICATIVA DIFERENÇA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS ENTRE AS DIREÇÕES DAS TELAS DEVIDO A PRESENÇA DE NÓS-INGLESES, O QUE LEVOU A REDUÇÕES EXPRESSIVAS NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO, NO MÓDULO DE ELASTICIDADE E NA DEFORMAÇÃO FINAL. ASSIM, VERIFICA-SE A NECESSIDADE URGENTE DE NORMATIZAÇÃO ESPECÍFICA PARA CARACTERIZAÇÃO DE TELAS DE GFRP VISANDO GARANTIR A SEGURANÇA NO PROJETO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO.

PALAVRAS-CHAVE: TELAS DE GFRP, CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA, RESISTÊNCIA À TRAÇÃO, MÓDULO DE ELASTICIDADE.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo de muito tempo, acreditou-se que a alcalinidade do concreto protegia as armaduras metálicas das estruturas convencionais de concreto e que, desta forma,

as armaduras de aço não sofriam processos corrosivos e obtinham-se estruturas duráveis. Entretanto, quando expostas a ambientes agressivos, como ambientes industriais, marinhos, com grande variação de temperatura, umidade e nível de água, as armaduras de aço das estruturas de concreto armado, quando não obedecem à classe do concreto e o cobrimento indicados na norma NBR 6118 (ABNT, 2023), podem apresentar corrosão, mesmo com o pH da solução contida dos poros do concreto sendo alcalino, podendo levar ao deslocamento do concreto de cobrimento, colocando, assim, as armaduras de aço em exposição direta às condições de agressividade ambiental, acelerando o processo de degradação do aço (Mazzú, 2020).

Diante deste cenário e com vistas à melhoria do desempenho das estruturas, materiais alternativos começaram a ser estudados, destacando-se a utilização de

polímeros reforçados com fibras (de sigla internacional FRP – *Fiber Reinforced Polymer*), materiais que apresentam elevada resistência mecânica e boa resistência a agentes de agressividade ambiental, capazes de substituir os materiais convencionais utilizados nas técnicas tradicionais de reforço estrutural e o aço utilizado como armadura em estruturas de concreto armado.

O FRP é um material compósito formado pela combinação de fibras, que são responsáveis pela resistência e rigidez, e uma matriz polimérica, responsável por unir as fibras, protegendo-as contra agentes agressivos e garantindo a transferência de tensões. A matriz polimérica normalmente é composta por resinas termoendurecíveis do tipo epóxi, podendo também serem utilizados o poliéster e a resina éster vinílica (Sawpan *et al.*, 2014). Os polímeros reforçados com fibras de carbono (CFRP),



A



B

FIGURA 1

TELAS (A) FORMADAS POR BARRAS JUSTAPOSTAS DE GFRP E (B) PROCESSO AUTOMATIZADO

FONTE: (A) ERNEST MAIER (2024) E (B) VERGRAF (2025)

TABELA 1

VALORES MÍNIMOS DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS BARRAS

Propriedades	Valores característicos das propriedades mecânicas para barras de GFRP
Resistência à tração (MPa)	≥ 800
Módulo de elasticidade (GPa)	≥ 45
Deformação última à tração (%)	≥ 1,1
Dimensão efetiva da seção transversal	Tabela 2

vidro (GFRP), aramida (AFRP) e basalto (BFRP) são os mais utilizados.

As barras de GFRP são geralmente produzidas pelo processo de pultrusão, o qual envolve a imersão de filamentos de fibra em resina polimérica, impregnação das fibras, remoção do excesso de resina e, em seguida, tração das fibras para obtenção do perfil desejado. Com relação às telas, estas foram inicialmente produzidas pelo posicionamento de barras de GFRP em duas direções (Figura 1a). Atualmente, as telas de GFRP são produzidas por meio de um processo contínuo e automatizado, no qual uma direção é formada por barras pré-fabricadas, enquanto a outra é composta por fibras entrelaçadas, garantindo que os elementos permaneçam conectados (Figura 1b).

TABELA 2

DIÂMETROS E ÁREAS NOMINAIS DAS BARRAS REFORÇADAS COM FIBRAS

Diâmetro nominal (mm)	Área da seção nominal (mm²)	Limites de área efetiva da seção transversal (mm²)	
		Mínimo	Máximo
4	12,6	11,8	17,7
5	19,6	18,5	25,4
6	28,3	26,6	45,2
8	50,3	47,2	70,7
10	78,5	73,8	101,8
12	113,1	106,3	138,5
14	153,9	144,7	181,0
16	201,1	189,0	229,0
18	254,5	239,2	282,7
20	314,2	295,3	342,1
22	380,1	357,3	441,8
25	490,9	461,4	554,2
28	615,7	578,8	723,8
32	804,2	756,0	910,0

Obs: TABELA 1 DO PN 193.001.003/1 (ABNT/CEE-193, 2024)

Assim, as telas de GFRP podem ser aplicadas em elementos de concreto armado tais como lajes, pavimentos, pavimentos rígidos, pontes, viadutos, piscinas, paredes de diafragma e túneis, principalmente quando expostas a ambientes altamente agressivos.

Muitos países, incluindo Japão, Rússia, Canadá, várias nações europeias e os Estados Unidos, já estabeleceram padrões para o projeto de estruturas reforçadas com FRP. No Brasil, o Comitê 303 do IBRACON/ABECE: Uso de Materiais Não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibra e Concreto Reforçado com Fibras publicou, em 2021, a Prática Recomendada do IBRACON/ABECE para Estruturas de Concreto Armado com Barras de Polímero Reforçado com Fibras (FRP). Recentemente, em fevereiro de 2025, foram publicadas as primeiras normas brasileiras sobre o uso de barras de polímero reforçado com fibras destinadas a armaduras para estruturas de concreto armado, sendo doze partes vinculadas à caracterização do material e uma referente ao projeto de estruturas de concreto armado com barras de polímero reforçado com fibras. Entretanto, o uso de telas de FRP não foi contemplado nestes documentos.

Como existe alta demanda pelo uso de telas, é essencial obter uma compreensão abrangente de seu comportamento mecânico.

2. ESPECIFICAÇÕES MÍNIMAS DAS BARRAS DE GFRP

Segundo o Projeto de Norma (PN) 193.001.003/1 (ABNT/CEE-193, 2024), o qual foi escrito pela Comissão de Estudo (CE) 193 referente a materiais não convencionais para reforço de estruturas de concreto, foi utilizado à época dos ensaios e precedeu a publicação das Normas

Brasileiras (NBR) sobre o tema, as barras de FRP devem estar em conformidade com as propriedades mecânicas mínimas apresentadas na Tabela 1, dentre outras. Além disso, para fins de definição do diâmetro nominal, as barras devem ter dimensões e áreas conforme o apresentado na Tabela 2.

Como não existem normas brasileiras ou estrangeiras sobre a caracterização de telas de FRP, os valores apresentados nas Tabelas 1 e 2 serão utilizados na avaliação das propriedades mínimas a serem atendidas pelo material utilizado nesta pesquisa.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental aqui apresentado é composto por telas bidirecionais de GFRP de dois fabricantes distintos, que foram analisadas em 2024. Assim, foram testadas telas com espaçamento entre barras de 10 cm e diâmetro de 4 mm, que eram compostas por fibra de vidro com resina de poliéster para o fabricante 1 (F1) e por fibra de vidro com resina epóxi para o fabricante 2 (F2). Segundo os fabricantes, a tensão de tração característica das telas é de 1000 MPa, com módulo de elasticidade superior a 45 GPa.

Todas as telas são formadas por barras em duas direções: na direção principal (DP), possui barras convencionais sem nós, enquanto na direção secundária (DS) é composta por barras que contêm nós. Em relação aos nós, os da F1 apresentam uma geometria em que as fibras são igualmente distribuídas ao redor da barra sem nós (50% na parte superior e inferior, Figura 2a), enquanto F2 utiliza um arranjo diferente (Figura 2b).

Para se obter um melhor entendimento do comportamento das barras que compõem as telas, realizou-se a determinação do diâmetro efetivo e área efetiva, tensão de tração e módulo de elasticidade (Equação 1).

[1]

$$\phi_{ef} = \sqrt{\frac{4 \cdot (m_1 - m_2)}{\pi \cdot \rho \cdot l}}$$

A área efetiva (A_{ef}) foi determinada por meio da Equação 2, na qual seu resultado deve ser expresso em milímetros quadrados (mm²).

[2]

$$A_{ef} = \frac{\pi \cdot \phi_{ef}^2}{4}$$

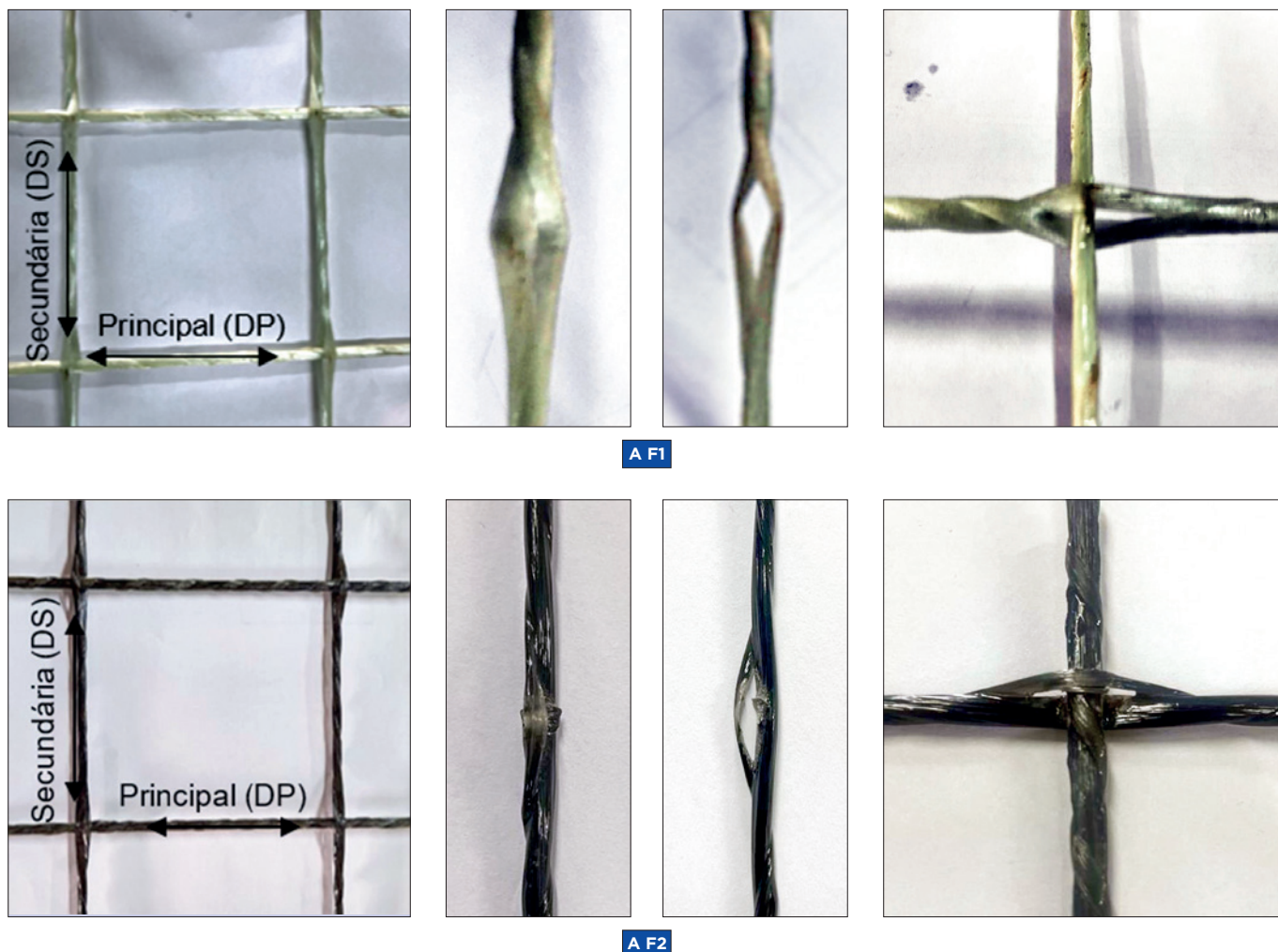


FIGURA 2

TELAS DOS FABRICANTES (A) F1 E (B) F2

3.1 Determinação do diâmetro efetivo e área efetiva

O diâmetro efetivo (ϕ_{ef}) foi determinado no Laboratório de Materiais e Componentes da Construção Civil (LMC) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) segundo o indicado no PN 193:001.000-003/2 (ABNT/CEE-193, 2024) por meio da Equação 1, onde m_1 é a massa aparente de um corpo de prova ao ar, expresso em miligramas (mg), m_2 é a massa aparente de um corpo de prova imerso em água, expresso em miligramas (mg), ρ é a densidade da água (considerada igual a 1 mg/mm³), e l é o comprimento médio do corpo de prova, expresso em milímetros (mm). Um exemplo do ensaio para determinação do diâmetro efetivo é apresentado na Figura 3.

3.2 Determinação da tensão de tração e módulo de elasticidade

Como não existem normas brasileiras ou estrangeiras sobre a caracterização de telas de FRP, algumas recomendações apresentadas na NBR 7481 (ABNT, 1990) foram utilizadas. Segundo esta norma, os corpos de prova oriundos de telas de aço soldadas devem conter juntas soldadas, sendo estas localizadas aproximadamente no meio do comprimento e com fio ortogonal cortado, de modo que apresentem cerca de 25 mm de cada lado, conforme o apresentado na Figura 4. Assim, os corpos de prova das barras que compõem as telas de GFRP também apresentam juntas e fios ortogonais cortados.

A determinação da tensão de tração e módulo de elasticidade das barras que compõem as telas de GFRP seguiram o indicado no PN 193:001.000-003/3 (ABNT/CEE-193, 2024), o qual indica que a taxa de carregamento deve ser definida de modo a produzir falhas dentro de 1 a 10 minutos desde o início da aplicação da força. Segundo o PN, a resistência à tração (f_t) da barra é calculada dividindo-se a força máxima (F) atingida ao longo do ensaio pela área efetiva da seção transversal (A), conforme o apresentado na Equação 3. Nesta Equação, F é expressa em N e A em mm².

$$[3] \quad f_t = \frac{F}{A}$$

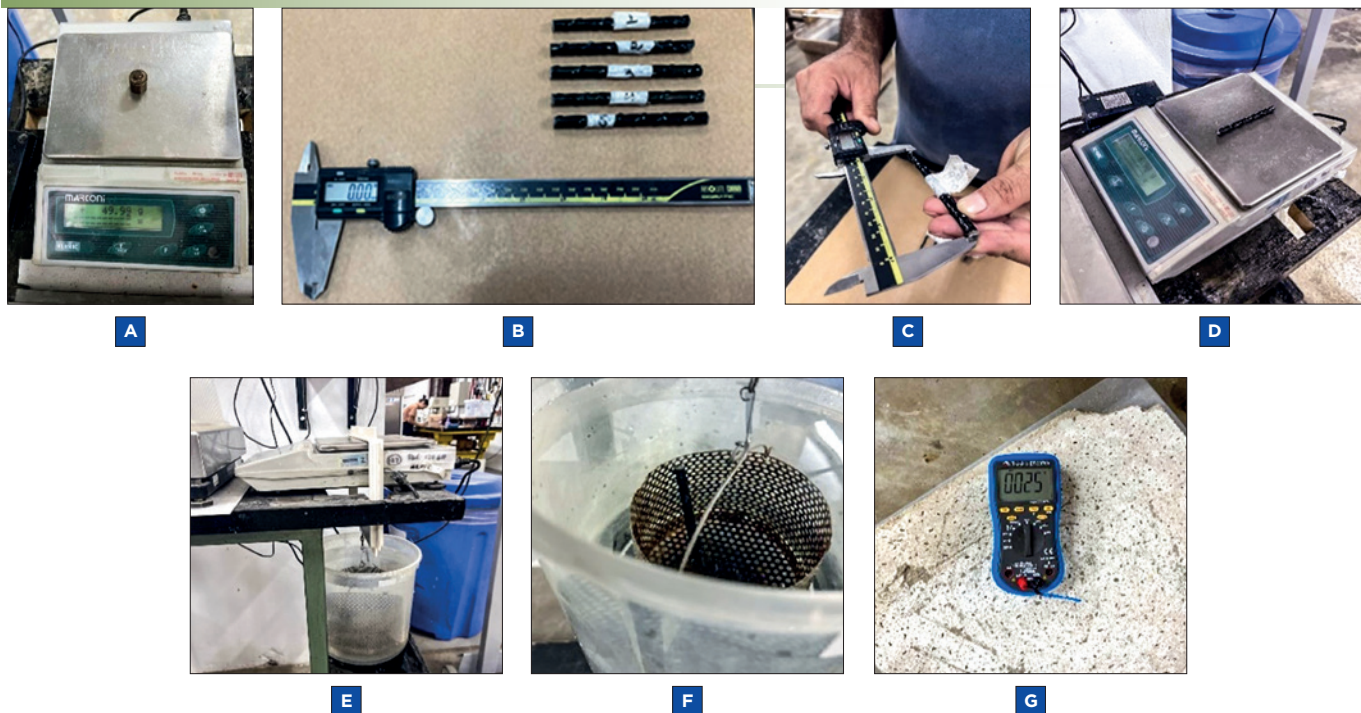


FIGURA 3

EXEMPLO DE SISTEMA DE PESAGEM DAS AMOSTRAS SIMILAR AO UTILIZADO: (A) AFERIÇÃO DA BALANÇA COM PESO-PADRÃO, (B-C) MEDIÇÃO DOS CORPOS DE PROVA, (D) PESAGEM DAS AMOSTRAS DAS BARRAS, (E-F) SISTEMA DE PESAGEM HIDROSTÁTICA E (G) AFERIÇÃO DA TEMPERATURA DA ÁGUA

FONTE: BUENO, DE SOUZA, DALFRÉ, (2024)

O módulo de elasticidade (E_f), em MPa, foi calculado com o uso da Equação 4, onde P_1 e P_2 são as forças referentes às deformações de 0,003 e 0,001, respectivamente.

$$[4] \quad E_f = \frac{(P_1 - P_2)}{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cdot A}$$

Os ensaios de tração uniaxial e determinação do módulo de elasticidade das telas de GFRP foram realizados no Laboratório de Sistemas Estruturais (LSE) da UFSCar, utilizando-se uma máquina de ensaio universal da marca EMIC, modelo DL 60000, com célula de carga de capacidade máxima igual a 600 kN e resolução de leitura de 0,1 kN. A deformação das barras ao longo do ensaio foi aferida com o uso de extensômetro eletrônico removível (*clip-gauge*), da marca EMIC, com comprimento de leitura de 150 mm e faixa de medição entre 0,0001 e 2,5 mm. Exemplos de corpos de prova avaliados e dos ensaios realizados podem ser encontrados na Figura 5.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Determinação do diâmetro efetivo e da área efetiva

A Tabela 3 apresenta os diâmetros e áreas efetivas para os corpos de prova avaliados, onde l é o comprimento médio do corpo de prova, m_1 e m_2 são a massa nos estados seco e totalmente imerso,

respectivamente, ρ_{FRP} é a densidade da barra de FRP, ϕ_{fe} e A_{ef} são o diâmetro efetivo e a área, respectivamente.

Para o F1, a barra localizada na direção principal das telas apresentou ϕ_{ef} médio de 4,66 mm, perfazendo A_{ef} média de 17,06 mm², enquanto a barra que con-

tinha o nó-inglês (direção secundária) apresentou ϕ_{ef} médio igual a 4,00 mm, perfazendo A_{ef} média de 12,55 mm². Como tais valores encontram-se dentro do intervalo $11,8 \text{ mm}^2 \leq \text{área efetiva da seção transversal} \leq 17,7 \text{ mm}^2$, as barras de ambas as direções podem ser

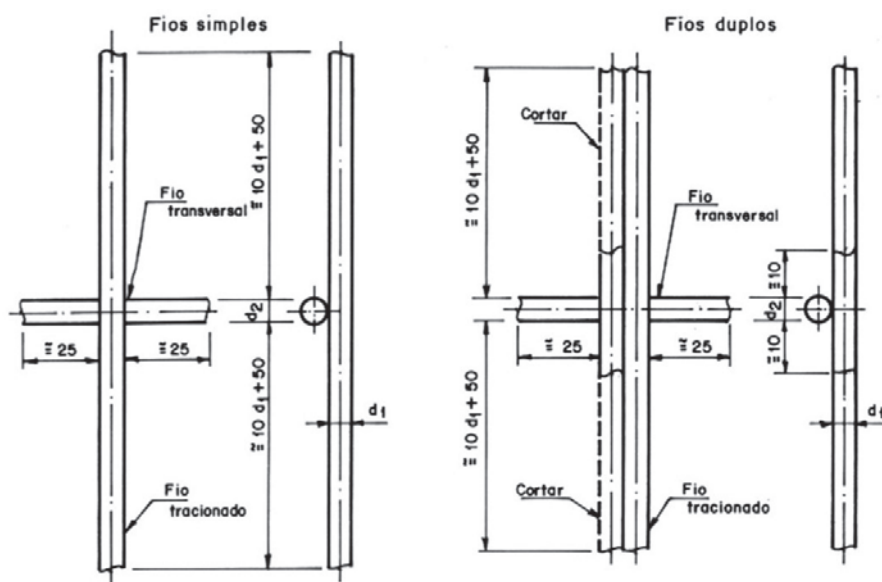


FIGURA 4

EXEMPLO DE CORPO DE PROVA ORIUNDO DE TELAS DE AÇO SOLDADAS

FONTE: NBR 7481 (ABNT, 1990)

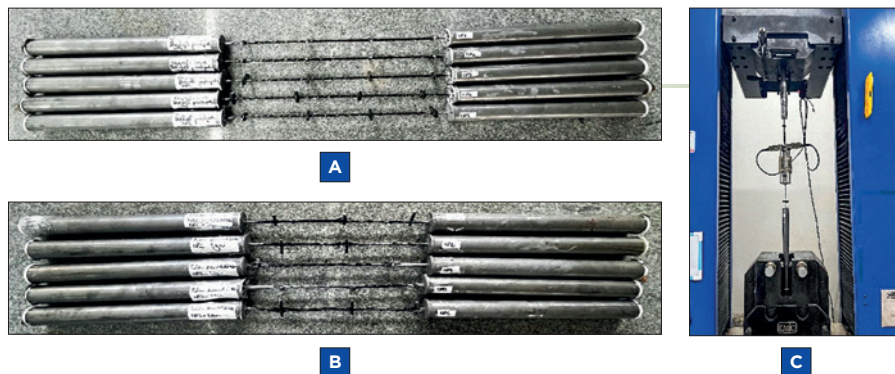


FIGURA 5

CORPOS DE PROVA RETIRADOS DAS TELAS: BARRAS DA DIREÇÃO (A) PRINCIPAL (DP) E (B) SECUNDÁRIA (DS), E EXEMPLO DE ENSAIO DE TRAÇÃO UNIAXIAL (C)

classificadas como apresentando diâmetro nominal de 4 mm.

Em relação à densidade, as barras com nó (DS) e sem nó (DP) apresentaram valores médios iguais a 2,24g/cm³ e 1,85g/cm³, respectivamente, indicando que a densidade da direção secundária é 21% superior à direção principal. Assim, a DP apresenta consistentemente menor densidade, mas diâmetros e áreas maiores em comparação com a DS.

Com relação às barras inicialmente

identificadas como 4 mm pelo F2, as barras localizadas na direção principal das telas apresentaram ϕ_{ef} médio de 3,83 mm, perfazendo A_{ef} média de 11,50 mm², enquanto a barra que continha o nó-inglês (direção secundária) apresentou ϕ_{ef} médio igual a 3,81 mm, perfazendo A_{ef} média de 11,40 mm².

Como tais valores são ligeiramente abaixo ao limite inferior indicado pelo PN, as barras de ambas as direções não pode-

riam ser classificadas como apresentando diâmetro nominal de 4 mm.

Em relação à densidade, as barras com nó (DS) e sem nó (DP) apresentaram valores médios iguais a 1,91g/cm³ e 2,01g/cm³, respectivamente, indicando que a densidade da direção secundária é 5% superior a direção principal. Nesse sentido, a análise dos resultados indica que o processo produtivo precisa ser ajustado, a fim de atingir os limites mínimos da área efetiva da seção transversal.

As barras da DS que compunham as telas do F1 apresentam diâmetros ligeiramente menores que os diâmetros DP para todos os casos avaliados. No entanto, as telas do F2 apresentaram variação mínima entre as direções, indicando consistência do processo produtivo.

De acordo com a ACI 440.1R (2015), as densidades típicas das barras de GFRP variam de 1,25 a 2,10 g/cm³. Portanto, os resultados obtidos neste estudo são consistentes com os apresentados pela normativa americana.

TABELA 3

AValiação DO DIÂMETRO EFETIVO DAS BARRAS QUE COMPÕEM AS TELAS

		DS			DP		
		CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
F1 – Ø 4 mm	l_1 (mm)	100,50	99,83	100,10	100,04	100,01	100,12
	l_2 (mm)	100,57	99,80	100,05	99,99	100,02	100,14
	l_3 (mm)	100,45	99,80	100,07	100,02	100,01	100,11
	l (mm)	100,51 (0,06)	99,81 (0,02)	100,07 (0,03)	100,02 (0,03)	100,01 (0,01)	100,12 (0,02)
	m_1 (g)	2,83	2,80	2,81	3,18	3,16	3,15
	m_2 (g)	1,58	1,56	1,53	1,47	1,45	1,45
	ρ_{FRP} (g/cm ³)	2,26	2,26	2,20	1,86	1,85	1,85
	ϕ_{ef} (mm)	3,98	3,98	4,04	4,67	4,67	4,65
	A_{ef} (mm ²)	12,44	12,42	12,79	17,10	17,10	16,98
		DS			DP		
		CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
F2 – Ø 4 mm	l_1 (mm)	98,02	99,26	99,70	99,57	98,80	98,83
	l_2 (mm)	97,96	99,49	99,76	99,56	98,84	98,90
	l_3 (mm)	97,91	99,86	99,47	99,57	98,87	98,79
	l (mm)	97,96 (0,06)	99,54 (0,30)	99,64 (0,15)	99,57 (0,01)	98,84 (0,04)	98,84 (0,06)
	m_1 (g)	2,16	2,14	2,20	2,29	2,30	2,29
	m_2 (g)	1,03	1,04	1,04	1,16	1,15	1,15
	ρ_{FRP} (g/cm ³)	1,91	1,95	1,89	2,03	2,00	2,00
	ϕ_{ef} (mm)	3,83	3,75	3,85	3,80	3,85	3,83
	A_{ef} (mm ²)	11,53	11,05	11,64	11,35	11,64	11,53

(VALOR) DESVIO-PADRÃO, $\rho_{FRP} = m_1 / (l \cdot A_{ef})$

TABELA 4
VALORES OBTIDOS DE ACORDO COM O PN 193.001.003/1 (ABNT/CEE-193, 2024)

		DS				DP			
ID	CP	f_t^* (MPa)	E_t (MPa)	E_t (GPa)	ϵ_t^{**} (‰)	f_t^* (MPa)	E_t (MPa)	E_t (GPa)	ϵ_t^{**} (‰)
F1 4 mm	1	516,91	39224,90	39,22	13,18	1030,29	46610,93	46,61	22,10
	2	517,47	40272,48	40,27	12,85	1050,96	44476,01	44,47	23,63
	3	536,43	41159,88	41,16	13,03	1061,78	42908,31	42,91	24,75
	Média (COV)	523,60 (2,12)	40219,08 (2,41)	40,22 (2,41)	13,02 (1,27)	1047,68 (1,53)	44665,08 (4,16)	44,66 (4,16)	23,49 (5,66)
		DS				DP			
ID	CP	f_t^* (MPa)	E_t (MPa)	E_t (GPa)	ϵ_t^{**} (‰)	f_t^* (MPa)	E_t (MPa)	E_t (GPa)	ϵ_t^{**} (‰)
F2 4 mm	1	990,21	42747,62	42,75	23,16	1138,14	47927,68	47,93	23,75
	2	990,93	42746,58	42,75	23,17	1084,80	46616,69	46,62	23,27
	3	943,53	41852,48	41,85	22,54	1123,58	48353,46	48,35	23,24
	Média (COV)	978,9 (2,79)	42448,89 (1,22)	42,45 (1,22)	22,95 (1,76)	1115,51 (2,47)	47632,61 (1,90)	47,63 (1,90)	23,42 (1,13)

COV = Coeficiente de variação

4.2 Determinação da tensão de tração e módulo de elasticidade

A Tabela 4 apresenta as propriedades mecânicas das barras de GFRP, incluindo a tensão de tração uniaxial (f_t) e o módulo de elasticidade (E_t) obtidos de acordo com as recomendações da PN 193:001.000-003/3 (ABNT/CEE-193, 2024). A Figura 6 apresenta diagramas de tensão *versus* deformação médios, incluindo a estimativa de deformação final (ϵ_t) obtida a partir da tensão máxima registrada no teste e usando a Lei de Hooke.

Tendo em conta os resultados apresentados na Tabela 4 e comparando-os com os indicados na Tabela 1, verifica-se que os valores mínimos referentes à tensão de tração para as barras de GFRP da DP do F1 foram atendidos, entretanto, o módulo de elasticidade se apresentou 0,7% abaixo do indicado, enquanto para a DS (contendo os nós) os valores mínimos (tração e módulo) não foram atendidos. Nota-se que a presença dos nós levou a uma redução na tensão de tração, no módulo de elasticidade e na deformação de ruptura estimada de 50%, 9,9% e 44,6%, respectivamente, quando comparadas às barras da direção principal.

As barras que compõem as telas do F2 apresentaram propriedades mecânicas similares em ambas as direções (SD e MD). Tais resultados são significativos para o projeto de elementos de concreto armado, como lajes e pisos, onde o posicionamento inadequado de telas com propriedades variadas em ambas as direções pode levar a um desempenho estrutural inseguro. Para F2, verificam-se tensões de tração superiores a 800MPa, tanto a DP quanto a DS. Com relação ao módulo de elasticidade, o valor mínimo foi atingido na DP, sendo ligeiramente inferior na DS.

Com relação à deformação última à tração, todas as barras que compõem as telas analisadas apresentaram resultados superiores ao mínimo indicado no PN. Diante do exposto, verifica-se a necessidade de caracterizar completamente as barras que compõem as telas de GFRP em ambas as direções, uma vez que sua geometria e a presença de nós-ingleses podem influenciar sua resistência à tração e módulo de elasticidade.

5. CONCLUSÕES

Este estudo exploratório avalia a evolução do uso de barras de GFRP, com foco nos avanços recentes no uso de telas, na construção civil. Embora seu uso esteja aumentando, as normas existentes, tanto no Brasil quanto no exterior, abordam principalmente a caracterização de barras de FRP, deixando uma lacuna notável nas diretrizes para telas. Assim, esta pesquisa exa-

mina as propriedades mecânicas das telas de GFRP, com foco na resistência à tração e módulo de elasticidade, para uso na confecção de elementos de concreto armado.

As principais conclusões deste trabalho são:

- ▶ A área efetiva de algumas das barras que compõem as telas apresentou valores abaixo dos especificados pelo projeto de norma utilizado à época dos ensaios, necessitando de ajustes em sua área;
- ▶ Diferenças significativas nas propriedades mecânicas foram observadas nas telas entre as duas direções. A presença de nós na direção secundária levou a reduções na tensão de tração, módulo de elasticidade e deformação final de 50%, 9,9% e 44,6%, respectivamente, em comparação com as barras na direção primária; e
- ▶ Em contraste, as telas do Fabricante 2

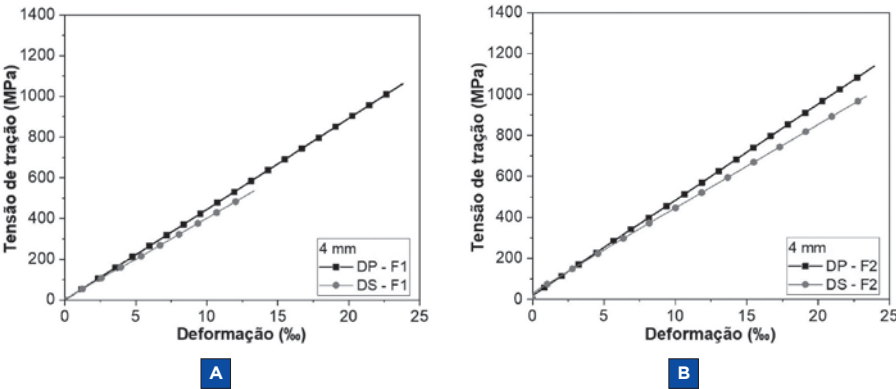


FIGURA 6
COMPARAÇÃO DOS DIAGRAMAS DE TENSÃO DE TRAÇÃO MÉDIA VERSUS DEFORMAÇÃO PARA CORPOS DE PROVA DA DS E DP: (A) 4 MM - F1 E (B) 4 MM - F2

exibiram um comportamento mecânico mais consistente em ambas as direções. Em conclusão, este estudo ressalta a necessidade crítica de caracterização padronizada de telas de GFRP para garantir o projeto

seguro de elementos de concreto armado.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Laboratório de Sistemas Estruturais (LSE), ao Labo-

ratório de Materiais e Componentes da Construção Civil (LMC) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) pela realização do programa experimental apresentado neste trabalho. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT)/CEE-193. PROJETO DE NORMA: 193.001.003/1. Barras de polímero reforçado com fibras (FRP) destinadas a armaduras para estruturas de concreto armado - Parte 1: Especificação e classificação. Maio, 2024.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT)/CEE-193. PROJETO DE NORMA: 193.001.000-003/2. Barras de polímero reforçado com fibras (FRP) destinadas a armaduras para estruturas de concreto armado - Parte 2: Determinação do diâmetro efetivo. Maio, 2024.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2023.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT)/CEE-193. PROJETO DE NORMA: 193.001.000-003/3. Barras de polímero reforçado com fibras (FRP) destinadas a armaduras para estruturas de concreto armado - Parte 3: Determinação da resistência à tração e do módulo de elasticidade. Maio, 2024.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7481: NBR 7481. Rio de Janeiro, 1990.
- [6] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI COMMITTEE 440.1R. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars. 2015.
- [7] ERNEST MAIER (2024). Disponível em: <https://ernestmaier.com/>. Acesso em: 01, outubro de 2024.
- [8] MAZZÚ, A. D. E. Estudo sobre a substituição de armadura metálica por barras de GFRP em vigas de concreto armadas à flexão quando submetidas ao ataque acelerado de íons cloreto. 2020. 190p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.
- [9] SAWPAN, M.A.; MAMUN, A. A.; HOLDSWORTH, P. G. Long-term durability of pultruded polymer composite rebar in concrete environment. Materials and design, v. 57, pp. 616-624, 2014.
- [10] VERGRAF (2025). Disponível em: <https://vergraf.com.br/aplicacoes/>. Acesso em: 26, abril de 2025.
- [11] BUENO, G. M, DE SOUZA, P. H., DALFRÉ, G. M. (2024). Avaliação experimental e teórica da capacidade resistente de lajes maciças de concreto armadas com telas de GFRP com adição de grafeno. Anais do 65º Congresso Brasileiro Do Concreto (65CBC). Maceió: IBRACON.

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

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



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

Patrocínio



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

Influência do ângulo de inclinação no ensaio de cisalhamento inclinado na interface concreto convencional UHPC

DAVI PERETTA AQUINO - ENG. - <https://orcid.org/0009-0005-3488-5470> ;
ALEX MICHAEL DANTAS DE SOUSA - PROF. - <https://orcid.org/0000-0003-0424-4080> ;
JORGE LUÍS AKASAKI - PROF. - <https://orcid.org/0000-0003-1986-1196> – **UNESP/FEIS**

EMERSON FELIPE FÉLIX - PROF. - <https://orcid.org/0000-0002-8928-9474> ;

LISIANE PEREIRA PRADO - PROF.^a - <https://orcid.org/0000-0001-9803-4767> (lisiane.prado@unesp.br) – **UNESP/FEG**

RESUMO

O CONCRETO DE ALTÍSSIMO DESEMPENHO (ULTRA-HIGH PERFORMANCE CONCRETE — UHPC) TEM GANHADO DESTAQUE EM OBRAS DE ENGENHARIA, DEVIDO ÀS SUAS EXCELENTES PROPRIEDADES MECÂNICAS E ELEVADA DURABILIDADE. ESSE MATERIAL PODE SER UTILIZADO EM REPAROS ESTRUTURAIS, COMBINADO COM O CONCRETO DE RESISTÊNCIA NORMAL (NORMAL STRENGTH CONCRETE - NSC) PARA AUMENTAR A CAPACIDADE RESISTENTE DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS, FORMANDO UMA INTERFACE ENTRE OS DIFERENTES MATERIAIS. ESTE ARTIGO PROPÕE ANALISAR A INTERFACE DO UHPC/NSC E UHPC/UHPC NO ENSAIO DE CISALHAMENTO INCLINADO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE DADOS EXPERIMENTAIS DISPONÍVEIS NA LITERATURA. OS DADOS FORAM ANALISADOS POR MEIO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS (EXCEL E POWERBI), E ANALISADOS ESTATISTICAMENTE. OS RESULTADOS MOSTRARAM QUE A INTERFACE UHPC/UHPC APRESENTOU SENSIBILIDADE À VARIAÇÃO DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO EM RELAÇÃO À VERTICAL, ENQUANTO A INTERFACE UHPC/NSC SE MOSTROU MENOS DEPENDENTE DESSA VARIÁVEL, APRE-

SENTANDO MAIOR DEPENDÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE.

PALAVRAS-CHAVE: ÂNGULO DE INCLINAÇÃO, CISALHAMENTO INCLINADO, CONCRETO DE ULTRA ALTO DESEMPENHO, RESISTÊNCIA DE INTERFACE, TENSÃO DE CISALHAMENTO.

1. INTRODUÇÃO

Em diversas situações, obras de engenharia complexas necessitam de reparos estruturais, sendo o UHPC uma ótima alternativa por conta de suas excepcionais propriedades mecânicas e de durabilidade. Como grandes obras de engenharia são construídas em etapas, uma solução eficaz para melhorar o desempenho estrutural do conjunto é a aplicação de UHPC nas regiões de ligações entre diferentes elementos estruturais, proporcionando alta resistência e durabilidade otimizando o consumo de concreto convencional (Figura 1). Bem como, a aplicação de camadas de UHPC para reforçar pilares

deteriorados pela corrosão por carbonatação ou ataque de cloretos, além da substituição de coberturas danificadas por camadas de UHPC nos tabuleiros e lajes.

Entretanto, observa-se que, para um adequado comportamento dos elementos estruturais reforçados ou conectados por UHPC, deve-se garantir um desempenho satisfatório da interface entre o concreto existente com o UHPC. Na prática, o comportamento do conjunto e transferência dos esforços entre esses elementos dependem significativamente das propriedades mecânicas da interface. Por esta razão, diversos estudos têm buscado formas de estimar as propriedades mecânicas da interface entre diferentes concretos.

Neste contexto, o ensaio de cisalhamento inclinado é considerado um método prático para caracterizar o comportamento da interface de concretos, pois coloca a interface em um estado combinado de compressão e cisalhamento. Assim, esse ensaio permite a obtenção da tensão normal e de cisalhamento simultaneamente, além da determinação direta dos parâmetros de resistência de interface do corpo de prova. Com a variação do ângulo de inclinação em relação à vertical da interface, os resultados desse ensaio podem sofrer alterações. Portanto, compreender a influência do ângulo de inclinação utilizado na resistência da interface é importante para determinar como caracterizar a interface e obter parâmetros mais representativos para o

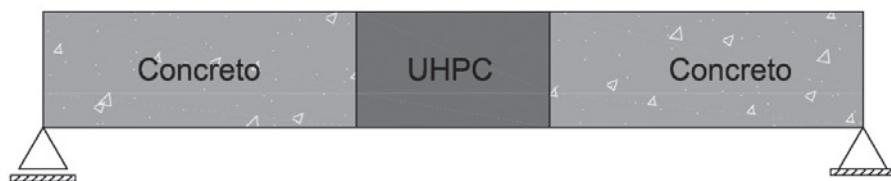


FIGURA 1

APLICAÇÃO DO UHPC NA REGIÃO CENTRAL DE VIGAS PRÉ-MOLDADAS SUJEITA AOS MAIORES ESFORÇOS SOLICITANTES

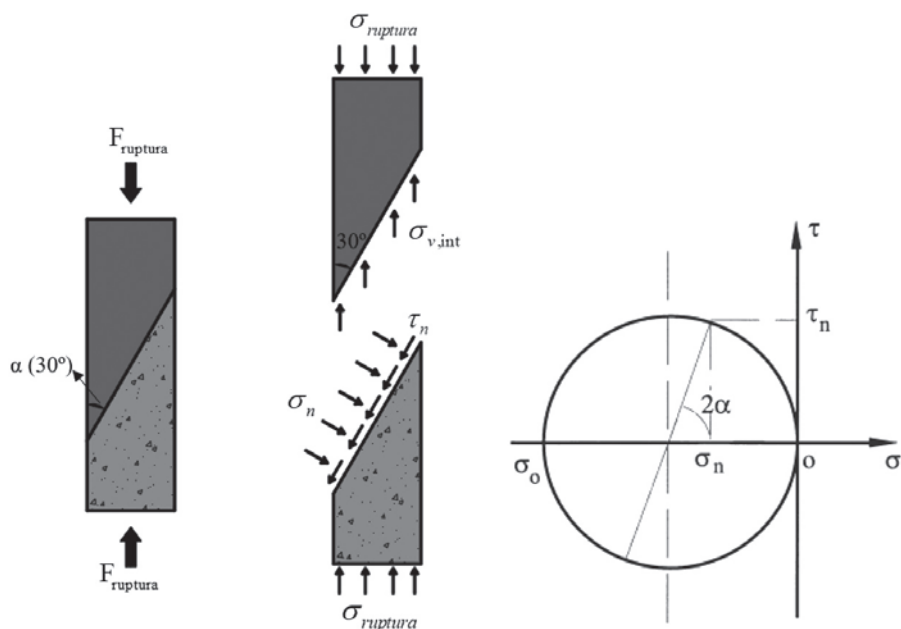


FIGURA 2

ESFORÇOS ENVOLVIDOS NO ENSAIO DE CISALHAMENTO INCLINADO E CÍRCULO DE MOHR

FONTE: ADAPTADO DE FENG, XIAO E LI (2020)

projeto de ligações ou reforço de estruturas utilizando o UHPC.

De acordo com Zanotti e Banthia (2016) o ensaio de cisalhamento inclinado consiste em um dos métodos de caracterização do estado de tensão da interface de dois materiais. O resultado fornecido pelo ensaio é uma combinação de ten-

sões de cisalhamento e compressão ao longo da interface (Figura 2). Conforme os autores, o ensaio de cisalhamento inclinado é considerado um ensaio de fácil execução. No entanto, as informações fornecidas pelo ensaio podem ser enganosas, porque podem não ser totalmente representativas em relação ao tipo de interface analisada, visto que a falha é dependente do ângulo de inclinação (α), impedindo que a mesma ocorra em um plano diferente (Zanotti e Banthia, 2016).

De acordo com a teoria de Coulomb, o critério de falha do material na interface por tensão de cisalhamento (τ_n) combinado com tensão normal (σ_n) ocorre quando a Equação (1) é satisfeita.

$$\begin{aligned} [1] \quad \tau_n &= c + \sigma_n \cdot \mu = c + tg(\phi) \cdot \sigma_n \\ \mu &= \frac{\tau_n - c}{\sigma_n} \end{aligned}$$

Onde:

c = coesão (MPa);

μ = coeficiente de atrito interno (adimensional);

ϕ = ângulo de atrito interno ($^\circ$).

Baseado na teoria de Coulomb usada para descrever o critério de falha por cisalhamento da ligação/interface, Austin, Robins e Pan (1999) desenvolveram um método analítico que correlaciona a tensão de cisalhamento (τ_n) e a tensão normal (σ_n) com o ângulo de inclinação entre a interface da ligação e o eixo longitudinal (α), Equações (2) e (3), respectivamente. Deste modo, a tensão aplicada para gerar a falha por cisalhamento ao longo da interface pode ser descrita pela Equação (4).

$$[2] \quad \tau_n = 0,5 \cdot \sigma_0 \cdot \sin 2\alpha$$

$$[3] \quad \sigma_n = \sigma_0 \cdot \sin^2 2\alpha$$

$$[4] \quad \sigma_0 = c[\cot \alpha + \tan(\phi + \alpha)]$$

Onde:

σ_0 = tensão vertical aplicada no ensaio para produzir ruptura no plano da ligação/interface (ou simplesmente resistência da interface) (MPa);

c = coesão (MPa);

ϕ = ângulo de atrito interno ($^\circ$).

A fim de maximizar a probabilidade de falha na ligação, Austin, Robins e Pan (1999) criaram uma expressão do ângulo crítico (α_{crit}) (Equação 5), que corresponde ao ângulo que provoca a tensão normal mínima σ_{min} e de cisalhamento crítica τ_{min} na interface para o ensaio de cisalhamento inclinado (Equações (6) e (7)).

$$[5] \quad \alpha_{crit} = 45 - \frac{\phi}{2}$$

$$[6] \quad \sigma_{min} = 2c \cdot \tan(45 + \frac{\phi}{2})$$

$$[7] \quad \tau_{min} = c(1 + \sin \phi)$$

Onde:

ϕ = ângulo de atrito interno ($^\circ$);

σ_{min} = tensão de resistência normal mínima na interface (MPa);

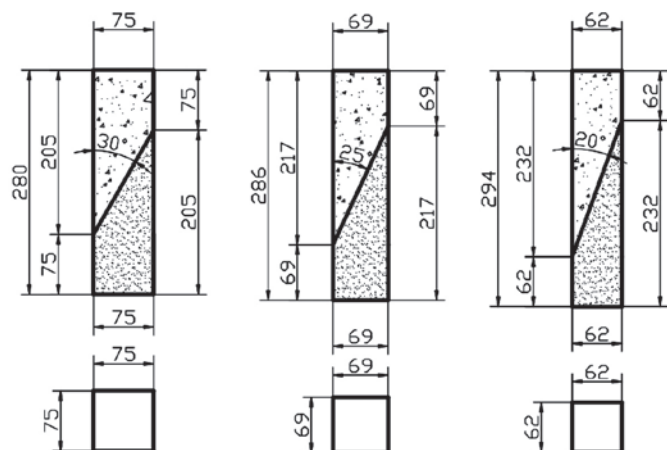


FIGURA 3

GEOMETRIA DOS PRISMAS PARA O ENSAIO DE CISALHAMENTO INCLINADO (MM)

FONTE: FENG, XIAO E LI (2020)

c = coesão (MPa);

$\tau_{\min}$ = tensão de resistência ao cisalhamento mínima na interface (MPa).

Feng, Xiao e Li (2020) analisaram a resistência da interface do concreto de resistência normal e o UHPC por meio do ensaio de cisalhamento inclinado, sob diferentes ângulos de inclinação da interface com a vertical: 20°, 25° e 30° (Figura 3), e diferentes tratamentos de rugosidade da interface, deixando o agregado exposto. Estes autores observaram um aumento da resistência medida conforme o crescimento do ângulo, com a ruptura se desenvolvendo predominantemente no concreto de menor resistência e não na interface, tornando os resultados imprecisos.

Austin, Robins e Pan (1999) indicaram que a resistência da ligação entre concretos é sensível ao ângulo de cisalhamento inclinado e menos sensível à condição de rugosidade da superfície de concreto, produzindo falhas na interface apenas em superfícies lisas, enquanto nas superfícies rugosas a falha pode não ocorrer na interface. Além disso, o ensaio é sensível a diferenças no módulo de elasticidade dos concretos da interface.

Prado (2022) realizou ensaios de cisalhamento inclinado para avaliar a resistência da interface entre concreto de alta resistência (CAR) e UHPC, variando a rugosidade superficial e mantendo a inclinação da interface em 30°. Foram observadas rupturas na interface com lascamento do CAR aderido ao UHPC.

Na prática, esta dispersão de resultados na literatura indica que o melhor

ângulo de inclinação pode variar em função de parâmetros como classe de resistência do substrato (NSC ou UHPC, por exemplo) e grau de rugosidade da interface. Portanto, dos trabalhos apresentados na literatura, observa-se que ainda existe uma lacuna em relação à definição do ângulo de interface para ser aplicado no ensaio de cisalhamento inclinado levando-se em consideração estes parâmetros, pois a melhor condição é aquela que fornece ruptura na interface para obter melhores resultados de coesão e atrito. Assim, o presente trabalho propõe analisar a interface do UHPC/NSC e UHPC/UHPC no ensaio de cisalhamento inclinado através da análise de dados experimentais disponíveis na literatura.

2. METODOLOGIA

A revisão bibliográfica para a busca e determinação do banco de dados utilizado no presente trabalho foi feita a partir de bases de dados acadêmicas digitais, abrangendo a literatura nacional e internacional. Foram priorizados os dados referentes a ensaios experimentais em que os corpos de prova foram testados aos 28 dias. Foram selecionados 16 estudos para compor o banco de dados, totalizando 138 dados amostrais. Os dados coletados nos artigos pesquisados foram: grau e classificação da rugosidade, ângulo de inclinação com a vertical da interface (α), tipo de concreto que forma a interface, resistência aos 28 dias dos concretos envolvidos, resistência de interface σ_0 (tensão vertical que provocou a ruptura na interface), tensão normal na

interface (σ_n) e tensão de cisalhamento na interface (τ_n). Realizou-se a classificação da rugosidade da superfície de acordo com o manual da *Fédération Internationale Du Béton* (FIB) de 2010 com base nos valores de rugosidade média.

Os dados coletados foram analisados utilizando o software PowerBI, principalmente para integrar, transformar, visualizar e analisar dados de diversas fontes. Com base nessa análise, determinaram-se os valores médios de resistência, bem como as tensões normal e cisalhante da interface, em relação ao ângulo de inclinação e ao tipo de rugosidade dos dados coletados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados a seguir demonstram as relações entre os dados da tensão vertical aplicada no ensaio para produzir ruptura no plano da ligação/interface (σ_0), tensão normal (σ_n) e tensão de cisalhamento (τ_n) de ruptura na interface em função do tipo de interface e do ângulo de inclinação do ensaio de cisalhamento inclinado.

3.1 Análise da influência da variação do ângulo de inclinação

As Figuras 4 e 5 ilustram a relação entre tensão e ângulo de inclinação em relação à vertical para a interface UHPC/UHPC com superfície lisa e muito rugosa, respectivamente. A partir da linha de tendência gerada, observa-se uma relação linear entre as tensões e o ângulo nesse tipo de interface. Os valores do

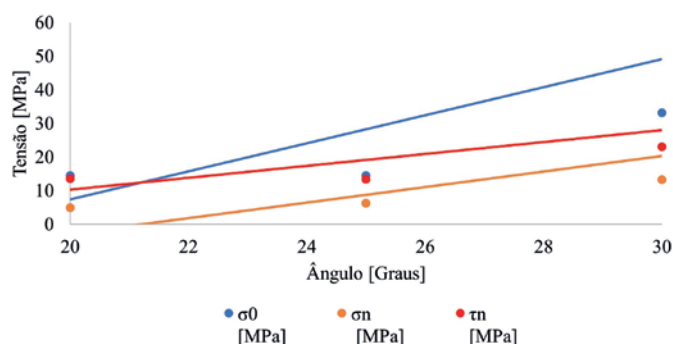


FIGURA 4

TENSÃO VERSUS ÂNGULO DE INCLINAÇÃO COM A VERTICAL DA INTERFACE – LISA – UHPC/UHPC

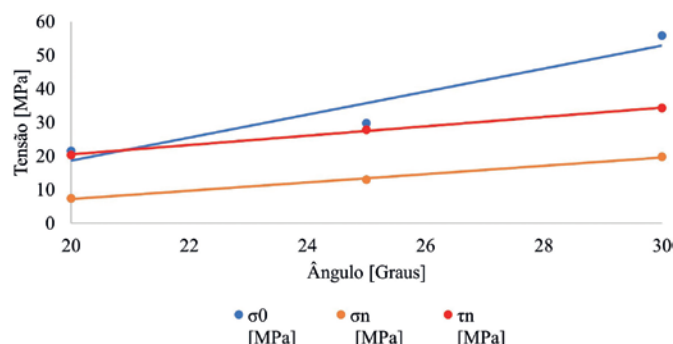


FIGURA 5

TENSÃO VERSUS ÂNGULO DE INCLINAÇÃO COM A VERTICAL DA INTERFACE – MUITO RUGOSA – UHPC/UHPC

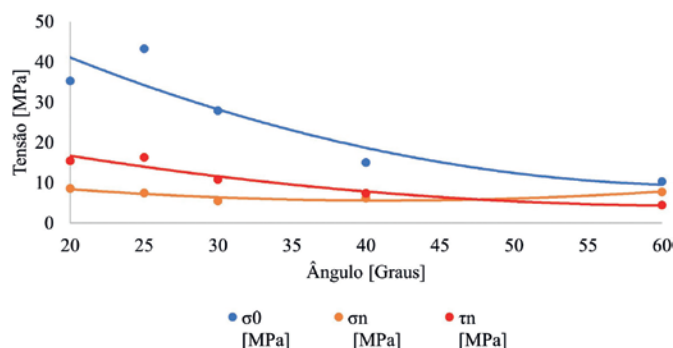


FIGURA 6

RELAÇÃO TENSÃO *VERSUS* ÂNGULO DE INCLINAÇÃO COM A VERTICAL DA INTERFACE – LISA – UHPC/NSC

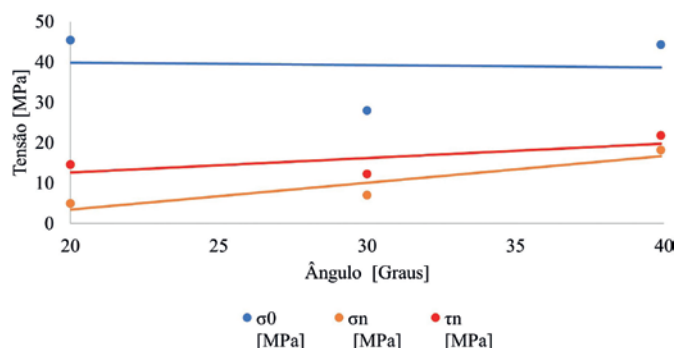


FIGURA 7

RELAÇÃO TENSÃO *VERSUS* ÂNGULO DE INCLINAÇÃO COM A VERTICAL DA INTERFACE – RUGOSA – UHPC/NSC

coeficiente de determinação (R^2) ficaram próximos a 0,9, indicando que a relação linear é direta, permitindo prever o comportamento das variáveis de tensão para qualquer ângulo variando de 20 a 30°. Os resultados mostram que um aumento do ângulo da interface resulta em acréscimo da resistência, bem como das tensões normal e de cisalhamento. Tal situação ocorre porque a interface UHPC/UHPC têm características mais rígidas, consequentemente os valores apresentados da resistência da interface são mais sensíveis às variações do ângulo de inclinação da interface (Austin e Robins, 1999; Feng, Xiao e Li, 2020). Por outro lado, as curvas das tensões normais e de cisalhamento apresentaram menores variações em função do ângulo de inclinação da interface, haja visto que elas estão vinculadas a característica de aderência do material.

A Figura 6 mostra a relação entre tensão e ângulo de inclinação da interface UHPC/NSC de superfície lisa, ajustada por um modelo polinomial de grau 2, com R^2 próximo a 1. A tensão σ_0 diminui com o aumento do ângulo e as curvas de tendência das tensões normal e cisalhante se cruzam em um ângulo de 47,60°. Além disso, a curva de resistência da interface UHPC/NSC com superfície lisa apresenta uma dependência da variação do ângulo, pois como não há

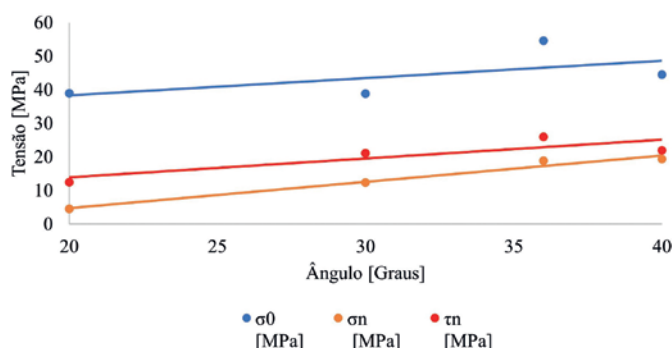


FIGURA 8

RELAÇÃO TENSÃO *VERSUS* ÂNGULO DE INCLINAÇÃO COM A VERTICAL DA INTERFACE – MUITO RUGOSA – UHPC/NSC

rugosidade da interface, essas características tornam-se predominante no comportamento da resistência. Referente à interface lisa, esse comportamento da interface UHPC/NSC mostra que as propriedades mecânicas do concreto de menor resistência têm influência em relação aos resultados obtidos. Austin, Robins e Pan (1999) corroboram que as propriedades mecânicas dos concretos envolventes têm influência no comportamento da interface, pois como as tensões de compressão são transmitidas pelas microfissuras, há diferença da distribuição das tensões em concretos com propriedades mecânicas diferentes. Ademais, as interações da interface também podem ser dependentes de fatores, como a rugosidade e adesão entre as superfícies, além do ângulo de inclinação.

As Figuras 7 e 8 apresentam relações lineares para superfícies rugosas

e muito rugosas na interface UHPC/NSC. Diferentemente da superfície lisa, os resultados mostram que a rugosidade na ligação entre esses concretos influencia na distribuição dos esforços. Feng, Xiao e Li (2020) sugerem que deve ser analisada a interferência de diferentes fatores na análise dos resultados, em especial o tipo de ruptura, pois caso a mesma não ocorrer na interface, e sim no concreto, o resultado pode ser conservador.

A Tabela 1 apresenta as equações obtidas para cada interface e rugosidade. Observa-se que, para a interface UHPC/UHPC, o ângulo de inclinação com a vertical tem uma influência significativa nas resistências e nas tensões, como evidenciado pelos coeficientes angulares das equações. Isso é ocasionado pela maior rigidez presente na interface UHPC/UHPC, apresentando maior variação em relação à inclinação da interface do que em relação a rugosidade da superfície. Em contrapartida, na interface UHPC/NSC, os coeficientes angulares das equações lineares para uma superfície rugosa são próximos de zero, indicando uma menor influência do ângulo em comparação com a interface UHPC/UHPC, e uma maior influência do grau de rugosidade. Conclui-se, portanto, que a interface UHPC/UHPC é mais sensível às variações do ângulo de inclinação com a vertical do que a interface UHPC/NSC.

TABELA 1

EQUAÇÕES OBTIDAS PARA CADA INTERFACE E RUGOSIDADE EM FUNÇÃO DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO COM A VERTICAL (α)

Interface	Classificação da rugosidade	Resistência da interface (σ_0)	Tensão normal (σ_n)	Tensão de cisalhamento (τ_n)
UHPC/UHPC	Lisa	$\sigma_0 = 4,1716(\alpha) - 76,005$	$\sigma_n = 2,3097(\alpha) - 48,912$	$\tau_n = 1,7722(\alpha) - 25,089$
UHPC/UHPC	Muito rugosa	$\sigma_0 = 3,426(\alpha) - 49,877$	$\sigma_n = 1,239(\alpha) - 17,575$	$\tau_n = 1,394(\alpha) - 7,3533$
UHPC/NSC	Lisa	$\sigma_0 = 0,0166(\alpha)^2 - 2,1187(\alpha) + 76,844$	$\sigma_n = 0,0062(\alpha)^2 - 0,513(\alpha) + 16,196$	$\tau_n = 0,0067(\alpha)^2 - 0,8478(\alpha) + 30,999$
UHPC/NSC	Rugosa	$\sigma_0 = -0,0596(\alpha) + 41,037$	$\sigma_n = 0,6641(\alpha) - 9,7929$	$\tau_n = 0,3608(\alpha) + 5,4111$
UHPC/NSC	Muito rugosa	$\sigma_0 = 0,5169(\alpha) + 27,969$	$\sigma_n = 0,7845(\alpha) - 10,908$	$\tau_n = 0,561(\alpha) + 2,7231$

3.2 Análise do tipo de interface no ensaio de cisalhamento inclinado

A Figura 9 apresenta a comparação dos valores de resistência de interface com rugosidade lisa em função do ângulo de inclinação com a vertical, para UHPC/UHPC e UHPC/NSC. Observa-se que a resistência da interface UHPC/NSC atingiu seu valor máximo para um ângulo de 25°, enquanto que, para a interface UHPC/UHPC, os maiores valores foram registrados para os ângulos de 40° e 50°. Nota-se uma similaridade nos valores de resistência das interfaces UHPC/UHPC e UHPC/NSC em ângulos baixos. No entanto, com o aumento do ângulo, os valores de resistência da interface UHPC/UHPC aumentam, enquanto os de UHPC/NSC diminuem. Dessa forma, conclui-se que a interface UHPC/NSC apresenta maior resistência para ângulos baixos (menores que 25°), enquanto a interface UHPC/UHPC se mostra mais resistente para ângulos elevados. Austin, Robins e Pan (1999) indicaram que a resistência da ligação entre concretos

é sensível ao ângulo de cisalhamento inclinado e menos sensível à condição de rugosidade da superfície de concreto, produzindo falhas na interface apenas em superfícies lisas, enquanto nas superfícies rugosas a falha pode não ocorrer na interface.

As Figuras 10a e 10b apresentam a comparação dos valores de resistência de interface em função do ângulo de inclinação com a vertical para superfícies rugosas e muito rugosas das interfaces UHPC/UHPC e UHPC/NSC. Observa-se que, para o ângulo de 30°, a resistência da interface UHPC/UHPC foi superior em ambos os casos. A resistência de UHPC/UHPC em relação à UHPC/NSC foi maior cerca de 2,8 e 1,4 vezes nas superfícies rugosa e muito rugosa, respectivamente,

evidenciando que a rugosidade da interface tem uma influência mais significativa no concreto de resistência normal do que a variação do ângulo de inclinação. Ademais, a resistência da interface UHPC/NSC em superfície muito rugosa apresentou pouca variação com o ângulo, enquanto a UHPC/UHPC aumentou 2,6 vezes ao passar de 20° para 30°.

4. CONCLUSÃO

Por meio da revisão bibliográfica e análise de dados destes trabalhos, as seguintes conclusões podem ser extraídas:

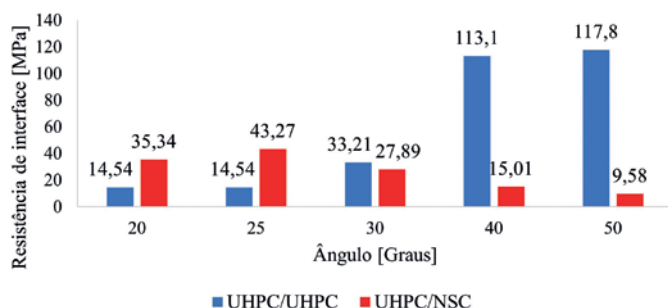


FIGURA 9

COMPARAÇÃO DOS VALORES DA RESISTÊNCIA DE INTERFACE σ_0 EM FUNÇÃO DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO COM A VERTICAL DA INTERFACE - LISA

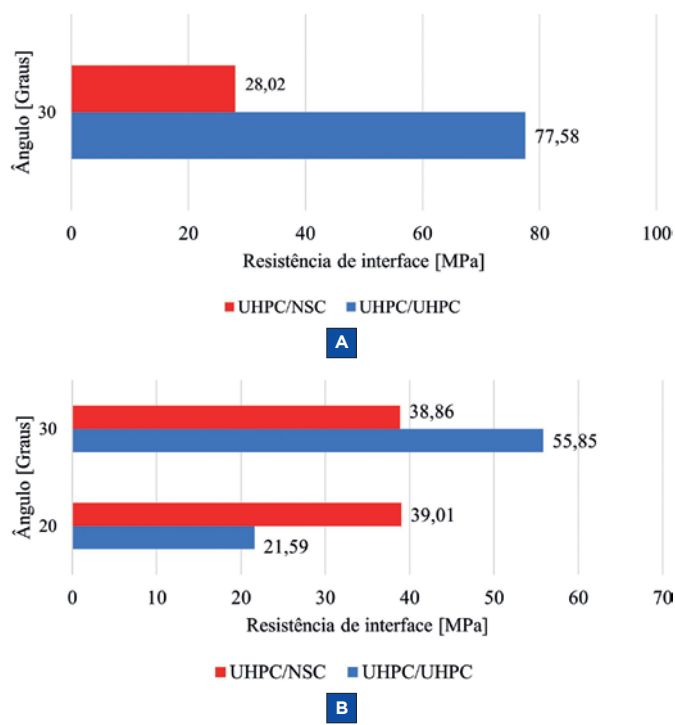


FIGURA 10

COMPARAÇÃO DOS VALORES DA RESISTÊNCIA DE INTERFACE EM FUNÇÃO DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO COM A VERTICAL DA INTERFACE - RUGOSA (A) E MUITO RUGOSA (B)

- a) A tensão na interface para a superfície lisa de UHPC/UHPC cresceu com o aumento do ângulo de inclinação, representada por uma equação linear. Por outro lado, para a superfície lisa de UHPC/NSC, a tensão sofreu uma redução com o aumento do ângulo;
- b) A interface UHPC/UHPC apresentou sensibilidade significativa à variação do ângulo de inclinação com a vertical da interface, enquanto a UHPC/NSC demonstrou inde-

pendência do ângulo. Na prática, observou-se que a resistência da interface UHPC/NSC é mais influenciada pelo tipo de rugosidade na superfície do substrato do que pelo ângulo de inclinação;

- c) Em relação a interface UHPC/UHPC, houve um aumento da resistência com o aumento do ângulo de inclinação da interface para todas as superfícies estudadas. Isso ocorre porque a interface UHPC/UHPC tem características mais rígidas, consequen-

temente os valores apresentados da resistência da interface são mais sensíveis as variações do ângulo de inclinação da interface do que a rugosidade da interface.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo fomento à pesquisa (processo N° 2023/04403-4) e a Pró-Reitoria de Pesquisa da UNESP (PROPe). ☺

► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AUSTIN, S.; ROBINS, P.; PAN, Y. Shear bond testing of concrete repairs. Cement and Concrete Research 29, 1999. p. 1067-1076.
- [2] FENG, S.; XIAO, H.; LI, Y. Influence of interfacial parameters and testing methods on UHPC-NSC bond strength: Slant shear vs. Direct tensile testing. Cement and Concrete Composites, v. 131, 2022, 17p.
- [3] FIB - INTERNATIONAL FEDERATION FOR STRUCTURAL CONCRETE. Fib model code for concrete structures 2010 (MC-10). 1 ed. Berlin: Ernst & Sohn, 2013. 434 p. Corresponde aos boletins 65 e 66 d fib.
- [4] PRADO, L. P.; CARRAZEDO, R.; DEBS, M. K. EL. Interface strength of High-Strength concrete to Ultra-High-Performance concrete. Engineering Structures. v. 252, 2022, 16p.
- [5] ZANOTTI, C.; BANTHIA, N. Modified slant shear cylinder test for inherent characterization of bond in concrete repairs. The Indian Concrete Journal, 2016, v. 90.

Sistemas de Fôrmas para Edifícios

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



ANTONIO CARLOS ZORZI

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

Autor: Antonio Carlos Zorzi

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

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

DADOS TÉCNICOS

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

Patrocínio



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

O Resíduo da Casca do Cacau (RCC) como adição em argamassas: impacto na consistência, massa específica e resistência à compressão

SAULO M. B. SANTOS - ENG. Msc. - <https://orcid.org/0000-0002-7065-4515> (saulo.santos@creaba.org.br) - CREA-BA

EVERTON J. DA SILVA - PROF. DR. - <http://orcid.org/0000-0002-5653-5106>; **MARIA L. MARQUES** - PROF.^a DR.^a - <https://orcid.org/0000-0001-6837-3389>;

RAMON S. SOUZA - PROF. Msc. - <https://orcid.org/0009-0002-5955-3905> - IFBA

AMANDA F. R. P. COELHO - ESTUDANTE DO CURSO TÉCNICO EM EDIFICAÇÕES

RESUMO

A CONSTRUÇÃO CIVIL IMPACTA SIGNIFICATIVAMENTE O MEIO AMBIENTE, SEJA NOS RESÍDUOS PROVENIENTES DAS OBRAS, SEJA NA POLUIÇÃO GERADA NA FABRICAÇÃO DE MATERIAIS. DENTRE AS SOLUÇÕES PARA MITIGAR ESSES EFEITOS, O USO DE RESÍDUOS VEGETAIS EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS TEM GANHADO DESTAQUE. A BAHIA, MAIOR PRODUTORA NACIONAL DE CACAU, COLHEU MAIS DE 140 MIL TONELADAS EM 2021, SENDO QUE A CASCA DO FRUTO REPRESENTA CERCA DE 80% DO SEU PESO E AINDA CARECE DE DESTINO ADEQUADO. ASSIM, ESTE ESTUDO INVESTIGA O APROVEITAMENTO DA CASCA DE CACAU SECA E TRITURADA NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND. OS RESULTADOS DEMONSTRARAM QUE A ADIÇÃO DE 1% DO RESÍDUO NA ARGAMASSA PROPORCIONOU UM AUMENTO DE 19% NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DE 7% NA MASSA ESPECÍFICA EM COMPARAÇÃO À MISTURA SEM ADIÇÃO. ESSES ACHADOS REVELAM VIABILIDADE NO SEU USO, CONTRIBUINDO NA REDUÇÃO DO CONSUMO DE CIMENTO PORTLAND E AGREGANDO VALOR A UM MATERIAL SUBAPROVEITADO.

PALAVRAS-CHAVE: COMPÓSITO, MATERIAL ALTERNATIVO, RESÍDUO DA CASCA DE CACAU (RCC), REAPROVEITAMENTO.

1. INTRODUÇÃO

A indústria do cimento, responsável por 5% a 8% das emissões globais de CO₂, enfrenta o desafio de reduzir seu impacto ambiental (1,2,3). A produção de clínquer, etapa crucial na fabricação do cimento Portland, libera de 600 a 900 kg de CO₂ por tonelada (3,4).

A crescente demanda por cimento, especialmente em países em desenvolvimento, agrava esse cenário (5).

A busca por alternativas sustentáveis impulsiona a pesquisa e o desenvolvimento de materiais cimentícios com adições de



A



B



C

FIGURA 1

PREPARAÇÃO DO PÓ DA CASCA DO CACAU: (A) CASCAS FRESCAS, (B) SECAGEM NA ESTUFA E (C) GRANULOMETRIA DAS AMOSTRAS, RESPECTIVAMENTE: RCC UTILIZADO, RCC RETIDO NA PENEIRA 20 MESH E RCC APÓS A SECAGEM NA ESTUFA

FONTE: AUTORES

TABELA 1
COMPOSIÇÃO DOS TRAÇOS UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DAS ARGAMASSAS COM RCC

Constituintes	Traço BASE (g)	Traço BASE + 1% RCC (g)	Traço BASE + 5% RCC (g)	Traço BASE + 10% RCC (g)
Cimento	500	500	500	500
Areia	1500	1500	1500	1500
Água (a/c=0,6)	300	300	300	300
Aditivo plastificante	5	5	5	5
RCC	0	5	25	50

resíduos. A substituição parcial do clínquer por resíduos, como cinzas de casca de arroz, reduz as emissões de CO₂ e promove a economia circular (4,6,7).

Nesse contexto, o reaproveitamento de resíduos orgânicos na produção de argamassas e concretos surge como uma estratégia promissora. Além de reduzir o volume de materiais descartados, essa prática pode melhorar as propriedades mecânicas dos materiais de construção e contribuir para a gestão adequada de resíduos (8,9,10).

A casca do cacau, resíduo abundante da indústria cacaueira, representa cerca de 70 a 80% do peso do fruto (11). Com a produção mundial de cacau estimada em 4,7 milhões de toneladas em 2023/24 (12), o potencial de geração de resíduos é significativo. Apesar de suas múltiplas aplicações, como biofertilizante e biogás (13), o manejo inadequado da casca do cacau pode favorecer doenças fúngicas nos cacaueiros, como, por exemplo, a podridão parda (14).

Pensando no aproveitamento integral do cacau e principalmente da casca, diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas na tentativa de descobrir as potencialidades da casca de cacau na construção civil (15,16,17,18,19,20).

A incorporação da casca do cacau em argamassas, além de promover a sustentabilidade, alinha-se ao foco de pesquisas com uso de aditivos naturais na construção civil, buscando melhorar propriedades como plasticidade, absorção de água e resistência mecânica (21).

Este estudo avalia o impacto da adição de pó da casca do cacau nas propriedades físicas, mecânicas e na trabalhabilidade de argamassas de cimento. Foram investigados os efeitos na resistência à compressão, massa específica, cura, retração e consistência, buscando analisar a viabilidade técnica desse resíduo como material alternativo, contri-

buindo para a sustentabilidade ambiental e a economia circular na construção civil.

2. METODOLOGIA

2.1 Preparação do Resíduo da Casca do Cacau (RCC)

A pesquisa foi conduzida no IFBA Campus Ilhéus. Inicialmente, as cascas do cacau frescas foram submetidas a um processo de limpeza e lavagem, seguido de secagem em estufa a 100 °C por 48 horas. O Resíduo da Casca do Cacau (RCC) seco foi triturado e homogeneizado, sendo o pó resultante peneirado em malha de 20 Mesh para obtenção do material utilizado nos ensaios, de acordo com a Figura 1.

2.2 Formulação dos traços de argamassa

Baseado na ABNT NBR 7215:2019 (22) e outros trabalhos realizados (23), de-

finiu-se um traço de referência (BASE) com proporção 1:3 (cimento:areia), relação água/cimento igual 0,6 e adição de 1% de plastificante MIRA SET 148 em relação à massa de cimento, conforme a Tabela 1. Além do traço BASE (sem adição de RCC), foram avaliadas três formulações experimentais com adição de RCC:

- BASE+1%RCC: Adição de 1% de RCC em relação à massa de cimento.
- BASE+5%RCC: Adição de 5% de RCC em relação à massa de cimento.
- BASE+10%RCC: Adição de 10% de RCC em relação à massa de cimento.

O cimento empregado foi o CPV – ARI da marca Mizu. Ele é mais indicado para pesquisas científicas por apresentar uma menor quantidade de adições minerais.

2.3 Moldagem e cura dos corpos de prova

As argamassas foram misturadas mecanicamente, conforme a Figura 2. O cimento e a água foram misturados em baixa velocidade por 30 segundos, a areia foi adicionada gradualmente por mais 30 segundos, e a mistura continuou em alta velocidade por 30 segundos. Após um repouso de 1 minuto e 30 segundos, a argamassa foi misturada novamente em alta velocidade por 1 minuto.

Após a confecção de cada traço de argamassa, foi realizado o ensaio de



FIGURA 2
ARGAMASSADEIRA E MESA DE CONSISTÊNCIA UTILIZADA NA PESQUISA
FONTE: AUTORES



A



B



C



D

FIGURA 3

CORPOS DE PROVA: (A) TRAÇO BASE, (B) BASE+1%RCC, (C) BASE+5%RCC E (D) BASE+10%RCC

FONTE: AUTORES

consistência por meio do espalhamento do tronco de cone, utilizando a mesa de consistência. O índice de consistência da argamassa foi determinado após o preparo, preenchendo a fôrma troncocônica em três camadas com 15, 10 e 5 golpes de soquete, respectivamente, conforme a NBR 13276:2016 (24). Após alisar o topo e remover o excesso, a fôrma foi retirada e a mesa do aparelho de medida de consistência acionada 30 vezes em, aproximadamente, 30 segundos, provocando o abatimento do tronco de cone. Três medidas do diâmetro da base foram coletadas para calcular o índice de consistência pela média aritmética. Em seguida, foram moldados quatro corpos de prova cilíndricos de 5x10 cm (diâmetro/altura) para cada traço, conforme a Figura 3.

Para simular condições adversas, todos os corpos de prova foram desmoldados após 7 dias e mantidos expostos ao ambiente até a ruptura (aos 28 dias), sem submissão a processo de cura úmida ou por imersão.

2.4 Ensaios realizados

No 28º dia, os corpos de prova foram submetidos aos seguintes ensaios:

2.4.1 AFERIÇÃO DAS DIMENSÕES E MASSA

Para cada corpo de prova, foram realizadas três medições de diâmetro e altura, utilizando a média para os cálculos de volume e área. A massa foi determinada por meio de balança digital.

2.4.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A determinação da resistência à compressão foi efetuada de acordo com a ABNT NBR 7215:2019 (22). Os corpos de prova foram retificados e rompidos em uma prensa universal (Figura 4), sob velocidade de carregamento de 2,5 kgf/cm²*s, seguindo as especificações de norma e dimensões da amostra. Os ensaios foram realizados para idade de 28 dias, cada um com três corpos de prova, tomando-se como resistência final a média aritmética.

2.4.3 CÁLCULO DE MASSA ESPECÍFICA

A massa específica de cada corpo de prova foi calculada a partir da massa e do volume médios obtidos nas aferições. A determinação da massa específica dos corpos de prova aos 28 dias foi obtida colocando os mesmos em uma estufa por 24 horas e, em seguida, pesando-os. A massa específica obtida foi a média aritmética dos pesos dos corpos de prova dividida por seus respectivos volumes aferidos com paquímetro digital.

2.4.4 CÁLCULO DE RELAÇÃO ALTURA/DIÂMETRO

A relação altura/diâmetro foi calculada utilizando as médias da altura e do diâmetro coletadas. Esta medida é utilizada para o controle de qualidade das amostras e pode associar-se com a retração da argamassa após o seu endurecimento, sendo o seu valor ideal para corpos de provas cilíndricos igual a 2,00.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaio de consistência da argamassa no estado fresco

A partir da análise da Figura 5, verifica-se que a adição de 1% de RCC promove um aumento na consistência, sugerindo uma argamassa ligeiramente mais fluida, possivelmente devido à ação lubrificante das partículas finas do RCC (em pequena quantidade). No entanto, a adição de 5% e 10% de RCC causou uma significativa redução na consistência, tornando as argamassas consideravelmente menos fluidas, ou seja, mais secas. Enquanto os traços BASE e BASE+1% abriram aproximadamente 200 mm, a adição de 5 e 10% fez com que a abertura sofresse uma grande redução, para cerca de 100 mm na mesa de consistência. Essa mudança é atribuída à maior absorção de água pelo RCC, que compete com o cimento, resultando em uma mistura mais seca, de menor trabalhabilidade e com menor capacidade de retenção de água na mistura. Inclusive, para o traço com adição de 10% de RCC, foi necessário a correção da relação água/cimento para 0,70.

Essa variação na consistência mostrou algumas implicações práticas. Enquanto a adição de 1% de RCC pode ser vantajosa por melhorar a trabalhabilidade (208 mm, conforme Tabela 2), os dados apresentados



FIGURA 4

CORPO DE PROVA CILÍNDRICO NO MOMENTO DA RUPTURA POR COMPRESSÃO

FONTE: AUTORES

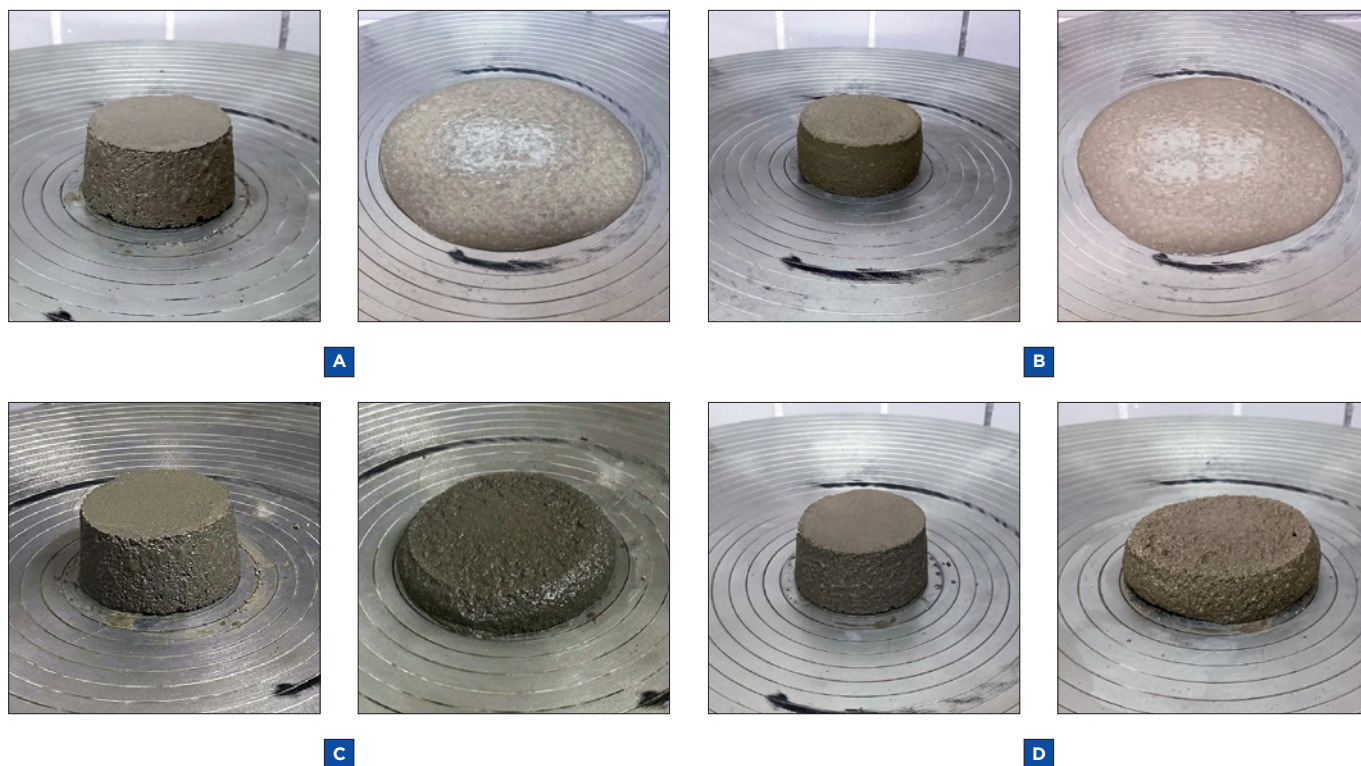


FIGURA 5

COMPARAÇÃO VISUAL DA CONSISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS ANTES E APÓS O ENSAIO DE ESPALHAMENTO DO TRONCO DE CONE: (A) TRAÇO BASE, (B) BASE+1% RCC, (C) BASE+5% RCC E (D) BASE+10% RCC

FONTE: AUTORES

demonstram que teores mais elevados podem dificultar a aplicação da argamassa, demandando ajustes na formulação do traço. Além disso, a consistência reduzida pode impactar outras propriedades da argamassa, como resistência, aderência e durabilidade. Os traços BASE+5% RCC e BASE+10% RCC obtiveram 111 e 100 mm de abertura. Resultados semelhantes de redução das condições de trabalhabilidade foram encontrados por outros autores (23).

TABELA 2

RESULTADOS DO ENSAIO DE ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS

	Traço	Média (mm)
Índice de Consistência (mm)	BASE	205.667
	BASE+1% RCC	208.067
	BASE+5% RCC	111.330
	BASE+10% RCC	100.120

3.2 Aferição das dimensões, massa e relação altura/diâmetro

A análise da relação altura/diâmetro (a/d) nos corpos de prova indica que a incorporação do Resíduo da Casca do Cacau (RCC) pode ser benéfica para a redução da retração por secagem, mesmo em teores mais elevados, conforme Tabela 3.

Corpos de provas com relação a/d próximos de 2,0 indicam baixa retração da argamassa, tendo em vista mínima variação volumétrica. O traço com 5% de RCC apresentou a maior relação a/d igual a 1,991, indicando a menor retração entre as amostras. Essa influência positiva do RCC pode ser atribuída à sua capacidade de absorver e liberar água gradualmente, agindo de forma similar ao processo de cura ao controlar a temperatura de hidratação e minimizando retrações plásticas. Os materiais lignocelulósicos retardam o tempo de pega, ou seja, demoram mais a endurecer, devido à presença de extrativos (açúcares) que inibem a pega (25). A variação na massa e dimensões dos corpos

de prova sugere que o RCC também pode influenciar outras propriedades da argamassa, como massa específica e resistência, ressaltando a importância de analisar todos os parâmetros para determinar o teor ideal de RCC, considerando tanto aspectos mecânicos quanto de durabilidade.

3.3 Ensaio de resistência à compressão

A Tabela 4 evidencia o impacto da incorporação do RCC na tensão máxima de ruptura de cada traço. A adição de 1% de RCC aumentou a resistência em 19%, possivelmente devido à absorção de umidade pelo RCC, que pode ter atuado como um agente de cura interna, além de mecanismos físicos de preenchimento de porosidade da argamassa. No entanto, teores mais elevados (5% e 10%) reduziram consideravelmente a resistência, provavelmente pela competição entre cimento e o RCC na matriz cimentícia e pela maior absorção de água por este último, prejudicando o processo de hidratação do cimento.

TABELA 3

RESULTADOS DA ANÁLISE FÍSICA DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

	Traço	Média	Desvio-padrão
Alturas (mm)	BASE	97.230	0.102
	BASE+1% RCC	98.539	0.110
	BASE+5% RCC	99.864	0.090
	BASE+10% RCC	100.165	0.312
Diâmetros (mm)	BASE	50.239	0.092
	BASE+1% RCC	50.035	0.054
	BASE+5% RCC	50.167	0.129
	BASE+10% RCC	50.369	0.067
Massa (Kg)	BASE	0.374	0.006
	BASE+1% RCC	0.402	0.001
	BASE+5% RCC	0.391	0.001
	BASE+10% RCC	0.376	0.002
Relação a/d	BASE	1.935	0.004
	BASE+1% RCC	1.969	0.003
	BASE+5% RCC	1.991	0.005
	BASE+10% RCC	1.989	0.004

TABELA 4

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

	Traço	Média	Desvio-padrão	Variância
Tensão máx. ruptura (Mpa)	BASE	22.464	1.462	2.136
	BASE+1% RCC	26.740	2.552	6.515
	BASE+5% RCC	12.242	1.270	1.613
	BASE+10% RCC	10.700	2.067	4.273

Outro fator que colaborou para a diminuição dos valores de resistência à compressão nos traços com 5 e 10% de adição de RCC foi a dificuldade de realizar o processo de moldagem dos corpos de prova em função da diminuição da consistência. A Figura 6 mostra a correlação entre a consistência da argamassa e sua respectiva resistência à compressão, demonstrando como essas propriedades se comportam de maneira similar no presente trabalho. Embora com formulações de compósitos diferentes, a redução da resistência à compressão em função do aumento incorporação de RCC também foi verificado por outros pesquisadores (26). Os baixos valores de desvios-padrão indicam boa repetibilidade nos ensaios, mas a maior variância observada nos traços com RCC sugere uma certa heterogeneidade no compósito.

3.4 Cálculo da massa específica

A análise dos dados de massa específica (Tabela 5) revela que a incorporação de 1% de RCC provoca um aumento em cerca de 7%, possivelmente pelo preenchimen-

to de vazios na matriz cimentícia (efeito filler). Já teor intermediário, com 5% de adição, não provocou alteração nessa propriedade. No entanto, o teor mais elevado (10%) levou a uma redução da massa específica, o que pode ser atribuído à menor densidade do RCC e à sua capacidade de absorver água, gerando vazios após a evaporação do excesso de água na argamassa endurecida, tendo em vista a elevação da relação água/cimento. Pelo fato de o RCC apresentar uma menor massa específica é de se esperar que ocorra uma diminuição quando há elevação do teor de adição de RCC.

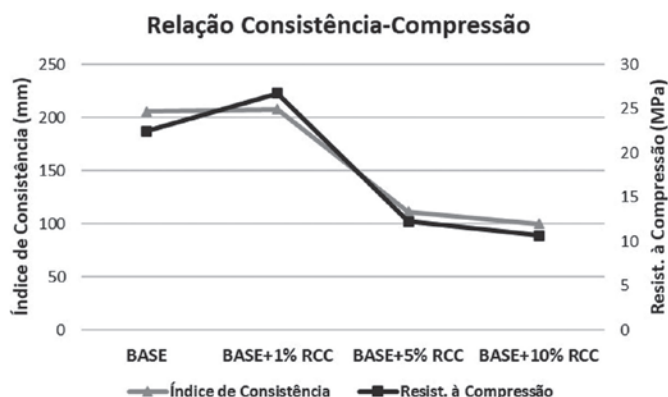
Em relação à durabilidade, argamassas mais densas tendem a ser mais duráveis devido à

menor porosidade, o que dificulta a penetração de agentes agressivos. Portanto, o aumento da massa específica observado com 1% de RCC pode sugerir uma possibilidade de maior durabilidade. Por outro lado, a redução da massa específica do teor 10% de adição de RCC requer estudos mais aprofundados.

4. CONCLUSÕES

O RCC como adição em argamassas de cimento demonstra que a incorporação deste resíduo, em baixa porcentagem, pode melhorar a resistência à compressão sem comprometer a consistência da argamassa. Especificamente, o traço BASE+1%RCC apresentou um aumento de 19% na resistência à compressão e de 7% na massa específica, em comparação ao traço BASE (de referência - sem RCC). Em relação a retração por secagem, constatou-se uma influência positiva do RCC atribuída à sua capacidade de absorver e liberar água gradualmente, controlando a temperatura de hidratação e minimizando retrações plásticas. Notou-se que o aumento dos percentuais de adição de RCC reduz a retração, apresentando aumento das relações entre altura x diâmetro em 2,86% para o traço BASE+1%RCC e 2,75% para o traço BASE+10%RCC.

Esses resultados sinalizam uma viabilidade técnica para o uso do RCC como adição em argamassas de cimento, possibilitando a diminuição do uso de cimento e, consequentemente, das emissões de CO₂ associadas à produção de cimento. O RCC atua como um aditivo plastificante e com capacidade de retenção de água, podendo ser utilizado em

**FIGURA 6**

RELAÇÃO ENTRE A CONSISTÊNCIA E A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

FONTE: AUTORES

argamassa de assentamento e revestimento. Adicionalmente, a utilização desse resíduo agroindustrial poderá promover desenvolvimento socioeconômico nas regiões cacaueiras, agregando valor a um material ainda sem uma destinação totalmente adequada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a MIZU - Cimentos pela doação dos cimentos CP-V.

TABELA 5
RESULTADOS DO CÁLCULO DA MASSA ESPECÍFICA

	Traço	Média	Desvio-padrão	Variância
Massa específica (Kg/m³)	BASE	1940.516	36.882	1360.250
	BASE+1% RCC	2072.237	4.700	22.086
	BASE+5% RCC	1980.845	9.428	88.891
	BASE+10% RCC	1881.429	18.672	348.657

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] FRANÇA, D. F. S. *et al.* Avaliação da reologia, da RAA e das propriedades de argamassas no estado fresco utilizando cinza de eucalipto como substituição parcial ao cimento Portland. *Ambiente Construído*, v. 16, n. 3, p. 153-166, set. 2016.

[2] BARBOZA, L. D. S. *et al.* Estudo da viabilidade da utilização de resíduos de polimento e retificação de cerâmica para fabricação de argamassa. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 25, n. 4, p. e-12898, 2020.

[3] BARROSO MOURÃO, A. *et al.* Utilização de sílica de casca de arroz em argamassas em substituição parcial do cimento Portland. *Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro*, v. 2, n. 1, 29 fev. 2024.

[4] SANTOS, T. A.; CILLA, M. S.; RIBEIRO, D. V. Utilização de resíduo de cimento de amianto (RCA) na produção de clínquer Portland e avaliação do processo de hidratação. Em: VIII ENCONTRO NACIONAL DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO. 25 out. 2023. Disponível em: <<https://eventos.antac.org.br/index.php/enarc/article/view/2996>>. Acesso em: 1 set. 2024

[5] BARBALHO, E. D. A.; SILVA, E. F. D.; RÉGO, J. H. D. S. Estudo da proporção de argila calcinada e filer calcário no cimento LC3 para diferentes teores de substituição. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 25, n. 1, p. e-12578, 2020.

[6] ARRUDA JUNIOR, E. S.; BARATA, M. S. Cimento de baixo impacto ambiental a partir dos resíduos cauliniticos da Amazônia. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 27, n. 1, p. e202146434, 2022.

[7] OLIVEIRA, M. D.; OLIVEIRA, G. V. D.; MOURA, B. F. Monitoramento através de sensores das emissões de gases do efeito estufa na indústria cimenteira: uma revisão. *Brazilian Journal of Production Engineering*, v. 9, n. 5, p. 51-59, 23 out. 2023.

[8] FROTTÉ, C. *et al.* Estudo das propriedades físicas e mecânicas de concreto com substituição parcial de agregado natural por agregado reciclado proveniente de RCD. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 22, n. 2, 2017.

[9] ZAGO, V. C. P.; BARROS, R. T. D. V. Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 24, n. 2, p. 219-228, abr. 2019.

[10] SILVA, S. E. H. D. *et al.* Estudo do comportamento físico da substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de arenito Botucatu em concreto estrutural. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 26, n. 4, p. e13120, 2021.

[11] VÁSQUEZ, Z. S. *et al.* Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. *Waste Management*, v. 90, p. 72-83, maio 2019.

[12] ICCO. COCOA MARKET REVIEW - International Cocoa Organization - Statistics. International Cocoa Organization, 2023. Disponível em: <<https://www.icco.org/statistics/>>. Acesso em: 1 set. 2024

[13] FERRÃO-GONZALES, A. D. *et al.* Desenvolvimento sustentável para o resgate da cultura do cacau baseado no aproveitamento de resíduos. *Interfaces Científicas - Saúde e Ambiente*, v. 1, n. 2, p. 41-52, 16 fev. 2013.

[14] ACEBO-GUERRERO, Y. *Et al.* Management of black pod rot in cacao (*Theobroma cacao* L.): a review. *Fruits*, v. 67, n. 1, p. 41-48, jan. 2012.

[15] AUDU VINCENT, E. M.; MAMMAN YAKUBU, W. Use of Cocoa Pod Husk Ash as Admixture in Concrete. *International Journal of Engineering Research & Technology*, v. 2, n. 11, nov. 2013.

[16] YAW, M. I.; EMMANUEL, A. YALLEY PETER P. K.; SENYO, D. K. Feasibility of using Cocoa Pod Husk Ash (CPHA) as a stabilizer in the production of Compressed Earth bricks. *International Journal of Engineering Research and General Science*, v. 3, 2015.

[17] OGORK, E. N.; AUDU, V. E. M. Cocoa pod husk ash (CPHA) concrete in ggressive environment. *Journal of Engineering and Technology*, vol. 10, n. 1, 2015.

[18] CARVALHO, M. C. F. C.; CAPELOSSIB, V. Avaliação do pó da casca da amêndoa de cacau como inibidor de corrosão para o aço carbono em meio ácido. *INTERCORR*, São Paulo, 2018.

[19] FONTES, C.M.A., SILVA, R.B.; Lima, P.R.L. Characterization and Effect of Using Bottom and Fly Ashes from Co-combustion of Cocoa Waste as Mineral Addition in Concrete. *Waste and Biomass Valorization*. V 10, p. 223-233, 2019.

[20] VELOSO, M. C. R. A. *et al.* Potential destination of Brazilian cocoa agro-industrial wastes for production of materials with high added value. *Waste Management*, v.118, 2020.

[21] HERNÁNDEZ, E. Uso de aditivos naturales en materiales de construcción - una revisión. *Revista Arquitectura +*, v. 3, n. 6, p. 63-68, 9 jan. 2019.

[22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR 7215 - Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos, Rio de Janeiro, 2019.

[23] MARQUES, M. L.; SOUZA, A. B. O.; SILVA, E. J. Avaliação da Resistência à Compressão em Argamassas Incorporadas com Resíduos da Casca de Cacau (*Theobroma Cacao* L.). In: 64º Congresso Brasileiro do Concreto, Florianópolis, 2023.

[24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR 13276 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

[25] MARQUES, M. L. Desenvolvimento de Metodologia para Avaliar a Compatibilidade de Resíduos Lignocelulósicos com Cimento e seu Potencial de Aproveitamento na Construção Civil (Tese). Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Estadual de Santa Cruz, Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, 221p. (2016).

[26] VELOSO, M. C. R. D. A. *et al.* Produção e caracterização de compósitos à base de gesso reforçado com partículas de resíduo da agroindústria do cacau. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 26, n. 1, p. e12945, 2021.

Evento discute controle tecnológico do concreto e arrecada fundos para sede de artesãos

O IBRACON, a ABNT e o Instituto Nós por Elas uniram-se para viabilizar financeiramente a construção da nova sede da Cooperativa dos Artesãos de Barra Nova (Cooperartban). A pedra fundamental da obra foi lançada no 65º Congresso Brasileiro do Concreto, em Maceió, e contou com a participação da presidente da Cooperartban, Lidinalva Oliveira, que, na ocasião, disse que a Cooperativa luta já há 20 anos para ter um espaço digno.

Para levantar fundos financeiros para a construção, o IBRACON e a ABNT realizaram, no último dia 30 de abril, no auditório do Villa Lobos Office Park, o evento técnico-beneficente “Controle tecnológico e seus impactos na construção”.

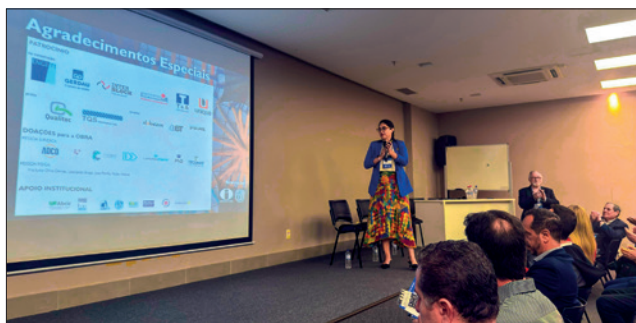
O evento contou com participação presencial de 86 pessoas e on-line de 13, além do patrocínio de 11 empresas e de doações de sete pessoas jurídicas e de quatro pessoas físicas. Contou ainda com o apoio de oito instituições.

“As doações têm viabilizado que o projeto saia do papel para tornar o sonho uma realidade”, enfatizou o presidente do IBRACON, Eng. Julio Timerman, em seu pronunciamento no evento.

Para o presidente da ABNT, Eng. Mario William Esper, “o IBRACON está promovendo o S com seu projeto da sede e o evento beneficente”. Ele se referiu ao aspecto social da norma brasileira ABNT PR 2030 ESG, primeira norma sobre responsabilidade empresarial, social e ambiental de empresas e instituições publicada no mundo.

A abertura do evento contou ainda com a intervenção da arquiteta responsável pelo projeto de construção da nova sede, Daiana Schuch, diretora da Bendita – Mulheres à Obra, que atualizou os participantes sobre o andamento da execução. A situação encontrada por ela na sede da Cooperartban era de total insalubridade e risco à vida: mofo, infiltrações, afundamento do solo, exposição e corrosão de armaduras.

Com os projetos arquitetônicos e estrutural prontos, a primeira etapa do projeto foi de demolição da velha sede, limpeza do terreno, levantamento topográfico, sondagem do solo, montagem de gabarito, escavação das fundações e escoramento do solo.



Jéssika Pacheco faz agradecimentos aos doadores

Atualmente, foi finalizada a estrutura pré-fabricada do térreo e se iniciou o assentamento de 8000 blocos de concreto doados.

Os próximos passos serão finalizar a alvenaria do térreo, instalar os sistemas hidráulico e elétrico, instalar os acabamentos, rebocar e pintar, além de executar o capeamento da laje, subir a alvenaria estrutura do segundo pavimento e fazer a estrutura do telhado.

A execução da obra conta com a mão de obra das próprias rendeiças da Cooperativa, que fizeram curso de formação oferecido pela ABCP.

Para quem quiser contribuir, o pix para doação é projetosocial@ibracon.org.br.

PALESTRAS TÉCNICAS

A parte técnica do evento teve seis apresentações e uma mesa-redonda mediada pelo vice-presidente do IBRACON,



Artesã assenta bloco de concreto da nova sede

Prof. Paulo Helene. A diretora de cursos do IBRACON, Eng. Jéssika Pacheco, que coordenou o evento técnico-beneficente, tocou na problemática do controle tecnológico do concreto em nosso país. Para ela, o calcanhar de Aquiles é a baixa qualifi-

cação dos laboratórios. De acordo com os dados que apresentou, atualmente temos apenas 39 laboratórios acreditados no país, sendo 28 deles concentrados no Sudeste. Pior: apenas 19 têm estrutura permanente e estão habilitados para coletar e preparar amostras de concreto fresco para a realização de ensaios ou para moldagem de corpos de prova para ensaios de concreto endurecido.

Sua recomendação ao engenheiro de obras é verificar se o laboratório está acreditado para realizar os serviços a serem contratados.

O Eng. Tiago Gussen Lamin Dias, representante da ABRATEC, complementou a recomendação listando outros parâmetros para escolha do laboratório: experiência e reputação, equipamentos e a capacidade técnica da equipe, bem como a variedade de testes realizados. Isto porque a precisão e a representatividade dos resultados dos ensaios dependem da correta moldagem ou extração dos corpos de prova. Para os moldados, as fôrmas devem ser padronizadas e a cura feita sob condições controladas. Para os extraídos, deve-se zelar por obter uma geometria perfeita.

Um e outro apresenta vantagens e limitações, e servem a propósitos específicos: os moldados para controle de recebimento e os extraídos como contraprova ou diagnóstico estrutural. Além disso, os resultados dos moldados não refletem fielmente as condições reais da estrutura, enquanto a dos extraídos requerem análise criteriosa de seus resultados, porque a extração pode induzir microfissuras ou danos na amostra.

O diretor-tesoureiro do IBRACON, Eng. Cláudio Sbrighi Neto, buscou salientar a importância das normas em



Cláudio Sbrighi Neto comenta os trabalhos de revisão da norma

contribuir para um controle tecnológico eficaz. Ele ilustrou seu ponto de vista por meio de um retrospecto da norma brasileira ABNT NBR 12655, que trata do preparo, controle, recebimento e aceitação do concreto, em relação à qual foi coordenador de suas comissões de estudo e revisão.

A primeira edição, de 1996, que levou oito anos para ser concluída, trouxe uma sistematização dos procedimentos em vigor, a definição de responsabilidades e os requisitos de preparo e dosagem.

Já, a segunda edição, de 2006, evoluiu para a padronização de terminologia, a especificação de tarefas e dos requisitos de durabilidade, como classes de agressividade e respectivas características do concreto, ampliando o escopo do controle tecnológico.

Por sua vez, a terceira edição, de 2015, inovou ao trazer tabelas específicas para o entendimento das exigências relativas aos agentes agressivos ao concreto e um anexo informativo sobre elementos de concreto enterrados ou em contato com o solo, contribuindo para a efetiva orientação dos engenheiros encarregados da execução das estruturas.

Por fim, a quarta edição, de 2022, atualizou referências normativas, conceitos estatísticos e procedimentos.

Sbrighi apontou duas vantagens em participar das reuniões de norma: a troca de informações com especialistas e o estabelecimento de padrões técnicos para o setor.

O Eng. Thomas Garcia Carmona trouxe a visão dos escritórios de projeto sobre o controle tecnológico do concreto. Ele apresentou as diretrizes estabelecidas na Recomendação ABECE 001:2015, documento que analisa casos de não conformidade do concreto, para a situação em que a resistência característica à compressão estimada não atinge a resistência característica à compressão do projeto.

O documento estabelece que neste caso o projetista deve ser consultado a respeito do valor estimado a partir da

ABNT NBR 12655.

Se a análise estrutural der resultado positivo, os critérios de segurança devem ser considerados como atendidos. Mas, sendo negativo, será preciso extrair corpos de prova como contraprova.

Neste segundo cenário, vários cuidados devem ser tomados antes da extração, como verificação das ancoragens, reavaliação das combinações de ações na estrutura, localização dos momentos mínimos etc. Segundo Carmona, se o resultado de um testemunho divergir em mais de 15% da média, ele deve ser descartado e nova extração deve ser feita.

Uma estimativa ligeira feita pela Jéssica Pacheco em sua palestra apontou que 1% do concreto usinado nas empresas associadas a ABESC requerem contraprova, sendo que a extração do testemunho resolve mais de 60% desses casos. O representante da ABESC, Eng. Álvaro Barbosa, apresentou os parâmetros que devem ser atendidos por uma boa concreteira: compromisso com programas setoriais de qualidade e de sustentabilidade, com a realização de auditorias e com a legalidade; experiência de mercado e qualificação da equipe e dos laboratórios; relação com os clientes; entre outros. Ele frisou esses requisitos são atendidos plenamente pelos associados da ABESC, que representa 70% do concreto usinado no Brasil.

Fechando o ciclo de apresentações, o Prof. Paulo Helene, buscou comentar os aspectos abordados pelos palestrantes que o antecederam. Para ele, a ABNT NBR 12655 acertou, desde sua primeira edição, em atribuir responsabilidades



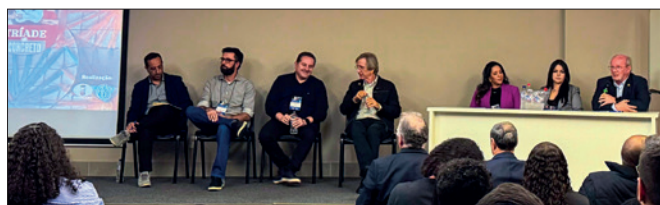
Paulo Helene exorta sobre cuidados no controle tecnológico do concreto

específicas ao projetista, à concreteira, ao laboratório, ao engenheiro de obra e à construtora pelo controle tecnológico do concreto, pois é pela “sinergia dos intervenientes que se garante a qualidade final de um produto em processo de elaboração”. O concreto tem um caráter sui generis, pois, desde que é preparado até depois de estar endurecido, suas propriedades alteram-se consideravelmente, de modo que a qualidade do produto depende de fatores relativos ao projeto, à execução e à sua manutenção.

Exatamente por sua natureza peculiar, o concreto exige um controle tecnológico rigoroso desde seu preparo, passando por sua execução e se mantendo na sua conservação. Daí a importância em se escolher uma concreteira e um laboratório qualificados, um projetista experiente, uma construtora idônea e se dispor de pessoal treinado.

Ele exemplificou a importância na escolha da escolha de pessoal capacitado. Para ele, muitos engenheiros civis brasileiros acabam por confundir conceitos distintos no controle tecnológico do concreto, como resistência estimada e resistência de projeto. Segundo explicou, a resistência característica à compressão especificada na ABNT NBR 6118 é um referencial de segurança, enquanto as resistências características à compressão estimadas segundas as normas ABNT NBR 12655 e NBR 7680 não são resistências reais, mas sim potenciais, pois obtidas em condições diferentes

das condições sob as quais está submetido o concreto da estrutura, devendo primar por chegar ou ultrapassar a resistência de projeto. “Não seguir as normas de métodos de ensaios implica não ter uma resistência potencial máxima”, esclareceu.



Mesa-Redonda com os palestrantes

CONAENDI 2025

Em sua 40ª edição, o evento focado em ensaios não destrutivos, inspeção, integridade estrutural, robótica e segurança vai acontecer de 13 a 15 de agosto, no Centro de Convenções Frei Caneca, em São Paulo.

Tendo como tema central “Conhecimento, Tecnologia e Inovação moldando o futuro da inspeção”, o evento, além das apresentações de pesquisas e inovações, vai ter um workshop sobre manufatura aditiva e um dia de discussões

sobre inteligência artificial, nanotecnologia, robótica, visão ampliada, entre outros temas.

As inscrições estão abertas.

Mais informações:

<https://conaendi.org.br/>

INTERCORR 2025

O Congresso Internacional de Corrosão, em sua 10ª edição, será realizado de 8 a 11 de julho, no Centro de Difusão Internacional, no campus capital da Universidade de São Paulo.

Os congressistas terão a oportunidade de assistir a palestras, workshops e mesas-redondas com especialistas nacionais e estrangeiros em práticas e controle de mitigação de corrosão, com impactos em diferentes setores.

O evento é realizado conjuntamente pela Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT).

As inscrições estão abertas no site:

<https://abraco.org.br/intercorr2025/>

Degrada 2025

Em 6º Encontro Luso-Brasileiro de Degradação em Estruturas de Concreto, para debater os mecanismos, a prevenção, a mitigação e o

monitoramento da degradação de estruturas de concreto, vai acontecer na Universidade de Aveiro, Portugal, de 1 a 3 de outubro.

As inscrições para o evento estão abertas. Acesse:

<https://degrada2025.web.ua.pt/>

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON CONCRETO AUTOADENSÁVEL

COMITÊ TÉCNICO CT-202



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 / ISSN: 978-85-98576-25-1

Edição: 1ª edição

Formato: Eletrônico

Páginas: 78

Acabamento: Digital

Ano da publicação: 2015

Patrocínio



HACBAC 2025

O 6º Congresso Ibero-Americano de Betões Especiais vai ocorrer nos dias 18 e 19 de setembro, no Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve, em Faro, Portugal.

Organizado pela Universidade do Algarve, Laboratório Nacional de Engenharia de Portugal (LNEC), Universidade Politécnica da Valência e Universidade de Cádiz, o evento vai abordar os concretos

especiais, suas aplicações, sua normalização e o uso de inteligência artificial, entre outros temas.

Mais informações:

<https://hacbac2025.ualg.pt/>

Congresso Brasileiro do Cimento

Acontece de 30 de junho a 2 de julho, no Golden Hall WTC, em São Paulo, a nona edição do Congresso Brasileiro do Cimento, que reunirá autoridades, lideranças empresariais, pesquisadores e especialistas para conhecer as inovações na aplicação do cimento Portland.

O 9º CBCi contará com painéis sobre temas como transição energética, descarbonização, infraestrutura e inovação, além de mais de 100 palestras e uma área de exposição dos fornecedores da construção – a Expocimento.

Paralelamente será realizado, de 27 de junho a 2 de julho, o II Simpósio Brasi-

leiro de Ciência do Cimento, que reunirá acadêmicos e especialistas em sessões técnicas e discussões sobre os avanços da ciência do cimento e as soluções para a descarbonização da indústria.

O evento é promovido pela Associação Brasileira de Cimento Portland e apoiado pelo IBRACON.

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



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

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

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

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

Projeto e execução de fixações em concreto

O Programa MasterPEC do IBRACON está com as inscrições abertas para seu próximo curso de atualização profissional. O primeiro módulo do curso “Projeto e execução de fixações em concreto – teoria e prática” vai abordar as ancoragens curtas no dia 26 de junho, na Ancora Group, em Vinhedo – SP.

O curso vai abordar os conceitos básicos de fixação e ancoragem, o dimensiona-

mento das ancoragens e os métodos de avaliação e performance de chumbadores. Combinando teoria com prática, o curso oferece uma imersão nos sistemas de ancoragem e fixação, onde os alunos aprendem a dimensionar, aplicar e testar diferentes tipos de chumbadores. Ao final do curso, os alunos estarão capacitados para escolher e implementar as melhores soluções de ancoragem para diversos tipos de projetos.

O curso é ideal para profissionais que trabalham em obras de reforço estrutural e retrofit. Seus instrutores são o diretor da Carmona Soluções de Engenharia e professor de patologia das construções na Universidade Mackenzie, Tiago Carmona, e o gerente de engenharia da Ancora Chumbadores, Wesley Nascimento.

Saiba mais em:

www.ibracon.org.br

Monitoramento da Saúde Estrutural

O curso vai apresentar o paradigma de reconhecimento de padrões estatísticos no monitoramento do estado de conservação de estruturas, que auxilia na identificação de processos de deterioração e no gerenciamento da integridade estrutural com base em riscos.

Com carga de 20 horas, o curso terá aulas remotas e presenciais. As aulas remotas, que ocorrerão nos dias 21 e 23 de outubro, e 4 de novembro, vão intro-

duzir os conceitos de monitoramento da saúde estrutural. Já, as aulas presenciais, que acontecerão nos dias 27 e 28 de outubro, em Curitiba, focarão em trazer a teoria para a prática profissional.

Os instrutores são: Eloi Figueiredo, professor de monitoramento da saúde estrutural na Lusófona University; Ionut Moldovan, pesquisador do projeto INTENT, financiada pela Fundação Portuguesa de Ciência; Samuel da Silva, professor

da UNESP-Ilha Solteira, com trabalhos na área de monitoramento de saúde estrutural; Michael Faber, professor de gerenciamento de riscos, resiliência e sustentabilidade no ambiente construído na Lusófona University; e Túlio Bittencourt, professor da Escola Politécnica da USP, com trabalhos na área de análise experimental e monitoramento de estruturas.

Mais informações:

site.ibracon.org.br/educacao-continuada

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE
CONTROLE DA QUALIDADE DO
CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS



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

GT4: Caracterização de materiais não convencionais e fibras para reforço estrutural

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio
Representante CTA: Sofia Maria Carrato Dinis

ABECE **IBRACON**

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

Controle da qualidade do concreto reforçado com fibras

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

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

AQUISIÇÃO

www.ibracon.org.br (Loja Virtual)

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-30-5

Edição: 1ª edição

Formato: eletrônico

Páginas: 31

Acabamento: digital

Ano da publicação: 2017

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio

Patrocínio



Pavimento Urbano de Concreto

O curso apresenta os procedimentos de projeto, orçamento, escolha e dosagem de materiais, execução e avaliação do Pavimento Urbano de Concreto (PUC).

Voltado para engenheiros, arquitetos e estudantes, o curso será ministrado pelo diretor técnico da Mixdesign, Eng. Eduar-

do Tartuce, e pelo coordenador técnico da Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem (Abesc), Eng. Álvaro Sérgio Barbosa Júnior.

O curso será realizado em diferentes cidades e datas, e conta com 15 créditos do Programa MasterPEC:

► 24 e 25 de junho – Mato Grosso do Sul

► 5 e 6 de agosto – Belém

► 16 e 17 de setembro – Baln. Camboriú

► 28 e 29 de outubro – Curitiba (66º Congresso Brasileiro do Concreto)

► 18 e 19 de novembro – Goiânia

Mais informações:

<https://site.ibracon.org.br/educacao-continuada/calendario-de-cursos-2025/>

Manual de Boas Práticas para a Montagem de Armaduras

Durante o XVI Congresso de Pontes e Estruturas, no Rio de Janeiro, entre os dias 12 a 15 de maio, foi lançado a nova edição do “Manual de Boas Práticas: Montagem das Armaduras de Estruturas de Concreto Armado”.

Desenvolvido pela Gerdau, em parceria com o escritório de projetos França e Associados, o Manual sistematiza os procedimentos essenciais para a correta execução das armaduras, como armaduras para sapatas, para blocos de coroamento e para vigas da fundação, contribuindo para a garantia da segurança das estruturas de concreto armado.



Publicações

Baixe o manual gratuitamente!

mais.gerdau.com.br

GERDAU
O futuro se molda

Realização:

FRANÇA & ASSOCIADOS
PROJETOS ESTRUTURAIS

Guia de Prevenção da Reação Álcali-Agregado

COORDENADORES

Cláudio Sbrighi Neto, Eduardo Brandau Quitete e Arnaldo Forti Battagin

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

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

Aquisição: Acesse a Loja Virtual do IBRACON.

www.ibracon.org.br



GUIA DE PREVENÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON



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

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-31-2

Formato: 18,6 x 23,3cm

Páginas: 32

PATROCÍNIO



ACONTECE NAS REGIONAIS

Encontro Regional do Pará

A Regional do Pará realizou seu tradicional Encontro, de 11 a 13 de junho, no Auditório da Universidade Federal do Pará, em Belém.

Foram realizados quatro workshops sobre as novas tecnologias em concreto e concursos estudantis com estudantes de graduação e pós-graduação. Os palestrantes foram: Eduardo



Cabral (UFC), Enson Portela (IFCE), Alexandra Vignoli (Realmix Concreto), Igor Torres (IFRC), Benedito Cabral (Secretário estadual de obras do Pará), Marcelo Henriques e Klemerson Veloso (Tabalmix Concreto).

Foram discutidas as mudanças climáticas, a transição energética, as estruturas sustentáveis e a economia circular.

IBRACON na estrada gaúcha

A Regional do Rio Grande do Sul realizou no último dia 28 de maio, na Unisinos, em São Leopoldo, mais um evento do ciclo IBRACON na estrada gaúcha. Nele foram discutidos vários aspectos relacionados ao pavimento urbano de concreto (PUC), tais como: projeto, cura química, fibras de aço, viabilidade econômica, inovação e solução sustentável.

Participaram como palestrantes a gestora técnica e comercial da ArcellorMitta, Eng^a Merry Correa, o gerente de produto da

MC Bauchemie, Eng. Holger Schmidt, o coordenador de desenvolvimento técnico de mercado da Votorantim Cimentos, Eng. João Ramos, a pesquisadora da Unisinos, Enga. Danielle Bruxel, e o coordenador técnico da ABESC, Eng. Álvaro Barbosa.

O evento contou ainda com a participação do coordenador de engenharia civil da Unisinos, Eng. Jeferson Patzlaff, do diretor administrativo da Regional do RS, Eng. Jonathan Kebhard, e do vice-presidente do Sisecon, Pedro Grassi.

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

Macrofibras poliméricas para concreto destinado a aplicações estruturais: definições, especificações e conformidade

Elaborada pelo CT 303 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE sobre Uso de Materiais não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras, a Prática Recomendada especifica os requisitos técnicos das macrofibras poliméricas para uso em concreto estrutural.

A Prática Recomendada abrange macrofibras para uso em todos os tipos de concreto, incluindo concreto projetado, para pavimentos, pré-moldados, moldados no local e concretos de reparo.

AQUISIÇÃO

www.ibracon.org.br (Loja Virtual)

DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-29-9

Edição: 1ª edição

Formato: eletrônico

Páginas: 37

Acabamento: digital

Ano da publicação: 2017

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio

PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON/ABECE

MACROFIBRAS POLIMÉRICAS PARA CONCRETO
DESTINADO A APLICAÇÕES ESTRUTURAIS



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

GT4: Caracterização de materiais não convencionais e fibras para reforço estrutural

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio
Representante CTA: Sofia Maria Carrato Dinis

Patrocínio





Instituto Brasileiro do Concreto

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

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

Associe-se ao IBRACON! Mantenha-se atualizado!

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

Fique bem informado!



www.ibracon.org.br



facebook.com/ibraconOffice



twitter.com/ibraconOffice



66^o CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

CURITIBA 2025

28 a 31 de Outubro

**Concreto: o material do passado,
do presente e do futuro**

PATROCÍNIO E EXPOSIÇÃO

- Estreite relacionamentos na Feira Brasileira da Construção em Concreto
- Associe sua marca ao maior evento técnico-científico sobre o concreto no país
- Apresente o que sua empresa vem fazendo em P&D&I no Seminário de Novas Tecnologias

PROGRAMAÇÃO

- Conferências com especialistas internacionais
- Seminários sobre temas emergentes
- Sessões técnico-científicas
- Cursos de qualificação profissional
- Concursos estudantis