



IBRACON

PONTE RIO-NITERÓI

SOLUÇÕES INOVADORAS NO PROJETO E CONSTRUÇÃO DA PONTE QUE COMPLETOU 50 ANOS E AVALIAÇÃO DE SUA DURABILIDADE

PISOS E PAVIMENTOS DE CONCRETO

BOAS PRÁTICAS DE PROJETO, EXECUÇÃO E CONTROLE TECNOLÓGICO

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS, FIBRAS DESCONTÍNUAS E BACTÉRIAS REGENERATIVAS

PERSONALIDADE ENTREVISTADA

CARLOS HENRIQUE SIQUEIRA: 50 ANOS DE DEDICAÇÃO À RIO-NITERÓI

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

ADITIVOS



gcp applied technologies
SINCE CONSTRUCTION & FREZING



Eficiência em Aditivos para Concreto



BUILDING TRUST

ADITIBRAS



Borregaard



CARBON CURE



concrefiber

Fibras sintéticas e minerais para concreto

ARMADURA



GERDAU

EQUIPAMENTOS



INSTRON



CURRA
engenharia



CON-CURE

ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



Escola Politécnica - USP



100 anos de educação avançada

ADIÇÕES



Elkem Materials South America



Tecnosil

RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL



ONSITE ESTRUTURAS



ESCRITÓRIOS DE PROJETOS



JUNTE-SE A ELAS

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

CONTROLE TECNOLÓGICO



PRÉ-FABRICADOS



CONCRETO



FÓRMAS



CONSTRUTORAS



CIMENTO



GOVERNO



EVENTOS



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

TUBOS E CONEXÕES



OBRAS EMBLEMÁTICAS

17 Soluções pioneiras no projeto e execução da Ponte Rio-Niterói



24 50 anos da Ponte Rio-Niterói

ESTRUTURAS EM DETALHES

32 Galpão logístico



38 Aplicação e controle tecnológico de pavimentos de concreto

50 Pavimento urbano de concreto permeável moldado *in loco*

PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

56 Análise da metodologia construtiva de baixo custo para pavimentos de concreto permeável com incorporação do resíduo de polimento de pisos de concreto



61 Incorporação de fibras de polipropileno comercial e reciclado em concretos permeáveis para pavimentação

70 Análise comparativa de custos entre pavimentos rígidos e flexíveis

77 O impacto da utilização de bactérias na regeneração de pavimentos de concreto

82 Correlação das propriedades mecânicas e físicas por meio da propagação de ondas de ultrassom em concretos produzidos com adição mineral de pó de ferro



CRÉDITOS DE CAPA
VISTA AÉREA DA PONTE RIO-NITERÓI. ECOPONTE

Seções

- 5** EDITORIAL
- 7** COLUNA INSTITUCIONAL
- 8** CONVERSE COM O IBRACON
- 9** PERSONALIDADE ENTREVISTADA:
CARLOS SIQUEIRA
- 31** ENTIDADES DA CADEIA
- 88** ENCONTROS E NOTÍCIAS



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. Oswaldo Cascudo

JORNALISTA RESPONSÁVEL

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

PUBLICIDADE E PROMOÇÃO

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

PROJETO GRÁFICO E DTP

→ Gill Pereira
gill@elemento-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 2024 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 ROBERTO DO LAGO HELENE
DIRETOR 1º VICE-PRESIDENTE / 1º TESOUREIRO

CARLOS JOSÉ MASSUCATO
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

ERCIO 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
DIRETORA DE CERTIFICAÇÃO DE PESSOAL

ALEXANDRE BRITZ
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

Oswaldo Cascudo (Editor-chefe)

COMITÊ EDITORIAL MEMBROS

- Alio Kimura (informática no projeto estrutural)
- Arnaldo Forti Battagin (cimento e sustentabilidade)
- Bernardo Fonseca Tutikian (cimentos especiais)
- Cláudio Vicente Mitidieri Filho (qualidade e desempenho)
- Emilio Minoru Takagi (aditivos e adições)
- Ercio Thomaz (sistemas construtivos)
- Fabiana Lopes Oliveira (arquitetura e projeto)
- Frederico Falconi (fundações)
- Guilherme Parsekian (alvenaria estrutural)
- Íria Lícia Oliva Doniak (industrialização da construção)
- Lydio dos Santos B. de Mello (normalização técnica)
- Mauricio Linn Bianchi (sistemas construtivos)

→ Oswaldo Cascudo (concreto e durabilidade)

→ Paulo Helene (concreto e estruturas)

→ Pedro Teodoro França (obras subterrâneas)

→ Paulo Fernando Araujo da Silva (pavimentos)

→ Vinicius Caruso (saneamento)

PRESIDENTE DO COMITÊ CIENTÍFICO

Gláucia Maria Dalfré

COMITÊ CIENTÍFICO MEMBROS

- Alessandra Castro (Universidade de São Paulo)
- Andrielli Morais de Oliveira (Universidade Federal de Goiás)
- Eduardo Cabral (Universidade Federal do Ceará)
- Eduardo Moraes Rêgo Fairbairn (Univ. Federal do Rio de Janeiro)
- Erio Pazini Figueiredo (Universidade Federal de Goiás)
- Fernando Branco (Universidade de Lisboa)
- Fernanda G. da Silva Ferreira (Universidade Fed. de S. Carlos)

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

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

→ José Julio de Cerqueira Pituba (UFCat)

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

→ Maria Josefina Positieri (Universidad Tecnológica Nacional)

→ Maria Teresa Paulino Aguiar (Universidade Federal de Minas Gerais)

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

→ Pedro Garcés Terradillos (Universidad de Alicante)

→ Rafael Alves de Souza (UEM)

→ Rodrigo de Melo Lameiras (Universidade de Brasília)

→ Selmo Kuperman (Desek)

→ Sérgio H. Pialarissi Cavalaro (Loughborough University)

Planos de ação da nova gestão



Ao assumir uma nova gestão como Diretor Presidente do IBRACON, agradeço imensamente ao Conselho Diretor pela confiança depositada em meu nome, bem como a todos os profissionais que compõem a nova Diretoria.

Parabenizo também, em nome de todos os associados, a gestão recém-finalizada do Prof. Paulo Helene, profissional de referência nacional e mundial, que, não obstante os inúmeros afazeres profissionais, nunca se furtou a colaborar e se dedicar firmemente a nossa entidade em suas diversas atividades!!

Falando agora sobre a nova Diretoria, tenho a firme convicção que o sucesso do trabalho em conjunto está na delegação de responsabilidades e não de tarefas, onde cada Diretor, dentro dos seus conhecimentos e capacidades, possam desenvolver a contento as atividades que lhes foram designadas. Conto e tenho extrema confiança indistintamente em todos os colegas que me acompanham nesta gestão!!

Objetivando-se atingir resultados mais eficazes, pretendemos implementar uma reestruturação no método de trabalho, com reuniões semanais setorizadas com Diretores, convidados de acordo com o assunto que se pretenda discutir.

Pretendemos, com esta reestruturação, proporcionar maior flexibilidade na rotina dos Diretores, atingindo mais rapidamente os resultados esperados.

Em relação ao plano de ações desta gestão, transcrevo a seguir a missão do IBRACON, para tomar-

mos isto como o norteador do plano de ações que se pretende implementar:

“O IBRACON tem por missão criar, divulgar e defender o correto conhecimento sobre materiais, projeto, construção, uso e manutenção de obras de concreto, desenvolvendo o seu mercado, articulando seus agentes e agindo em benefício dos consumidores e da sociedade em harmonia com o meio ambiente”

Dentre as ações em curso pelas Diretorias, sempre com foco na missão acima descrita, podemos destacar:

- ▶ Fortalecimento das Regionais do IBRACON, incentivando-as a promover eventos e workshops, dando suporte técnico e material a esses eventos - pretendemos, com o apoio desta Diretoria, visitar todas as Regionais ao longo desta gestão, sabedor que tal postura é fator motivador, agregador e incentivador aos associados do IBRACON nos diversos Estados Brasileiros;
- ▶ Manter, incentivar e promover uma nova estratégia de Marketing de nossa instituição, que reconhecidamente é a mais importante entidade técnica nacional voltada à cadeia produtiva do Concreto;
- ▶ Fortalecer e ampliar os Comitês Técnicos, inserindo-os nos eventos do IBRACON e de entidades parceiras, promovendo ainda workshops no sentido de apresentar os resultados obtidos;
- ▶ Estreitar e aumentar o relacionamento com entidades parceiras;
- ▶ Não obstante o nosso evento anual já ter reconhecimento da Comunidade Técnica, pretende-se colocar na sua grade sessões técnicas com temas práticos e de interesse de Construtoras, atraindo novamente este importante participante da Cadeia Produtiva do Concreto;
- ▶ Fortalecer as atividades estudantis, através da Diretoria de Atividades Estudantis e sedimentando

os Concursos promovidos durante os eventos do IBRACON e de outras entidades;

- ▶ Viabilizar, técnica e economicamente, o processo de Certificação, mediante uma reestruturação e ampliação do mesmo e iniciando, pela Diretoria de Cursos, o treinamento de potenciais candidatos ao processo de Certificação nas diversas atividades inseridas na Cadeia Produtiva do Concreto;
- ▶ Manter, promover e incentivar o lançamento de livros, publicações e periódicos que tanto interesse atraem em nossos associados.

Finalizando, não poderia deixar de destacar que as atividades preparatórias do 65º Congresso Brasileiro do Concreto (65º CBC), hoje o maior fórum técnico-nacional sobre o concreto, a ser realizado no próximo mês de outubro em Maceió/AL, já estão em curso e contam com a coordenação da Secretaria Executiva e o apoio imprescindível de TODAS as Diretorias. Esperamos, mais uma vez, que

este evento supere as expectativas, seja pelo tema principal escolhido, seja pelo alto nível técnico das palestras e sessões técnicas programadas, destacando-se, ainda, os animados concursos estudantis que irão acontecer.

Desejamos a todos uma boa leitura desta edição e que o início desta nova gestão à frente do IBRACON coincida com o começo de um ciclo de crescimento para o setor, com resultados mais positivos para toda a cadeia produtiva do concreto.

Nunca é demais recordar que onde houver Concreto haverá um profissional associado ao IBRACON. Somos essenciais! Essa máxima exige de todos nós domínio técnico e dedicação permanente.

JÚLIO TIMERMAN

DIRETOR-PRESIDENTE DO IBRACON

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO

(GESTÃO 2023/2025)

NO PRUMO

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

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

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

Com textos de Paulo Helene, professor 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

MINISTÉRIO DA
CULTURA



Revistas, Livros e Práticas Recomendadas: **nossos conhecimentos, nossas publicações**



O IBRACON, dentre suas inúmeras contribuições à sociedade e ao meio técnico da Engenharia Civil, publica sistematicamente revistas, livros e práticas recomendadas sobre o concreto de uma forma geral, para aplicações em construções.

Cabe aqui ressaltar que essas publicações remontam ao início do IBRACON, desde sua criação, tendo a contribuição de inúmeros associados ao longo de sua história, contribuindo com seus conhecimentos.

O acompanhamento constante de seus associados do desenvolvimento do mundo do concreto garante às publicações qualidade e inovação sem precedentes no Brasil.

Atualmente, o IBRACON conta com duas Revistas. O *IBRACON Structures and Materials Journal* (ISMJ), com caráter exclusivamente científico. Recentemente, tivemos a notícia de que o *IBRACON Structures and Materials Journal* (ISMJ) foi indexada na base Scopus, ampliando o potencial da revista para uma maior abrangência internacional, conquista esta

fruto do trabalho de vários editores que trabalharam pela revista. A outra revista é a *CONCRETO & Construções*, com caráter técnico-científico e que, desde 1991, é publicada para um público que envolve a comunidade científica e a comunidade técnica.

Além das revistas, o IBRACON também publica livros e práticas recomendadas. A dimensão dessas contribuições hoje pode ser atestada pelo número de publicações existentes: contamos atualmente com um rol de mais de 15 publicações.

Livros publicados sobre microestrutura e propriedades do concreto, materiais, tecnologia, durabilidade, bem como uma coleção sobre estruturas de concreto. No âmbito das Práticas Recomendadas, temos publicações sobre materiais não convencionais (fibras, barras de FRP, reforços com sistemas de FRP, UHPC), sobre reação álcali-agregado etc.

E o trabalho continua com novas Práticas Recomendadas vindo, novos livros e muito mais! A área de publicações do IBRACON é um de seus braços para cumprimento de sua Missão: *Criar, divulgar e defender o correto conhecimento sobre materiais, projeto, construção, uso e manutenção de obras de concreto, desenvolvendo seu mercado, articulando seus agentes e agindo em benefício dos consumidores e da sociedade em harmonia com o meio ambiente*. Que possamos todos contribuir para o desenvolvimento do Instituto no atendimento de sua Missão.

MARCO CARNIO

DIRETOR DE PUBLICAÇÕES TÉCNICAS (2023/2025)

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>

HOMENAGENS PÓSTUMAS

PROF. JOSÉ ZACARIAS, DIRETOR REGIONAL NO PARÁ

Faleceu no último 22 de janeiro o Prof. José Zacarias Rodrigues da Silva Júnior, diretor regional do IBRACON no Pará de 1980 a 2007, tendo organizado e coordenado 12 encontros regionais.

José Zacarias foi docente no Instituto Federal do Pará, de 1998 a 2014 e na Universidade da Amazônia, de 1983 a 2018, com publicações de dezenas de trabalhos técnicos-científicos.

Atualmente era Diretor Técnico do laboratório CONCRETESTE Controle na Região Norte, onde, desde 1973, prestou consultorias como tecnologista



de concreto para obras importantes na região, como a Alça Viária do Pará, construída para integrar a Região Metropolitana de Belém ao interior do estado.

O Prof. José Zacarias se formou em engenharia civil na Universidade Federal do Pará, em 1973, e defendeu sua dissertação de mestrado em 2000 na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, sob orientação do Prof. Paulo Helene, vice-presidente do IBRACON.

Deixou um filho, Erich Zacarias, e um legado de admiradores.

PROF. JOSÉ LUIZ CARDOSO E SEU LEGADO PARA ENGENHARIA NACIONAL

Para aumentar o pesar da comunidade de engenheiros civis brasileiros, no dia 23 de janeiro partiu o Prof. José Luiz Cardoso, professor universitário e diretor nas empresas Sotege Engenharia, Jatocret Engenharia e JLC Engenharia de Projetos e Engenharia.

“Na Jatocret, Zé Luiz Cardoso criou uma escola de procedimentos de como recuperar e reforçar estruturas”, afirmou seu aluno de pós-graduação e subordinado na Jatocret, Eng. Godart Sepeda.

Participou de projetos importantes no Rio de Janeiro, como dos viadutos rodoviários na Av. das Bandeiras, em Deodoro, na Serra das Araras, sobre a Rua das Laranjeiras e da passarela do aterro do Flamengo, entre outros; da Ponte Internacional sobre o Rio Quarai - Brasil - Uruguai - BR 377, Ponte - Travessa sobre o Rio Uruguai, divisa RS/SC na Rodovia BR 153; Ponte sobre o Rio Santa Maria - BR 290; Ponte sobre o Canal de São Gonçalo - BR 392-471-RS; Ponte sobre o Rio Parnaíba - Divisa entre Estados do Piauí - Maranhão - BR 136; Ponte sobre o Canal da Lagoa da Barra da Tijuca - BR 101 - RJ.

Recebeu diversas homenagens em sua carreira, entre elas o Prêmio Talento Engenharia Estrutural 2012, com o projeto



da Ponte sobre o Rio Doce (Colatina - ES), e o título de Associado Honorário ABECE 2004.

Foi professor das cadeiras de Topografia e de Estática das Construções na Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica (1953 a 1955), de Resistência dos Materiais e de Pontes e na Escola de Engenharia da UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, de Hiperestática de Pontes na Escola de Engenharia

da Universidade Federal Fluminense, de Concreto Protendido no Instituto Militar de Engenharia, de Pós-graduação da COPPE sobre modelos estruturais constituídos de bielas e tirantes em estrutura de concreto armado e protendido, além de ter sido coordenador e professor do Curso de Pós-graduação de métodos modernos na engenharia estrutural e teoria de concreto armado e protendido da UERJ. ☺

Carlos Henrique Siqueira

O engenheiro Carlos Henrique Siqueira formou-se na Universidade Federal da Paraíba, em 1971, e veio para o Rio de Janeiro para fazer mestrado, com a intenção de lecionar na UFPB.

Todavia, a Ponte Rio-Niterói, em construção, apareceu em seu caminho. Lá, ele trabalhou na supervisão da obra e como chefe na divisão de ensaios e pesquisas durante a construção e, posteriormente, a partir de 1979, como coordenador e responsável técnico pela vistoria e manutenção da Ponte.

Nesta entrevista, ele nomeia os engenheiros responsáveis pela obra, comenta sobre as novas tecnologias usadas na sua construção, explica as razões para a adoção das soluções estruturais e não se furta a comentar o acidente fatal no teste de carga dos tubulões e a avaliar a intervenção governamental na gestão da obra.

IBRACON CONTE SUA TRAJETÓRIA PROFISSIONAL DE ENGENHEIRO CIVIL FORMADO NA PARAÍBA, VINDO PARA O RIO DE JANEIRO PARA FAZER PÓS-GRADUAÇÃO, MAS ASSUMINDO CARGO DE ENGENHEIRO DE OBRAS DA CONSTRUÇÃO DA PONTE RIO-NITERÓI, ONDE AINDA ATUA COMO CONSULTOR DA CONCESSIONÁRIA ECOPONTE.

| **CARLOS HENRIQUE SIQUEIRA** | Graduei-me em engenharia civil pela Universidade Federal da Paraíba, em 21 de dezembro de 1971, e no dia 1º de janeiro de 1972 eu chegava ao Rio de Janeiro para fazer curso de Pós-Graduação na COPPE, da UFRJ. A minha ideia era fazer o mestrado em Estruturas, para retornar a João Pessoa e lecionar na UFPB, pois durante a graduação eu fui monitor da cadeira Resistência dos Materiais.

Em setembro de 1972, ao findar parcialmente a Pós-Graduação, recebi convite de um grande economista que atuava nos domínios da Ponte Rio-Niterói, para trabalhar na construção da ponte, ou no Metrô do Rio. Esse economista, Américo Matheus Florentino, era muito amigo e parente do arquiteto Mário Glauco Di Lascio, casado com uma prima minha, que moravam na Paraíba. Não preciso informar a minha escolha. Em 26 de outubro de 1972, passei a integrar o contingente de 200 engenheiros que trabalhavam na construção da ponte.



IBRACON QUAIS PROFISSIONAIS MAIS MARCARAM SUA EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL NA CONSTRUÇÃO DA PONTE, NO ACOMPANHAMENTO DE SEU DESEMPENHO E NA SUA MANUTENÇÃO, E QUAIS LIÇÕES APRENDEU COM ELES?

| **CARLOS HENRIQUE SIQUEIRA** | Ao responder esta indagação presto uma homenagem àqueles que foram verdadeiras relíquias no meu início de carreira, mas tenho receio de olvidar outros não menos importantes. À época construtiva eu atuava na supervisão da obra. O meu primeiro chefe direto foi o engenheiro Paulo Pires, uma figura humana incomparável, tornando-se um verdadeiro



O DESASTRE SE DEU POR OCASIÃO DE UMA PROVA DE CARGA COM TUBULÕES DE 1,80 M DE DIÂMETRO E 22 M DE ALTURA, PARA TESTAR A CAPACIDADE PORTANTE DO TERRENO



pai profissional. O Walter Pfeil veio em seguida, quando comecei a chefiar a divisão de ensaios e pesquisas da Supervisão da Obra. Destaco, também, o João de Lima Acioly, que era o Supervisor Geral da Construção. O Luís Otávio de Araújo Teixeira também marcou os meus serviços na ponte. Em especial, também destaco os engenheiros Antonio Alves de Noronha Filho e Ernani Diaz; aquele me colocou na chefia da divisão de ensaios e pesquisas, e o Ernani até os dias atuais é uma referência para mim, por sua capacidade intelectual, seus infindáveis conhecimentos de engenharia e pela humildade.

De todos aqui mencionados apenas o Ernani Diaz ainda se encontra em plano terreno. Todo esse contingente me ajudou muito no desempenho das minhas funções, cada qual com as suas especificidades. Para mim, essa época é atemporal. Posteriormente, quando do início das vistorias e manutenções, destaco os engenheiros Mauro Vieira (pai do atual Ministro das Relações Exteriores) e Antônio Aurelino dos Santos Cruz, chefe e sub-chefe, respectivamente, da R7/8 do DNER, que fiscalizava diretamente essas atividades, o engenheiro Eugene Peter Rausa, da empresa norte-americana HNTB, que atuou de 1979 até 1986, o engenheiro Aguinaldo Siqueira Filho, de 1983 até 1989, que juntamente com o Rausa respondiam pela manutenção dos vãos metálicos, e novamente o engenheiro Ernani Diaz, sempre disposto a contribuir com os seus volumosos e preciosos ensinamentos acerca da maior obra de arte do Hemisfério Sul. Finalmente, o engenheiro Mário Jaime dos Reis Vila Verde, profissional exemplar. Sorte minha, ter tido como companheiros de trabalho amigos profissionais e técnicos do mais elevado cume, todo esse pessoal de rara qualificação sob todas as ópticas, inclusive humana.

IBRACON COMO OCORREU A CONTRATAÇÃO DOS ENGENHEIROS ANTONIO ALVES NORONHA E BENJAMIN ERNANI DIAZ PARA O PROJETO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO DA PONTE?

| **CARLOS HENRIQUE SIQUEIRA** | Por ocasião da licitação para o projeto e supervisão da construção da Ponte Rio-Niterói, o então Escritório de Engenharia Antônio Alves de Noronha Ltda fez os estudos de viabilidade junto com as empresas norte-americanas HNTB - Howard Needls Tammen & Bergendoff International Inc, e a Wilber Smith Associates a parte que se refere ao tráfego. O Consórcio formado pelas empresas Noronha e HNTB ficou em segundo lugar na concorrência. A empresa vencedora do certame, todavia, não conseguiu pegar a obra, pois apresentou elevado preço para a sua proposição técnica. O DNER, então, convidou o segundo colocado para assumir os serviços.

IBRACON VOCÊ ESTAVA PRESENTE NA OBRA QUANDO OCORREU O ACIDENTE COM A PROVA DE CARGA QUE ESTAVA SENDO EXECUTADA PELO IPT NUMA DAS FUNDAÇÕES (INCLUSIVE COM A MORTE DE ALGUNS ENGENHEIROS)? A QUE VOCÊ ATRIBUI ESTE ACIDENTE E O QUE DEVERIA TER SIDO FEITO PARA SER EVITADO?

| **CARLOS HENRIQUE SIQUEIRA** | Essa tragédia aconteceu em março de 1970,

quando eu ainda nem pensava que a Ponte Rio-Niterói viesse a fazer parte da minha vida. Todavia, pelas circunstâncias e pelo número de vítimas fatais, o acidente foi comentado durante toda a construção, servindo de exemplo para que cuidados mais que redobrados fossem tomados por todos, de maneira a evitar algo semelhante, por menor que fosse a proporção. O desastre se deu por ocasião de uma prova de carga com tubulões de 1,80 m de diâmetro e 22 m de altura, para testar a capacidade portante do terreno. A carga em utilização de projeto em serviço dos tubulões era de 10.000 kN e era aplicada por um tanque cheio de água bombeada do mar. À época, era considerado o maior teste de carga do mundo. Tudo indica que o motivo gerador do acidente foi a ruptura de um dos tubulões, que eram executados por equipamento Calwell, que não perfurava a rocha.

A prova de carga foi executada pelo primeiro Consórcio Construtor, CCRN, sendo um dos motivos fortes que o levaram a ser destituído da obra, ao que foi substituído pelo Consórcio Construtor Guanabara Ltda, CCGL, que passou a atuar de forma mais vigorosa somente em meados do segundo semestre de 1971. O insucesso das fundações executadas por equipamento inadequado gerou a substituição do Consórcio Construtor Rio-Niterói, em janeiro de 1971. Foram 8 as vítimas fatais, sendo 3 engenheiros, um deles do IPT, de São Paulo. Testes de carga são feitos com aplicação de esforços paulatinamente, medindo-se as deformações em incrementos variados de carregamento, possibilitando avaliar



Conjunto Ilha Flutuante e Equipamento Entubador e Perfurador, atuando na construção de tubulões tipo *Bade-Wirth*

situações disformes em tempo hábil, para evitar acidentes como o que ocorreu. Creio que esta precaução não deve ter sido posta em prática na ocasião. Ao longo de mais de meio século convivendo com a Ponte Rio-Niterói, conversei com vários colegas sobre o número de vítimas fatais durante a construção. Fiz uma avaliação do que sabia e do que me foi confirmado, sempre indagando a um e outro, para melhor certeza do que me era indicado. Ao longo dos 5 anos de obra trabalharam cerca de 200 engenheiros e 10.000 operários ao mesmo tempo. Contabilizei algo em torno de 40 perdas humanas. Se este número é elevado em termos absolutos, em termos relativos não é, ainda mais se for levado em conta que à época pouca importância se dava aos equipamentos de proteção individual. No dossiê histórico da construção da ponte, há fotos com

Consórcio CCGL logo no início da retomada da construção da ponte. O “pano de fundo”, ou a “gota d’água” da retirada do Consórcio CCRN, não resta a menor dúvida que foi o acidente com a prova de carga dos tubulões, comentado no item anterior. Além de equipamentos obsoletos e não funcionais, equipe administrativa com baixo desempenho, dificuldade no trato com a supervisão, precariedade na desenvoltura da obra, baixa qualidade dos serviços com reflexos em trechos já edificados que necessitaram de reforços estruturais, não se observava qualquer movimento que indicasse a metamorfose da situação, agravada dia após dia, culminando na intervenção do governo com a criação da empresa ECEX para administrar a nova fase da construção. A “herança” deixada pelo CCRN gerou a necessidade de uma avaliação técnica pormenorizada do que estava por ele edificado, ao que logo foram notados trechos deficitários em qualidade técnica, carentes de reparos. Dois vãos de aduelas no Trecho sobre o Mar tiveram que ser reforçados com perfis metálicos no interior, devido a problemas estruturais. Ao assumir a gestão da obra, a ECEX convidou o CCGL, que havia ficado em segunda posição na licitação para construção da ponte, para assumir a construção. Há um chavão popular que diz “o menor preço não necessariamente é o melhor preço”. Isso se encaixa com perfeição na história construtiva da ponte. Essa situação, incluindo paralização da obra por 6 meses, criação da ECEX por carência imperiosa dada a realidade caótica do momento, destituição e desapropriação do CCRN, convite e participação do novo Consórcio Construtor CCGL, proporcionou acréscimo ponderável no custo final da obra.

operários trabalhando de sandália, de bermuda, sem capacete, sem luvas, sem óculos, enfim, totalmente desprotegidos.

IBRACON **QUAIS LIÇÕES DE ENGENHARIA PODEM SER TIRADAS DA CRISE COM O CONSÓRCIO VENCEDOR, FORMADO POR FERRAZ CAVALCANTI, COMPANHIA CONSTRUTORA BRASILEIRA DE ESTRADAS, SERVIX DE ENGENHARIA E EMPRESA DE MELHORAMENTOS E CONSTRUÇÃO, SUA DESAPROPRIAÇÃO E A CONTRATAÇÃO DO CONSÓRCIO CONSTRUTOR GUANABARA, FORMADO POR CAMARGO CORRÊA, MENDES JÚNIOR, CONSTRUTORA RABELLO E SÉRGIO MARQUES DE SOUZA, SEGUNDO COLOCADO?**
| CARLOS HENRIQUE SIQUEIRA |

Historicamente, deve ser destacado que a empresa Sobrenco, do grande engenheiro Sergio Marques de Souza, desligou-se do

“

A “HERANÇA” DEIXADA PELO CCRN GEROU A NECESSIDADE DE UMA AVALIAÇÃO TÉCNICA PORMENORIZADA DO QUE ESTAVA POR ELE EDIFICADO, AO QUE LOGO FORAM NOTADOS TRECHOS DEFICITÁRIOS EM QUALIDADE TÉCNICA

”



COM A RETIRADA DO CCRN E O INGRESSO DO NOVO CONSÓRCIO CCGL, LOGO FOI PROPOSTA A EXECUÇÃO DOS TUBULÕES EM CONCRETO ARMADO, MEDIANTE CONCRETAGEM SUBMERSA, EXECUTADOS COM EQUIPAMENTOS BADE-WIRTH



IBRACON POR QUE OCORREU A CONTRATAÇÃO DAS EMPRESAS ALEMÃS BADE E WIRTH PARA FAZER A PERFURAÇÃO EM ROCHA E CRAVAÇÃO DOS TUBOS DE 477 TUBULÕES?

| **CARLOS HENRIQUE SIQUEIRA** |

Dentre o elenco de problemas ocorrido com a atuação do Consórcio CCRN, talvez o determinante em seu afastamento da obra esteja relacionado com as fundações. Logo após a concorrência em que foi declarado vencedor, esse Consórcio sugeriu a mudança do projeto de fundações, alegando a impossibilidade de obtenção dos equipamentos necessários ao posicionamento dos tubulões, face ao exíguo tempo por ele indicado no cronograma físico da obra. Posteriormente, o CCRN não conseguia, após várias tentativas, que os martelos vibratórios cravassem as camisas metálicas, tudo isso em atendimento ao próprio projeto por ele sugerido. Esse processo executivo exibiu-se inconveniente e até mesmo impraticável, sob várias ópticas, mas fundamentalmente por conta de que era impossível cravar as camisas metálicas em solo resistente sem prévia escavação, o que tornava embaraçosa a sequência executiva. Com a retirada do Consórcio CCRN e o ingresso do novo Consórcio CCGL, logo foi proposta a execução desses tubulões em concreto armado, mediante concretagem submersa, assentes em rocha pouco decomposta, sem alargamento de base e executados com equipamentos Bade-Wirth. Destaca-se que, pela primeira vez no Brasil, foi usado esse processo, na construção da Ponte Rio-Niterói. No procedimento Bade-Wirth, a escavadora

Wirth desempenha o seu papel mediante broca rotativa desagregadora, ao que a entubadora Bade crava um tubo de aço aberto na rocha, com 2,20 m de diâmetro, para posterior colocação da camisa metálica de 1,80 m, que serviu de fôrma perdida. O espaço compreendido entre a camisa metálica do tubulão e o terreno era preenchido com areia. A camisa metálica que serve de fôrma para a concretagem submersa dos tubulões foi considerada como elemento resistente a partir de 5,00 m abaixo do nível do terreno não sujeito à corrosão.

IBRACON COMO ERA A RELAÇÃO ENTRE OS ENGENHEIROS BRASILEIROS E OS CONSULTORES ESTRANGEIROS DURANTE A CONSTRUÇÃO DA PONTE? QUAIS CONHECIMENTOS E TECNOLOGIAS FORAM TRANSFERIDOS POR MEIO DESSA RELAÇÃO?

| **CARLOS HENRIQUE SIQUEIRA** | Fundamentalmente, o maior contingente de engenheiros de outros países era de origem inglesa e norte-americana, por conta de os vãos centrais terem superestrutura metálica. Os britânicos eram responsáveis pela fabricação e montagem dos vãos em aço, e os da terra do Tio Sam tinham a égide técnica do projeto desse trecho sobre a Baía de Guanabara. Porém, outros consultores internacionais aqui estiveram, incluindo os engenheiros Stratful e Tutthil, respectivamente responsáveis pelas pesquisas sobre corrosão e durabilidade do concreto submerso. Destaca-se, também, o engenheiro José Marecos, do LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, de Lisboa, Portugal. A herança técnica deixada por esses consultores foi inestimável, especialmente para mim, que ao longo desses 50 anos venho colocando em prática tudo o que me foi passado na inspeção e manutenção das estruturas da ponte. Até os dias atuais, ainda são usados os extensômetros acústicos de corda vibrante embutidos no concreto das aduelas, para conhecimento das deformações unitárias e o posterior nível de tensões atuantes. A informação do engenheiro Richard Stratful de que apenas após 50 anos de destruição completa das camisas metálicas dos tubulões, é que o concreto submerso poderá apresentar os primeiros sinais de corrosão, está caminhando para uma realidade.

IBRACON QUAIS AS ESPECIFICIDADES DAS 1.142 LONGARINAS PRÉ-MOLDADAS E PROTENDIDAS (VIGAS BARRIGUDAS)? POR QUE HOVE A OPÇÃO POR ESTE FORMADO DE LONGARINA? QUAIS FORAM AS EMPRESAS FORNECEDORAS?

| **CARLOS HENRIQUE SIQUEIRA** | As lajes dos Acessos Rio de Janeiro e Niterói estão assentes em longarinas pré-moldadas e protendidas conhecidas popularmente por “barrigas de peixe” ou “barrigudas”, sem transversinas intermediárias, mas tão apenas nas cabeças das vigas, nos apoios. Existem 3 tipos de longarinas “barrigudas”, a saber: tipo A, com comprimento oscilando entre 15,50 m e 23,45 m; tipo B, variando entre 27,50 m e 36,40 m; e tipo C, de 36,90 a 55,84 m. A escolha do tipo a ser usado era função do vão a vencer e, em alguns casos, também do gabarito a ser deixado livre abaixo da parte mais inferior da viga. Além de formarem um bom partido estético, elas carregam

como pontos positivos o fato de toda a cablagem ser ancorada nas extremidades, protensão completa no canteiro de fabricação, menor peso para transporte e menor consumo de concreto, tensão de compressão uniforme na extremidade da viga e resistência à flexão constante ao longo do vão.

O sistema de protensão foi o da empresa francesa Freyssinet, à ocasião representada no Brasil pela STUP – Sociedade Técnica para Utilização da Protensão, sediada no Rio de Janeiro. Em toda a ponte há cerca de 43.000 cabos protendidos, cujos fios das cordoalhas, dispostos longitudinalmente, dariam para dar 3,5 vezes a volta ao Planeta Terra.

IBRACON QUAIS AS ESPECIFICIDADES DAS TRANSVERSINAS E ADUELAS PRÉ-MOLDADAS?

QUAIS FORAM AS EMPRESAS FORNECEDORAS?

| **CARLOS HENRIQUE SIQUEIRA** | Na ponte somente existem transversinas nos extremos das longarinas “barrigas de peixe”, nas aduelas de apoio sobre os pilares, ligando os dois caixões, e no Elevado da Avenida Rio de Janeiro, no Trecho conhecido como Reta do Cais, especificamente no segmento denominado Moega. As aduelas eram fabricadas no canteiro do Fundão e estocadas até a hora do embarque em balsa para montagem. São 3.250 aduelas, sendo 3.000 correntes, 182 de apoio e 68 de articulação.

Além de protendidas, elas foram coladas com resina epóxi, sendo usadas 230 t desse material. O f_{ck} das aduelas era 30 MPa, para as correntes e de articulação, e 35 MPa para as de apoio. Para acelerar o processo de produção, a partir de uma determinada época todas foram fabricadas com 35 MPa.

O Consórcio CCGL era responsável pela fabricação, transporte e montagem na frente de serviço, mediante treliça da empresa francesa Campenon Bernard.

IBRACON POR QUE O CONSÓRCIO OPTOU POR MONTAR ADUELAS PRÉ-MOLDADAS EM BALANÇOS SUCESSIVOS, COLADAS COM EPÓXI, PROTENDIDAS LONGITUDINAL E TRANSVERSALMENTE? QUEM FORAM OS RESPONSÁVEIS PELA EXECUÇÃO DA PROTENSÃO?

| **CARLOS HENRIQUE SIQUEIRA** | Inicialmente, pensei que o Noronha e o Ernani, projetistas da ponte, tivessem tomado como exemplo o Viaduto de Chillon, na Suíça, que posteriormente veio a apresentar problemas sérios com reação álcali-agregado. Para ter certeza da resposta, conversei com o Ernani e logo ele aclarou que duas obras foram tomadas como exemplo, a saber: a ponte colada de Oleron, na França, com vãos de 79,00 m, projeto de Jean Muller e construção da empresa Campenon Bernard, e a ponte colada no Vale do Rio Sieg, na Alemanha, com vãos de 100,00 m moldados “*in situ*”.

No caso da Ponte Rio-Niterói, cada “*fleau*” (término da montagem de 16 aduelas em cada caixão de concreto da ponte, que formava um vão entre pilares), contempla 21 cabos negativos em cada banzo superior da alma e 7 cabos positivos no banzo inferior. Ao todo, portanto, são 56 cabos protendidos longitudinais em cada *fleau*.

Ainda há que ser levado em conta as barras Macalloy, que se encontram no interior de cada aduela, instaladas durante o processo de produção em série, e que serviam para combater os esforços cortantes. No sentido transversal, as aduelas também são protendidas, com cabos espaçados em 0,96 cm.

O processo em balanço sucessivo da montagem das aduelas mostrou-se extremamente prático e permitiu avançar bastante a construção da ponte, no que tange à superestrutura do Trecho sobre o Mar. Todo o processo fazendo uso da armadura ativa foi executado pela Freyssinet.

IBRACON QUAIS AS CARACTERÍSTICAS DOS CONCRETOS USADOS NA CONCRETAGEM DOS TUBULÕES E DOS BLOCOS DE COROAMENTO EM TERMOS DE SUA DURABILIDADE? QUEM FORAM OS RESPONSÁVEIS PELA DOSAGEM, PRODUÇÃO, CONTROLE TECNOLÓGICO E LANÇAMENTO DE 77 MIL METROS CÚBICOS DE CONCRETO SUBMERSO DAS FUNDAÇÕES DA PONTE?

| **CARLOS HENRIQUE SIQUEIRA** | À época construtiva da ponte, não havia Cimento Portland Resistente a Sulfatos. Uma indústria cimenteira de nome comercial “Paraíso” resolveu produzir esse tipo especial de aglomerante hidráulico, para o que as análises químicas sempre exibiam um teor de aluminato tricálcico em torno dos 5%. Isso foi determinante na dosagem do concreto elaborada no laboratório da obra, assim como o processo de adensamento, estabelecido para ser autoadensável, junção perfeita para



A INFORMAÇÃO DO ENGENHEIRO RICHARD STRATTFUL DE QUE APENAS APÓS 50 ANOS DE DESTRUIÇÃO COMPLETA DAS CAMISAS METÁLICAS DOS TUBULÕES, ESTÁ CAMINHANDO PARA UMA REALIDADE



“

É INCRÍVEL COMO UMA OBRA PROJETADA NOS ANOS 60 JÁ PENSASSE DE FORMA TÃO ENFÁTICA EM DURABILIDADE, GARANTINDO VIDA LONGEVA À PONTE

”

um concreto combater os efeitos maléficos dos sais cloretos e sulfatos, associada a uma relação água/cimento não superior a 0,4 l/kg.

Em adição, e não menos importante, foi a espessura de cobrimento da armadura, estabelecida em projeto com 9,00 cm. Por outro lado, as camisas metálicas dos tubulões também auxiliam sobremaneira evitando o contato do concreto com as águas do mar.

Quanto aos blocos, esses são protegidos pelas “saías” e “lajinhas” em concreto armado, que serviram de fôrma.

Havia algumas centrais de concreto flutuantes, responsáveis pela confecção dos tubulões, blocos e pilares, de tal maneira que o próprio Consórcio Construtor CCGI era o responsável pela produção do concreto em todas as suas etapas (mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura).

O controle da qualidade do concreto era realizado pela empresa Geotécnica S/A, que fazia uso de um laboratório no canteiro central da obra situado na Ilha do Fundão, próximo à Cidade Universitária. É incrível como uma obra projetada nos anos 60 já pensasse de forma tão enfática em durabilidade, garantindo vida longa à ponte. Os engenheiros Antônio Alves de Noronha Filho e Ernani Diaz são responsáveis por esse pioneirismo, em época cujo termo sustentabilidade sequer era ouvido.

IBRACON O CONCRETO DOS TUBULÕES E DOS BLOCOS DE COROAMENTO TEM RESPONDIDO BEM COM A PASSAGEM DO TEMPO? QUAIS SÃO AS

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS TÍPICAS E SEU GRAU DE RISCO PARA O DESEMPENHO DA PONTE?

QUAIS MEDIDAS TÊM SIDO TOMADAS PARA ERRADICAR ESSAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS?

| CARLOS HENRIQUE SIQUEIRA |

Os 1.138 tubulões que formam as fundações do Trecho sobre o Mar foram confeccionados mediante a utilização de fôrmas metálicas consideradas perdidas, com 1,80 m de diâmetro e 10 mm de espessura de chapa.

Os blocos tiveram como forma inferior uma “lajinha” de concreto armado, e lateralmente “saías” pré-moldadas também em concreto armado.

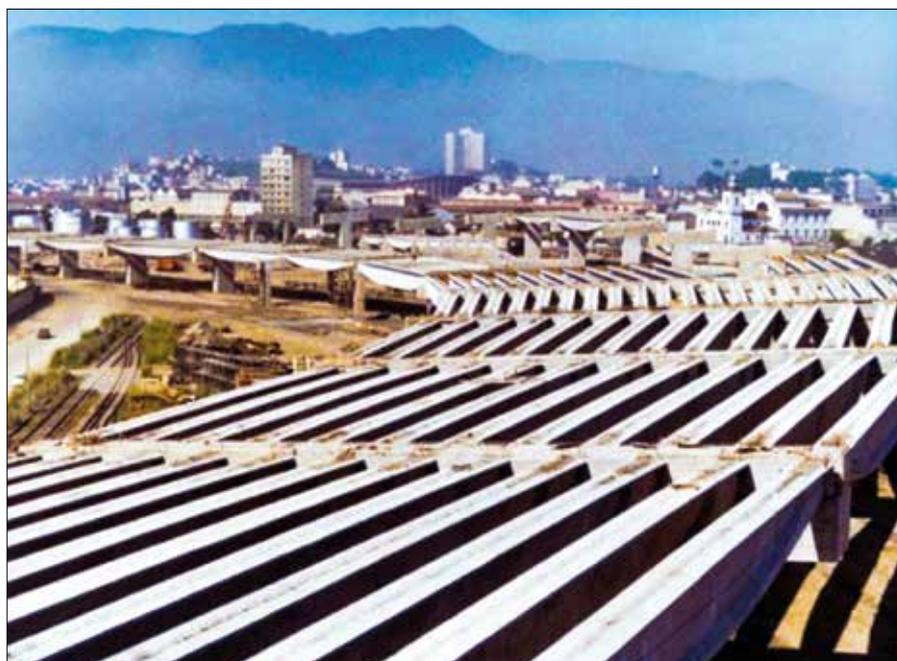
Isto posto, a infraestrutura (tubulões e blocos) dos 8.836,00 m do segmento sobre a Baía de Guanabara não sofre diretamente a ação deletéria da água contendo cloretos e sulfatos. Em assim

sendo, enquanto as camisas metálicas não estiverem totalmente destruídas, assim como as “saías” e as “lajinhas”, o concreto dos tubulões e dos blocos não serão atacados pelas águas do mar. Isso permite afirmar que, no momento, não há qualquer sintoma, por menor que seja, indicativo de declínio da qualidade do concreto dessas peças. Registra-se que o concreto submerso dos tubulões foi dosado com Cimento Portland Resistente a Sulfatos.

IBRACON POR QUE FORAM USADAS ESTRUTURAS METÁLICAS NO VÃO CENTRAL VINDAS DA INGLATERRA? A EXECUÇÃO DO VÃO CENTRAL EM CONCRETO SERIA VIÁVEL E RECOMENDÁVEL NA ÉPOCA?

| CARLOS HENRIQUE SIQUEIRA |

Quando da elaboração dos estudos



Vigas “barrigudas ou barriga de peixe” compondo a superestrutura do Acesso Rio de Janeiro



Montagem de aduelas pelo processo dos balanços sucessivos no Trecho sobre o Mar

de viabilidade construtiva da Ponte Rio-Niterói, várias opções foram ventiladas para a ligação dos dois topônimos. Uma delas, apenas para citar um exemplo, indicava a união partindo da Ponta do Calabouço, no Rio de Janeiro, e Gragoatá, em Niterói. Esse percurso tinha cerca de 4 km, bem inferior aos 14 km atuais entre os seus extremos mais longínquos. No entanto, tal solução esbarrava na interferência operacional de pousos e decolagens do aeroporto Santos Dumont, e logo foi descartada. Várias outras alternativas foram consideradas, mas sempre inviabilizadas por conta do mesmo conflito. Ao ser definida a solução atual, houve postulações inerentes às navegações

Para o início da construção, entretanto, o governo brasileiro necessitava de empréstimo em instituições internacionais, de tal maneira a viabilizar o empreendimento em sua jornada inicial. Daí, surgiu o grande interesse do Reino Unido em financiar o empreendimento, mediante a contrapartida da compra do aço em unidade fabril da Inglaterra, levando em conta também que aquele país considerava a obra como “Prestige Project”, de reconhecida fama internacional. O Banco Rotschild, de Londres, foi a instituição financeira que emprestou US\$ 22.000.000 para início da construção. Tenho todas as “démarches” (tratativas) entre o governo brasileiro e os investidores ingleses, matéria primorosa cedida pelo engenheiro Thomas João Larics Landau, então vice-diretor do DNER, que se junta a tantos outros documentos históricos sobre a Ponte Rio-Niterói, maior obra de arte do Hemisfério Sul.

IBRACON POR QUE UMA OBRA PREVISTA PARA SER CONCLUÍDA EM DOIS ANOS FOI FINALIZADA EM CINCO ANOS E COM QUATRO VEZES OS RECURSOS FINANCEIROS PREVISTOS?

| CARLOS HENRIQUE SIQUEIRA | Não me recordo de ter lido, ou mesmo escutado, que a ponte teve prevista a sua conclusão em 2 anos. Nem mesmo nos dias atuais, onde novas tecnologias e equipamentos são bem mais funcionais que os de outrora, a construção em 2 anos seria viável.

“

EM FUNÇÃO DO LONGO COMPRIMENTO ENTRE OS PILARES 100 E 101, FORMADORES DO CANAL PRINCIPAL, NÃO HAVIA SOLUÇÃO POSSÍVEL EM CONCRETO, DADA ÀS CONDICIONANTES IMPOSTAS PARA ALTURA MÁXIMA DA PONTE

”



LEVANDO EM CONTA A PONTE TOTALMENTE CHEIA DE VEÍCULOS, EM AMBOS OS SENTIDOS, O ACRÉSCIMO DE PESO EM RELAÇÃO AO PESO PRÓPRIO DA PONTE SERIA INSIGNIFICANTE, DA ORDEM DE 1,33%



A ponte levou 5 anos para ser inaugurada, mas a construção ficou pelo menos 6 meses parada, por condicionantes de uma série negativa de fatores observada com o primeiro Consórcio Construtor, tanto no que concerne ao aspecto técnico quanto administrativo.

O governo brasileiro, nesse interregno, criou a ECEX – Empresa de Construção e Exploração da Ponte Presidente Costa e Silva – ligada ao Ministério dos Transportes, posteriormente denominada Empresa de Engenharia e Construção de Obras Especiais. Pode-se afirmar, sem qualquer receio, que a partir da criação da ECEX a obra realmente exibiu à sociedade que iria ser edificada.

Quanto ao aspecto pecuniário, estima-se, com boa precisão, que ao ser inaugurada em 04 de março de 1974, a ponte tenha custado aos cofres públicos cerca de US\$ 400.000.000. Nos dias atuais, a mesma ponte com as mesmas características não custaria menos que 8 bilhões de dólares.

IBRACON QUAIS REFORÇOS DA ESTRUTURA FORAM FEITOS PARA QUE A PONTE COMPORTASSE QUASE TRÊS VEZES A ESTIMATIVA INICIAL DE 50 MIL VEÍCULOS POR DIA?

| **CARLOS HENRIQUE SIQUEIRA** | Durante os estudos iniciais, incluindo a estimativa de tráfego de veículos sobre a ponte, a previsão era de que após 13 anos de inaugurada, ou seja, em 1987, a ponte estaria sendo usada diariamente por cerca de 35.000 automotores, considerando veículos leves, ônibus, veículos pesados e motocicletas. Naquele ano, o número de veículos que passou na ponte atingiu cerca de 50.000 unidades, portanto um acréscimo de aproximadamente 43%. Em projeto, e durante pelo menos 15 anos, a velocidade máxima permitida na ponte era de 120 km/h.

Como a ponte foi concebida com 3 faixas de tráfego e um recuo, em cada sentido, no início do século XXI promove-se o encurtamento da largura das faixas, fato possibilitado pela eliminação da área de recuo, passando a ter 4 faixas, em cada sentido, no Trecho sobre o Mar e no Elevado da Avenida Rio de Janeiro, popularmente conhecido como Reta do Cais. Tal medida ajudou a melhorar a fluidez do trânsito, mas devido ao volume atual de 180.000 veículos diários, nos dois sentidos, esse benefício já não é mais tão significativo.

Levando em conta a ponte totalmente cheia de veículos, em ambos os sentidos, o acréscimo de peso em relação ao peso próprio da ponte seria insignificante, da ordem de 1,33%, o que em nada afetaria as infra, meso ou superestruturas.

Especificamente, quando da construção de baias operacionais suspensas incorporadas a alguns vãos do Trecho sobre o Mar, houve a necessidade tão apenas de reforço de uma das quatro faces dos pilares, exatamente aquela da extremidade onde ocorreram os ajustes para apoiabilidade da nova estrutura.

Nada além disto foi necessário em termos de reforço estrutural.

Quando da elaboração de projeto conceitual para implementação na ponte de um sistema de transporte de massa tipo VLT, sugerido anos anteriores, ficou comprovado que tão apenas os pilares seriam reforçados, ficando a infraestrutura composta por tubulões e blocos de coroamento com as configurações estruturais do projeto original.

IBRACON SUPONDO-SE QUE O TRÁFEGO DIÁRIO DE CARROS AINDA POSSA ATINGIR UM NÚMERO BEM MAIOR DO QUE O ATUAL, HÁ A PREVISÃO DE NOVAS INTERVENÇÕES (REFORÇOS) NA ESTRUTURA DA PONTE?

| **CARLOS HENRIQUE SIQUEIRA** | Não há a menor possibilidade de que a ponte venha a ser reforçada por conta de acréscimo de volume de tráfego, conforme explicitado anteriormente. Fisicamente, tem-se uma área de tabuleiro que não comporta mais veículos do que as dimensões oferecem, portanto o impacto seria diretamente na óptica operacional, e jamais no campo estrutural. Conquanto seja apenas ideias longínquas, já foi mencionado, em reunião sem qualquer cunho oficial, que em caso de saturação plena por veículos da atual ponte, somente a construção de uma nova obra de arte especial ligando os dois topônimos, partindo da Ilha do Fundão, no Rio de Janeiro, e derivando até a cidade de São Gonçalo, nas cercanias de Niterói, com cerca de 18 a 20 km, seria a solução. Tenha ou não qualquer fundamento, é assim que as ideias ganham corpo e os devaneios se materializam. ☺

Soluções pioneiras no projeto e execução da Ponte Rio-Niterói

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

A Ponte Rio-Niterói completou 50 anos no último 4 de março. Após meio século de serviços prestados à população e aos setores econômicos, integrando o país de norte a sul, como parte da rodovia BR-101, ela guarda ainda alguns feitos notáveis da engenharia nacional: maior obra rodoviária do Brasil, maior ponte do Hemisfério Sul (13,2 km de extensão), maior ponte em concreto protendido usando aduelas pré-moldadas de concreto coladas com

resina epóxi (7.184 km) e maior vão do mundo em viga reta contínua (300 m), 72 m acima do nível do mar.

A Rio-Niterói fica situada sobre a baía de Guanabara, ligando as cidades do Rio de Janeiro e de Niterói (Fig. 1). A escolha do traçado atendeu aos seguintes requisitos:

- ▶ Traçado por trás dos portos para reduzir interferência dos navios, sendo que o gabarito de maior profundidade da baía tem vão de 300 m e altura de 60 m, para possibilitar a passagem de

petroleiros sob a ponte, a fim de utilizar o terminal marítimo da Petrobras, no interior da Guanabara;

- ▶ A travessia da baía termina em locais com área suficiente para os viadutos de acesso, que têm ligação direta com a BR-101, acomodando tráfego rodoviário local e de longa distância;
- ▶ Por ficar nas proximidades de dois aeroportos (Galeão e Santos Dumont), a altura máxima da estrutura é de 60 m. Do ponto de vista estrutural, a obra apresenta três trechos principais:

- ▶ Vãos centrais em vigas contínuas metálicas de alma cheia, formada por uma viga contínua central de 300 m e vãos laterais de 200 m, com seção transversal formada por duas vigas-caixão, cada uma com largura de 6,86 m e distância livre entre as almas internas de 6,34 m (Fig. 2);
- ▶ Vãos de acesso sobre o mar de concreto protendido, com cerca de 8000 m, sem gabarito de navegação, construído com aduelas pré-fabricadas coladas, cuja fabricação ficava no canteiro na Ilha do Fundão, com vãos uniformes de 80 m, e dois vãos adjacentes aos centrais de 92 e 114 metros;
- ▶ Vãos de acesso em terra, formados sobretudo por longarinas pré-moldadas em forma de barriga de peixe.

Os pilares sobre o mar constituem-se de pares de colunas retangulares celulares com dimensões externas iguais à largura da viga-caixão (6,86 m) e dimensão variável longitudinalmente, dando ao pilar a forma de tronco de pirâmide.

No topo do pilar há uma parte maciça (cabeça), que recebe as cargas concentradas nos aparelhos de apoio. Já, a base do pilar engasta-se em elementos maciços (blocos), que transferem as cargas para as fundações, com até 5 m de altura.

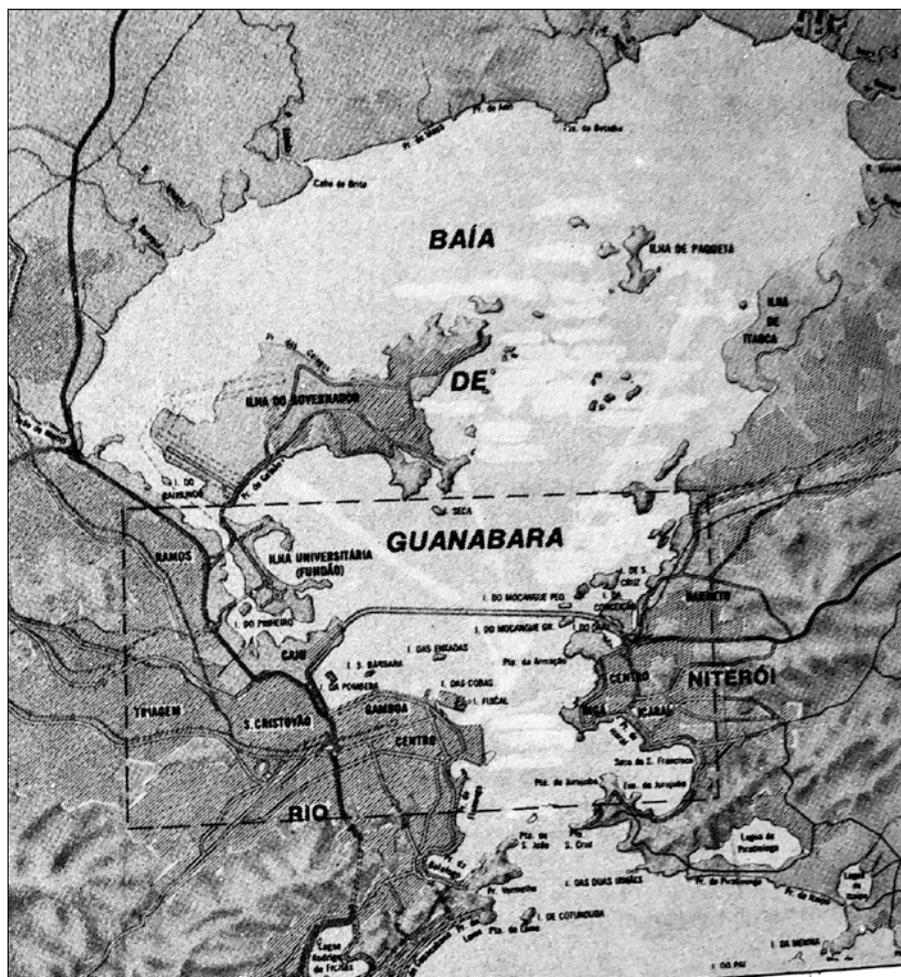


Figura 1 — Esquema do traçado definitivo da Ponte Rio-Niterói — FONTE: PFEIL, 1975

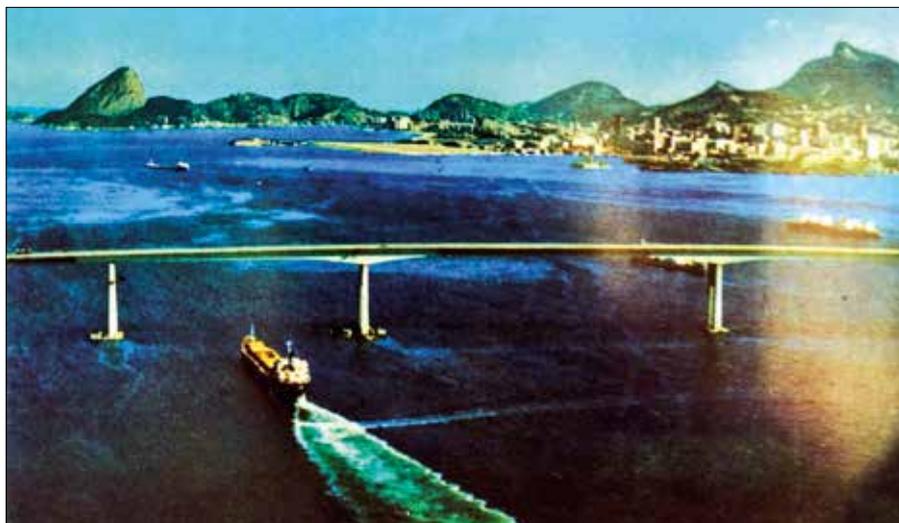


Figura 2 — Três vãos centrais da Rio-Niterói — FONTE: PFEIL, 1975

As fundações no mar foram tubulões construídos de três modos diferentes:

- ▶ Tubulões a ar comprimido, com base alargada, para fundações de até 30 m, assentadas em solos sedimentares resistentes (462 tubulões);
- ▶ Tubulões mistos, com estacas de aço cravadas no interior de camisas de aço pré-escavadas, enchidas com concreto submerso (199 tubulões);
- ▶ Tubulões do tipo Bade-Wirth, formado por camisas metálica colocada no interior de uma escavação e engastadas em rocha, preenchidas com concreto armado submerso (477 tubulões).

O desafio de atravessar 8,6 km sobre a Baía da Guanabara não aconteceu sem percalços. Em março de 1970, depois de pouco mais de um ano do início da construção, durante uma prova de carga com os tubulões de 1,8 m de diâmetro e 22 m de altura, o tanque cheio de água do mar sobre um dos tubulões o rompeu, levando à morte oito profissionais.

Este acidente paralisou as obras até fevereiro de 1971. O Consórcio Construtor Rio-Niterói, vencedor da licitação, não aceitava desembolsar mais dinheiro sem o aporte de novos recursos públicos — o consórcio já havia consumido 70% do preço cobrado, mas entregou apenas 20% da obra — nem aceitou o fatiamento da execução. Diante do impasse, o governo militar desapropriou o Consórcio Construtor Rio-Niterói, criou a ECEX — Empresa de Engenharia e Construção de Obras Especiais — para supervisionar

a obra e contratou o consórcio segundo colocado, formado pelas construtoras Camargo Corrêa, Mendes Junior e Construtora Rabello (Consórcio Construtor Guanabara), para retomar as obras pelo dobro do preço inicialmente estabelecido sob regime de administração.

Para imprimir ritmo acelerado às obras e entregar a Rio-Niterói antes de findar o governo Médici, o ministro dos transportes, Mario Andreazza, e seu assessor, João Carlos Quedes, militares da reserva, foram morar no canteiro de obras, na Ilha do Fundão. Sob seu comando, 10 mil operários e 200 engenheiros.

A seguir, discorre-se sobre as novidades tecnológicas na engenharia brasileira, impulsionadas pela construção da Ponte Rio-Niterói.

1. EQUIPAMENTOS BADE-WIRTH

Por pressão do diretor técnico do Consórcio Construtor Guanabara, Eng. Bruno Contarini, foram comprados equipamentos para cravar e perfurar a rocha do leito do mar, tendo em vista que a solução apresentada pelo consórcio vencedor — cravação de camisas metálicas por meio de equipamento de escavação rotativa, com equipamento Cadwell — se mostrou inviável tecnicamente. Além disso, era necessário entregar a obra no prazo estabelecido.

Foram contratadas as empresas alemãs de equipamentos Bade e Wirth (Fig. 3). A entubadora Bade permite cravar no terreno um tubo de 25 mm de espessura e 2,2 m de diâmetro, com movimento horizontal rotativo alternado e esforço vertical aplicado no tubo com macacos hidráulicos. A extremidade inferior do tubo possui uma coroa dentada que corta o terreno, sendo ele emendado com parafusos.

A perfuratriz Wirth trabalha dentro do tubo, em geral atrasada cerca de um a dois metros em relação à coroa dentada, para evitar desmoronamentos. Ela é acionada por motor hidráulico apoiado na parte superior do tubo Bade. A ferramenta de corte, formada por roletes dentados de aço,



Figura 3 — Em primeiro plano, um tubo tremie, em segundo, a perfuratriz Wirth e em terceiro, segmento do tubo Bade — FONTE: PFEIL, 1975

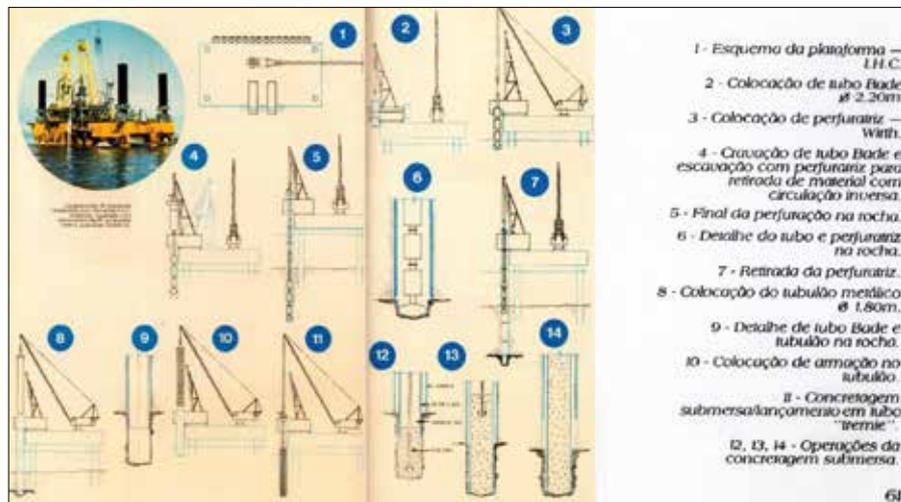


Figura 4 — Sequência de escavação e concretagem com o equipamento Bade-Wirth

desagrega o terreno ou rocha por movimento rotativo contínuo, sendo o material desagregado removido pelo sistema de elevação reversa.

A sequência de escavação com o equipamento Bade-Wirth pode ser descrita pelas etapas (Fig. 4):

- ▶ O equipamento Bade-Wirth é montado em plataforma flutuante de aço soldado, com pernas extensíveis de até 50 m, que permitem que se levantem acima do nível do mar, ficando estacionárias nos locais de trabalho — essas ilhas flutuantes ilhas elevatórias foram fabricadas no estaleiro Ishikawagima, na localidade Ponta do Caju, no Rio de Janeiro, pertencente à multinacional japonesa Ishikawagima-Harima (IHC);
- ▶ O tubo Bade é cravado até terreno firme, começando com um tubo de 9 m de comprimento, no qual se emendam pedaços de tubos de 6 m;
- ▶ Introduce-se a perfuratriz Wirth, mantendo-se a cravação do tubo Bade e a perfuração com a ferramenta Wirth, sendo que esta avança meio metro adiante da face do tubo, quando o terreno se mostra de difícil penetração;
- ▶ A ferramenta Wirth prossegue a escavação, penetrando na rocha sem revestimento, até que o rendimento se reduza a um metro por hora, com carga de 30 toneladas, sendo acompanhada pelo tubo Bade;
- ▶ A cota final de escavação fica no mínimo três metros abaixo da cota da face do tubo Bade.

Na sequência, inseria-se uma camisa

metálica com espessura de 9,5 mm e diâmetro de 1,8 m, com guindaste, ficando sua extremidade inferior cerca de dois metros abaixo da face do tubo Bade. A armadura, também montada com guindaste, é instalada dentro da camisa metálica, podendo atingir a cota de até 50 m. Em seguida, coloca-se um tubo "tremie" no interior da camisa metálica para executar a concretagem submersa, quando é removido o tubo "tremie" e o tubo Bade. A camisa metálica serviu como fôrma permanente das fundações submersas.

2. CONCRETAGEM SUBMERSA

Dos 560 mil metros cúbicos de concreto usados na Rio-Niterói, 77 mil metros

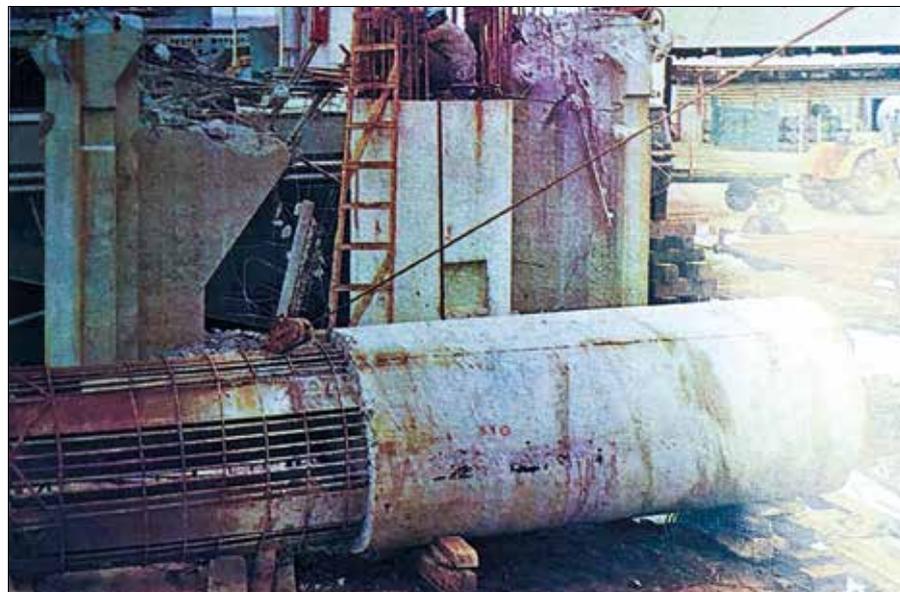


Figura 5 — Tubulão experimental construído no canteiro do Fundão — FONTE: PFEIL, 1975

cúbicos foram aplicados nas fundações submersas, tanto nos tubulões com estacas metálicas quanto nos tubulões Bade-Wirth.

Nas partes enterradas, a camisa metálica foi considerada como permanente e o concreto submerso foi dosado para atender às solicitações de flexo-compressão, com especificações de resistência mecânica, homogeneidade, baixa segregação e capacidade de envolver totalmente a armadura, num volume confinado.

Já, o concreto das fundações acima dessa cota deve, além de resistir à flexo-compressão, proteger a armadura em seu interior contra a corrosão eletrolítica provocada pelo ingresso de cloretos da água do mar, uma vez que a camisa sofre corrosão e desaparece estruturalmente após décadas.

Por isso, o concreto para os tubulões foi dosado com cimento resistente a sulfato, sendo também experimentado o cimento de alto-forno, que apresentou grandes variações de trabalhabilidade (PFEIL, 1975).

O concreto usou um cimento especialmente desenvolvido na época pela cimenteira "Paraíso" com teor de aluminato tricálcio de 5% — Cimento Portland resistente a sulfatos — e apresentou uma relação água/cimento em torno de 0,45. A quantidade de cimento no traço do concreto girou em torno de 470 kg/m³.

"O concreto da época utilizava um cimento de menor resistência e com grãos

maiores. Por isso, o consumo de cimento foi alto”, explica o chefe do projeto das estruturas da Ponte Rio-Niterói, Eng. Benjamin Ernani Diaz.

A espessura de cobrimento de armadura adotada foi de 10 cm, conforme recomendação da norma rodoviária norte-americana AASHTO e do consultor Richard Stratful, engenheiro da *California Department of Highways*.

No canteiro de obras da Ilha do Fundão foram executados 12 tubulões experimentais com camisas metálicas de diâmetro de 1,80 m e comprimento de 9 m (Fig. 5). Alguns tubulões experimentais foram também concretados no mar e sondados.

Os estudos realizados levaram à conclusão de que o concreto submerso executado era estruturalmente equivalente ao concreto vibrado executado a céu aberto.

A qualidade do concreto foi controlada por meio de corpos de prova moldados e extraídos com sonda rotativa. As principais propriedades medidas foram: resistência à compressão; peso específico aparente do concreto seco; absorção de água; e porosidade.

O processo de concretagem submersa era feito de baixo para cima, por meio de um tubo de 10 polegadas de diâmetro, formado por segmentos de cinco metros de comprimento, emendados por flanges aparafusados, com vedação de borracha. Na sua parte superior, o tubo apresentava um funil em forma de tremonha, onde o concreto era lançado com caçamba movida com guindaste. Posteriormente, foi eliminado o funil e o concreto foi bombeado diretamente dentro do tubo.

Levanta-se suavemente o tubo à medida que o concreto é lançado, mas mantendo-o sempre mergulhado dois a três metros no concreto da camisa. A concretagem submersa é finalizada com o extravasamento da borra pela gola, garantindo-se um concreto de boa qualidade no topo da camisa metálica.

Todo o concreto usado na Rio-Niterói foi produzido nos canteiros de obra do Consórcio Construtor Guanabara. Além do concreto submerso para as fundações, foram desenvolvidos concretos para outros elementos estruturais, como blocos de fundação, pilares e aduelas pré-fabricadas — essas produzidas no próprio canteiro central.

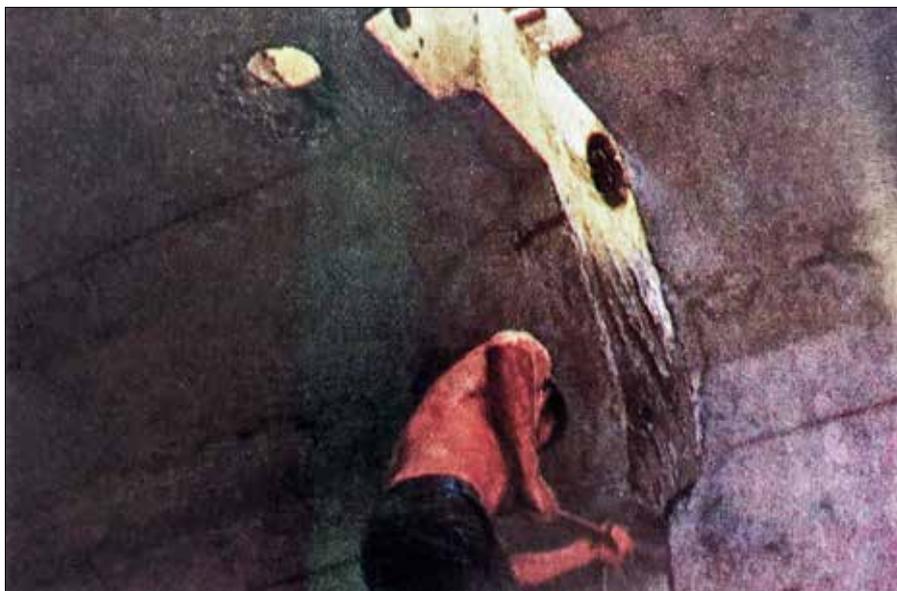


Figura 6 — Aplicação de cola epóxi na superfície de contato das aduelas — FONTE: PFEIL, 1975

3. ADUELAS PRÉ-MOLDADAS COLADAS AGILIZOU A CONSTRUÇÃO

O projeto estrutural definitivo da Ponte Rio-Niterói foi inteiramente desenvolvido pela Noronha Serviços de Engenharia, sendo os engenheiros Antonio Alves Noronha Filho e Benjamin Ernani Diaz os principais responsáveis pelo projeto.

A estrutura da ponte foi concebida para ser simples e robusta, dando agilidade à execução e facilitando a manutenção. As fundações foram coroadas por um bloco de concreto armado que as unia, sobre o qual erguia-se o pilar de concreto armado. O projeto especificava no mínimo 10 estacas por pilar. Por sua vez, os pilares edificados, todos com a mesma forma, apresentando no topo largura de 2,7 m e espessura mínima de 23 cm, recebiam as aduelas pré-moldadas, composta por caixões retangulares (4,8 m x 4,7 m), unidos dois a dois por uma laje superior com vão de 80 m, protendida transversalmente com 12 cabos de 8 mm, com transversina sobre os apoios e sem transversinas no vão. As vigas contínuas formadas pela junção das aduelas, normalmente com cinco vãos, são espaçadas, a cada 400 m, por aduelas de rótula, que servia como junta de dilatação, para suportar as deformações térmicas e mecânicas da ponte.

As resistências previstas para as aduelas

foram de 300 kg/cm² (aduelas correntes, com 105 t) e de 350 kg/cm² (aduelas de apoio e aduelas de articulação).

Durante a montagem, as aduelas são untadas com resina epóxi nas faces de contato (Fig. 6), encostadas e apertadas com cabos provisórios ancorados em saliências no interior das aduelas até que a cola adquira certa resistência. Em seguida, elas são protendidas longitudinalmente, com cabos longitudinais retos, com 12 cordoalhas formadas por fios de aço de 12,7 mm de espessura, com ancoragens de aço forjado do tipo Freyssinet.

As cordoalhas foram fabricadas no Brasil pela Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira, atendendo às especificações norte-americanas ASTM-A416.

Para simplificar a execução, os cabos não atravessam a alma da viga, ancorando-se nas mísulas das lajes.

Ao todo foram cerca de 43 mil cabos protendidos com ancoragens produzidas pela STUP — Sociedade Técnica para Utilização da Protensão, representante da empresa francesa Freyssinet.

A opção pela colagem das aduelas com resina epóxi foi feita em razão da agilidade executiva. “Com a colagem, as aduelas se justapõem precisamente, porque foram pré-fabricadas justapostas, e, ao protendê-las, em poucas horas consegue-se uma resistência adequada para que a execução prossiga normalmente”, explica Ernani.



Figura 7 — Montagem das aduelas com treliças metálicas

Com a solução, as treliças contínuas sobre dois vãos montavam um duplo balanço de 80 m em cinco dias, o que correspondeu a produção de montagem de 13 m lineares de aduelas por dia (Fig. 7).

Outra forma de construir as aduelas seria armá-las e concretá-las no local. Mas, neste processo, a execução só pode prosseguir após o concreto adquirir uma resistência adequada e segura, o que pode demorar vários dias. Neste caso, as treliças montariam o duplo balanço de 80 m em cerca de 25 dias, o que corresponderia a uma produção de montagem seria de 3,2 m por dia, cerca de 20% do obtido com aduelas coladas.

Foram utilizadas quatro treliças na montagem, que avançaram na direção do vão central, duas saindo do Rio de Janeiro e duas, de Niterói. As treliças foram equipadas com guinchos elétricos para içar as aduelas e para deslocar a própria treliça, a cada oito pares de aduelas coladas. Uma novidade na época foi a montagem de aduelas com treliças em trecho curvo.

O projeto previu que nos três vãos centrais, principal com 300 m e dois secundários de 200 m, fosse montada uma estrutura de aço em vigas caixão, cujo projeto ficou a cargo da Howard Needles Tammen & Bergendoff International (HNTB). Trata-se ainda de um recorde mundial.

As juntas das lajes superior e inferior trabalham praticamente com tensões normais de flexão. A resistência das juntas coladas foi demonstrada por diversos ensaios de resistência à compressão normal ou inclinada de corpos de prova ou de ruptura de vigas coladas.

Um dos ensaios de ruptura de vigas coladas foi realizado em um Laboratório de Munique, na Alemanha, em um segmento de aduelas coladas representan-

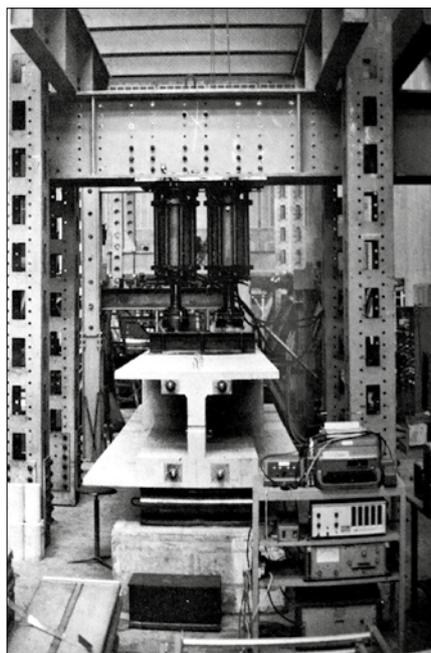


Figura 8 — Viga de ensaio de Munique —

FONTE: PFEIL, 1975

do a Ponte Rio-Niterói na escala de 1:6, sujeitas a momentos e esforços cortantes para provocar ruptura por cisalhamento (Fig. 8).

Este ensaio demonstrou que a resistência da junta sob tensões normais de compressão é determinada pela resistência do concreto adjacente e que, na ruptura de vigas coladas, sob efeito de cisalhamento e flexão, o mecanismo é o mesmo de uma viga concretada sem juntas.

As resinas epoxídicas têm resistências à compressão superiores ao do concreto armado convencional, porém são sensíveis à temperatura, tornando-se viscosas para temperaturas acima de 60°C.

Toda a resina epóxi, cerca de 235 mil quilos, foi fabricada e aplicada pela empresa da época Cyba-Geigy e ensaiada pela equipe de supervisão da obra, uma exigência do projetista. Ela foi especificada para manter-se estável a temperaturas altas e ser compatível com o concreto. A mistura considerada adequada foi a resina pulverizada com sílica, entregue pronta pela empresa fornecedora.

O controle de resistência da cola durante a montagem foi feito em ensaios de flexão de vigotas de 4 cm x 4 cm x 16 cm, que eram curadas nas mesmas condições ambientais da junta. “Este ensaio salvou a montagem numa ocasião e evitou desastres!”, alerta Ernani. Ele conta que, numa das aplicações da resina, o epóxi não deu pega em poucas aduelas montadas. “Todo o trecho da emenda na alma da viga foi demolido e refeito com concreto de alta resistência e pega ultrarrápida”, explica. A situação problemática ilustra como a obra foi indutora de desenvolvimento tecnológico, uma vez que foi preciso conceber e dosar um concreto com baixa trabalhabilidade e alta resistência mecânica.

O peso da aduela colada transfere-se à estrutura através dos três dentes da viga, quando a cola ainda está viscosa, o que permite a transmissão de esforço cortante em metade da área da alma, sem considerar qualquer participação da cola. A aduela seguinte é colocada quando a cola já está dura, resistindo ao cisalhamento.

O projeto baseou-se nos modelos estruturais usados: na Ponte da Ilha de

Oleron (Fig. 9), ponte construída com aduelas pré-moldadas coladas, com vãos de 79 m, construída em 1966, pela Campenon Bernard, firma francesa que forneceu as fôrmas metálicas para a fabricação das aduelas da Rio-Niterói e a treliça metálica para sua montagem; e na Ponte sobre o vale do Sieg, na Alemanha, construída em 1969, que conseguiu vencer o vão de 105 m, com altura constante (Fig. 10), usando treliça de aço em balanços sucessivos, metodologia construtiva da Rio-Niterói. Estas duas pontes serviram de modelo para a ponte brasileira.

As aduelas foram fabricadas em canteiro na Ilha do Fundão, projetado em linha, com quatro praças:

- ▶ Praça de armação: a armação era totalmente montada em gabaritos de madeira;
- ▶ Praça de concretagem: dez conjuntos de fôrmas metálicas dotados de mecanismos hidráulicos de montagem e desforma, sendo cada aduela concretada em contato com a aduela anterior;
- ▶ Praça de armazenamento: dois pórticos rolantes Munck, com capacidade de 105 t, permitem arrumar as aduelas em dois andares;
- ▶ Praça de embarque: os pórticos rolantes colocavam as aduelas sobre os flutuantes de concreto armado, rebocados para o local de montagem.

Um detalhe importante do projeto foi a especificação do concreto e da cobertura das armaduras. Por estar num meio agressivo, com elevada temperatura, umidade e salinidade, os concretos das estruturas da ponte foram especificados para conter um alto teor de cimento, para manter sua alcalinidade e, assim, inibirem a corrosão das armaduras. O projetista estabeleceu também que a resistência mínima fosse de 30 a 35 MPa, resistência característica à compressão dos elementos da superestrutura.

Chama a atenção também a esbeltez da relação entre vão e altura da viga de 16,5, o que determinou o menor consumo de cabos de protensão.

A Rio-Niterói pode ser completamente vistoriada andando-se pela laje inferior, o que facilita sua manutenção.



Figura 9 — Ponte de Oleron, na França

BENJAMIN ERNANI

4. PROJETO ESTRUTURAL DESENVOLVIDO NO COMPUTADOR

Todo o projeto foi desenvolvido em computador, fato inédito no Brasil. O computador usado foi um IBM 1130, que só existiam, na época, na Universidade Federal do Rio de Janeiro, no Instituto Militar de Engenharia e na Embraer.

Os projetistas da Noronha Engenharia, Antonio Noronha, Bernardo Golebiowski e Ernani Diaz desenvolveram os programas. Este último desenvolveu o programa de vigas contínuas (Viga Reta de Ponte — VIRP), programado em linguagem Fortran, para determinar o diagrama final das cargas advindas do peso da ponte e da protensão, quando a montagem estivesse finalizada. Além disso, o programa determinava também os esforços provocados por cargas móveis sobre a ponte (trem-tipo rodoviário).

Este programa foi especialmente desenvolvido para o projeto da Ponte Rio-Niterói, servindo apenas para análise de pontes com vigas retas.

Ernani desenvolveu também o programa de Estruturas Prismáticas Lami-

nares, para a análise de estruturas sem transversinas, com base num artigo publicado nos anais da Associação Internacional de Engenharia Estrutural para Pontes (IABSE), em 1968. O artigo desenvolveu uma matriz de rigidez perfeita unindo as placas planas retangulares. Com a matriz matemática foi possível desenvolver o programa de análise. “A irmã do Noronha, Moema, professora de matemática, verificou se as deduções do artigo estavam corretas”, lembra-se Ernani.

As vigas tipo barriga de peixe (barrigudas) foram inicialmente projetadas pelo Antonio Noronha com transversinas intermediárias, que foram posteriormente retiradas. Como o tabuleiro da Rio-Niterói era de largura variável, cada viga tinha um comprimento diferente, de modo que os apoios das transversinas intermediárias teriam também que ser variáveis. Seria preciso também desenhar cada transversina, com armaduras diferentes e comprimentos variados, bem como preparar as fôrmas para cada trecho. Isto tudo dificultava a execução.



Figura 10 — Ponte Sieg, na Alemanha

BENJAMIN ERNANI

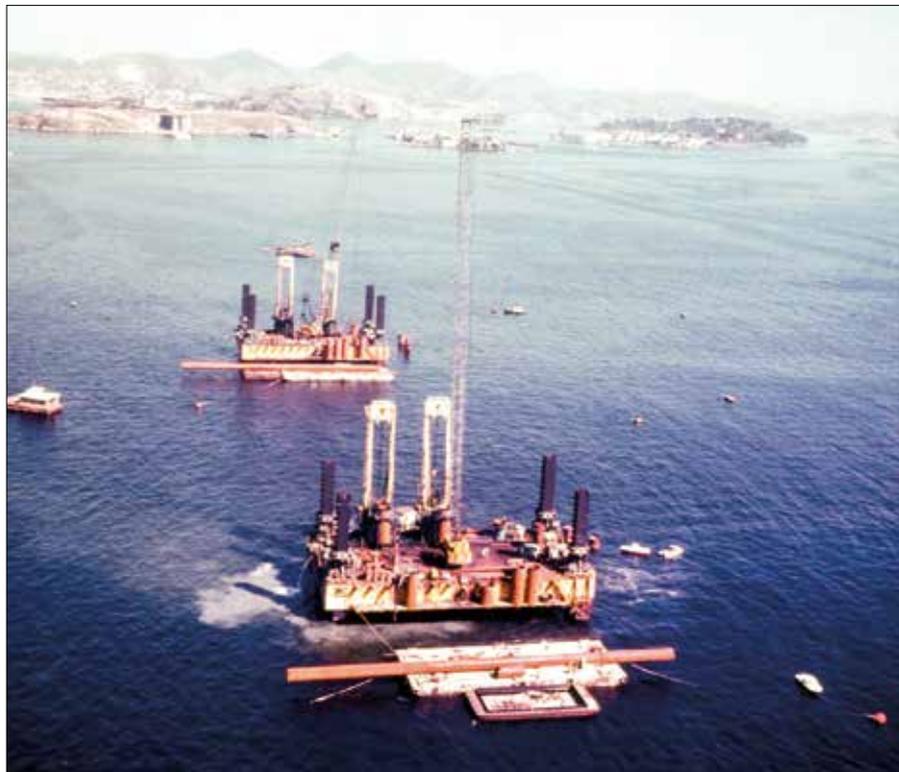


Figura 11 — Execução das fundações na Baía de Guanabara nas plataformas flutuantes — FONTE: PFEIL, 1975

Com esses dois programas e mais o auxílio dos programas STRESS, do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), primeiro programa de análise do mundo, foi possível projetar a Rio-Niterói.

“Sem o computador não seria possível projetar a Ponte Rio-Niterói no devido tempo, defende Ernani.

A locação dos pilares no mar, os comprimentos das vigas pré-moldadas e a locação dos pilares nos acessos do Rio de Janeiro e Niterói foi feita com o programa COGO, desenvolvido também pelo MIT, que estabelece coordenadas de localização dos elementos, como as estacas (Fig. 11). “Um trabalho sem erro nenhum, feito pelo engenheiro Antonio Eulálio Pedro de Araújo”, informa Ernani.

O Bernardo Golebiowski desenvolveu o programa de estaqueamento, que considerou que as estacas não estavam apoiadas ao longo do comprimento do solo, mas apenas apoiadas na base.

5. PROFISSIONAIS ARROJADOS

A simplificação do projeto estrutural, com a padronização de fundações, pilares e aduelas, possibilitou, com o uso de técnicas construtivas correntes — concretagem submersa, fôrmas deslizantes e treliças metálicas — que a obra avançasse rápido, conforme o cronograma exigido pelo governo militar. Mas isto só se concretizou com o apoio de profissionais competentes, que não se furtavam em resolver engenhosamente os problemas surgidos na execução.

Alguns casos são emblemáticos. O Consórcio Construtor Rio-Niterói planejou executar o tabuleiro em duas etapas: uma camada inicial de 15 cm e outra de sete centímetros, para que os cabos de protensão fossem dispostos nesta última camada. Porém, Bruno Contarini e Mario Vila Verde, diretor técnico e superintendente técnico do Consórcio Construtor Guanabara, decidiram concretar o

tabuleiro de uma só vez. O projeto inicial foi modificado para que os cabos protendidos fossem enfiados na estrutura. As bainhas especificadas eram lisas e praticamente retas. “Funcionou a mil maravilhas, sem absolutamente nenhum problema sério!”, comenta Ernani, para completar: “O Bruno pegava o projeto oficial e imaginava um método construtivo modificando este projeto. Ele era um engenheiro com grande arrojo e competência”.

Outro caso foi a substituição dos apoios provisórios de aço, que uniam a viga da ponte com os pilares, por permanentes, de neoprene. O Bruno Contarini, depois de finalizada a montagem de 17 aduelas, cada uma pesando cerca de 100 toneladas, levantou o conjunto usando quatro macacos tóricos, para retirar os apoios fixos e colocar os apoios de neoprene. E fez isso cerca de 200 vezes!

Já, o Mario Vila Verde projetou uma fôrma de concreto para concretar um bloco de fundação com face inferior abaixo do nível do mar, exigência da firma inglesa responsável pelo projeto e execução do vão central de aço. A forma pré-moldada foi concretada acima do nível do mar e depois arriada até deixar um curto trecho acima do nível do mar.

A Ponte Rio-Niterói foi entregue em 15 de janeiro de 1974, quando Mario Andrezza percorreu a ponte de carro. Ela foi inaugurada em 04 de março, poucos dias antes do general Emílio Médici passar o posto de presidente.

Na época de sua inauguração era a terceira maior ponte do mundo, atrás apenas da Ponte do Lago Pontchartrain (38 km), na Louisiana, e Chesapeake Bay Bridge (29 km), na Virgínia, ambas nos Estados Unidos.

No primeiro ano, atingiu a marca de 20 mil veículos por dia, que deixaram de embarcar, atravessar a Baía e desembarcar, viagem que demorava até duas horas.

Hoje, ela recebe 180 mil veículos por dia, aproximando-se de sua saturação. ☹

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PFEIL, Walter. Ponte Presidente Costa e Silva, Rio-Niterói: métodos construtivos. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975.
- [1] VASCONCELOS, Augusto Carlos de. O concreto no Brasil. São Paulo: Pini, 1992.

50 anos da Ponte Rio-Niterói

CARLOS HENRIQUE PAIVA SIQUEIRA - DIRETOR | RIOCON - CONSULTORIA E ENGENHARIA

RESUMO

A PONTE RIO-NITERÓI, EM 4 DE MARÇO DE 2024, COMPLETOU 50 ANOS. O PRESENTE ARTIGO FAZ UM BREVE RELATO SOBRE O PROJETO, A CONSTRUÇÃO, A INSPEÇÃO E A MANUTENÇÃO DA PONTE, COM DESTAQUE PARA A TROCA DO PAVIMENTO DO VÃO CENTRAL.

PALAVRAS-CHAVE: PONTE RIO-NITERÓI; INSPEÇÃO DE PONTES; MANUTENÇÃO DE PONTES

1. PREÂMBULO

Em 4 de março de 1974, o Brasil inaugurava a ligação rodoviária entre as cidades do Rio de Janeiro, então capital do estado da Guanabara, e Niterói, à época capital do estado do Rio de Janeiro, cujos 14,00 km de extensão entre os seus extremos mais longínquos a colocavam na posição de terceira maior ponte do mundo, atrás apenas daquelas sobre o Lago Pontchartrain, com

38,00 km, e sobre a Baía de Chesapeake, com 27,00 km, ambas nos Estados Unidos.

A materialização da icônica e monumental Ponte Rio-Niterói corou de êxito a engenharia brasileira, e, logicamente, frustrou a expectativa de muitas vezes da discórdia que, durante todos os 54 meses efetivos de sua construção, jamais acreditavam que projeto com tanta envergadura viesse a sair do papel.

A Ponte Rio-Niterói não apenas foi entregue à sociedade brasileira como integrante da Rodovia BR-101, que liga São José do Norte, no estado do Rio Grande do Sul, a Touros, no Rio Grande do Norte, como também passou a ser condição determinante na ligação viária entre as duas cidades, e ainda veio a representar, desde a sua inauguração, a mais conhecida obra de engenharia rodoviária desta nação em plagas além-mar.

O cinquentenário da “prima donna” das

pontes brasileiras, atualmente a 23ª maior do mundo, e ainda a maior do Hemisfério Sul, é motivo de orgulho da engenharia pátria, fato que não poderia passar sem um registro em meio mais sólido de um pouco do seu brilhante enredo.

2. ASCENDÊNCIA HISTÓRICA

Tão próximas fisicamente, de ambas se observam com nitidez as edificações da outra, a ligação rodoviária ou ferroviária entre os dois topônimos, Rio de Janeiro e Niterói, sempre tinha como obstáculo o acidente geográfico cognominado Baía de Guanabara, que impunha séria restrição e, para alguns, representava até impossibilidade, ante os recursos construtivos da época.

O anseio de ver as duas cidades unidas por meio de túnel ou ponte era devaneio de todos há cerca de 130 anos, quando o Brasil ainda era conduzido pelo Imperador D. Pedro II. Os anais históricos registram que em 04 de março de 1876, coincidentemente 98 anos antes da inauguração da ponte, a mais alta patente do Brasil Império concedia ao engenheiro inglês Hamilton Lindsay Bucknall, por intermédio do decreto 6.138, a credibilidade para dar início aos estudos visando a ligação ferroviária por meio de túnel entre as duas cidades.

“Atendendo ao que me requereu Hamilton Lindsay Bucknall, hei por bem conceder-lhe privilégio, por cinquenta anos, para a construção, uso e gozo de um túnel submarino servido por uma estrada de ferro que comunique a capital do Império com a cidade de Nictheroy, na Província do Rio de Janeiro”.

(Dom Pedro II, 4/3/1876, decreto 6.138)



FIGURA 1

LANÇAMENTO DA PEDRA FUNDAMENTAL DA CONSTRUÇÃO DA PONTE RIO-NITERÓI, POR INTERMÉDIO DE SUA MAJESTADE A RAINHA ELIZABETH II E O MINISTRO DOS TRANSPORTES MÁRIO DAVID ANDREAZZA

Ao retornar à Inglaterra esse construtor não obteve êxito com o seu propósito de edificar a Ponte Rio-Niterói, por uma série de motivos dentre os quais a questão pecuniária. Destarte, a ideia foi abandonada.

Durante muitos anos o assunto ficou estagnado, e quando voltou à baila sempre esbarrava em questões burocráticas e técnicas, estas, via de regra, determinadas pela apresentação de um projeto que não surtia o efeito desejado naqueles que tinham o poder de decisão.

Finalmente, em 04 de julho de 1967, após várias tentativas frustradas com proposições técnicas não convincentes, o então DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, atualmente DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, conseguiu aprovar um projeto em licitação internacional para a construção da ponte.

Dada a iniciativa de financiar parte do empreendimento, fundamentalmente a superestrutura em caixões metálicos do vão central, por intermédio de um aporte de cerca de US\$ 22.000.000, o Reino Unido, então liderado pela Rainha Elizabeth II, exigiu como contrapartida que todo o aço fosse adquirido na Inglaterra, o que assim foi feito.

Simbolicamente, em 9 de novembro de 1968, a obra foi iniciada durante o lançamento da pedra fundamental (Fig. 1), com a presença de Sua Majestade a Rainha Elizabeth II, e de Sua alteza Real, o Príncipe Phillip, Duque de Edimburgo, além do então Ministro dos Transportes, Cel. Mário David Andreazza. No dia 9 de janeiro de 1969, foram, de fato, principiadas as obras de construção da Ponte Rio-Niterói (Fig. 2), que levou, efetivamente, 4 anos e meio para ser edificada, descontados os 6 meses em que a obra esteve parada por uma série de problemas técnicos e administrativos, o que gerou a troca do Consórcio Construtor Rio-Niterói - CCRN -, que deu início às obras, pelo Consórcio Construtor Guanabara Ltda - CCGL, que teve o mérito sequencial da construção de 95% da obra.

Os autores dos projetos arquitetônico e estrutural da ponte são os engenheiros Antônio Alves de Noronha Filho e Benjamin Ernani Diaz, no que tange a parte em concreto. A superestrutura metálica do vão central ficou a cargo da empresa norte-americana HNTB - Howard Needles Tammen and Berghendoff International In, através dos engenheiros Herbert Globig e James Graham.

Quando inaugurada, o custo estimado da ponte foi de US\$ 400 milhões. Hoje, não se enxerga a construção da mesma obra



FIGURA 2

CONSTRUÇÃO DO ACESSO NITERÓI EM FASE INCIPIENTE, NOTANDO-SE, AO FUNDO, UMA ILHA FLUTUANTE PARA DESENVOLVIMENTO DAS FUNDAÇÕES DO TRECHO SOBRE O MAR

com numerário inferior a 8 bilhões de dólares norte-americanos.

Ao longo dos quatro anos e meio de construção cerca de 10.000 pessoas trabalharam ativamente na obra, além de 200 engenheiros.

3. A OBRA E SUAS PARTICULARIDADES

Entre os seus extremos mais distantes pode-se considerar que a Ponte Presidente Costa e Silva, popularmente conhecida como Rio-Niterói, tem 14,00 km de extensão, dos quais 8.836,00 m sobre a Baía de Guanabara.

A obra pode ser dividida em seis segmentos: Acesso Rio de Janeiro, formado por 3 rampas, Elevado da Avenida Rio de Janeiro, sobre o cais portuário, Trecho sobre o Mar, incluindo o vão central com superestrutura metálica, Ilha do Mocanguê Grande, onde se situa a base principal da esquadra brasileira, Ilha do Caju, local em que foram fabricadas as estruturas metálicas do vão central, e o Acesso Niterói, composto por 18 rampas, sendo 8 delas em viaduto, formando um belo partido arquitetônico.

Durante a fase edificante, e após a sua inauguração (Figura 3) até completar o cinquentenário em 4 de março de 2024, a ponte destacou-se em vários segmen-

tos, formando um conjunto inesgotável de atividades e galardões especiais, algumas sem precedentes, a saber:

- ▶ Maior obra de engenharia rodoviária do Brasil,
- ▶ Maior ponte do Hemisfério Sul,
- ▶ 23ª maior ponte do mundo,
- ▶ Maior conjunto de elementos protendidos da América do Sul,
- ▶ Maior vão do mundo em viga reta contínua (300,00 m),
- ▶ 1ª obra no Brasil a ter Manual de Inspeção,
- ▶ 1ª obra no Brasil a se preocupar com durabilidade,
- ▶ 1ª obra no Brasil a usar Cimento Portland Resistente a Sulfatos,
- ▶ 1ª obra no Brasil a ter sistema protetor elastomérico contra choques de navios,
- ▶ 1ª obra no Brasil a fazer uso de sustentabilidade,
- ▶ 1ª obra no Brasil a ter inspeção cadastral, rotineira, especial e extraordinária,
- ▶ 1ª obra no Brasil a estudar com afinco a substituição de juntas de dilatação,
- ▶ 1ª obra no Brasil a se preocupar com trocas desnecessárias de aparelhos de apoio em elastômero fretado,
- ▶ 1ª obra no Brasil com inspeções submersas em larga escala, antes da NBR 9452/86,

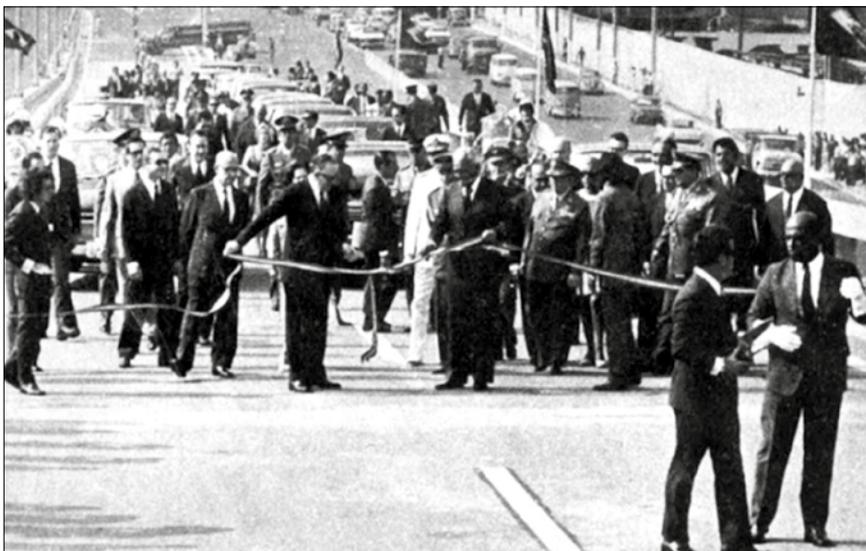


FIGURA 3

INAUGURAÇÃO DA PONTE RIO-NITERÓI EM 4 DE MARÇO DE 1974. CORTE DA FITA SIMBÓLICA PELO PRESIDENTE MÉDICI E O MINISTRO ANDREAZZA

- ▶ Praça de pedágio: 1 (cobrança unidirecional no sentido Niterói),
- ▶ Aduelas em concreto: 3.250 unidades,
- ▶ Longarinas (vigas “barrigudas”): 1.142 unidades,
- ▶ Tubulões em concreto submerso: 1.138 unidades.

4. INSPEÇÕES E MANUTENÇÕES

Inaugurada em 4 de março de 1974, somente após 5 anos a ponte passou a ser inspecionada e mantida, exatamente em 1º de fevereiro de 1979, no que se refere aos aspectos estrutural, funcional e de durabilidade. Esse hiato no tempo proporcionou uma série de discontinuidades observadas ao longo dos primeiros meses de vistoria ocular, notadamente nas juntas de dilatação tipo “pente” ou “dentada”, identificadas por FT 50, 100 e 200, bem como fissuras em alguns segmentos de concreto, porém sem declínio da capacidade portante da obra, visto serem anomalias capilares. As discontinuidades nas juntas, todavia, fomentaram a baixa qualidade de rodagem, com incidência direta no aspecto funcional.

De 1979 até 1995, portanto durante 17 anos, a Ponte Rio-Niterói foi inspecionada

- ▶ 1ª obra no Brasil a ter equipamentos próprios de inspeção e manutenção,
- ▶ 1ª obra no Brasil a ser concessionada nos modelos atuais,
- ▶ 1ª obra no Brasil com cobrança automática de pedágio,
- ▶ 1ª obra no Brasil com referência mundial em manutenção,
- ▶ Uma das duas pontes no mundo com instrumentação há 50 anos em funcionamento.

Dos 560.000 m³ de concreto usados em toda a obra, por onde circulam cerca de 180.000 veículos diariamente, 77.000 m³ foram aplicados submersamente, mediante uma dosagem que dispensava adensamento vibratório. Vê-se, por conseguinte, que já naquela época a construção da ponte fazia uso de concretos autoadensáveis, uma técnica hoje bastante difundida, mas que, à ocasião, de raro conhecimento.

Com respeito a números que a tornam uma obra magnânima, alguns podem ser assim exibidos:

- ▶ Extensão: 14,00 km, entre os seus extremos mais afastados (Figura 4),
- ▶ Vão central: 848,0 m, em estruturas metálicas,
- ▶ Aço importado do Reino Unido: 13.155 t,
- ▶ Aparelhos de apoio elastoméricos fretados: 3.200 unidades,
- ▶ Juntas de dilatação: 4.500,00 m,

- ▶ Protensão: 43.000 cabos (correspondentes a 140.000 km de fios, o que daria para dar 3,5 vezes a volta ao Planeta Terra),
- ▶ Área construída: 370.000,00 m²,
- ▶ Resina epóxi de colagem entre aduelas de concreto: 230,00 t,



FIGURA 4

O ESPLendor DA PONTE RIO-NITERÓI, OBSERVANDO-SE EM PRIMEIRO PLANO O TRECHO SOBRE A ILHA DO MOCANGUÊ GRANDE

e mantida através de contrato entre o DNER e empresas privadas (de 1979 até 1986, a ECEX, empresa diretamente ligada ao Ministério dos Transportes, também participou), tendo em 1980 sido realizada a primeira vistoria submersa dos tubulões, época em que ainda sequer havia norma brasileira de inspeção de pontes e, muito menos, procedimentos para averiguação abaixo da linha d'água. As primeiras orientações nesse sentido vieram da empresa norte-americana HNTB, projetista dos caixões metálicos da superestrutura do vão central, baseadas no primeiro compêndio sobre vistoria de pontes elaborado em 1970 pelo NHI - National Highway Institute - do FHWA - Federal Highway Administration, dos Estados Unidos.

Por mais que a gestão pública brasileira tivesse ciência dos poucos recursos destinados à manutenção da ponte, nunca houve um interesse maior para que o aspecto pecuniário fosse alterado, evitando essa penúria. Os defeitos nas estruturas de concreto e metálicas eram corrigidos em progressão aritmética, e as novas anomalias despontavam em progressão geométrica, deixando um passivo a ser reparado sempre em escala crescente.

Em finais de 1992, o Ministério dos Transportes deu início ao programa de concessões rodoviárias no âmbito federal, e a Ponte Rio-Niterói foi a primeira a ser entregue à iniciativa privada, exatamente por conta dessa distância abissal entre o montante necessário à sua manutenção condigna e o que a ela era destinado.

A partir de 1995, o cenário foi totalmente alterado e a ponte pode, enfim, “respirar sem aparelhos”, fato que não ocorria desde os primeiros anos de sua manutenção.

Não há um segmento sequer na ponte que não seja averiguado segundo um plano de vistoria e manutenção. Além de se seguir na íntegra as recomendações da NBR 9452/19 - Vistoria de pontes e viadutos de concreto, normas e premissas internacionais são também levadas em conta sempre que necessárias, além de um elenco de monitorações em toda a obra, destacando-se as pesquisas especiais nos aparelhos de apoio elastoméricos e metálicos, a durabilidade do concreto submerso, os efeitos da relaxação nos cabos de protensão, a fadiga em pontos estrategicamente escolhidos nos elementos da estrutura de concreto, o desempenho em serviço das



FIGURA 5

TRECHO DO PAVIMENTO DO VÃO CENTRAL NO QUAL A CAPA ASFÁLTICA-EPOXÍDICA SE DESPRENDEU, NOS IDOS ANOS 1980

juntas de dilatação, a corrosão em armaduras embutidas no concreto, o Plano LNEC de observação a longo prazo do comportamento estrutural dos vãos em concreto, a medição de frequências de vibração dos caixões metálicos, a auscultação das fissuras nas aduelas pretendidas, entre outras.

Por todas essas particularidades, realizadas semestral, anual, quinquenalmente, e sempre que a obra exija em casos excepcionais, tipo choque de embarcação contra as suas estruturas, não é por demais explicitar que se trata da obra de arte especial melhor mantida em todo o Brasil, carregando a bandeira de referência mundial em manutenção de grandes estruturas.

5. A PAVIMENTAÇÃO DO VÃO CENTRAL

Desde a época construtiva, a pavimentação em asfalto-epóxi do tabuleiro metálico do vão central sempre constituiu-se em um problema, primeiramente intrínseco, dado ao fato de essa tecnologia não ter sido transferida para os técnicos brasileiros, por impedimento da empresa norte-americana aplicadora do processo e, posteriormente, com a sequer sofrível qualidade de rodagem durante e após períodos chuvosos, quando o escorregamento da capa asfáltica-epóxica provocava o

desprendimento desse material da mesa superior dos caixões metálicos deixando grandes áreas sem capeamento, e outras com o material amontoado, ambas provocando sérios acidentes com o transitar dos veículos (Figura 5).

Com justa razão, os meios de comunicação constantemente potencializavam notícias negativas acerca dessa pavimentação em asfalto-epóxi, sem que se tomassem medidas mitigadoras advindas do então DNER, por meio de suas contratadas.

Em 1987, por iniciativa daquela autarquia, em comum acordo com empresas consultivas, parte dessa pavimentação em asfalto-epóxi foi totalmente removida até expor a chapa metálica superior, ao que se fez um jateamento abrasivo com areia, aplicou-se uma camada de epóxi, jogou-se pedrisco sobre essa película e, por fim, aplicou-se uma camada de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente). A ideia não resultou em bons frutos, e os mesmos problemas tornaram a brotar.

O mesmo processo foi usado em outro trecho da superestrutura metálica, com a aplicação complementar de uma malha de aço de diâmetro 6,3 mm, espaçados em 10,00 cm, com comprimento de 2,75 m. Essa armação foi idêntica, tanto no sentido



FIGURA 6

DUAS CAMADAS DE ARMAÇÃO DO NOVO PAVIMENTO

longitudinal quanto no transversal. Novamente, o processo não apresentou os efeitos que se esperavam.

Em 1989, o DNER resolveu enviar uma equipe de 4 engenheiros (três do próprio órgão e um consultor) aos Estados Unidos, com a finalidade de tentar uma solução para o contorno da grave situação reinante há cinco anos. Esse time visitou a empresa Adhesive Engineering Company, na cidade de Redwood, nos arredores de São Francisco, estado da Califórnia, porém não conseguiu o intento, visto que a mesma “caixa preta” adotada durante a aplicação do processo por ocasião da construção ainda imperava por parte daquela empresa.

Somente com o advento da concessão, em 1994, foi possível se pensar de forma mais enfática na substituição dessa pavimentação asfáltica-epóxica, que, por tanto tempo, teve interferência negativa na qualidade de rodagem, sem falar nos problemas estruturais causados pelas cargas de impacto das rodas atuando diretamente na mesa superior metálica, provocando uma série de trincas nas uniões soldadas e no metal base, algumas comprometedoras.

O advento da concessão possibilitou a realização de uma ampla e profunda pesquisa sobre os vãos metálicos e a pavimentação sobre eles, que culminou em uma das maiores obras realizadas na Ponte Rio-Niterói. Seguramente, foi a maior interferência já verificada na parte operacional da ponte, com desvios de trânsito variando

à medida em que as obras iam tomando novos contornos.

Tudo teve início em 1997, com a fase primordial dos estudos e das análises preliminares para definição dos principais aspectos do projeto de instrumentação e monitoração do vão central.

No ano seguinte, a COPPE, da Univer-

sidade Federal do Rio de Janeiro, construiu em seu laboratório um modelo na escala geométrica 1:1, de um trecho do tabuleiro ortotrópico, para desenvolvimento de um projeto de instrumentação dos vãos metálicos, que foi elaborado pela COPPETEC.

Este protótipo representou, com semelhança geométrica e física, um trecho mais esbelto do tabuleiro ortotrópico metálico, com o objetivo de compreender melhor a distribuição de tensões na estrutura na região de contato dos pneus dos veículos, e testar duas soluções alternativas para o reforço estrutural do tabuleiro, combinadas com a solução para o pavimento. Para tanto, o protótipo instrumentado foi ensaiado sob ação de carregamentos estáticos e dinâmicos aplicados por meio de um sistema de atuadores servo-hidráulicos controlados automaticamente, ancorados na laje de reação do laboratório, e atuando sobre o chassi de um caminhão de dois eixos, constituindo, assim, um sistema de forças autoequilibradas.

As características dinâmicas da ponte, bem como o seu comportamento sob a ação do tráfego de veículos, foram determinadas em ensaios experimentais, os quais evidenciaram que a ocorrência de danos ao tabuleiro ortotrópico e a deterioração



FIGURA 7

LANÇAMENTO DE CONCRETO DE AUTO-DESEMPENHO NA CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO RÍGIDO DO VÃO CENTRAL

precoce do pavimento asfáltico estavam associadas à pequena rigidez transversal do tabuleiro.

Os problemas detectados eram, sem dúvida, a deterioração precoce do pavimento e as fraturas por fadiga no tabuleiro que, até então, eram vistas como independentes. A grande contribuição dos estudos no processo iterativo pneu dos veículos – pavimento flexível – estrutura foi a busca de uma solução integrada para os problemas do pavimento e das fraturas na estrutura metálica.

Com base nos resultados do comportamento estrutural oferecidos pelos ensaios no protótipo, optou-se por substituir o pavimento existente no vão central por um pavimento misto (concreto/aço), mediante ligação com a mesa superior por “studs shear connectors”. Assim, foi acordado que toda a pavimentação asfalto-epóxi original, e as suas alterações posteriores, seriam definitivamente banidas da obra, decisão que, no decorrer dos anos, mostrou-se acertada, corroborando os estudos levados a efeito em laboratório. Importante destacar que a pavimentação sobre a chapa metálica do vão central está assente em uma viga de base elástica, situação não corriqueira.

O concreto do pavimento foi executado sobre duas camadas de aço (Figura 6), e preencheu os requisitos de um concreto de alto desempenho (Figura 7), com a utilização de aditivos superplastificantes, para atender a um f_{ck} de 60 MPa, exigindo-se 30 MPa em 30 horas. A resistência à tração deveria ser 6,5 MPa, mas com 30 horas deveria atingir 3,5 MPa.

Com orientação da ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland – foram estudadas dezenas de dosagens de concreto, variando o tipo de cimento e o agrega-



FIGURA 8

ESTADO ATUAL DO PAVIMENTO DE CONCRETO DA PONTE RIO-NITERÓI

do graúdo, chegando-se a conclusão final que a melhor proporção de materiais residiu nos dados da Tabela 1.

A nova pavimentação em concreto sobre os vãos metálicos é, em verdade, uma laje armada em duas direções, com duas camadas de armação, solidária à mesa superior das vigas por “studs bolts”. Esse pavimento, assim aplicado, alterou as condições estruturais da chapa metálica, à medida que agora se tem uma laje com estrutura mista (Figuras 8 e 9).

Pode-se imaginar o arrojo da logística que foi implantada de forma a não empacar o trânsito na ponte, com os serviços de troca do pavimento dos vãos metálicos. Foi montado um forte e detalhado programa de aviso prévio aos usuários sobre as obras, e contou também com a divulgação em toda a imprensa durante um longo período que antecedeu o início dos trabalhos. Incrível é o fato de que os desvios programados funcionaram a contento e os usuários assimilaram a ideia de que as obras eram estritamente necessárias.

Com a substituição do original e problemático revestimento asfáltico-epóxi sobre a chapa ortotrópica dos caixões metálicos, por uma pavimentação em concreto armado nas duas direções com dupla camada de aço, nunca mais foram observados os corriqueiros defeitos que outrora eram constantemente verificados durante e após fases chuvosas, não obstante ao estado fissuratório que brotou ao longo de

tudo esse novo revestimento. Essas fissuras foram tratadas, não se convertendo em danos à estrutura da pavimentação, tampouco à chapa do estrado ortotrópico, mas o aspecto proporcionado por essas remediações não deixou um visual dos melhores aos que ali transitam, ainda que se espere a uniformidade de coloração com o decorrer do tempo e com o tráfego dos veículos.

6. PROGNÓSTICOS DE VIDA ÚTIL

Pesquisas internacionais capitaneada pelo engenheiro inglês David Lee, apresentada em Congresso sobre Manutenção de Pontes, realizado em 1982 na cidade de Washington, Estados Unidos, concluíram que cerca de 2% do valor atualizado da obra devem ser dispensados às suas vistorias e manutenção anualmente, de tal maneira a preservar com segurança o patrimônio público. Isto, evidentemente, não se trata de um dogma, porém é um balizador que pode nortear, com relativa precisão, os aportes de recursos destinados à conservação estrutural, funcional e de durabilidade de uma obra de arte especial.

À medida que a constância sistemática com os cuidados de uma ponte é verificada, os montantes anuais a ela dedicados são reduzidos, em virtude da extirpação dos problemas, conquanto outros, naturalmente, venham a despontar.

Após a entrega à iniciativa privada por meio de concessão em 1994, a Ponte Rio-Niterói passou a se encaixar no

TABELA 1

TRAÇO DO CONCRETO USADO NO PAVIMENTO DA PONTE RIO-NITERÓI

Cimento: CP V ARI PLUS RS	428 kg/m ³
Silica ativa	34 kg/m ³
Areia grossa	695 kg/m ³
Brita 1	1039 kg/m ³
Plastificante	2140 ml/m ³
Superplastificante	5136 ml/m ³
Fibra de aço	30 kg/m ³
Fibra de polipropileno	0,6 kg/m ³
Água	158 l/m ³

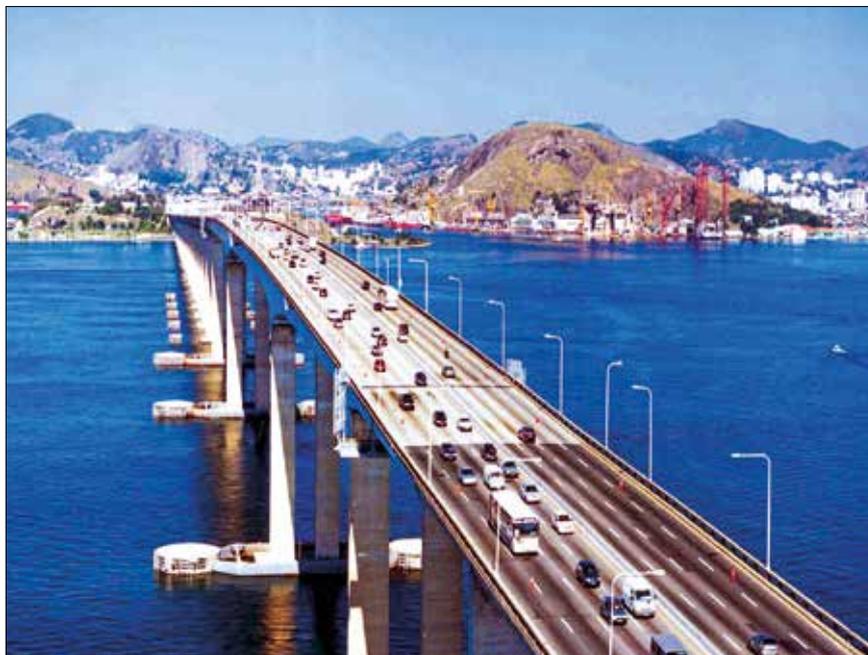


FIGURA 9
PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO DOS VÃOS METÁLICOS, EM COLORAÇÃO MAIS CLARA

ma linha de raciocínio, pode-se exemplificar a Brooklyn Bridge, em Nova York, Estados Unidos, que completou 100 anos em 1983, e a Golden Gate, em São Francisco, também nos Estados Unidos, prestes a completar seu centenário em 13 anos.

De forma simplória, uma vez que avaliações desta natureza envolvem profundos estudos probabilísticos, mas apenas para ilustrar a vida pregressa da Ponte Rio-Niterói antes e após o advento da concessão, é exibido o gráfico da Figura 10, onde pode ser notado o quanto ela declinou ao estar diretamente mantida por empresas privadas contratadas pelo Poder Público, e a metamorfose após ser gerida por meio de concessão.

7. ASPECTOS DERRADEIROS

Em hipótese alguma pode-se pensar na Ponte Rio-Niterói sem estar sob à égide de uma empresa privada que tenha obrigação contratual de mantê-la. As duas versões são de conhecimento do autor, visto que ao completar 50 anos em 4 de março de 2024, nela atuo por 52 anos. A situação crítica de outrora, que a levou a patamares de degradação elevada, contrasta com o cenário a partir de sua concessão, que a rejuvenesceu não apenas no que tange aos aspectos estrutural, funcional e de durabilidade, mas, também, sob à óptica operacional, especialmente no que diz respeito ao atendimento aos usuários, através dos socorros médico e mecânico.

Com o término do prazo contratual da concessão em 2045, pode-se afirmar que nesse período a Ponte Rio-Niterói estará sempre bem cuidada, não restando qualquer dúvida sobre a sua estabilidade, tampouco sobre a sua durabilidade e, também, sobre a qualidade de rodagem.

Ao completar 50 anos de inaugurada em 04 de março de 2024, o autor homenageia a obra que marcou a sua vida profissional. Sempre que a ponte aniversaria, o autor também altera a idade, e continua um ano e meio além dos anos de vida da ponte inaugurada, somente de contato com ela. ☹️

referencial indicado pelo engenheiro David Lee, com a aplicação constante de número de tal maneira que a proporção entre o aparecimento de defeitos e os devidos

reparos, outrora em proporção geométrica e aritmética, respectivamente, passou a ser o inverso.

Diante das assertivas do parágrafo

anterior, e com o continuar da reparação dos defeitos sempre que eles brotam, ou seja, fazendo uso do atual nível de manutenção, é possível imaginar uma vida longa à Ponte Rio-Niterói, reafirmando-se que, com o continuar dessa sistemática, é factível prognosticar vida útil a perder de vista, com idade superior a 100, 150,..... n anos. Nesta mes-

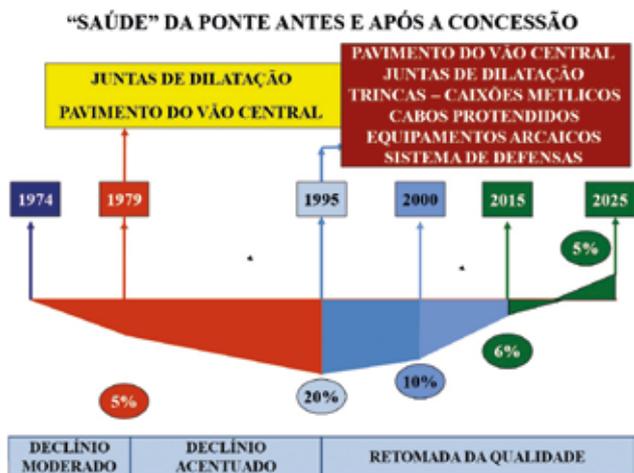


FIGURA 10
ESQUEMA DO HISTÓRICO DO DESEMPENHO DA PONTE RIO-NITERÓI

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ____ Ponte Presidente Costa e Silva. Livro comemorativo dos 10 anos de inauguração da ponte. Março 1984.
[2] Siqueira, Carlos Henrique Paiva - Ponte Rio-Niterói - Projeto, Construção, Inspeção e Manutenção. Tese de Doutorado - Universidade Federal Fluminense - Março 2009.

Esclarecimentos sobre as correções na ABNT NBR 7481

As telas de aço soldada nervurada são armaduras pré-fabricadas constituídas por fios de aço CA-60 nervurado, sobrepostos e soldados entre si, em todos os pontos de cruzamento, por corrente elétrica, formando malhas quadradas ou retangulares.

Essa malha proporciona a maior aderência do aço com o concreto.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT recomenda manter as normas sempre atualizadas. Em razão disso, a norma ABNT NBR 7481:1990 Tela de aço soldada nervurada para armadura de concreto, revisada e publicada em maio de 2022, foi novamente publicada em agosto de 2023 com algumas correções.

Esta norma traz os requisitos necessários para a produção de telas de aço soldadas nervuradas no Brasil.

As principais alterações foram:

- 1 – No título da norma foi introduzido a palavra “NERVURADA”, passando a se chamar “Tela de aço soldada nervurada - Requisitos”. Com a inserção da palavra “NERVURADA” no título da norma, fica estabelecido que essa norma se destina à produção de telas cuja conformação superficial do fio seja “NERVURADO”.
- 2 – Outra mudança significativa adotada nessa versão foi a equiparação das bitolas das telas de aço soldadas nervuradas com o que prescreve a norma “ABNT NBR 7480 - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação”. Na versão anterior havia 4 bitolas de aço na ABNT NBR 7481, que não estavam definidas na norma ABNT NBR 7480, norma dos produtos vergalhão CA 50 e vergalhão CA 60, sendo este último matéria-prima das telas de aço nervuradas. Com a equiparação entre as duas normas essa discordância deixou de existir e, dessa forma, foi atendida uma demanda antiga de alguns projetistas de estruturas de concreto armado.



- 3 – O texto dessa norma agora segue as recomendações ABNT no que se refere a forma do texto bem como a sua formatação.
- 4 – Essa nova versão da norma conta ainda com duas tabelas de telas de aço soldada nervurada: uma para painéis de 2,45 m x 6,00 m - CA 60 (item 4.4.1); e outra para painéis 2,00 m x 3,00 m - CA 60 (item 4.4.2); além das tabelas de tela de aço soldada nervurada para armadura de tubos do tipo macho e fêmea - MF (item 4.4.3) e para tubos de concreto tipo ponta e bolsa - PB (item 4.4.4).
- 5 – As tolerâncias dimensionais agora es-

tão sintetizadas em uma única tabela, tornando sua consulta mais rápida e simples (item 4.6).

- 6 – Para as telas de aço soldadas nervuradas do tipo padrão, foi acrescentado no texto os tipos “R e M” já produzidas no Brasil há muitos anos.

No caso das nervuradas telas de aço soldadas especiais (não padrão), para a designação e identificação (item 4.92) foi definida a forma de como isso deve ser realizado.

As alterações da norma “ABNT NBR 7481 - Tela de aço soldada nervurada - Requisitos” tem como objetivo principal assegurar ao usuário final (consumidor) a especificação de produtos. Esta norma define parâmetros técnicos possibilitando ao consumidor a análise de qualidade do produto adquirido, para que sua utilização seja a mais democrática possível. ●

Galpão logístico

PÚBLIO PENNA FIRME RODRIGUES - ENG. CIVIL, MsC, Dc (publio@lpe.eng.br) ;
WAGNER EDSON GASPARETTO - ENG. CIVIL, MBA (wagner@lpe.eng.br) | LPE ENGENHARIA E CONSULTORIA

RESUMO

A OBRA EM QUESTÃO É UM *BUILT-TO-SUIT* PARA UM CLIENTE DE COMÉRCIO ELETRÔNICO. COM NECESSIDADES LOGÍSTICAS ESPECÍFICAS, COMO O INTENSO USO DE ROBÔS E ALTO ÍNDICE DE AUTOMAÇÃO, EXIGIU, TANTO NO PROJETO COMO NA EXECUÇÃO, A ADOÇÃO DO QUE SE TEM HOJE, EM NÍVEL MUNDIAL, DE TÉCNICAS E MATERIAIS DE EXCELÊNCIA. COM 200.000 M² DE PISOS DO GALPÃO, SENDO QUE 100.000 M² EM FUNDAÇÃO DIRETA E 100.000 M² DE MEZANINOS EM TRÊS NÍVEIS, EXIGIU DIFERENTES MODELOS DE PAGINAÇÃO. PARA OS PISOS EM FUNDAÇÃO DIRETA, FORAM ADOTADAS DUAS DIMENSÕES DE PLACAS: SOB OS MEZANINOS, PLACAS DE 6,08 × 8,08 M, PARA ACOMPANHAR A MODULAÇÃO DOS PILARES E NO RESTANTE, PLACAS DE 11,20 × 11,20 M. NOS CAPEAMENTOS, ADERIDOS, DAS LAJES ALVEOLARES DOS MEZANINOS, AS JUNTAS SEGUIRAM AS DA ESTRUTURA, SEPARADAS DE NO MÁXIMO 35 M. AS SOLUÇÕES ADOTADAS FORAM COROADAS DE ÊXITO, ATESTADAS PELO EXCELENTE DESEMPENHO DO PISO EM SERVIÇO.

PALAVRAS-CHAVE: PISO INDUSTRIAL, CAPEAMENTO ADERIDO, JUNTAS EM PISOS, ADITIVOS E CONTROLADORES DE RETRAÇÃO.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento do comércio virtual nos últimos anos, principalmente e após epidemia do COVID é visível em todo o país, criando no consumidor o hábito de compras pela internet. Na esteira desse crescimento, houve também aumento na procura de galpões logísticos, agora com requisitos mais estritos em termos de qualidade - alto padrão - e adaptabilidade às novas técnicas de manuseio de mercadorias.

Segundo dados recentes, em 2023 foram construídos cerca de 3 milhões de m², de acordo com dados da *Market Analytics* (SiiLA), perfazendo

um total estimado de 26,4 milhões de m² de condomínios logísticos no país. Antes mais presentes na região Sudeste, o Nordeste desponta como novo polo atrativo para essas obras.

Na operação logística, onde a venda de produtos é individualizada e um mesmo cliente pode receber diversos itens em uma mesma remessa, cria-se a necessidade intensa de automação na seleção e embalagem dos produtos, que devem ser entregues em períodos, muitas vezes, inferiores a 24 horas.

A obra que será abordada foi destinada a uma empresa de comércio eletrônico, uma das mais atuantes no mercado nacional e sul-americano e construída - sob medida - por operador de galpões logísticos de atuação mundial, proprietário do empreendimento.

Levando-se em conta a paginação e função estrutural, a obra se compõe por três tipos de pisos, sendo dois em fundação direta e o capeamento das lajes alveolares, perfazendo um total de 200.000 m².

Embora não seja escopo deste artigo, na pavimentação externa, com 30.000 m² de vias de circulação e pátio das docas, o

proprietário, tendo em vista preocupações ambientais, optou pelo uso do pavimento de concreto, que em virtude de sua elevada reflexão, permite redução da iluminação viária, além de outros aspectos positivos deste material, como maior durabilidade, redução das ilhas de calor etc.

2. OS PISOS

Os pisos são em sua maior parte em fundação direta, perfazendo um total de 100.000 m² e como capeamento das lajes, com 100.000 m² repartidos em três níveis.

2.1 Fundação direta

Os pisos foram concebidos para suportarem carga uniformemente distribuída de 6 tf/m², carga de porta-paletes de 5 tf/apoio e empilhadeiras de 5 tf/eixo. Apresentam, como diferença, apenas a paginação, que, em função do espaçamento entre pilares na área sob os mezaninos ser menor, exigiu paginação diferente do restante do galpão.

Sob os mezaninos, a modulação das placas é de 6,80 × 8,08 m. Na área restante, 67.000 m², a paginação é de 11,2 m × 11,2 m, obedecendo a modulação dos pilares da cobertura. A estrutura do piso (Figura 1) é a mesma para toda a área em fundação direta, com placa de concreto de 14 cm de espessura, reforçada com fibra sintética estrutural, sobre base de 10 cm de brita graduada e reforço de subleito de 20 cm, necessário devido a presença de solos expansivos.

Além do reforço com fibra sintética estrutural, em áreas discretas, em função da geometria das placas, houve a necessidade do emprego de reforço estrutural com tela

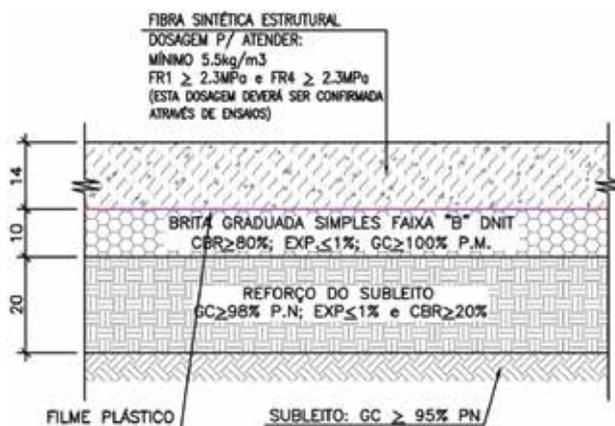


FIGURA 1
SEÇÃO DO PISO EM FUNDAÇÃO DIRETA

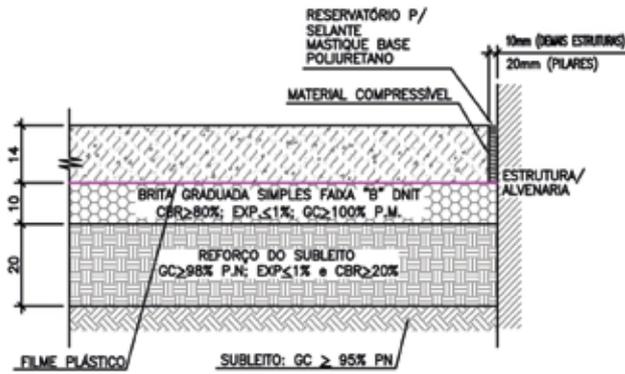


FIGURA 2
JUNTA DE ENCONTRO

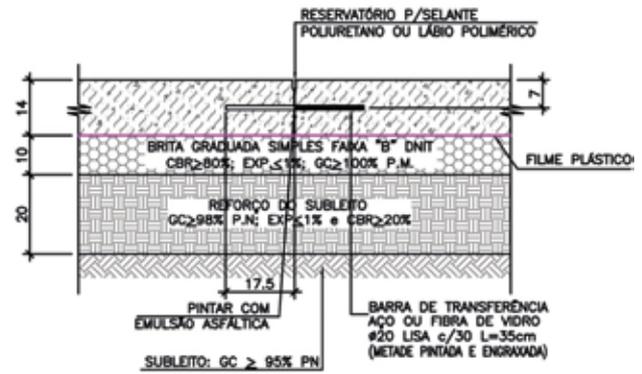


FIGURA 3
JUNTA DE CONSTRUÇÃO

simples ou dupla, dependendo da condição de uso do piso. O concreto empregado apresenta as seguintes características:

- Resistência à compressão: $f_{ck} \geq 30$ MPa;
- Resistência à tração na flexão: $f_{ctm, k} \geq 4,2$ MPa;
- Abatimento entre 100 e 120 mm;
- Teor de argamassa entre 49 e 52 %;
- Consumo de cimento, mínimo de 320 kg/m³ e máximo de 380 kg/m³;
- Consumo máximo de água de 185 L/m³;
- Microfibra de polipropileno: 600 g/m³;
- Retração hidráulica máxima de 450 μ m/m;
- Teor de ar incorporado (concreto fresco) inferior a 3 %;
- Exsudação inferior a 4 %; e
- Relação água/cimento inferior a 0,55.

2.1.1 TIPOS DE JUNTAS - FUNDAÇÃO DIRETA

Ainda paira, por vezes, quando se trata de juntas em pisos ou mesmo em pavimentos de concreto, quanto à necessidade ou não da adoção de juntas de expansão a cada 35 m, similarmente ao exigido para as estruturas.

Entretanto, conceitualmente, pisos em fundação direta não necessitam desse tipo de junta, pois a grande quantidade de juntas serradas e de construção permitem que o concreto retraia livremente durante o processo de hidratação, devido à retração química e posteriormente à retração por secagem, fazendo com que cada uma dessas juntas funcione como pequenas juntas de dilatação, capazes de absorver as variações térmicas do piso.

Embora as juntas de dilatação sejam dispensáveis, é necessário que, no encontro do piso com a estrutura, seja empregada uma junta que possibilite a movimentação diferencial do piso com a estrutura e, nesse caso, é referida como junta de encontro (Figura 2).

A paginação do piso é formada por juntas de construção (Figura 3) e serradas (Figura 4), ambas providas com mecanismo de transferência de carga, barras de transferências de aço liso e seção circular com diâmetro de 20 mm. O encontro dessas juntas com os pilares é feito no sistema denominado catavento, como mostra a Figura 5.

As dimensões variadas das placas, que sob o mezanino são menores, leva à existência de juntas T no encontro das duas paginações; esse tipo de junta pode resultar na formação de fissura induzida, como uma continuidade da junta que acaba. Para mitigar o problema, foi empregada junta de construção usando como mecanismo de transferência barras de seção quadrada, com aplicação de EPS nas laterais, permitindo a movimentação horizontal diferencial entre as placas de dimensões diferentes (Figura 6).

Além dessas juntas convencionais, foi adotado, na área de *picking*, onde o tráfego de empilhadeiras e paletes é concentrado e elevado, junta metálica de formato senoidal (Figura 7). Esse tipo de junta, que é incorporada ao piso na fase da concretagem, oferece alta durabilidade em locais de tráfego de equipamentos de rodas rígidas empregados nas operações logísticas.

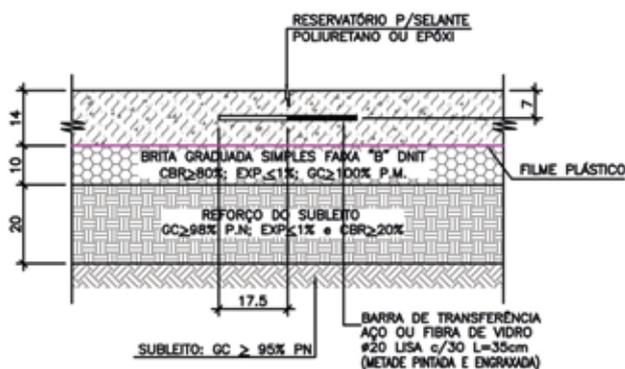


FIGURA 4
JUNTA SERRADA

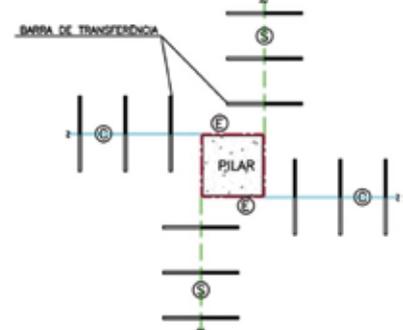


FIGURA 5
JUNTA CATAVENTO

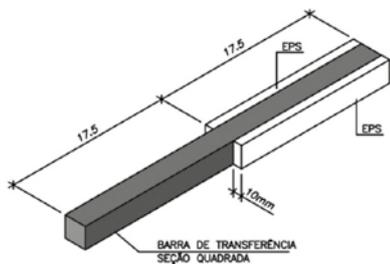


FIGURA 6
BARRA DE TRANSFERÊNCIA QUADRADA

2.2 Capeamento

A laje dos mezaninos tem capacidade de 2,1 tf/m², é constituída por lajes alveolares apoiadas em estrutura pré-moldada e consolidada após montagem, formando estrutura hiperestática. O capeamento aderido das lajes alveolares teve espessura variada, devido à contraflecha da laje protendida, conforme mostra a Figura 8, variando de 5 a 9 cm. O reforço foi feito com fibra sintética estrutural e, para controle da retração hidráulica do concreto, foi empregado aditivo compensador de retração à base de óxido de cálcio sinterizado, controlando de modo bastante eficiente a formação de fissuras de retração, bastante comuns nesse sistema construtivo.

Como a laje é contínua, na região dos apoios foi feito reforço em barras de aço CA50 para combater os momentos negativos presentes, cuja especificação ficou a critério do projetista da estrutura e não citada aqui. No encontro com os pilares, foi previsto armadura de reforço para combater os esforços de canto reentrante.

O concreto empregado apresenta as seguintes características:

- Resistência à compressão: $f_{ck} \geq 40$ MPa;
- Abatimento entre 100 e 120 mm;
- Teor de argamassa entre 49 e 52 %;
- Consumo de cimento, mínimo de 320 kg/m³ e máximo de 380 kg/m³;



FIGURA 7
JUNTA METÁLICA SENOIDAL - PLANTA

- Consumo máximo de água de 185 L/m³;
- Microfibra de polipropileno: 600 g/m³;
- Retração hidráulica máxima de 350 μm/m;
- Teor de ar incorporado (concreto fresco) inferior a 3 %;
- Exsudação inferior a 4 %;
- Relação água/cimento inferior a 0,55; e
- Compensador de retração (óxido de cálcio sinterizado): 15 kg/m³.

2.2.1 JUNTAS DO CAPEAMENTO

Ainda paira muitas dúvidas quando se fala em juntas serradas no capeamento aderido à laje, pois é comum depararmos com projetos em que são previstas a execução de juntas serradas, formando quadros relativamente pequenos, por exemplo, de 4 x 4 m. Mas para que servem essas juntas?

Na realidade, causam mais problemas do que alívio, como provavelmente é a intenção do projetista, nas tensões de retração do concreto. Mas, se o capeamento está aderido a uma base que não irá se retrair, elas são de eficiência duvidosa.

O que ocorre é que a parte superior do capeamento se encontra livre para retrair, mas a sua parte inferior está limitada pela aderência na laje, criando uma retração diferencial, que irá gerar tensões de tração na parte superior do capeamento, que, em resumo, será a diferença entre a retração do concreto e de sua capacidade de se deformar para absorver o encurtamento da parte superior, por deformação elástica e fluência do concreto. Como são pequenos frente à retração, o concreto fissura para compensar a retração excedente.

Apesar da questão de juntas ser inquietante, pode-se facilmente demonstrar que como as deformações são elevadas e não há deslocamento do capeamento que está aderido, as tensões de tração estarão acima das admissíveis. Um concreto que apre-

senta, por exemplo, retração da ordem de 400 μm/m, as parcelas de deformação elástica e fluência giram em torno de 150 μm/m, restando cerca de 250 μm/m a serem dissipados. Considerando concreto com módulo de elasticidade de 25 GPa, a tensão resultante será 6,25 MPa, superior à admissível para concretos usuais para pisos.

Quando se tem uma junta, a tensão nela será nula, aumentando a partir do seu afastamento. É possível determinar a distância do ponto onde a tensão atuante supera a admissível, por programas de elementos finitos ou analiticamente, processo desenvolvido por Carlson (APUD Rodrigues, 2006). Para concreto de resistência à tração da ordem de 4,5 MPa, a relação L/H, onde L é a distância entre juntas e H espessura do capeamento, é aproximadamente 8, fazendo com que a distância entre juntas serradas seja da ordem 80 cm, valor impraticável.

Como agravante das juntas, de acordo com estudos conduzidos por Pigeon e Bissonnet (APUD Rodrigues, 2006), demonstram que embora a tensão na junta seja anulada, parte do esforço é transferido para a interface com a laje, tendendo a destacar o capeamento. Portanto, deve-se minimizar a quantidade de juntas e cuidar dos aspectos tecnológicos do concreto.

Desse modo, o controle de fissuração é conduzido de modo a reduzir a retração do concreto e dotá-lo de reforço suficiente para que as microfissuras formadas sejam praticamente invisíveis a olho nu. No presente caso, adotou-se, para controle da retração, agente controlador de retração à base de óxido de cálcio sinterizado e reforço estrutural com fibra sintética estrutural. Com isso, somente foram feitas juntas



FIGURA 8
SEÇÃO DO CAPEAMENTO ADERIDO (CM), INDICANDO TAXA E CARACTERÍSTICAS DO REFORÇO



FIGURA 9

CONCRETAGEM DO PISO DA FUNDAÇÃO DIRETA, COM A LASER SCREED (DIR.) E A SPREADER (ESQ.)

coincidentes com as da estrutura, espaçadas a cada 35 m.

3. REQUISITOS SUPERFICIAIS DO PISO

A operação logística prevista emprega quantidade apreciável de pequenos robôs que trabalham de modo autônomo, fazendo com que seja necessário prover o piso com níveis de planicidade e nivelamento FF/FL de 45/35, bastante módicos comparando com outros equipamentos, como as empilhadeiras trilaterais. Para garantir a resistência à abrasão, foi empregada aspersão de agregados minerais na taxa de 4 kg/m².

4. EXECUÇÃO

Um ponto importante a ser destacado quanto a execução do piso é a qualidade e treinamento da equipe executora, que pode ser medido por meio do *F-Number*, ou índices de planicidade e nivelamento. A qualidade do concreto, com pega uniforme e equipamentos executivos, como a *laser screed*, são de grande valia, principalmente para o *FL*.

No presente caso, o executor optou por usar a *laser screed* e a *spreader*, ambas guiadas a laser, adequadamente reguladas; esses equipamentos garantiram bons *F-Numbers*, reduzindo retrabalhos na frente de concretagem. O lançamento do concreto foi feito diretamente do caminhão-betoneira. Observe, na Figura 9, a frente de trabalho, com poucos trabalhadores e somente uma operação leve com rodo de corte.

Após o período de dormência quando o concreto pôde suportar o peso dos equipamentos, iniciou-se o trabalho para obtenção dos índices de planicidade, que foi atingido com o uso das acabadoras mecânicas duplas com discos, algumas acopla-

das com rodos de corte curtos e pesados, seguido das operações de alisamento e brilho, com acabadoras duplas com hélices de inclinação variada.

Nos capeamentos das lajes, o concreto foi bombeado e as operações de lançamento e desempenho do concreto e aspersão dos agregados foram executadas manualmente, seguidas pelas mesmas etapas de acabamento do piso em fundação direta. Apesar do não emprego dos equipamentos a laser, os índices de planicidade e nivelamento, como se verá mais adiante, ficaram acima dos limites especificados e perfeitamente coerentes com os pisos em fundação direta.

Após o término da execução, as áreas recém-concretadas foram tratadas com agente de cura química pelo processo de aspersão. As juntas serradas, nos pisos em fundação direta, foram executadas entre 18 e 24 horas após o início da concretagem. A

Figura 10 apresenta visão parcial da obra com o piso finalizado.

Áreas de uso específico, como salas de baterias e paradas de equipamentos, receberam tratamento antiácido para prevenir ataques no concreto no caso de vazamento de produtos agressivos.

4.1 Tratamento das juntas

Nos pisos em fundação direta, as juntas serradas foram tratadas com material de preenchimento semirrígido na profundidade total do corte. Nas juntas de construção, nas áreas de tráfego de equipamentos, foram executadas bordas poliméricas e preenchimento com selante à base de poliuretano, mesmo material utilizado para selar as juntas de encontro do piso com os pilares e paredes.

Nos capeamentos, nas juntas de encontro com os pilares, foi utilizado selante à base de poliuretano, enquanto nas juntas de dilatação, coincidentes com as da estrutura, foi aplicada junta de Neoprene, colada nas bordas tratadas com argamassa epóxida.

5. CONTROLE DA QUALIDADE DO PISO

5.1 Ensaios preliminares

Os ensaios preliminares do concreto foram efetuados para definição, de acordo com a macrofibra polimérica a ser empregada, da quantidade necessária para atender as resistências residuais especificadas,



FIGURA 10

VISÃO PARCIAL DO PISO CONCLUÍDO

TABELA 1

ENSAIO DE RESISTÊNCIA RESIDUAL DE ACORDO COM A ABNT NBR 16940 – EM MPA (ENSAIOS VIAPOL)

	LOP	fR1	fR2	fR3	fR4
Média	6,05	2,348	2,409	2,560	2,527
Mediana	6,358	2,378	2,457	2,571	2,587
Desvio padrão	1,264	0,2531	0,3095	0,2907	0,3222
Mínimo	3,554	1,961	1,850	2,053	1,929
Máximo	6,975	2,676	2,692	2,843	2,834

TABELA 2

ÍNDICES DE PLANICIDADE (FF) E NIVELAMENTO FL DOS PISOS

	Fund. direta	1º mez.	2º mez.	3º mez.
FF/FL médio	68/46	59/41	56/45	65/45
FF/FL min. global	45/35		45/35	
FF/FL min. local	34/26		34/26	

de acordo com a ABNT NBR 16940, de fR1 e fR4 $\geq 2,4$ MPA para os pisos em fundação direta e fR1 e fR4 $\geq 2,5$ MPA para os capeamentos das lajes.

Os ensaios de resistência residual do concreto indicaram que, com a fibra empregada, o teor mínimo de $5,5 \text{ kg/m}^3$ atende às especificações, tanto para a fundação direta como para o capeamento. A Tabela 1 apresenta os resultados da ruptura de seis corpos de prova.

Para a retração do concreto, foram feitas verificações dos traços com e sem aditivo controlador de retração, para verificação do cumprimento dos valores máximos especificados de $450 \text{ } \mu\text{m/m}$ para pisos em fundação direta e $350 \text{ } \mu\text{m/m}$ para os capeamentos.

A Figura 11 apresenta, como exemplo, o ensaio de retração de acordo com a norma ABNT NBR 16834 para o concreto empregado no capeamento das lajes, que recebeu adição de $12,5 \text{ kg/m}^3$ de aditivo controlador de retração à base de óxido de cálcio supercalcinado (CaO_{SINT}), que, ao contrário do CaO comum, é calcinado a temperaturas entre 1550 e $1600 \text{ } ^\circ\text{C}$, permitindo que a velocidade de hidratação seja controlada e a expansão produzida ocorra dentro dos primeiros 7 dias.

5.2 Controle do concreto durante a execução

O controle da qualidade do concreto foi o tipo total, amostrando todos os caminhões betoneira, medindo-se o abatimento do concreto fresco e moldando corpos de prova para verificação da resistência à compressão.

O controle da qualidade usual do con-

creto verificou propriedades do concreto fresco e endurecido, tais como: abatimento, exsudação, teor de ar incorporado e resistência à compressão. Os dados coletados permitem concluir que o concreto fornecido atendeu às demandas de projeto.

5.3 Ensaios de planicidade e nivelamento

A verificação dos índices de planicidade e nivelamento dos pisos foi feita integralmente, empregando *Dipstick* e de acordo com a norma *ASTM E1155 – Standart Test Method for Determining Floor Flatness and Levelness Using the F-Number System*. A Figura 12 ilustra as faixas de medição do piso, na mesma região ilustrada na Figura 9.

Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 2. Observar que embora os mezaninos tenham sido executados com

espalhamento manual, sem o concurso da *laser-screed*, os resultados obtidos para o índice de nivelamento são praticamente iguais ao do piso em fundação direta.

6. CONCLUSÕES

A obra em questão representa o estado da arte dos pisos industriais, que mostrou, nos últimos 30 anos, avanços expressivos nos três pilares que fundamentam os pisos de alto desempenho: projeto, materiais e execução.

No campo dos materiais, o uso de aditivos químicos de última geração, principalmente os plastificantes e superplastificantes, que antes influíam bastante nos tempos de pega do concreto, hoje interferem menos na cinética de hidratação do cimento e ampliaram o tempo de vida do concreto fresco, facilitando as operações de acabamento.

Mas, sem dúvida, o grande progresso foi a introdução de controladores de retração, notadamente os a base de óxido de cálcio, que, por não dependerem das espécies formadas na hidratação do cimento, não necessitam de ajustes em função do tipo de cimento ou de variações deste durante a obra. Por reduzirem a retração do concreto, permitem a execução de placas de grandes dimensões e aberturas de juntas modestas, facilmente tratadas e reduzindo o empenamento. No capeamento aderido, o controle de fissuração supera as expectativas, compensando de modo eficiente a retração diferencial entre a base aderida e a superfície livre.

Finalmente, na execução, com os mesmos tipos de equipamentos que já existem há mais de 25 anos, consegue-se resultados muito superiores de planicidade



FIGURA 11

ENSAIO DE RETRAÇÃO DO CONCRETO – ADIÇÃO DE $12,5 \text{ kg/m}^3$ DE CaO_{SINT} (QUALITEC – CONTROLE TECNOLÓGICO)



FIGURA 12

FAIXAS DE MEDIÇÃO DO *F-NUMBER* NO PISO EM FUNDAÇÃO DIRETA

protocolos executivos e a inovação no uso dos equipamentos, permitiram expressivo progresso na execução.

Prova disso é que, nos últimos 11 anos, pode-se ver empresas brasileiras ganhando expressivos prêmios no concorrido concurso promovido pela FACE - pioneira na produção de equipamentos de medição superficial de pisos - realizado anualmente no *World of Concrete*.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as informações cedidas pela Química Edile, Alphapiso e Construtora Ribeiro Caram que, em conjunto com a LPE Engenharia, se esforçaram para o sucesso desse empreendimento. ☺

e nivelamento. Embora tenha havido progressos técnicos nos equipamentos, notadamente os controlados a laser, o treinamento e capacitação da mão de obra, os

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Oliveira Fº, Jatir de: Guia de Execução de Pisos Industriais de Concreto. São Paulo, SP. LPE: <https://lpe.eng.br/guia-de-execucao-de-pisos-industriais-de-concreto-2014/>, 2014.
- [2] Rodrigues, Públio P. F.: Pisos Industriais com Concreto de Retração Compensada. São Paulo, SP Ed J.J. Carol, 2019.
- [3] Rodrigues, Públio P. F.; e Gasparetto, Wagner E.: Juntas em Pisos Industriais, São Paulo, LPE: <https://lpe.eng.br/juntas-em-pisos-industriais-1999/>.
- [4] Rodrigues, Públio P F: Controle da Fissuração do Overlay de Pontes e Viadutos. 37ª Reunião Anual de Pavimentação, Goiânia, 2006.

CBPAT
2024

6ª Edição
**Congresso Brasileiro
de Patologia das
Construções**

ALCONPAT
BRASIL

17 a 20
de Julho de 2024
Em Fortaleza, Ceará na Unichristus.

Acesse e inscreva-se: www.cbpat.org.br

Patrocínio Diamante



Patrocínio Ouro



Patrocínio Prata



Fomento



Apoio



Acesse o nosso site e veja os outros apoios

Aplicação e controle tecnológico de pavimentos de concreto

RUBENS CURTI - TECNOLÓGISTA | ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND

RESUMO

O CONTROLE TECNOLÓGICO DA OBRA É IMPORTANTE PARA A GARANTIA DOS REQUISITOS DE DESEMPENHO DO CONCRETO, TANTO NO ESTADO FRESCO QUANTO NO ENDURECIDO. É O CONTROLE TECNOLÓGICO QUE FORNECE SUBSÍDIOS PARA A AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA OBRA E PODE INDICAR CAUSAS DE PATOLOGIAS QUE EVENTUALMENTE POSSAM OCORRER.

O CONTROLE TECNOLÓGICO É INICIADO COM A AQUISIÇÃO DOS MATERIAIS, ESCOLHENDO FORNECEDORES IDÔNEOS E CAPACITADO PARA ATENDER ÀS EXIGÊNCIAS DAS OBRAS. OS MATERIAIS DEVERÃO SER ENSAIADOS EM LABORATÓRIO E PREFERENCIALMENTE ATENDER AO QUE ESPECIFICA AS NORMAS TÉCNICAS. COM A DEFINIÇÃO DOS FORNECEDORES DAS MATÉRIAS PRIMAS, AS DOSAGENS DE CONCRETOS SERÃO ENSAIADAS EM LABORATÓRIO E COMPROVADA A SUA EFICIÊNCIA EM CAMPO.

ESTE ARTIGO VAI MOSTRAR O PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO E CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS RODOVIÁRIOS E URBANOS BASEADO EM NORMAS DA ABNT E DNIT (DNER). SERÃO FIXADAS AS CONDIÇÕES GERAIS E OS MÉTODOS CONSTRUTIVOS E TECNOLÓGICOS PARA A EXECUÇÃO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO COM CIMENTO PORTLAND, TANTO DO CONCRETO COMPACTADO A ROLO - CCR COMO DO CONCRE-

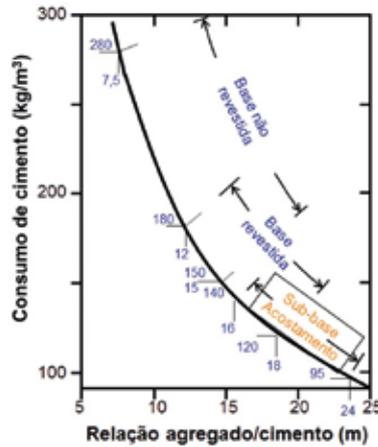


FIGURA 1
RELAÇÃO ENTRE PORÇÃO SECA E CONSUMO DE CIMENTO

TO SIMPLES - CS, POR PROCESSOS MECÂNICOS EM ESTRADAS, AERÓDROMOS, VIAS URBANAS, PÁTIOS DE ESTACIONAMENTO, ETC.

OS ENSAIOS DOS MATERIAIS PARA A ELABORAÇÃO DAS DOSAGENS DEVEM SER REALIZADOS E AMOSTRAS REPRESENTATIVAS EXTRAÍDAS DE MATERIAIS DESTINADOS AO ESTUDO DOS TRAÇOS DE CONCRETO.

NESTA FASE DEVEM SER REALIZADOS OS ENSAIOS CONSTANTES NAS NORMAS DA ABNT:

- ▶ CIMENTO PORTLAND - ABNT NBR 16697:2018;

- ▶ AGREGADOS (MIÚDOS E GRAÚDOS) - ABNT NBR 7211:2022;
- ▶ ÁGUA - ABNT NBR 15900:2009;
- ▶ ADITIVO - ABNT NBR 11768:2019.

PALAVRAS-CHAVE: PAVIMENTO DE CONCRETO; PROCEDIMENTO DE EXECUÇÃO; CONTROLE TECNOLÓGICO.

1. CCR - CONCRETO COMPACTADO A ROLO - SUB-BASE DE PAVIMENTO RÍGIDO

Concreto de consistência seca e trabalhabilidade que permita seu espalhamento com vibroacabadora de asfalto, distribuidora de agregados ou motoniveladora, e adensamento feito por rolos compressores. Não armado e que pode desempenhar simultaneamente as funções de base e de revestimento. A sua composição deve ser determinada por método racional, de modo a obter-se, com os materiais disponíveis, uma mistura fresca, de trabalhabilidade adequada, para ser compactada com rolo liso vibratório, resultando um produto endurecido com grau de compactação e resistência à compressão, conforme exigidos pelo projeto, proporcionando um suporte uniforme e constante quando utilizado como sub-base de pavimentos rígidos.

As vantagens da utilização do CCR são:

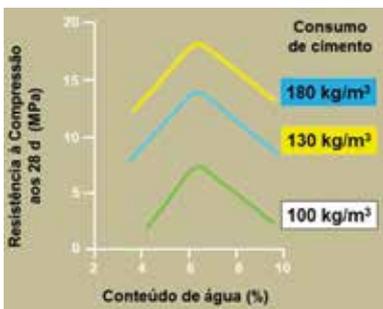


FIGURA 2
RELAÇÃO ENTRE QUANTIDADE DE ÁGUA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA TRÊS FAIXAS DE CONSUMO DE CIMENTO

Abertura das peneiras (mm)	% que passa
38	100
25	92 - 82
19	84 - 74
12,5	74 - 64
9,5	68 - 58
6,3	60 - 50
4,8	55 - 45
2,4	45 - 35
1,2	37 - 27
0,6	30 - 20
0,3	25 - 15
0,15	21 - 11
0,075	18 - 8

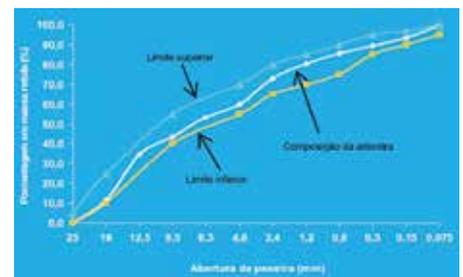


FIGURA 3
FAIXA DE REFERÊNCIA DNIT O59

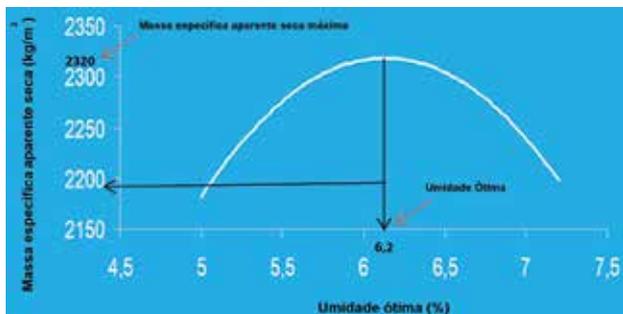


FIGURA 4
RELAÇÃO ENTRE UMIDADE RELATIVA E MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA

- ▶ Não erodível;
- ▶ Deve se enquadrar na faixa de referência;
- ▶ Como sub-base, aumenta a eficiência das juntas do pavimento de concreto;
- ▶ Reduz as deformações verticais nos pavimentos asfálticos e pavimentos intertravados;
- ▶ Menor custo inicial, em função do menor consumo de cimento.

Como base de sustentação do pavimento rígido, as características do CCR devem ser:

- ▶ As proporções em massa (cimento : agregados secos) entre 1:24 a 1:12 (Fig. 1);
- ▶ O consumo de cimento Portland para a sub-base entre 85 e 130 kg/m³, a ser definido durante os estudos de dosagem (Fig. 2);
- ▶ A resistência mecânica (f_{ck} projetado) deve ser atingida aos 7 dias, normalmente;
- ▶ Composição granulométrica dos

agregados deve atender a faixa de referência da norma do DNIT (Fig. 3).

Outras faixas granulométricas poderão ser utilizadas, desde que tenham experiência prévia amplamente comprovada e consolidada.

Quantidade de água de amassamento deve ser determinada através

da massa específica aparente seca máxima e a umidade que deve variar entre 4,0% e 7,5% e é determinada através do ensaio de compactação (Fig. 4).

O consumo de cimento bem como a resistência do CCR depende da umidade ótima, do grau de compactação e da idade do concreto (DNIT - 40:2004).

O controle tecnológico do CCR - Concreto Compactado a Rolo - deve ser iniciado com a verificação dos materiais que compõe o traço de concreto e deverão ser executados, no mínimo, os seguintes ensaios, com as suas respectivas frequências:

Cimento Portland

Poderá ser de qualquer tipo desde que satisfaça as normas do DNIT e ABNT.

Agregados

- ▶ **Granulometria:** a cada 2500 m² de sub-base, no mínimo uma determinação por dia (DNER ME 083:1998 ou NBR 17054:2022;

Concreto

- ▶ **Teor de umidade:** deve-se determinar o teor de umidade toda vez que forem moldados corpos de prova para a determinação da resistência à compressão (DNIT-ME 092:1994). O controle



FIGURA 5
PROCEDIMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE



FIGURA 6
PROCEDIMENTOS DE MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA



FIGURA 7

VERIFICAÇÃO DO GRAU DE COMPACTAÇÃO E DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA, ATRAVÉS DO ENSAIO DO ENSAIO DE MACHA DE AREIA DO FRASCO DE AREIA

de umidade no campo devera ser feito pela determinação do teor de umidade do CCR (Fig. 5).

- ▶ **Moldagem de corpos de prova:** a cada 2500 m² deverão ser moldados aleatoriamente e de amassadas diferentes no mínimo 6 exemplares de corpos de prova, (cada exemplar deve ser constituído de no mínimo 2 corpos de prova cilíndricos de 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura - DNIT - 056:2013). A moldagem deve ser feita em 5 camadas compactadas com energia normal, recebendo cada uma delas 30 golpes do soquete de 4,5 kg, com altura de queda de 45 cm (Fig. 6).

A resistência característica estimada do concreto ($f_{ck,est}$) de cada trecho inspecionado será dada por $f_{ck,est} = f_{cj} - ks$, sendo:

$f_{ck,est}$ = valor estimado da resistência característica do concreto;

f_{cj} = resistência média a compressão axial na idade de controle (j = dias);

k = coeficiente de distribuição de Student, variável em função da quantidade de exemplares do lote;

s = desvio padrão dos resultados.

- ▶ **Grau de compactação:** a cada 2500 m² deverão ser feitos no mínimo 6 pontos da sub-base igualmente espaçados e ao longo do eixo, utilizando os valores obtidos para a massa específica aparente seca nesses pontos (DNER-ME 092:1994). Os valores obtidos nos ensaios deverão ser comparados com a massa específica teórica do traço de concreto aplicado no trecho. O valor característico estimado do

grau de compactação do pavimento, no trecho inspecionado, será dado por $GC_{est} = GC - ks$, sendo:

GC_{est} = valor estimado do grau de compactação característico;

GC = grau de compactação médio;

s = desvio padrão dos resultados;

k = é determinado em função do número de determinações no trecho inspecionado.

O trecho será automaticamente aceito quando o $GC_{est} \geq 98\%$ (Fig. 7).

- ▶ **Controle geométrico (DNIT 59 - ES:2004):** após a execução de cada trecho de pavimento definido para inspeção, procede-se a relocação e ao nivelamento do eixo e dos bordos, de 20 m em 20 m ao longo do eixo, para verificar se a sua largura e a espessura estão de acordo com o projeto. Para verificação da espessura, esta relocação e nivelamento deverão ser feitos nos mesmos pontos, tanto no topo da sub-base, antes da execução, bem como no topo do

pavimento já executado. O trecho do pavimento será aceito quando:

- variação na largura da placa for inferior a +/- 10% em relação ao projeto;
- espessura média do pavimento for igual ou maior que a espessura de projeto e a diferença entre o maior e o menor valor obtido seja no máximo de 1 cm.

- ▶ **Cura do Concreto Compactado a Rolo - CCR:** a superfície do concreto rolado deverá ser protegida imediatamente após o término da compactação contra a evaporação de água. Para a cura do concreto normalmente é utilizada uma emulsão asfáltica catiônica do tipo RR 2C. Durante o período de cura deverá ser interdito o tráfego ou a presença de qualquer equipamento até que o pavimento tenha resistência compatível para a solicitação de carga. Taxa de aplicação normal é de 0,8 l/m² a 1,5 l/m² (Fig. 8).



Tratamento inadequado



Tratamento correto

FIGURA 8

COMPARAÇÃO ENTRE O TRATAMENTO ADEQUADO E O INADEQUADO DE PAVIMENTOS

2. CONTROLE TECNOLÓGICO DO PAVIMENTO RÍGIDO COM FÔRMA DESLIZANTE

Define-se pavimento rígido de concreto simples como sendo o pavimento cuja camada é constituída por placas de concreto de cimento Portland, não armadas, que desempenham simultaneamente as funções de base e de revestimento. As placas de concreto devem ser assentadas sobre uma sub-base executada com material e espessura definidos no projeto (CCR) e não devem apresentar expansibilidade, assegurando às placas um suporte uniforme ao longo do tempo.

É um concreto com consumo de cimento relativamente alto, baixa relação água/cimento e elevada resistência à tração na flexão, à compressão e à abrasão, podendo ter armadura estrutural distribuídas em regiões irregulares.

O controle tecnológico, assim como no CCR, deve obedecer mesmos procedimentos. Deverão ser definidos os fornecedores das matérias primas (que tenham qualidade e capacidade para o fornecimento), os materiais influenciam na qualidade do concreto tanto no estado fresco como no estado endurecido.

Os agregados bem como o cimento, água e aditivos deverão ser amostrados para cada lote de concreto produzido ou sempre que gerar alguma dúvida na inspeção visual.

Não devemos nos esquecer de que o cimento, os agregados bem como a água, deverão atender as especificações do DNIT ou da ABNT.

2.1 Cimento

Os tipos de cimento Portland considerados adequados à pavimentação do concreto simples devem atender os requisitos da NBR 16.697:2018.

Quando maior for o consumo de cimento, o traço de concreto vai apresentar uma maior plasticidade, uma melhor coesão e uma menor exsudação. Porém haverá uma liberação maior do calor de hidratação e uma variação volumétrica maior, o que pode acarretar fissuras.

2.2 Agregados

Os agregados graúdos e miú-

dos devem atender as exigências da NBR 7211:2022

2.2.1 AGREGADO MIÚDO

Quanto maior for o volume de agregado miúdo, maior será o consumo de água, o que vai provocar uma diminuição da relação água/cimento. Nesse caso será necessário aumentar o consumo de cimento para manter a relação água/cimento.

2.2.2 AGREGADO GRAÚDO

Os agregados arredondados e lisos (seixo rolado) melhoram a plasticidade do concreto. Os agregados mais utilizados são os cúbicos e rugosos. A dimensão máxima característica do agregado graúdo não deve exceder 1/3 da espessura da placa e 38 mm, obedecendo o menor valor.

2.3 Aditivos

Os aditivos devem atender o que estabelece a NBR 11768:2019.

2.4 Água

A água destinada ao amassamento do concreto deve atender as exigências da NBR 15900:2009. Nos casos dúbios, para verificar se a água é prejudicial ao concreto, devem ser feitos ensaios comparativos de tempo de pega e de resistência à compressão, realizados, respectivamente, em argamassas com a água em questão e uma água desmineralizada.

2.5 Aço

O aço que deverá ser utilizado nas barras de transferências ou de ligação deve obedecer a NBR 7480:2022. As barras de transferência devem ser obrigatoriamente lisas e retas, de aço tipo CA-25. Nas barras de ligação usa-se o aço CA-50.

3. DOSAGEM DE CONCRETO

O controle tecnológico deve ser iniciado na usina que irá produzir o concreto, com a verificação da qualidade dos agregados que deverão ser ensaiados conforme as normas pertinentes.

O estudo da dosagem de concreto pode ser feito por qualquer método, des-

TABELA 1

TIPOS DE EQUIPAMENTOS DE FÔRMAS DESLIZANTES E SEU ABATIMENTO

Equipamento	Abatimento
CMI	30 +/- 10 mm
Wirtgen	20 +/- 10 mm
GP 2600	40 +/- 10 mm
Comander III	40 +/- 10 mm
C 450	60 +/- 10 mm



de que atendam às especificações de projeto e às características do equipamento a ser utilizado na execução da pista. Os requisitos básicos para o cálculo de uma dosagem de concreto devem ser:

- ▶ Trabalhabilidade (em função do equipamento a ser utilizado na execução da obra);
- ▶ Resistência físico-mecânica (tração na flexão);
- ▶ Ensaios de durabilidade (permeabilidade/porosidade), visando a sua vida útil;
- ▶ Condição de Exposição;
- ▶ Custo.

O consumo mínimo de cimento:
 $C_{min} = 350 \text{ kg/m}^3$.

Os valores obtidos nos ensaios no concreto do pavimento devem estar em conformidade com aqueles obtidos no laboratório, quando da definição da dosagem.

Em todo caminhão deve ser determinado o abatimento pelo tronco de cone (NBR 16889:2020), de preferência retirar a amostra de concreto, no caso de caminhão basculante, antes da descarga e devem atender o que foi estabelecido no estudo de dosagem e as características do equipamento que for utilizado na execução do pavimento.

A Tabela 1 relaciona alguns equipamentos de fôrma deslizante com os seus respectivos abatimentos.



FIGURA 9

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE AR INCORPORADO

FIGURA 10

MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA PRISMÁTICOS

O teor de ar incorporado determinado conforme a NBR 16887:2020 e deve ser inferior ou igual a 4,0%, e também deter-

minado em todos os caminhões (Fig. 9).

Os valores obtidos nos ensaios devem estar em conformidade com aqueles

obtidos no laboratório, quando da definição da dosagem.

A resistência característica à tração na flexão ($f_{ct,Mk}$) definida em projeto deve ser determinada conforme os procedimentos constantes nas normas NBR 5738:2015 e NBR 12142:2010.

A moldagem dos corpos de prova prismáticos e/ou cilíndricos deve ser moldada conforme Tabela 2 e Figuras 10 e 11.

Os lotes a serem analisados devem ter até 500m³ e não superar uma área concretada de 2500m² de concreto. É muito importante fazer o mapeamento do concreto lançado para que, em uma emergência, se possa identificar a placa concretada, com eventual problema (resistência inferior a de projeto), para a execução de ensaios complementares.

Os lotes devem ser compostos por no máximo 32 exemplares de corpos de prova prismáticos, sendo cada exemplar composto por, no mínimo, 2 corpos de prova, tomando-se como valor do exemplar o maior entre eles. Admite-se a moldagem de corpos de prova cilíndricos, para a determinação da resistência à compressão, desde que aprovados pela fiscalização e quando for feita a correlação de resistência à tração na flexão (corpos de prova prismáticos), determinada conforme NBR 12142:2010 (Fig. 12), com a resistência à compressão (corpos de prova cilíndricos), determinada conforme NBR 5739:2018, especificamente da dosagem de concreto que está sendo utilizada (Fig. 14).

A resistência à compressão deve ser determinada conforme estabelece a NBR 5739:2018 (Fig. 13).

TABELA 2

ESPECIFICAÇÕES PARA MOLDAGEM DE CORPOS DE PROVA

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (mm)	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	—	—
Prismático	10	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	—	—



FIGURA 11

CURA DOS CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS E PRISMÁTICOS

Essa correlação é válida especificamente para a dosagem de concreto que originou os resultados de tração e compressão.

4. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA

A determinação da resistência característica estimada do concreto do lote inspecionado à tração na flexão deve ser determinada a partir da expressão:

$$[1] \quad f_{ctMk,est} = f_{ctM28} - ks$$

$f_{ctMk,est}$ = Valor estimado da resistência característica do concreto à tração na flexão;
 f_{ctM28} = Resistência média do concreto a tração na flexão, na idade de 28 dias;
 s = Desvio padrão dos resultados;
 k = Coeficiente de distribuição de Student, que é em função de "n";
 n = Número de exemplares.

O lote examinado será aceite quando $f_{ctMk,est} \geq f_{ctMk}$ que é o valor especificado em projeto.

Quando não for atendida a condição prescrita devem ser extraídos, no lote em questão, em pontos espaçados, corpos de prova prismáticos ou cilíndricos, desde que tenha sido feita a correlação das resistências, e de acordo com a aprovação da fiscalização. Os corpos de prova devem ser extraídos das placas que apresentarem as menores resistências no resultado do controle.

5. TEXTURIZAÇÃO

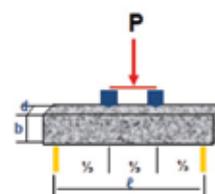
A texturização que avalia a resistência a derrapagens consiste em promover ranhuras à superfície do pavimento, aumentando o atrito entre ele e os pneumáticos. Serve também como uma espécie de microdrenagem que evite a formação de lamina de água capazes de produzirem hidroplanagem.

A texturização deverá ser executada imediatamente após a fase de acabamento final do concreto.

A texturização pode ser feita por processos mecânicos ou manuais.

5.1 Processo mecânico

É executado com pente de fios duros. Trabalha com o mesmo princípio eletrônico da vibro-acabadora (sensores de para nivelamento) executando ranhura no sentido transversal à pista (Fig. 15).



P = carga máxima aplicada, N
 l = distância entre apoios, mm
 d = largura média na seção de ruptura, mm
 b = altura média na seção de ruptura, mm

$$f_{ctm,j} = \frac{P \times l}{b \times d^2}$$

FIGURA 12

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO



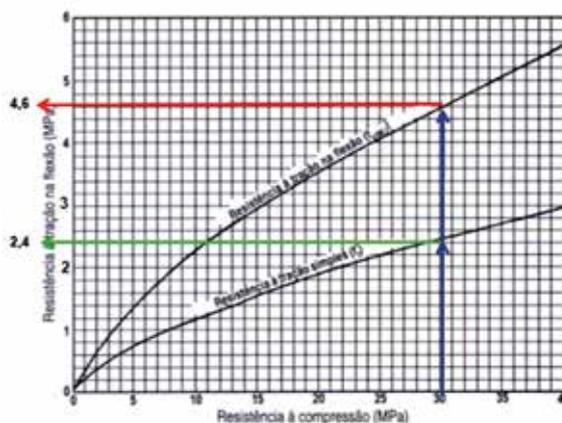
$$f_{ci} = \frac{4P}{\pi \times D^2}$$

f_{ci} = Resistência à compressão em MPa
 P = Carga máxima aplicada em N
 D = Diâmetro do corpo de prova

FIGURA 13

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

CORRELAÇÃO RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO x TRAÇÃO



$$f_{ctm,j} = 0,56 \times (f_{ci})^{0,6}$$

Utilizável apenas após obtenção de correlação confiável entre $f_{ctm,j}$ e $f_{ck,j}$ e aprovação da fiscalização

FIGURA 14

CORRELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO



FIGURA 15

PROCESSO MECÂNICO DE TEXTURIZAÇÃO TRANSVERSAL DO PAVIMENTO



FIGURA 16

PROCESSO MANUAL DE TEXTURIZAÇÃO DO PAVIMENTO

Admite-se também a texturização longitudinal.

5.2 Processo manual

Normalmente é executado com utilização de vassouras com auxílio de uma passarela de serviço. É recomendado que o serviço, sempre que possível, seja executado pelo mesmo operador (Fig. 16).

Admite-se também a texturização longitudinal (Fig. 17).

6. ENSAIO DE MANCHA DE AREIA

Para a avaliação da texturização deve ser utilizado o ensaio de mancha de areia, de acordo com o método da ASTM E 965:1996, e deve ser executado a cada 100 metros. O valor da altura da mancha de areia HS deve ser: $0,6 \text{ mm} \leq \text{HD} \leq 1,2 \text{ mm}$.

O ensaio é realizado com areia pasante na peneira $\varnothing = 0,25 \text{ mm}$ e retido na

peneira $\varnothing = 0,18 \text{ mm}$, conforme estabelece a norma da ASTM.

O ensaio deve ser realizado após o endurecimento do concreto (Fig. 18)

7. CURA DO CONCRETO

A cura é denominação dada aos procedimentos a que se recorre para promover a hidratação do cimento e consiste em controlar a temperatura, a saída e a entrada de umidade no concreto. Mais especificamente, o objetivo é manter o concreto saturado, até que os espaços da pasta de cimento fresca, inicialmente preenchido com água, tenham sido preenchidos pelos produtos de hidratação

do cimento até a condição desejável. A cura visa minimizar as seguintes deformações no concreto:

- ▶ Retração plástica, que se manifestam através de fissuras;
- ▶ Assentamento plástico;
- ▶ Retração hidráulica ou por secagem;
- ▶ Retração autógena;
- ▶ Retração térmica.

A cura deve ser iniciada após a finalização do acabamento superficial, após



FIGURA 17

A APARÊNCIA DA TEXTURIZAÇÃO APÓS A SUA EXECUÇÃO



FIGURA 18

EXECUÇÃO DO ENSAIO DE MANCHA DE AREIA



Cura com filme plástico



Cura com papel reforçado



Cura com agente químico



Cura com manta umedecida



Cura por aspersão de água

FIGURA 19

DIFERENTES TIPOS DE CURA DO PAVIMENTO DE CONCRETO

desaparecer o brilho e não tão tarde para o agente de cura, no caso de cura química, não ser absorvido pelo concreto.

A cura (deve) e pode ser feita de várias maneiras (Fig. 19).

Com material selante, que pode ser:

- ▶ Filme plástico;
- ▶ Papel reforçado;
- ▶ Cura química (que é a mais utilizada).

A cura impede a evaporação de água, mantém a temperatura do concreto razoavelmente próximo da tempera-

tura ambiente e permite que as reações químicas da água com o cimento ocorram normalmente. O agente de cura é um líquido que é aplicado, mecânica ou manualmente, como cobertura da superfície do concreto recém-acabado, com o objetivo de retardar a perda de água, no caso do agente de cura pigmentado, refletir o calor propiciando que o concreto desenvolva suas propriedades

em condições favoráveis de umidade e temperatura.

Os agentes de cura devem ser pigmentados (cor branca), formador de membranas (Fig. 20) e podem ser a base de água ou solventes, normalmente o mais recomendado é de base água.

A aplicação do agente de cura pode ser mecânica o manual e devem atender a taxa de aplicação que é de 0,35 a 0,50 l/m²,



FIGURA 20

FORMAÇÃO DE MEMBRANA



FIGURA 21

APLICAÇÃO MANUAL COM AUXÍLIO DE EQUIPAMENTO COSTAL

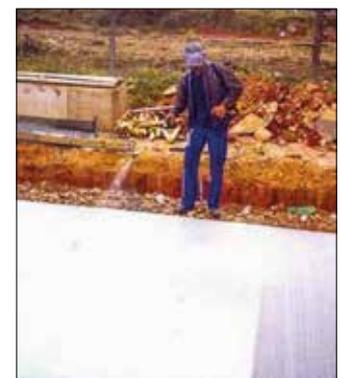




FIGURA 22

APLICAÇÃO MECÂNICA DE CURA



FIGURA 23

APLICAÇÃO E CURA



FIGURA 24

ENSAIOS PARA VERIFICAÇÃO DE UMA POSSÍVEL REAÇÃO DELETÉRIA



FIGURA 25

CORTE DA JUNTA LONGITUDINAL

FIGURA 26

CORTE DA JUNTA TRANSVERSAL

especificada pela ASTM C 309:2019. A taxa correta deverá ser especificada pelo fabricante e aprovada pela fiscalização através de ensaios que comprovem a sua eficiência.

A aplicação, que pode ser manual ou mecânica, deve ocorrer logo após a finalização do acabamento, texturização e após desaparecer o brilho superficial, não tão tarde, para que o agente de cura não ser absorvido pelo concreto (Figs. 21 e 22).

Quando da aplicação mecânica do agente de cura alguns procedimentos deverão ser observados como:

- ▶ Velocidade do equipamento, que vai ser utilizado na aplicação;
- ▶ Pressão do reservatório onde foi armazenado o agente de cura;
- ▶ Tipo do bico aspersor;
- ▶ Espaçamento entre os bicos;
- ▶ Altura e orientação dos bicos em relação ao pavimento.

7.1 Problemas que podem ocorrer durante a aplicação

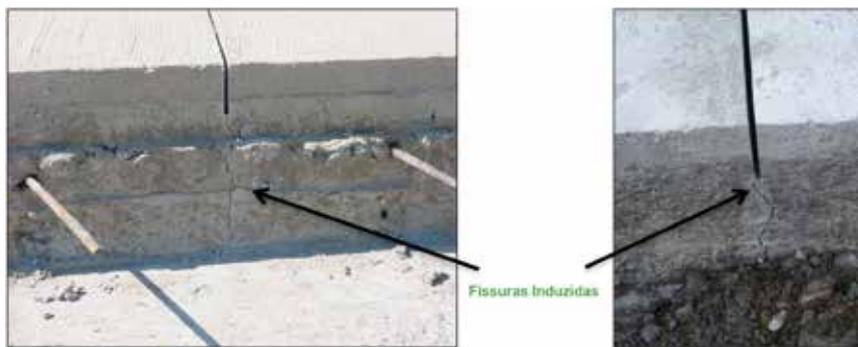
- ▶ A taxa de evaporação pode exceder a ascensão de água da exsudação, nesse caso a superfície irá apresentar um aspecto seco, mesmo que a exsudação ainda não tenha cessado.
 - A evaporação efetivamente é cessada, mas a exsudação ainda continua ocorrendo, caso o agente de cura seja aplicado nessas condições.
- ▶ É formada uma camada de água na superfície do concreto com posterior escamação da superfície:
 - A evaporação é temporariamente cessada, mas a exsudação ainda continua ocorrendo.

Isso causará a fissuração mapeada da membrana de cura, com conseqüente diminuição de sua capacidade de retenção de água.

O agente de cura deve atender a normalização específica e ser ensaiado a cada lote adquirido. Os métodos de ensaios especificados pelas normas da ASTM C 309:2019 - Especificação e ASTM C 156:2020 - Método de ensaio.

A ASTM C 156:2020 estabelece que o ensaio seja feito baseando-se nos seguintes requisitos:

- ▶ Perda de massa $\leq 0,55\text{kg/m}^2$ num período de 72 horas que os copos de prova (placas) são mantidos em uma estufa ventilada com temperatura de $37,8 \pm 1,1 \text{ }^\circ\text{C}$ e uma umidade de $32 \pm 2 \%$. São moldadas 4 placas sendo 3 com a aplicação do agente de cura e uma sem a aplicação (Fig. 23).
- ▶ Outro ensaio que é verificado no laboratório, é uma possível reação deletéria ao concreto (Fig.24).



7.2 Manutenção da integridade da membrana de cura

Danos causados na membrana de cura durante as operações de construção devem ser reparados, caso ocorram no período de até 7 dias. Se nesse período houver alguma danificação devido a chuvas, a região deve ser reabilitada.

8. JUNTAS LONGITUDINAIS E TRANSVERSAIS

8.1 Juntas longitudinais

Devem ser serradas, obrigatoriamente, no concreto semi-endurecido num prazo máximo de 24 h, após o término do acabamento superficial (Fig. 25).

8.2 Juntas transversais

É o processo obrigatório para a abertura das juntas, o qual deve ser iniciado com o concreto semi-endurecido com a idade do concreto entre 6 e 12 h, que deve ser verificado experimentalmente, após o término do acabamento superficial, é uma operação que normalmente ocorre no período noturno. As juntas são construídas para induzir fissuras de retração de origem química que ocorrem no concreto (Fig. 26).

As juntas transversais são o resultado de processo obrigatório para a abertura das juntas, o qual deve ser iniciado com o concreto semi-endurecido, com a idade do concreto entre 6 e 12 h, que deve ser verificado experimentalmente, após o término do acabamento superficial, é uma operação que normalmente ocorre no período noturno.

Os cortes das juntas devem ter a profundidade de $1/3$ da espessura

FIGURA 27
FISSURAS INDUZIDAS



FIGURA 28
LIMPEZA E ALARGAMENTO DE JUNTAS



FIGURA 29
COLOCAÇÃO DE JUNTAS PRÉ-FABRICADAS



FIGURA 30

EXECUÇÃO DAS JUNTAS MOLDADAS “*IN LOCO*”



FIGURA 31

PERFILÓGRAFO CALIFÓRNIA



FIGURA 32

RODA SENSOR E COMPUTADOR QUE CAPTURA OS DADOS

da placa com uma abertura de 3 mm, as juntas são construídas para induzir fissuras de retração de origem química que ocorrem no concreto (Fig. 27).

Antes da selagem, as juntas deverão

ser limpas e alargadas (Fig. 28).

Após a limpeza, os corte das juntas deverão ser alargados para 6 mm com uma profundidade de 25mm, para serem colocados os corpos de apoios (isopor), para posterior selagem (Figs. 29 e 30).

A selagem pode ser feita com juntas pré-fabricadas ou moldadas “*in loco*”.

9. CONFORTO DE ROLAMENTO

O conforto de rolamento é determinado pelo Perfilógrafo Califórnia, que serve para medir a irregularidade longitudinal de pavimentos de concreto em fase de construção, sendo também um equipamento empregado pela maioria dos Departamentos Estaduais de Transporte (DOT) americano e também no Brasil pelo DNIT (Fig. 31).

O Perfilógrafo é dotado de uma roda sensora, que fica localizada no meio da estrutura, livre para movimentar-se verticalmente. Os movimentos da roda sensora são captados por um transdutor e um odômetro, que são enviados a um computador, acoplado a estrutura do Perfilógrafo, que grava os desvios do plano de referência,



FIGURA 33

FORÇA MOTRIZ MANUAL



FIGURA 34

FORÇA MOTRIZ MOTORIZADA

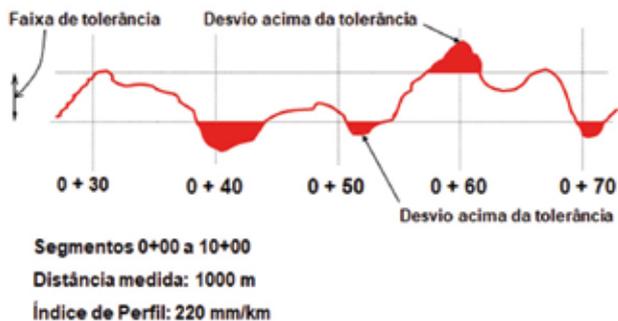


FIGURA 35

ESQUEMA SIMPLIFICADO DOS DADOS DE SAÍDA

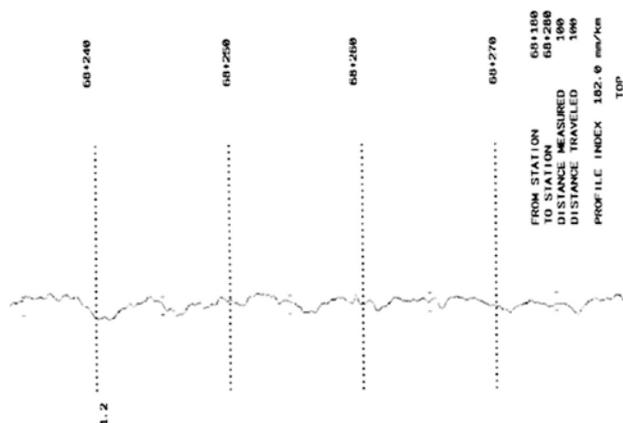


FIGURA 36

GRÁFICO DE UM TRECHO

traçando o perfil do pavimento (Fig. 32).

A força motriz pode ser manual ou por unidade propulsora acoplada ao conjunto (Figs. 33 e 34). As irregularidades longitudinais da superfície têm influência direta na segurança, no conforto de rolamento, no custo operacional de veículos e vida útil de serviço do pavimento.

A medição da irregularidade é feita sobre cada faixa de tráfego, com movimentação longitudinal, nas trilhas de roda externa e interna. A velocidade não deve ser superior a 5 km/h.

Permite identificar com precisão áreas que necessitam de reparos. Os perfis são processados gerando uma medida de irregularidade longitudinal: o Índice de Perfil (IP).

O Índice de Perfil (IP), expresso em mm/km, que é determinado utilizando-se o perfilógrafo do tipo “Califórnia”, é

a soma dos valores absolutos dos desvios (picos e depressões) que excedam os limites de uma faixa neutra, que é de 5 mm, no Brasil.

Os lotes avaliados são compostos por trechos de 1000 m de extensão, divididos em segmentos de 100 m (Fig. 35).

Os desvios que ultrapassam as faixas de tolerância deverão ser corrigidos, conforme contratado. Nos segmentos onde foram feitas as correções, o pavimento deve ser reavaliado, para verificar se essas correções produziram um IP médio de 240 mm/km, no Brasil (Fig. 36).

Nos EUA o IP internacional para rodovias de Alto tráfego recebem o seguinte tratamento da Tabela 3.

10. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo apresentar a metodologia para execução e controle tecnológico do concreto na aplicação de pavimentos rígidos como alternativa para os pavimentos flexíveis, principalmente em rodovias de tráfego pesado.

A pavimentação de concreto gera economia no longo prazo, em virtude de sua durabilidade e segurança, além de um menor impacto ambiental. Estudos feitos apontam que a primeira manutenção nesse tipo de pavimentação é realizada após 20 anos de sua construção. Os pavimentos de concreto têm a capacidade de suportar tráfego intenso, pesado e repetitivo. Sob este aspecto o pavimento de concreto desponta como a alternativa mais adequada para melhorar a qualidade das estradas, de forma a garantir a segurança dos usuários, a produtividade e competitividade do setor logístico e da própria economia do país. Além disso, o pavimento de concreto promove a economia de 1% a 6% no consumo de combustível, quando comparado com a via em pavimento flexível, no entanto, no Brasil, apenas 4% das estradas adotam essa alternativa. Estudos recentes compararam as vantagens e características da construção e manutenção de pavimentos rígidos (concreto) e flexíveis (asfalto), com o objetivo de entender qual é a melhor opção para o Brasil. ☺

TABELA 3

TABELA COM VALORES REFERÊNCIA DO ÍNDICE DE PERFIL

VALORES mm/km	% DE PAGAMENTO	
	AASHTO	ACPA
<47	105	110
47 - 63	104	108
63 - 79	103	106
79 - 95	102	104
95 - 110	101	102
110 - 158	100	100
158 - 174	98	98
174 - 190	96	96
190 - 205	94	94
205 - 221	92	92
221 - 237	90	90
>237	Correção	Correção

No Brasil →

Tabela que normalmente faz parte dos contratos de obras nos Estados Unidos e alguns países da Europa.

Índice aceito como normal a empresa simplesmente cumpriu o contrato (EUA).

Pavimento urbano de concreto permeável moldado *in loco*: **prática recomendada para dosagem, projeto hidráulico, estrutural, execução e manutenção**

ANDRÉIA POSSER CARGNIN - COORD. - <https://orcid.org/0000-0003-1568-2756> | COMITÊ TÉCNICO IBRACON CT306 — PAVIMENTOS DE CONCRETO

RESUMO

O processo de urbanização, uso e ocupação do solo, por vezes realizado sem um planejamento es-

tratégico resulta em impactos urbanos que, além da impermeabilização do solo e geração de escoamento superficial, também resulta em problemas associa-

dos ao fenômeno de ilhas de calor urbano (*Urban Heat Island* – UHI), poluição atmosférica e poluição de mananciais devido à qualidade da água escoada.



Foto 1 – Execução de pavimento permeável com lançamento do concreto de consistência seca

O fenômeno das ilhas de calor urbano é decorrente das diferenças de temperatura existente em áreas densamente arborizadas e com largas superfícies não impermeabilizadas em relação a áreas densamente urbanizadas. Nesse último caso, a elevação de temperatura ocorre por conta do baixo albedo (fração da energia solar recebida que é refletida para a superfície) das superfícies impermeáveis, como aquelas de áreas pavimentadas com misturas asfálticas de coloração escura e impermeáveis. Uma vez que a energia recebida é refletida de volta para atmosfera em uma parcela muito pequena, há um aquecimento dessa superfície, aumentando substancialmente a sensação térmica.

Além disso, os veículos movidos a combustíveis fósseis emitem gases poluentes de seus escapamentos, tais como monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio (NOx). Do ponto de vista compensatório, o concreto de cimento Portland pode receber a adição de dióxido de titânio (TiO₂) na sua manufatura de modo que se tornem captadores desses NOx. Tal adição já tem sido utilizada em fachadas autolimpantes e em pavimentos de concreto convencionais. Em contato com a radiação UV, ocorre a ativação do TiO₂, que através de uma reação de fotocatalise, absorve os NOx da atmosfera, depositando-se sobre a superfície, sendo posteriormente carregados para o sistema de drenagem.

Do ponto de vista do manejo de águas pluviais, o método tradicional de drenagem, seguindo uma política higienista do início do século XX, privilegia obras civis que favoreçam a captação e o rápido afastamento da água da fonte geradora, evitando, dessa forma, a proliferação de doenças. Contudo, a partir da década de 1990 migrou-se para uma filosofia de ações integradas para manejo sustentável de águas pluviais, reconhecendo-se a importância do solo e da vegetação no controle qualitativo e quantitativo de águas pluviais.

A partir disso, surgiram técnicas como as *Best Management Practices* (BMPs) caracterizadas por ações integradas para reduzir impactos dos volumes de água gerados e melhorar a qualidade da água escoada e técnicas

de Desenvolvimento de Baixo Impacto (*Low Impact Development* – LID), Sistemas de drenagem sustentáveis (*Sustainable Drainage Systems* – SUDS), que visam o controle do escoamento superficial junto à fonte geradora, diminuindo os volumes escoados para valores próximos daqueles anteriores ao processo de urbanização, compensando os efeitos da impermeabilização das superfícies.

Nesse sentido, os pavimentos de concreto permeáveis, devido à sua capacidade hidráulica proporcionada por uma rede de poros interconectados, permitem que a água infiltre na sua estrutura atuando como um sistema compensatório e contribuindo para a mitigação de tais problemas por meio de: (i) alívio do pico de jusante na ocorrência de chuvas intensas; (ii) melhoria da qualidade da água escoada pela elevação do pH; (iii) atenuação da temperatura em ambientes densamente urbanizados pela elevação do albedo (superfície clara) e aumento da evapotranspiração quando a estrutura está saturada; (iv) mitigação da poluição atmosférica pela captação de partículas poluentes, entre outros [1], [2], [3], [4].

A estrutura permeável é composta por um revestimento em concreto

permeável, que apresenta consistência seca (abatimento quase zero), com graduação aberta e elevada porosidade (índice de vazios entre 15% e 35%), o que permite que a água infiltre através dos vazios internos. O caráter permeável da mistura é garantido pela ausência ou pequena quantidade de agregado miúdo, empregando-se na manufatura do material apenas agregados graúdos, cimento, água e aditivos. A base, também permeável, é composta por material granular com graduação aberta, de modo a servir como reservatório para a água infiltrada na estrutura, estando sobre um subleito (solo natural) que eventualmente poderá ser também permeável. É importante ter em mente que os pavimentos permeáveis, apesar de poderem contribuir para a redução dos dispositivos tradicionais de drenagem tradicionais, não assumem tal papel [2]. O projetista deve considerar que em caso de falha da estrutura (entupimento dos poros), os dispositivos de drenagem tradicional deverão realizar o processo drenagem do escoamento superficial gerado.

Isso posto, a Prática Recomendada “Pavimento Urbano de Concreto Permeável Moldado *in Loco*”, elaborada pelo Comitê Técnico CT-306: Pavimen-

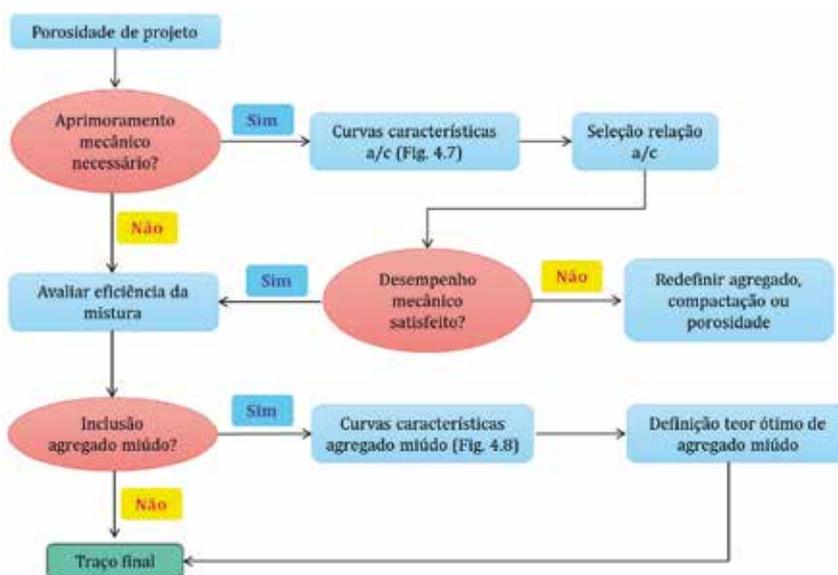


FIGURA 1
FLUXOGRAMA PARA OTIMIZAÇÃO DE MISTURA DE CONCRETO PERMEÁVEL
FONTE: ADAPTADO DE MIKAMI (2022) [8]

tos de Concreto e que será lançada em breve pelo IBRACON, fornecerá informações e orientações técnicas sobre terminologia, aplicações, materiais, requisitos, procedimentos de dosagem, dimensionamento hidráulico, diretrizes de projeto estrutural, construtivas e de inspeção e manutenção deste tipo de pavimento. Tal documento técnico poderá auxiliar engenheiros projetistas, arquitetos e urbanistas no desenvolvimento de projetos sustentáveis que contemplem a utilização de pavimentos de concreto permeáveis, bem como estimular o desenvolvimento de políticas públicas para aplicação da tecnologia. Dessa forma, os tópicos a seguir resumem de maneira muito breve os assuntos que os profissionais interessados encontrarão nesse documento técnico.

1. CAPÍTULOS 1 E 2: INTRODUÇÃO E ESCOPO; NOTAÇÕES, TERMOS E DEFINIÇÕES

No capítulo 1 são apresentados os conceitos que norteiam o pavimento de concreto permeável, um breve histórico a respeito do emprego da tecnologia e as possibilidades de aplicação. No capítulo 2 são apresentadas notações, termos e definições relevantes para o entendimento dos procedimentos de cálculo apresentados nos capítulos que se seguem.

2. CAPÍTULO 3: MATERIAIS

Neste capítulo são apresentados os materiais passíveis de emprego para a produção do concreto permeável. São apresentados os requisitos de desempenho para agregados, limites granulométricos sugeridos e um levantamento bibliográfico com as principais conclusões de estudos desenvolvidos com emprego de agregados reciclados. Também são apresentados requisitos em relação aos ligantes hidráulicos, aditivos que podem ser utilizados, fibras sintéticas e adições minerais, como sílica ativa, pozolana, nanossílica.

3. CAPÍTULO 4: DOSAGEM DO CONCRETO PERMEÁVEL

A dosagem de concretos permeáveis ainda não possui um método universal e consagrado. Embora o *American Con-*

crete Institute (ACI) possua um método de proporcionamento de materiais baseado no volume de pasta, ainda assim trata-se de um método de tentativa e erro. Além disso, o tecnólogo deve ter em mente que conceitos clássicos aplicados a concretos plásticos convencionais, como, por exemplo, os modelos de Abrams e Lyse para resistência e consistência, não são diretamente aplicáveis aos concretos permeáveis. Destarte, neste capítulo são apresentados alguns métodos de dosagem desenvolvidos em pesquisas acadêmicas que podem ser utilizados como um norte para o proporcionamento da mistura de concreto permeável, sendo eles: ACI 522R-10 [4], Método IBRACON [5], Nguyen *et al.* (2014) [6], Pieralise *et al.* (2020) [7] e Mikami (2022) [8]. É válido

destacar que tais métodos não devem ser empregados de forma direta e indiscriminada; a boa prática de engenharia recomenda que o proporcionamento obtido seja testado em laboratório e que as características mecânicas e hidráulicas sejam avaliadas, buscando-se um balanço entre os parâmetros hidráulicos, mecânicos e de estabilidade da mistura (avaliação do risco de precipitação de pasta de cimento para o fundo do revestimento). A Figura 1 ilustra uma sugestão de fluxograma para a dosagem de concreto permeável.

4. CAPÍTULO 5: PROPRIEDADES

As propriedades de interesse em concretos permeáveis, como módulo de elasticidade, resistência mecânica, densidade e permeabilidade estão re-

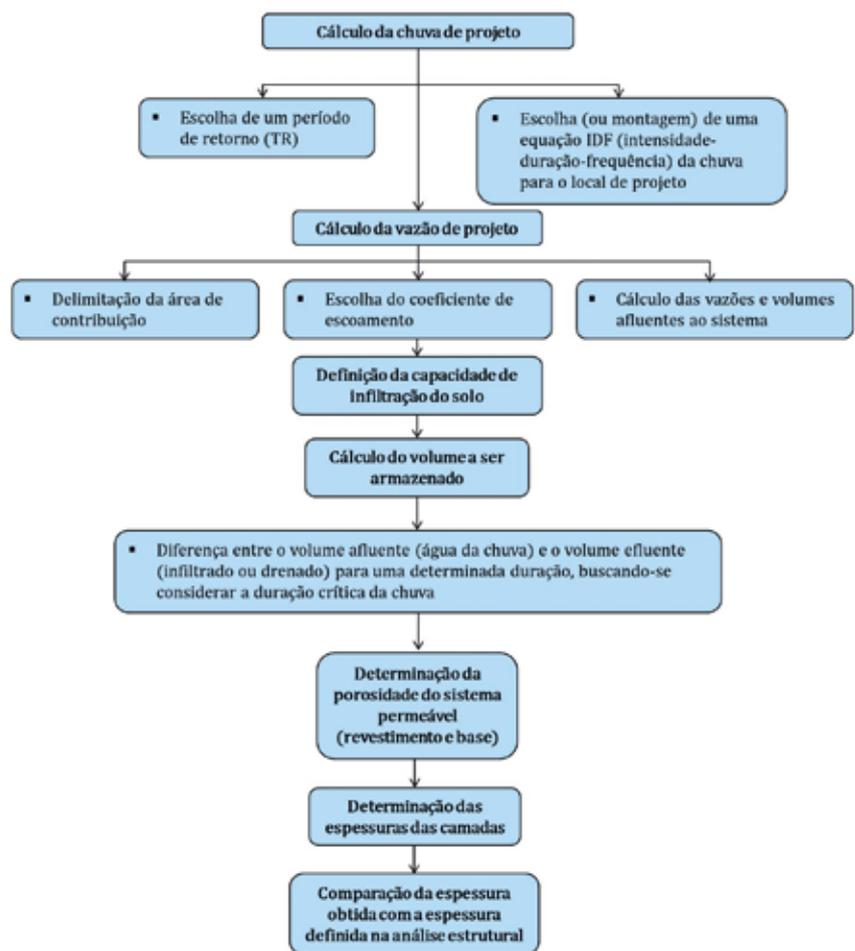


FIGURA 2

FLUXOGRAMA COM AS ETAPAS NECESSÁRIAS PARA O DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO-HIDROLÓGICO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL

TABELA 1

RECOMENDAÇÕES PARA MANUTENÇÃO EM PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Atividade de manutenção	Periodicidade
Manutenção de áreas gramadas lindeiras	Quando necessário
Semeadura de áreas adjacentes desmatadas	Quando necessário
Desvio de fluxo de águas não pluviais	Quando necessário
Limpeza superficial com vassoura ou sopro	Rotineira
Limpeza superficial com aspiração potente	Semestralmente ou trimestralmente em função do volume de folhagens e detritos que chegam às áreas
Jateamento de água sob pressão	Quando a taxa de infiltração for reduzida para 25% da inicial

FONTE: ADAPTADO DE BALBO (2020) [2]

lacionadas à sua porosidade, que, por sua vez, é influenciada pela distribuição granulométrica, consumo de cimento, relação a/c. Sendo assim, no capítulo 5 da Prática Recomendada são discutidas as principais características mecânicas e hidráulicas relacionadas ao concreto permeável, bem como os procedimentos de ensaios recomendados para sua determinação, a saber: resistência à compressão uniaxial, resistência à tração indireta (compressão diametral) e flexão, módulo de elasticidade em laboratório e campo, ensaios de permeabilidade em laboratório e taxa de infiltração *in situ*. O capítulo é encerrado discutindo-se brevemente as questões de durabilidade do concreto permeável que está diretamente relacionada à garantia de sua funcionalidade e desempenho ao longo de sua vida de serviço, considerando-se as condições ambientais às quais a estrutura estará sujeita e que a impactam, tanto nos aspectos físicos (variações de temperatura e colmatação dos poros) e quanto químicos (exposição à ambientes agressivos como

contato com águas ácidas e sulfatadas).

5. CAPÍTULO 6: DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Embora os pavimentos de concretos permeáveis enquanto tecnologia construtiva seja empregada há



Foto 2 — Consistência do pavimento permeável colorido

mais de 30 anos, ainda há lacuna em relação a métodos de projeto e dimensionamento específicos para esse material. Assim, algumas recomendações de projeto como as da *Portland Cement Association* (PCA) [1] e da *Federal Highway Administration* (FHWA) [3] admitem o emprego de métodos de dimensionamento utilizados para pavimentos de concreto convencionais, desde que as devidas considerações e ajustes em relação aos parâmetros mecânicos sejam adequadamente adotadas, tais como: características do subleito e da base (dimensionados para condição seca ou saturada), cargas de tráfego, resistência à fadiga, módulos de elasticidade. Sendo assim, este capítulo abarca comentários e considerações relevantes para a análise estrutural e dimensionamento adequados de pavimentos de concreto permeáveis empregados em vias de tráfego leve (calçadas de pedestres, ciclovias, áreas de estacionamentos).

6. CAPÍTULO 7: DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

Este capítulo abarca discussões a respeito do dimensionamento hidráulico da estrutura, fornecendo elementos para a estimativa da espessura necessária à camada de base de modo que a estrutura possa armazenar um volume de água suficiente para o atendimento dos critérios desejados. São apresentados conceitos de hidrologia e drenagem sustentável, discussões sobre o caráter hidráulico de cada uma das camadas que compõem a estrutura permeável (revestimento, base e subleito) e as etapas do dimensionamento (Figura 2). Por fim, é apresentado um estudo de caso exemplificando o método proposto.

7. CAPÍTULO 8: EXECUÇÃO DOS PCP

As técnicas executivas de pavimentos de concreto permeáveis diferem bastante daquelas empregadas na execução de pavimentos de concretos convencionais no que tange o acabamento da superfície e/ou lançamento do material, como, por exemplo, a impossibilidade de bombeamento do concreto, dada sua consistência seca. Assim, neste capítulo, são abordados tópicos, tais como: preparação de subleitos, bases granulares (ensaios recomendados para seleção de materiais, espalhamento e nivelamento), mantas de geotêxtil e polietileno de alta densidade (em quais situações utilizar), preparo e mistura do concreto permeável, execução de sistemas com e sem caixa coletora. Por fim, o capítulo trata da execução do revestimento em concreto permeável no que tange seu lançamento, adensamento e acabamento, destacando os cuidados necessários nessas etapas, execução de juntas de retração e procedimentos de cura.

8. CAPÍTULO 9: AVALIAÇÃO E MANUTENÇÃO DOS PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

O último capítulo da prática traz uma discussão inicial sobre a colmatção dos concretos permeáveis e bases granulares, suas causas e consequências. Também são apresentados condicionantes decisórios que balizam as atividades de manutenção ou a decisão pelo emprego ou não da solução em concreto permeável. Por fim, são apresentados os aspectos relacionados à gestão de pavimentos permeáveis por meio de avaliação periódica e objetiva, requisitos sobre a periodicidade de avaliação e quais técnicas de manutenção de rotina, preventiva e corretiva podem ser empregadas. A Tabela 1 ilustra algumas recomendações mínimas para a programação de manutenção em pavimentos permeáveis.

9. COMENTÁRIOS FINAIS

Em face dos tópicos apresentados e discutidos e que abarcam a Prática Recomendada sobre pavimento urbano de concreto permeável moldado *in loco*, é indiscutível que a tecnologia é um po-



Foto 3 — Ensaio de permeabilidade no local

deroso aliado no manejo de águas pluviais, podendo contribuir para minimizar o impacto ambiental do processo de urbanização e desenvolvimento de espaços urbanos mais sustentáveis.

Contudo, é de suma importância que gestores que optem pelo emprego da tecnologia, seja em espaços públicos, seja em áreas privadas, estejam cientes da imposição de testes periódicos para monitoramento da queda da taxa de infiltração (progresso da colmatção) e desenvolvimento de um planejamento de manutenção eficiente.

Nesse sentido, é imprescindível a estruturação de equipes certificadas e devidamente treinadas de funcionários, tecnólogos e engenheiros que possam realizar ensaios de infiltração comprometidos à agenda de gestão da estrutura, bem como interpretar adequadamente tais testes de modo que as tomadas de decisão sejam objetivas e eficientes.

Por fim, vale ressaltar que um pavi-

mento sustentável, além de empregar materiais sustentáveis como ligantes ecoeficientes, agregados reciclados e resíduos industriais, deve ser uma estrutura que atenda aos requisitos enquanto obra de engenharia e às necessidades humanas no presente, utilizando de forma razoável os recursos naturais, sem comprometimento das gerações futuras. Portanto, se um pavimento permeável é projetado para uma vida útil de 10-15 anos e em 5 anos essa estrutura perdeu completamente sua capacidade hidráulica por falta de manutenção, ela deixa de ser sustentável. Nesse caso, a única alternativa é a remoção da estrutura e reconstrução, pois esse pavimento deixou de ser funcional, uma vez que quando a colmatção atinge níveis críticos, as técnicas de manutenção corriqueiras com emprego de vassouras, sucção e lavagem sob pressão são incapazes de restabelecer a capacidade hidráulica da estrutura. ☹

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. D. Tennis, M. L. Leming, and D. J. Akers, "Pervious Concrete Pavements," Skokie, Illinois, 2004. [Online]. Available: www.nrmca.org.
- [2] J. T. Balbo, Pavimentos de concreto permeáveis: uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.
- [3] FHWA, "Previous Concrete," FHWA-HIF-13-006. U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration, pp. 1-8, 2012. [Online]. Available: www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete
- [4] American Concrete Institute, "ACI 522R-10 Report on pervious concrete," American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2010.
- [5] B. F. Tutikian and P. Helene, "Dosagem dos Concretos de Cimento Portland," in Concreto: ciência e tecnologia, 2ª Edição., vol. II, G. C. Isaia, Ed., São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2011, pp. 415-451.
- [6] D. H. Nguyen, N. Sebaibi, M. Boutouil, L. Leleyter, and F. Baraud, "A modified method for the design of pervious concrete mix," Constr Build Mater, vol. 73, pp. 271-282, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.09.088.
- [7] R. Pieralisi, G. F. B. Sandoval, L. S. Castillo, M. N. C. Barbosa, and S. T. Assunção, "Contribuição para o desenvolvimento de uma metodologia de dosagem para concreto permeável baseada no desempenho," Journal of Urban Technology and Sustainability, vol. 03, no. 01, pp. 18-27, 2020.
- [8] R. J. Mikami, "Dosagem e otimização de misturas de concreto permeável por controle de porosidade pelo método do grau de compactação," Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2022.

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



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

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

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

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

Análise da metodologia construtiva de baixo custo para pavimentos de concreto permeável **com incorporação do resíduo de polimento de pisos de concreto**

BACUS DE OLIVEIRA NAHIME - Dr. - <https://orcid.org/0000-0002-7292-7919> ;

IGOR SOARES DOS SANTOS - MESTRANDO - <https://orcid.org/0000-0001-7619-273X> ;

CÉSAR PEREIRA BEZERRA FILHO - GRAD. - <https://orcid.org/0000-0001-7619-273X> | INSTITUTO FEDERAL GOIANO

LORENA ARAUJO SILVA - DOUTORANDA - <https://orcid.org/0000-0002-8159-7472> ;

ALBERTO BARELLA NETTO - Dr. - <https://orcid.org/0000-0003-0615-1865> | UNIVERSIDADE DE RIO VERDE

JORGE LUIS AKASAKI - Dr. - <https://orcid.org/0000-0003-1986-1196> | UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

RESUMO

O CONCRETO PERMEÁVEL APRESENTA VANTAGENS AMBIENTAIS E ECONÔMICAS. NO ENTANTO, SUA APLICAÇÃO É POUCO DIFUNDA NA CONSTRUÇÃO CIVIL, PRINCIPALMENTE DEVIDO À FALTA DE PROCEDIMENTOS DE EXECUÇÃO ESTABELECIDOS E À PERCEPÇÃO DE CUSTO MAIS ELEVADO EM COMPARAÇÃO AO CONCRETO CONVENCIONAL. NESTE ESTUDO, O OBJETIVO PRINCIPAL FOI ANALISAR E APLICAR UMA METODOLOGIA CONSTRUTIVA DE BAIXO CUSTO PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETO PERMEÁVEL, FEITO *IN LOCO*, UTILIZANDO RESÍDUOS PROVENIENTES DO POLIMENTO DE PISOS DE CONCRETO (LAPIDAÇÃO). FORAM AVALIADAS, NO TRABALHO, TRÊS DOSAGENS: UMA REFERÊNCIA E OUTRAS DUAS COM A ADIÇÃO DO RESÍDUO DO POLIMENTO DE PISOS DE CONCRETO (RPPC) EM 2 E 4% DA MASSA DO CIMENTO, RESPECTIVAMENTE. DURANTE A REALIZAÇÃO DO TRABALHO, FOI CONSTRUÍDA UMA PISTA DE TESTE CONTENDO UM TRECHO PARA CADA TRAÇO DO CONCRETO PERMEÁVEL DESENVOLVIDO. EM SEGUIDA, FORAM REALIZADAS AVALIAÇÕES DA PERMEABILIDADE DE CADA TRECHO.

PALAVRAS-CHAVE: EXECUÇÃO, PAVIMENTO PERMEÁVEL, BAIXO CUSTO.

1. INTRODUÇÃO

Nas áreas urbanas, é comum encontrar pavimentos impermeáveis, o que resulta no aumento do escoamento superfi-

cial, aumentando o risco de inundações e facilitando o transporte de resíduos. Essa situação pode levar a falhas no sistema de drenagem e à poluição de rios e lagos [1]. O concreto permeável, também chamado de concreto poroso, apresenta uma estrutura com porosidade que varia de 15% a 35% do volume total, resultado da ausência ou baixa presença de finos em sua composição. Essa característica possibilita a infiltração e percolação da água, reduzindo os efeitos negativos do escoamento superficial [2, 3].

O concreto permeável ainda é pouco utilizado em obras de construção civil, se levar em consideração as vantagens observadas na utilização desse material. Isso ocorre devido à sua técnica construtiva pouco difundida entre os engenheiros e às resistências mecânicas geralmente inferiores se comparadas ao concreto convencional [2]. Conforme sugerido por vários autores, a incorporação de materiais reciclados com alta finura ou atividade pozolânica tem demonstrado melhorar o desempenho das propriedades mecânicas do concreto permeável, mantendo a permeabilidade superior aos exigidos pelas normativas. [4-6]. O resíduo do polimento de pisos de concreto (RPPC) possui uma superfície específica superior à do cimen-

to, promovendo o efeito *filler* e aumentando a resistência mecânica nas matrizes cimentícias, como menciona [7].

Nesse estudo, o objetivo da pesquisa foi avaliar e aplicar uma metodologia construtiva de baixo custo para o concreto permeável moldado *in loco* com adição do resíduo do polimento de pisos de concreto (lapidação).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para esta pesquisa foi utilizado na dosagem do concreto permeável o cimento CP V - ARI (cimento Portland de alta resistência inicial), por possuir desempenho mecânico na idade inicial superior aos demais e permitir a aplicação em painéis monolíticos moldados *in loco* e a produção de elementos pré-fabricados. Como agregado graúdo foi empregada a brita de origem basáltica com dimensão máxima característica de 9,5 mm, pois, conforme Chandrappa e Biligiri [8], a alta dureza e módulo de elasticidade do agregado promove o aumento de resistência no concreto permeável.

O resíduo do polimento de pisos de concreto (RPPC) foi adquirido após o processo de lapidação de pisos com agregados de origem calcária na cidade de Rio Verde (GO) e região.

TABELA 1

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E PERDA AO FOGO (PF) DE RPPC

Materiais	Componente (%)								
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	SO ₃	PF
CFPW	10.29	0.12	1.88	1.34	8.26	41.00	0.22	1.24	36.03

O material coletado estava em estado pastoso. Com o objetivo de assegurar a homogeneização e a qualidade do concreto permeável, o material foi submetido ao processo de secagem em estufa por 72 horas a 65 °C. Após essa etapa, foi destorroado em um almofariz e peneirado na malha com 150 mm de abertura (#100). O RPPC foi utilizado em baixos teores para evitar o fechamento dos poros e perda significativa de permeabilidade.

A quantidade de RPPC gerado varia com o procedimento adotado para o polimento e a espessura do piso. Uma análise prévia demonstrou que, para uma superfície com 1,5 mm de espessura, foram gerados 9,5 kg de resíduo de lapidação por 1,0 m² de piso polido (lapidado); quando secado ao ar livre, resta a quantia de 4,0 kg de resíduo seco em pó. Destaca-se que os volumes de materiais usados para pavimentação são grandes e no processo de preparação do resíduo a água é evapora ao ar livre, ficando somente o resíduo da lapidação. A quantidade de perda de massa após a secagem é significativa. Assim, pesquisas que visam reduzir o impacto ambiental gerado pelo RPPC podem propiciar a redução do volume de resíduos sólidos da construção civil em aterros sanitários, além de menor poluição do solo, de bacias hidrográficas e do ar devido à contaminação promovida pelo resíduo líquido e em pó.

Os ensaios de caracterização do RPPC resultaram em módulo de finura de 0,69, dimensão máxima de 0,6 mm, massa específica de 2.580 kg/m³ e área superficial específica de 11.447,03 cm²/g. A composição química do RPPC, determinada por fluorescência de raios X, é apresentada na Tabela 1. Os testes constataram que esse material possui um teor de sílica de 10,3%, uma soma dos elementos (SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃) de 13,5% e uma perda ao fogo de 36,0%. Ao analisar a composição química do

RPPC, observou-se que o CaO foi o mineral com maior presença, sendo o SiO₂ o segundo maior. Esses valores eram esperados porque o material é proveniente de pisos de concreto com agregados de calcário.

A coleta de preços de mercado para o pavimento permeável foi realizada por meio da Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (GOINFRA), com data de referência de julho de 2022. Além disso, o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), gerenciado pela Caixa Econômica Federal e com apoio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foi utilizado com data de referência de julho de 2022 para o estado de Goiás. O SINAPI conduz pesquisas mensais de preços, contribuindo para a obtenção de dados confiáveis.

Ensaio preliminares foram conduzidos para determinar a possível porcentagem de RPPC que maximiza a resistência mecânica sem perda de permeabilidade abaixo de 1 mm/s para concreto permeável. Observou-se que a adição de 4% de RPPC aumentou a resistência à compressão do concreto. Ao mesmo tempo, maiores porcentagens de adições reduziram a permeabilidade e a trabalhabilidade, dificultando a moldagem das amostras sem alteração da relação água/cimento ou uso de aditivos. Portanto, os seguintes percentuais de adi-

ção de RPPC foram escolhidos para o estudo: 2% e 4% em massa com relação ao cimento.

A amostra controle de concreto permeável foi produzida com proporção de 1:4 na relação entre cimento e brita na massa. A relação água/cimento foi fixada em 0,30 para o corpo de prova controle e mantida para todas as amostras analisadas (Figura 1). Dessa forma, foram analisadas três dosagens distintas: o grupo Controle, sem a adição do resíduo, e mais dois grupos com a incorporação de 2% e 4% de RPPC, respectivamente.

Utilizando as proporções dos traços, procedeu-se ao dimensionamento da pista de testes localizada em Rio Verde (GO). Essa pista foi instalada nas trilhas de uma praça universitária, com a finalidade de acomodar o tráfego de pedestres, e projetada de acordo com a norma NBR 16416:2015. Os requisitos exigiam para o concreto permeável uma resistência à tração na flexão de 1 MPa, uma massa específica superior a 1600 kg/m³ e um coeficiente de permeabilidade superior a 1 mm/s

**FIGURA 1**

ANÁLISE VISUAL DO CONCRETO PERMEÁVEL

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

TABELA 2

RESUMO DOS CONSUMOS DE MATERIAIS E ESPESSURAS DAS CAMADAS

	Controle	2% RPPC	4% RPPC
Cimento/agregado graúdo	1:4	1:4	1:4
Água/cimento	0,3	0,3	0,3
Consumo de cimento (kg/m ³)	375	399,9	411,5
Consumo RPPC (kg/m ³)	0	8,0	16,5
Consumo agregado natural (kg/m ³)	1500	1500	1500
Consumo de água (kg/m ³)	112,5	120,0	123,5
Altura da camada de base (mm)	50,0	50,0	50,0
Espessura do concreto permeável (mm)	60,0	60,0	60,0

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

para o pavimento recém-construído [9].

A dosagem do concreto foi realizada com a ordem de mistura dos componentes de forma a garantir melhor homogeneização e fixar um procedimento que obteria resistências mecânicas e permeabilidade semelhantes para amostras que fossem produzidas em betoneiras diferentes, mas que possuem o mesmo traço. A metodologia consistiu em adicionar todo o agregado com 5% da massa total do cimento na betoneira; misturar por 1 minuto; adicionar o restante dos materiais; misturar por 3 minutos e deixar a mistura em repouso por 3 minutos, estando pronta para aplicação após essa etapa.

Na pista de teste desenvolvida foram aplicados os três traços, uma vez que não há diferença visual nas dosagens. O ensaio de permeabilidade foi executado pelo método fornecido do anexo A da ABNT NBR 16416:2015 [9], onde foi realizada uma pré-molhagem e, em seguida, despejada a água no anel de infiltração (300 mm de diâmetro e 50 mm de altura), com velocidade suficiente para manter o nível da água entre as duas marcações internas do anel (10 mm a 15 mm). O cronômetro foi acionado assim que a água atingiu a superfície do pavimento permeável e parou quando não houve mais água livre na superfície. Para calcular o coeficiente de permeabilidade (k) foi utilizada a Eq. 1.

$$[1] \quad k = \frac{C * m}{(d^2 * t)}$$

Onde:

C – corresponde ao fator de conversão de unidades do sistema SI, com valor igual a 4.583.666.000,00;

m – a massa de água infiltrada expressa em quilogramas (kg);

d – é o diâmetro interno do cilindro de infiltração expresso em milímetros (mm);

t – é o tempo necessário para toda a água percolar, expresso em segundos (s).

Conseqüentemente, o coeficiente de permeabilidade obtido foi expresso em milímetros por hora (mm/h).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme as exigências normativas da NBR 16416:2015 [9], é necessária uma camada entre o solo e o revestimento de concreto permeável que atue como base e seja constituída de materiais pétreos de granulometria aberta. O dimensionamento da altura da base tem como foco principal a função de reservatório de água no pavimento permeável. Para a região onde a pista de teste foi instalada, adotou-se o valor de precipitação projetada de 178 mm/h. Isso resultou em uma altura da camada de base de 50,0 mm, utilizando agregado natural de origem basáltica, com dimensão máxima característica de 19,0 mm.

Ao avaliar a permeabilidade do solo e o histórico de precipitação com o período de retorno de 10 anos, verificou-se

que toda a água precipitada que alcança o subleito se infiltrará e, em caso de chuvas intensas, a altura da base granular atuará na função de reservatório da água excedente; assim, foi dispensado o uso de drenos.

A espessura do revestimento de concreto permeável foi de 60,0 mm, visto que o pavimento foi destinado ao tráfego de pedestres e moldado in loco. Desta forma, o resumo do consumo de materiais e a altura das camadas de cada traço foram apresentados na Tabela 2, aqui não foi adicionado o agregado miúdo, uma vez que a Tabela 2 traz somente dados do concreto permeável. Ao comparar as diferentes misturas, é evidente o aumento no consumo de cimento por metro cúbico com a adição do resíduo do polimento de pisos de concreto (RPPC). Isso ocorre devido às amostras exibirem uma diminuição no índice de vazios e um empacotamento mais eficiente. Como resultado, a permeabilidade é reduzida e há um aumento na resistência e no consumo de materiais. Os resultados apresentados estão em consonância com a pesquisa conduzida por Zhong e Wille [10].

Na determinação dos custos, tanto do pavimento convencional quanto do

TABELA 3

COMPOSIÇÃO DE CUSTO POR METRO QUADRADO DOS MATERIAIS PARA PRODUIR O CONCRETO

Material	Unidade	Preço unitário (R\$)	Concreto permeável		Concreto convencional	
			Cons./m ²	Valor (R\$)	Cons./m ²	Valor (R\$)
Cimento	kg	0,64	22,50	14,40	19,38	12,40
Areia Grossa	m ³	170,00	—	—	0,04535	7,71
Brita 0	m ³	129,68	0,06000	7,78	0,03523	4,57
Água	m ³	10,32	0,00675	0,07	0,01163	0,12
			TOTAL	R\$ 22,25	TOTAL	R\$ 24,80

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

pavimento permeável, foram levantadas as composições de preços apresentadas na Tabela 3, destacando que, para a produção de concreto convencional, se utiliza agregado miúdo. Os custos de comparação são os de concreto permeável com relação ao concreto convencional, entretanto o custo do resíduo foi desprezado, por não ser possível obter valor de mercado, uma vez que o material é um subproduto do processo de polimento (lapidação) de pisos de concreto. Já, os custos associados ao transporte para o local da obra podem ser relevantes conforme a logística dos canteiros de obras, variando conforme cada caso. O concreto convencional utilizado para comparação de preços possui de 20 MPa com dosagem em massa (kg) dos materiais, com traço unitário de 1:2,86:2,32 (cimento : areia : grossa : brita 0). Entretanto, a Tabela 3 traz os dados convertidos para volume através da relação de massa unitária do agregado graúdo, que é como o mercado atende ao consumidor, sendo que, nas colunas dos consumos dos materiais, a relação foi convertida para m², para melhor entendimento do leitor. Os preços apresentados foram estabelecidos pela Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (GOINFRA). Ambos os custos foram calculados para execução de 1,00 m² considerando a espessura do

piso de 6,00 cm, não levando em consideração logística interna ou externa a obra, nem tampouco a mão de obra.

Ao analisar os custos apresentados na Tabela 3, fica evidente que o custo dos materiais por metro quadrado de concreto convencional é 11,46% maior, quando comparado ao concreto permeável. Essa discrepância é principalmente atribuída à ausência de agregado miúdo no concreto permeável. Contudo, alguns autores mencionam que, para a produção de concreto permeável, é necessária a utilização de equipamento de compactação, devido a sua baixa trabalhabilidade, o que pode elevar o custo do pavimento permeável na sua aplicação. A seguir, será apresentado um equipamento desenvolvido nesse trabalho que aponta para a solução desse aumento de custo.

Para a construção do pavimento de concreto permeável na praça, foram aplicados os traços de concreto permeável em três trechos, uma vez que a adição do material estudado não afeta as propriedades visuais do concreto. Com o objetivo de reduzir os custos de execução, o material foi dosado em uma betoneira de 400 L e distribuído uniformemente, conforme a Figura 2.

O aluguel de máquinas de compactação foi contornado através da criação do rolo compactador fabrica-

do com material reciclado, conforme representado na Figura 3. Esse dispositivo foi composto por um tubo PVC com 1 metro de comprimento e 200 mm de diâmetro, preenchido com concreto convencional. No interior desse tubo, foi colocado outro tubo PVC com 40 mm de diâmetro, destinado à passagem da haste metálica e conectado ao suporte metálico.

Ao seguir os procedimentos delineados, foi viável alcançar uma produtividade satisfatória e economia nos equipamentos empregados, ao mesmo tempo em que se promoveu um impacto positivo no âmbito ambiental, devido à reciclagem dos materiais empregados na confecção do rolo compactador. Na Figura 4, é ilustrada a transformação da praça antes e depois da implementação do pavimento permeável.

Durante a avaliação da permeabilidade da pista de teste construída, foram analisados os resultados de permeabilidade indicados na Figura 5. Nela, é notável que todas as amostras demonstraram permeabilidade igual ou superior a 1 mm/s, um valor exigido pela norma ABNT NBR 16416:2015 [9].

Na Figura 5, é perceptível que a composição com 2% de RPPC apresentou a maior permeabilidade, atingindo cerca de 3,5 mm/s. Já para as amostras Controle e 4% de RPPC, os valores foram



FIGURA 2

APLICAÇÃO DO CONCRETO PERMEÁVEL NOS TRECHOS SELECIONADOS

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)



FIGURA 3

EMPREGO DO ROLO COMPACTADOR CONSTRUÍDO DE MATERIAL RECICLADO

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)



A



B

FIGURA 4

VISTAS DA PRAÇA: (A) ANTES E (B) APÓS A CONCLUSÃO DAS OBRAS

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

de 1,3 mm/s e 1,0 mm/s, respectivamente. Todos os valores atendem à norma de permeabilidade, destacando que a porosidade da pasta do traço 2% foi diminuída indicando uma característica de pasta mais densa, entretanto a permeabilidade que relaciona os vazios comunicantes foi potencializada com relação ao traço controle e também ao traço com 4% de adição. Também através dos resultados da Figura 5, foi possível verificar que com a adição de 4%, a permeabilidade diminuiu significativamente, ficando abaixo até mesmo do traço controle, comprometendo os vazios comunicantes. Vale ressaltar que mesmo após o serviço de poda da grama esmeralda executada pela equipe de jardinagem, onde tal serviço poderia ter contaminado os poros, provocando o entupimento dos

mesmos, os valores de permeabilidade, permaneceram consistentes.

4. CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento deste estudo, foi possível concluir que o preço dos materiais para construção de pavimento de concreto permeável moldado *in loco* será inferior em 11,2 % ao de concreto convencional, principalmente devido à ausência do custo de agregado

miúdo. O RPPC foi adicionado em proporções de 2% e 4% com relação a massa de cimento, entretanto adições acima de 2% promove o fechamento dos vazios comunicantes do concreto permeável, mas pode ser aplicado com teores de até 2% atingindo melhores resultados; assim, seu uso é recomendado, dando uma destinação mais sustentável para o material. Com o rolo compressor desenvolvido, é possível reduzir os custos de execução e, conseqüentemente, da produção do pavimento em geral, entregando uma superfície regular conforme o solicitado para passeios de concreto. ☺

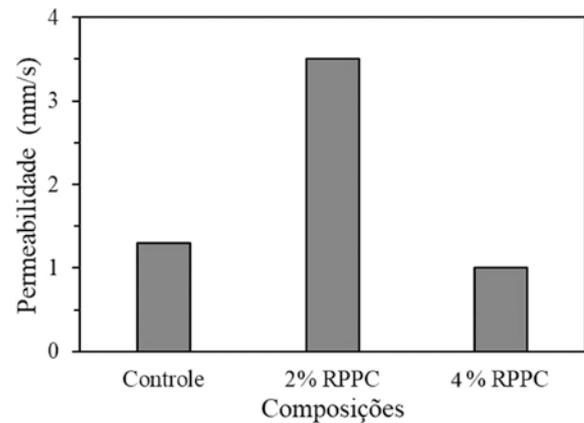


FIGURA 5

RESULTADOS DE PERMEABILIDADE EM CAMPO

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DANIEL, Francisco Javier De La Mota et al. Porous-permeable pavements promote growth and establishment and modify root depth distribution of *Platanus x acerifolia* (Aiton) Willd. in simulated urban tree pits. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 33, p. 27-36, 2018.
- [2] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 522R-10: Report on Pervious Concrete. ACI Committee 522, Farmington Hills, Michigan, 2010.
- [3] SUMANASOORIYA, Milani S.; NEITHALATH, Narayanan. Pore structure features of pervious concretes proportioned for desired porosities and their performance prediction. *Cement and Concrete Composites*, v. 33, n. 8, p. 778-787, 2011.
- [4] KHANKHAJE, Elnaz et al. Sustainable clean pervious concrete pavement production incorporating palm oil fuel ash as cement replacement. *Journal of Cleaner Production*, v. 172, p. 1476-1485, 2018.
- [5] MOHAMMED, Bashar S. et al. Properties of nano-silica modified pervious concrete. *Case studies in construction materials*, v. 8, p. 409-422, 2018.
- [6] SOTO-PÉREZ, Linoshka; HWANG, Sangchul. Mix design and pollution control potential of pervious concrete with non-compliant waste fly ash. *Journal of environmental management*, v. 176, p. 112-118, 2016.
- [7] SILVA, Lorena A. et al. Performance of cementitious matrices incorporating concrete floor polishing sludge waste. *Construction and Building Materials*, v. 265, p. 120119, 2020.
- [8] CHANDRAPPA, A. K.; BILIGIRI, K. P. Influence of mix parameters on pore properties and modulus of pervious concrete: an application of ultrasonic pulse velocity. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, v. 49, n. 12, p. 5255-5271, 2016.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto — Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.
- [10] ZHONG, Rui; WILLE, Kay. Linking pore system characteristics to the compressive behavior of pervious concrete. *Cement and Concrete Composites*, v. 70, p. 130-138, 2016.

Incorporação de fibras de polipropileno comercial e reciclado em concretos permeáveis para pavimentação

ALESSANDRA BUSS TESSARO - PROF^a - [HTTPS://ORCID.ORG/0000-0002-8193-6286](https://orcid.org/0000-0002-8193-6286) (alessandrabuss@gmail.com) ;
 JOÃO PEDRO DA S. VIANA - ACAD. ; INGRID T. MORAES - ACAD. ; TCHAYLON G. DALPIAZ - ACAD. ; DANIELA G. RAMIRES - ACAD. ;
 JÚLIO CÉSAR PINTO DE OLIVEIRA - ENG. | FURG

RESUMO

COM A CRESCENTE URBANIZAÇÃO, O SOLO TORNA-SE CADA VEZ MAIS IMPERMEÁVEL DEVIDO ÀS CONSTRUÇÕES, LEVANDO A IMPACTOS AMBIENTAIS GRAVES, COMO AS INUNDAÇÕES, RESSALTANDO A NECESSIDADE URGENTE DE SOLUÇÕES. ESTE ARTIGO VISA AVALIAR COMO A ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO COMERCIAL E RECICLADO AFETA O DESEMPENHO DE CONCRETOS PERMEÁVEIS PARA PAVIMENTAÇÃO. A PESQUISA UTILIZOU CP VARI, AGREGADO GRAÚDO E FIBRAS DE POLIPROPILENO, REALIZANDO ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E ENSAIOS MECÂNICOS E FÍSICOS NO CONCRETO. OS RESULTADOS INDICARAM QUE A ADIÇÃO DE FIBRAS MELHOROU SIGNIFICATIVAMENTE A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO, DESTACANDO-SE O DESEMPENHO DO CONCRETO COM FIBRAS COMERCIAIS. ALÉM DISSO, O CONCRETO COM FIBRAS RECICLADAS DEMONSTROU UM AUMENTO CONSIDERÁVEL NA RESISTÊNCIA, SENDO QUE O TRAÇO COM FIBRAS RECICLADAS APRESENTOU MELHOR DESEMPENHO NA TAXA DE INFILTRAÇÃO. ESSES RESULTADOS RESSALTAM A EFICÁCIA DAS FIBRAS NA OTIMIZAÇÃO DO CONCRETO

PERMEÁVEL, DESTACANDO A IMPORTÂNCIA DE CONSIDERAÇÕES ESPECÍFICAS NA SUA ADIÇÃO.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETO PERMEÁVEL, CONCRETO PERMEÁVEL, INFILTRAÇÃO EM SOLO, FIBRAS DE POLIPROPILENO.

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da urbanização, há uma maior impermeabilização do solo devido às edificações, o que tem causado impactos cada vez mais significativos no meio ambiente, levando à necessidade de a construção civil encontrar alternativas para evitar inundações e enchentes. Ao considerar o coeficiente de escoamento, as áreas de edificação muito densas podem ter coeficientes que variam de 0,70 a 0,95, o que significa que até 95% da chuva gera escoamento superficial.

O concreto permeável surge como uma alternativa que auxilia na drenagem urbana e facilita a infiltração da água direta-

te para o solo. No entanto, sua utilização no Brasil ainda está em uma fase inicial. O ACI 522R-06 destaca usos típicos, como pavimentos para estacionamentos, estradas municipais, calçadas, entre outros.

O pavimento permeável é uma estrutura que permite a passagem de água e ar através de suas camadas. Historicamente, há registros de seu uso desde 1852 nos Estados Unidos (EUA) e é composto por concreto de cimento Portland com pouco ou nenhum agregado miúdo, resultando em uma mistura com 15 a 25% de vazios (PILS *et al.*, 2019).

Com o objetivo de aprimorar o desempenho do concreto permeável, houve um crescimento no uso de fibras plásticas de polipropileno como elementos de reforço no concreto. O polipropileno é quimicamente inerte, não absorve água, não sofre corrosão, tem baixo custo e é amplamente disponível. Portanto, a utilização de fibras de polipropileno se mostra mais adequada

TABELA 1

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO CIMENTO CPV

Químicos									
Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	SO ₃ %	P. fogo %	CaO L. %	R. Ins. %	Eq. Alc. %
4,41	18,66	2,94	60,30	3,93	2,74	3,44	1,54	0,82	0,66

Físicos										
Exp. Quente mm	Tempos de pega (min)		Cons. Normal %	Blaine cm ³ /g	#200 %	#325 %	MgO			
	Início	Fim					1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
0,10	159	213	28,4	4,348	0,18	1,11	25,7	40,1	45,6	43,8

FONTE: INTERCEMENT BRASIL (2024)

TABELA 2

CARACTERÍSTICAS DAS FIBRAS COMERCIAIS

Informações técnicas	
Densidade	1,64 g/cm ³
Longitude das hastes	12 mm
Diâmetro das hastes	20 a 25 microns
Ponto de fusão	235 °C
Ponto de autoignição	650 °C
Condutibilidade térmica relativa	5,0 (relativa ao ar)
Resistência à água	Hidrófugo não atacável
Resistência aos ácidos	Boa
Resistência aos álcalis	Muito boa
Absorção de água	<0,4%
Resistência a tração	0,3-0,5 kN/mm ²
Modulo de Young	2500 kN/mm ² %

FONTE: CORDOARIA BRASIL - FIBRAFIX (2023)

do que as fibras metálicas, devido à sua resistência à corrosão e à necessidade de melhorar o desempenho na tração por flexão, um requisito fundamental para o concreto de pavimentos.

O objetivo deste estudo foi analisar o impacto da incorporação de fibras de polipropileno comerciais e recicladas nas características dos concretos permeáveis, com foco em sua aplicação em pisos e pavimentação. Foram investigados os efeitos dessas fibras na resistência mecânica e na permeabilidade. O corante foi utilizado porque o uso de pigmentos oferece uma solução durável, esteticamente agradável e de baixa manutenção em comparação com a pintura tradicional, proporcionando uma opção mais eficaz e sustentável para projetos de pavimentação.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais utilizados

Os materiais utilizados no desenvolvimento da pesquisa foram: CP V ARI (Tabela 1), agregados graúdos graníticos (com dimensão máxima característica de 9,5 mm), fibras de polipropileno adquiridos comercialmente (Tabela 2), fibras de polipropileno recicladas e água potável da rede de abastecimento local da cidade de Rio Grande – RS (Corsan).

As fibras de polipropileno utilizadas foram as FibrFix de 12 mm para concreto (Figura 1a). As fibras recicladas (Figura 1b), por sua vez, foram fornecidas pelo

Laboratório de Caracterização de Cabos – POLICAB da FURG e cortadas em um comprimento de 12 mm, de modo a igualar o tamanho das fibras comerciais. Essa medida é necessária, pois o tamanho da fibra deve ser compatível com o tamanho do agregado graúdo (malha 12 mm).

O pigmento vermelho utilizado na produção dos concretos coloridos foi fornecido pela empresa LANXESS. Foi utilizado um teor de pigmento de 4,5% da massa de cimento (16,83 kg/m³), conforme indicado

pelo fabricante. No experimento em questão, optou-se por não incluir aditivos no concreto, a fim de observar o impacto da adição de corante e fibra na mistura.

Também não houve adição de agregado miúdo. A decisão de não adicionar agregado miúdo no trabalho está relacionada à sua função e ao seu princípio de funcionamento. O concreto permeável é projetado para permitir a passagem de água através de seus vazios, facilitando a drenagem e reduzindo o escoamento superficial. A presença de agregado miúdo na mistura do concreto permeável pode preencher os vazios necessários para a passagem da água, comprometendo sua permeabilidade.

2.2 Procedimento de dosagem e moldagem das amostras

Atualmente, não há uma técnica de dosagem estabelecida e amplamente reconhecida para a produção de concretos permeáveis e secos. O programa consistiu na moldagem de corpos de prova para ensaios mecânicos a serem realizados na idade de 7 dias e 28 dias. Foram utilizados 5 traços distintos: Referência, Adição de 0,15% de fibras de polipropileno comerciais, Adição de 0,15% de fibras de polipropileno recicladas, Adição de 0,15% de fibras de

**A****B****FIGURA 1**

FIBRAS DE POLIPROPILENO COMERCIAL (A) E REICLADA (B)

FONTE: ADAPTADO DE ACI/TMS 216.1 (2014)

polipropileno comerciais com corante, e Adição de 0,15% de fibras de polipropileno recicladas com corante. Baseado nas características dos materiais e métodos de dosagem inspirados em trabalhos semelhantes (LUCENA, 2017; GUIMARÃES *et al.*, 2011) já realizados, foi definido o fator a/c em 0,35 e 0,15% de adição de fibra (2,45kg/m³). A dosagem dos materiais foi calculada a partir da definição do traço 1:4, conforme apresentado na Tabela 3.

Quanto à definição do fator a/c, foi padronizado em todos os traços, pois devido à falta de ensaio que verifique a

consistência do concreto permeável no estado fresco, sendo apenas observando o seu aspecto tátil-visual durante a moldagem, caso o fator a/c variasse sem uma predefinição, seria inconsistente a comparação entre os resultados. A relação a/c de



FIGURA 2
CORPOS DE PROVA MOLDADOS

TABELA 3

DOSAGEM DOS MATERIAIS

Identificação	Traço	Relação a/c	Cimento (kg)	Brita (kg)	Fibra (g)	Corante (kg)
Ref	1:4	0,35	1	4	0	0
Conc. fibra rec.	1:4	0,35	1	4	6	0
Conc. fibra comercial	1:4	0,35	1	4	6	0
Conc. fibra rec. corante	1:4	0,35	1	4	6	0,045
Conc. fibra comercial corante	1:4	0,35	1	4	6	0,045

Fonte: Autores (2023)

TABELA 4

PROGRAMA EXPERIMENTAL

Ensaio	Amostra				
	Conc. Referência	Conc. fibra comercial	Conc. fibra reciclada	Conc. fibra comercial com corante	Conc. fibra reciclada com corante
Resistência à compressão	3 CPs aos 7 dias	3 CPs aos 7 dias	3 CPs aos 7 dias	3 CPs aos 7 dias	3 CPs aos 7 dias
	3 CPs aos 28 dias	3 CPs aos 28 dias	3 CPs aos 28 dias	3 CPs aos 28 dias	3 CPs aos 28 dias
Resistência à tração por compressão diametral	3 CPs aos 7 dias	3 CPs aos 7 dias	3 CPs aos 7 dias	3 CPs aos 7 dias	3 CPs aos 7 dias
	3 CPs aos 28 dias	3 CPs aos 28 dias	3 CPs aos 28 dias	3 CPs aos 28 dias	3 CPs aos 28 dias
Resistência à tração flexão	3 CPs aos 7 dias	3 CPs aos 7 dias	3 CPs aos 7 dias	3 CPs aos 7 dias	3 CPs aos 7 dias
	3 CPs aos 28 dias	3 CPs aos 28 dias	3 CPs aos 28 dias	3 CPs aos 28 dias	3 CPs aos 28 dias
Taxa de infiltração	2 placas aos 28 dias	2 placas aos 28 dias	2 placas aos 28 dias	2 placas aos 28 dias	2 placas aos 28 dias
Total	12 CPs cilíndricos	12 CPs cilíndricos	12 CPs cilíndricos	12 CPs cilíndricos	12 CPs cilíndricos
	6 CPs retangulares	6 CPs retangulares	6 CPs retangulares	6 CPs retangulares	6 CPs retangulares

Fonte: Autores (2023)

0,35 foi definida por ser um valor mediano entre os valores já estudados nas bibliografias e indicados como ideais para o concreto permeável, e devido à aparência tátil-visual encontrada na primeira moldagem.

Seguindo os parâmetros da NBR 5738 (ABNT, 2016), realizou-se a moldagem dos corpos de prova conforme a Tabela 4 e na Figura 2 os corpos de prova moldados.

2.3 Ensaio realizados

Os ensaios para caracterização do agregado graúdo foram: determinação da composição granulométrica pela NBR 17054 (ABNT, 2022), determinação da densidade e da absorção de água conforme a NBR 16917 (ABNT, 2021), e determinação da massa unitária e do índice de vazios dos agregados segundo a NBR 16972 (ABNT, 2021). Os dados obtidos estão descritos na Tabela 5.

Os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados conforme a norma NBR 5739 (ABNT, 2018). O ensaio

TABELA 5

DADOS DO AGREGADO GRAÚDO

Características	Agregado graúdo
Massa específica (kg/m ³)	2590
Massa unitária solta (kg/m ³)	1390
Massa unitária compactada (kg/m ³)	1430
Módulo de finura	5,77
Dimensão máxima característica (mm)	9,5
Absorção de água (%)	1,87

Fonte: Autores (2023)

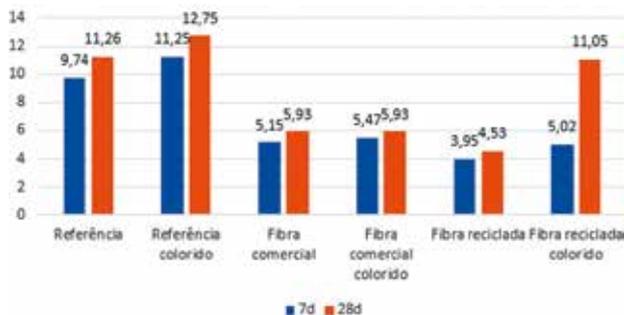


FIGURA 3

RESULTADOS DE COMPRESSÃO AXIAL AOS 7 E 28 DIAS

FONTE: AUTORES (2023)

de resistência à tração por compressão diametral é conduzido conforme a norma NBR 7222 (ABNT, 2011). Já o ensaio de resistência à tração na flexão é tratado na NBR 12142 (ABNT, 2010). Todos os ensaios mecânicos foram conduzidos em uma máquina universal de ensaios EMIC/INSTRON DL 30000. Para o ensaio de taxa de infiltração de água, utilizou-se como referência a norma americana ASTM C1701/C1701M - 09 (ASTM, 2009). Este ensaio é um dos poucos descritos em normas para concretos permeáveis.

Para o cálculo da taxa de infiltração, foi utilizada a fórmula descrita em ASTM C171/C1701M-09, onde coleta-se o tempo de infiltração (T) e a massa de água infiltrada (M), então determina-se a taxa de infiltração de água (I) em cada placa de concreto.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios de rompimento dos corpos de prova em prensa indicaram uma redução gradual dos valores de tensão com a inserção de fibras na mistura. Após os ensaios realizados, observou-se que, aos 28 dias, o traço referência colorido apresentou o melhor desempenho, conforme indi-

cado na Figura 3.

Aos 28 dias, o concreto referência obteve um ganho de 16% de resistência em relação ao mesmo traço aos 7 dias (conforme mostrado na Tabela 6). O referência colorido teve um ganho de 13% de resistência, o de fibra comercial 15%, o de fibra comercial reciclada 8%, o

de fibra reciclada 15%, e o de fibra reciclada colorido 120%.

Em relação ao corpo de prova referência sem corante aos 7 dias, o concreto com fibra comercial obteve 48% a menos de resistência, enquanto o concreto com fibra reciclada apresentou uma redução de 52% na resistência. Já, em relação ao corpo de prova referência sem corante aos 28 dias, o concreto com fibra comercial obteve 52% a menos de resistência, enquanto o concreto com fibra reciclada apresentou uma redução de 40% na resistência.

Em relação ao corpo de prova referência com corante aos 7 dias, o concreto com fibra comercial obteve 48% a menos de resistência, enquanto o concreto com fibra reciclada apresentou uma redução de 55% na resistência. Já, em relação ao corpo de prova referência com corante aos 28 dias, o concreto com fibra comercial obteve 46% a menos de resistência, enquanto o concreto com fibra reciclada registrou uma diminuição de 0,8% na resistência. A diferença de ganho de resistência no concreto colorido com fibra reciclada pode ser atribuída a um possível efeito adverso do corante ou das fibras recicladas na reação

de hidratação do cimento. É recomendável realizar uma análise mais aprofundada, incluindo a distribuição das fibras na matriz de concreto, a verificação de defeitos no processo de cura e a consideração das propriedades específicas dos materiais utilizados. Essas sugestões visam identificar as causas subjacentes dessa disparidade na resistência.

É reconhecido na literatura que a inclusão de fibras tende a reduzir a resistência à compressão do concreto. Esse fenômeno pode ser atribuído ao fato de o concreto ser um material compósito no qual a aplicação de uma força de compressão resulta na interação das partículas de areia e cimento, gerando atrito entre elas. Com a adição das fibras, esse atrito tende a aumentar; no entanto, devido à presença das fibras, a continuidade desse atrito pode ser comprometida, resultando em uma redução na resistência à compressão.

As fibras dificultaram o processo de mistura do concreto, que, por natureza, já possui uma trabalhabilidade bastante limitada. Foi observada a formação de aglomerados



FIGURA 4

CONCRETO COM AGLOMERADOS DE FIBRA RECICLADA

TABELA 6

RESULTADOS DE COMPRESSÃO AXIAL AOS 7 E 28 DIAS

	Ref. cinza		Ref. colorido		Cinza com fibra comercial		Colorido com fibra comercial		Cinza com fibra reciclada		Colorido com fibra reciclada	
	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28
Idade	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28
Média	9,74	11,26	11,25	12,75	5,15	5,93	5,47	5,93	3,95	4,53	5,02	11,05
DP	0,47	0,18	1,43	1,19	0,13	0,35	0,47	0,4	0,14	0,31	0,03	3,45
CV	4,84	1,57	12,72	9,34	2,52	5,91	8,59	6,75	3,54	6,85	0,59	31,21

FONTE: AUTORES (2023)

TABELA 7

ANOVA RESULTADOS A COMPRESSÃO AXIAL AOS 28 DIAS

Sem corante						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	49,38036	2	24,69018	96,62487	0,00189	9,552094
Dentro dos grupos	0,766578	3	0,255526	—	—	—
Total	50,14693	5	—	—	—	—

Com corante vermelho						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	37,5488267	2	18,77441333	1,806975424	0,305485385	9,552094
Dentro dos grupos	31,1698982	3	10,38996606	—	—	—
Total	68,7187248	5	—	—	—	—

FONTE: AUTORES (2023)

de fibras em determinadas regiões do concreto, resultando em pontos de fragilidade que deram origem às zonas de fratura, especialmente no concreto com fibra reciclada (conforme mostrado na Figura 4). Esses achados sugerem que a adição de fibras requer cuidados específicos, assim como um processo de confecção que garanta uma mistura mais homogênea.

A comparação entre as médias de resistência aos 28 dias, obtidas para cada traço, foi realizada por meio da Análise de Variância (ANOVA), aplicada em um experimento com fator único (adição de fibras no concreto). Os resultados

da ANOVA estão resumidos na Tabela 7, onde foi adotado um nível de significância igual a 5%.

Foi observado um valor P inferior ao nível de significância, o que permite a rejeição da hipótese nula, H_0 , para o concreto referência sem corante. Isso sugere fortemente que a adição de fibras no concreto influencia sua resistência à compressão axial, com um nível de confiança de 95%.

No estudo conduzido por Lucena (2017), a análise das médias dos ensaios de resistência à compressão demonstrou que o aumento do teor de fibras de polipropileno na mistura não exerce influência significativa na resistência à

compressão. Os resultados mostraram que a mistura de referência alcançou 4,10 MPa, enquanto a mistura com adição de 1 kg/m³ de fibra atingiu 4,46 MPa e a com adição de 2 kg/m³ de fibra obteve 3,69 MPa.

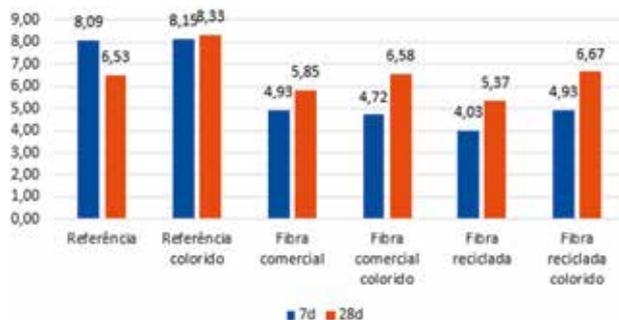
A inclusão de fibras de polipropileno em frações moderadas (1% em volume de concreto) resultou em

aumentos de 5,8% na resistência à compressão, 9,7% na resistência à compressão diametral e 1,5% na resistência à tração na flexão. No entanto, esses ganhos não foram considerados expressivos ao analisar as médias e os desvios padrões obtidos. Conforme Lucena (2017), a incorporação de fibras poliméricas geralmente resulta em uma diminuição da resistência à compressão axial, ao passo que a resistência à tração na flexão é aumentada.

Uma possível explicação para a queda na resistência do concreto pigmentado em comparação com o não pigmentado poderia estar relacionada à granulometria do pigmento. A distribuição de tamanho das partículas de pigmento pode influenciar a coesão entre os componentes do concreto, afetando assim suas propriedades mecânicas. Como as partículas do pigmento são finas, a explicação para a queda na resistência do concreto pigmentado em relação ao não pigmentado pode estar relacionada à sua distribuição uniforme no material. Partículas finas tendem a se dispersar mais facilmente na matriz do concreto durante o processo de mistura, o que pode resultar em uma distribuição mais homogênea, porém, também pode causar uma diminuição na interação entre os agregados e a pasta de cimento. Isso pode levar a uma redução na coesão interna do concreto e, conseqüentemente, a uma diminuição na resistência. Além disso, as partículas finas do pigmento podem ocupar espaços entre os agregados, interferindo na compactação do concreto e afetando sua densidade. Uma menor densidade pode resultar em uma estrutura menos resistente, aumentando a probabilidade de falha sob carga.

Para a resistência à tração por compressão diametral, os corpos de prova com fibras apresentaram aproximadamente 60% da resistência do concreto referência, conforme demonstrado na Figura 5 e Tabela 8. Notavelmente, o concreto colorido com fibra reciclada obteve o melhor resultado nesse aspecto.

A comparação entre as médias de resistência aos 28 dias, obtidas para cada traço, foi realizada por meio da Análise de Variância (ANOVA), aplicada em um experimento com fator único (adição de fibras no concreto). Os resultados da ANOVA estão sintetizados na Tabela 9, onde foi adotado um nível de significância igual a 5%.

**FIGURA 5**

RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL AOS 7 E 28 DIAS

FONTE: AUTORES (2023)

TABELA 8

RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL AOS 7 E 28 DIAS

	Ref. cinza		Ref. colorido		Cinza com fibra comercial		Colorido com fibra comercial		Cinza com fibra reciclada		Colorido com fibra reciclada	
	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28
Idade	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28
Média	8,09	6,53	8,15	8,33	4,93	5,85	4,72	6,58	4,03	5,37	4,93	6,67
DP	0,43	2,43	0,53	0,35	0,29	0,5	0,1	0,43	0,59	0,03	0,37	0,22
CV	5,32	37,24	6,50	4,20	5,88	8,55	2,12	6,53	14,63	0,56	7,51	3,29

FONTE: AUTORES (2023)

Foi constatado um valor P inferior ao nível de significância, permitindo a rejeição da hipótese nula, H_0 , para o concreto referencial sem corante. Isso indica uma forte evidência de que a adição de fibras no concreto influencia sua resistência à tração por compressão diametral, com um nível de confiança de 95%. Uma possível justificativa para o fato de as fibras não terem impactado o concreto sem pigmento pode ser encontrada na interação entre os pigmentos e as fibras no concreto colorido. Quando pigmentos são adicionados à mistura, eles podem influenciar a distribuição das fibras e a formação da matriz de concreto de maneira diferente em comparação com o concreto sem pigmento. Isso pode resultar em uma microestrutura e porosidade distintas entre as duas misturas. Sem a presença de pigmentos, a interação entre as fibras e a matriz de concreto pode não ser tão significativa, levando a um impacto negligenciável na resistência do concreto sem pigmento.

A influência dos pigmentos na distribuição das fibras e na formação da matriz de concreto pode ocorrer por várias razões. Primeiramente, os pigmentos podem alterar as propriedades reológicas da pasta de cimento, afetando sua viscosidade e capacidade de suspensão das fibras durante o processo de mistura. Isso pode levar a uma distribuição não uniforme das fibras na matriz, resultando em áreas com concentração variável de fibras e, consequentemente, heterogeneidades na resistência e na durabilidade do concreto. Além disso, os pigmentos podem interagir quimicamente com os componentes da matriz de concreto, influenciando sua cura e maturação. Essas interações podem afetar a aderência entre as fibras e a matriz, bem como a formação de ligações químicas

dentro do material, alterando sua estrutura e propriedades mecânicas. Outro aspecto importante é a possível agregação entre as partículas de pigmento e as fibras durante o processo de mistura. Se as partículas de pigmento se agregarem mais fortemente do que as fibras, isso pode levar à segregação das fibras ou à formação de aglomerados, resultando em uma distribuição não uniforme no concreto final.

A ausência de impacto das fibras no concreto sem pigmento pode ser atribuída à sua interação mais direta e uniforme com a matriz de concreto, sem a presença de pigmentos que possam interferir na distribuição e na formação da estrutura. A análise de variância (ANOVA) provavelmente revelou essa diferenciação devido à microestrutura mais homogênea e à possível menor porosidade do concreto sem pigmento, resultando em uma resistência mecânica

potencialmente maior. Por outro lado, no concreto pigmentado, a adição de pigmentos pode afetar significativamente a distribuição das fibras e a formação da matriz de concreto, resultando em uma microestrutura e porosidade diferentes que podem comprometer a resistência do material.

Os estudos de Lucena (2017) revelaram um efeito significativo na resistência à tração por compressão diametral com o aumento do teor de fibras de polipropileno. As médias obtidas foram de 2,52 MPa para 0% de fibras, 3,01 MPa para 1 kg/m³ de fibras e 3,43 MPa para 2 kg/m³ de fibras. As diferenças percentuais entre os valores foram de 16,28% ao passar de 0% para 1 kg/m³ de fibras de polipropileno, de 12,24% ao passar de 1 kg/m³ para 2 kg/m³ e de 26,53% ao passar de 0% para 2 kg/m³ de fibras. Esses resultados destacam a influência positiva do aumento

TABELA 9

ANOVA RESULTADOS A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL AOS 28 DIAS

Sem corante						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	2,028099	2	1,014049	0,291153	0,75739	5,143253
Dentro dos grupos	20,89722	6	3,482871	—	—	—
Total	22,92532	8	—	—	—	—

Com corante vermelho						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	5,834262	2	2,917131	13,85096	0,005643	5,143253
Dentro dos grupos	1,263651	6	0,210609	—	—	—
Total	7,097913	8	—	—	—	—

FONTE: AUTORES (2023)

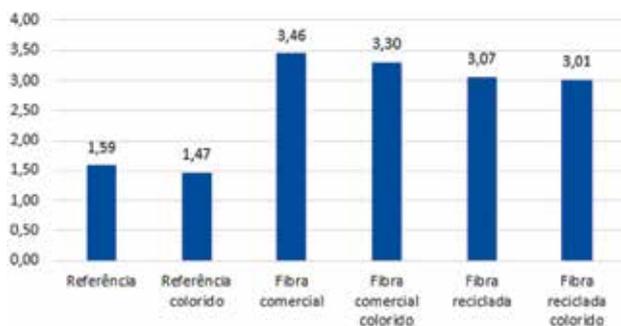


FIGURA 6
RESULTADOS DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO
AOS 28 DIAS
FONTE: AUTORES (2023)

do teor de fibras na resistência à tração por compressão diametral do concreto.

Pils *et al.* (2019) observaram que a mistura de concreto que registrou a maior resistência à tração por compressão diametral foi aquela com uma adição mínima de fibras, alcançando um valor de 1,46 MPa após 28 dias. Surpreendentemente, a presença de uma quantidade reduzida de fibras nessa composição resultou em apenas um ganho marginal de resistência, aproximando-se da resistência observada na mistura de referência, sem fibras. Em relação aos traços elaborados pelos autores, a dinâmica de resistência segue a mesma lógica evidenciada na compressão axial. Mesmo com o dobro da quantidade de fibras em relação ao traço 1, o traço 2 apresentou uma resistência inferior.

Para a tração na flexão, a adição de fibras melhorou o desempenho do concreto. O concreto com fibra comercial teve um desempenho superior, no entanto, o concreto com fibra reciclada ainda apresentou um aumento de mais de 90% em resistência,

como mostrado na Figura 6 e na Tabela 10.

A comparação entre as médias de resistência aos 28 dias, obtidas para cada traço, foi realizada por meio da Análise de Variância (ANOVA), aplicada em um experimento com fator único (adição de fibras no concreto). Os resultados da ANOVA estão resu-

midados na Tabela 11, onde foi adotado um nível de significância de 5%. Foi observado um valor P inferior ao nível de significância, permitindo assim a rejeição da hipótese nula, H_0 , para o concreto referência sem corante. Isso indica que há uma forte evidência de que a adição de fibras no concreto influencia sua resistência à tração por compressão diametral, com um nível de confiança de 95%.

O resultado da ANOVA sugere que a presença de fibras não exerce uma influência significativa na resistência à tração na flexão do concreto pigmentado. A adição de pigmentos à mistura pode afetar a fluidez da pasta de cimento, impactando a dispersão e aderência das fibras. Além disso, os pigmentos podem ocupar espaços entre os agregados, interferindo na compactação do concreto e na integração das fibras. Essas alterações na distribuição e organização das fibras podem resultar em uma distribuição mais heterogênea das tensões na matriz de concreto, o que potencialmente reduziria o efeito benéfico das fibras na resistência à tração na flexão.

No ensaio de tração na flexão realizado por Lucena (2017), observou-se que a diferença de valores entre 0% e 1% de fibras de polipropileno foi de 8,88%, entre 1% e 2% foi de 3,19%, e entre 0% e 2% foi de 11,79%. Esses resultados indicam um efeito relativamente modesto em termos de resistência à tração por flexão ao se utilizar teores elevados de fibras.

Bonicelli *et al.* (2015) conduziram uma pesquisa para avaliar o impacto de diferentes níveis de compactação e da adição de areia nas propriedades do concreto permeável. Os resultados indicaram que a incorporação de aproximadamente 5% da massa total de agregado de areia resultou em melhorias nas propriedades mecânicas, com um notável aumento de até 75% na resistência à tração. No entanto, houve uma redução na permeabilidade, embora isso não tenha comprometido a capacidade de drenagem do concreto. A não utilização de areia no concreto permeável nessa pesquisa é atribuída ao fato de que a areia tradicionalmente adicionada ao concreto convencional pode diminuir sua permeabilidade. No entanto, o concreto permeável é projetado especificamente para permitir a passagem de água através de sua estrutura porosa, facilitando a drenagem e reduzindo o acúmulo de água na superfície. Portanto, ao adicionar areia ao concreto permeável, pode-se comprometer sua capacidade de drenagem devido à diminuição da porosidade e, conseqüentemente, da permeabilidade.

No estudo conduzido por Guimarães *et al.* (2011) sobre a resistência à tração na flexão, os resultados indicaram que o melhor desempenho em concreto permeável foi alcançado com um teor de fibras de 1%. Eles destacaram a possibilidade de os poros estarem conectados pelas fibras, o que contribui para aprimorar a capacidade de flexão residual, especialmente em situações de maior porosidade. Isso sugere que a presença das fibras pode melhorar a coesão da matriz de concreto permeável, proporcionando uma rede de reforço que aumenta sua capacidade de suportar cargas de flexão, mesmo em condições de maior porosidade.

No ensaio de resistência à tração na flexão no trabalho de Pils *et al.* (2019), o traço com uma alta adição de fibras registrou a maior resistência aos 28 dias, totalizando

TABELA 10
RESULTADOS DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO AOS 28 DIAS

	Ref. cinza	Ref. colorido	Cinza com fibra comercial	Colorido com fibra comercial	Cinza com fibra reciclada	Colorido com fibra reciclada
Média	1,59	1,47	3,46	3,30	3,07	3,01
DP	0,00	0,06	0,47	0,68	0,16	0,45
CV	0	4,07	13,60	20,59	5,22	14,95

FONTE: AUTORES (2023)

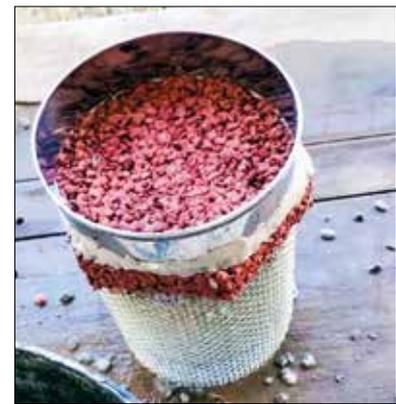
TABELA 11

ANOVA RESULTADOS A TRAÇÃO NA FLEXÃO AOS 28 DIAS

Sem corante						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	3,870479	2	1,935239	11,77886	0,037966	9,552094
Dentro dos grupos	0,492893	3	0,164298	—	—	—
Total	4,363372	5	—	—	—	—

Com corante						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	2,55355	2	1,276775	8,837466	0,055273	9,552094
Dentro dos grupos	0,433419	3	0,144473	—	—	—
Total	2,986969	5	—	—	—	—

Fonte: AUTORES (2023)

**FIGURA 7**

ENSAIO DE INFILTRAÇÃO AOS 28 DIAS

Fonte: AUTORES (2023)

2,92 MPa. Os pesquisadores concluíram que o aumento da resistência ocorreu de maneira proporcional à quantidade de fibras adicionadas. Surpreendentemente, ao contrário do que foi observado nos ensaios de compressão, o traço que continha a maior concentração de fibras (4 kg/m³) demonstrou a maior resistência à tração na flexão. Este resultado pode indicar que a adição de fibras tem um efeito mais significativo na resistência à tração na flexão do que na compressão axial. De acordo com a NBR 16416 (ABNT, 2015), à exceção do traço com uma adição mínima de fibras, os demais atenderam aos requisitos de resistência mecânica estabelecidos por esta norma, o que destaca a eficácia das fibras na melhoria das propriedades do concreto permeável.

A melhoria do desempenho na tração por flexão, ao adicionar fibras, pode

ser atribuída à ação das macrofibras após o surgimento das fissuras, atuando como uma espécie de armadura que reforça a região da fissura (PILS *et al.*, 2019). Esse fenômeno, conhecido como efeito de pós-fissuração, é característico das fibras de reforço e contribui para a redistribuição das tensões na matriz do concreto, retardando a propagação das fissuras e aumentando a capacidade de carga da estrutura mesmo após o início da fratura. Isso resulta em uma resistência superior à tração por flexão, especialmente em condições de maior porosidade e deformação, como as encontradas no concreto permeável.

A inclusão de fibras em pavimentos de concreto permeável moldado no local proporciona uma melhoria significativa na propriedade mais relevante para atender aos

requisitos da NBR 16416 (ABNT, 2015), que é a resistência à tração na flexão. Além disso, a diminuição da permeabilidade com o aumento da quantidade de fibras sugere que os teores devem ser mantidos abaixo de 4 kg/m³ para garantir uma adequada drenagem e permeabilidade do pavimento. Encontrar o equilíbrio entre a resistência mecânica e a capacidade de drenagem é essencial para o desempenho eficaz do concreto permeável em aplicações de pavimentação.

As macrofibras, que são fibras longas com comprimento igual ou superior a duas vezes o tamanho do agregado, têm a capacidade de “abraçar” os agregados na estrutura após o início da fissuração por flexão. Esse abraçar dos agregados permite uma melhor transferência de tensões através da fissura, o que contribui para uma maior resistência à tração na flexão. Por outro lado, fibras com dimensões inferiores ao dobro do tamanho do agregado podem não

TABELA 12

PERMEABILIDADE DOS TRAÇOS DE CONCRETO

CP	Tempo de ensaio (s)	Massa de água infiltrada (kg)	Taxa de infiltração (mm/h)	Taxa de infiltração (m/s)	Permeabilidade
Referência	59,32	18	34771,57	0,0097	Alta
Referência colorido	97	18	21264,43	0,0059	Alta
Cinza com fibra comercial	54,6	18	37777,47	0,0105	Alta
Colorido com fibra comercial	78,35	18	26326,10	0,0073	Alta
Cinza com fibra reciclada	36,52	18	56480,00	0,0157	Alta
Colorido com fibra reciclada	92,23	18	22364,19	0,0062	Alta

Fonte: AUTORES (2023)

TABELA 13

VALORES TÍPICOS DE PERMEABILIDADE DE SOLOS

Informações técnicas		
$> 10^{-3}$	Alta	Brita
10^{-3} a 10^{-5}	Média	Areia de brita, areia limpa, areia fina
10^{-5} a 10^{-7}	Baixa	Areia, areia suja e silte arenoso
10^{-7} a 10^{-9}	Muito baixa	Silte, silte argiloso
$> 10^{-9}$	Praticamente impermeável	Argila

FONTE: ABNT (2015)

ser tão eficazes na transferência de tensões, pois sua capacidade de atravessar e reforçar a fissura é reduzida. Portanto, a escolha das fibras adequadas em termos de comprimento é crucial para garantir o reforço eficaz do concreto permeável em aplicações de pavimentação.

No que diz respeito à taxa de infiltração dos corpos de prova (Figura 7), o traço contendo fibra reciclada apresentou um desempenho superior, conforme Tabela 12.

Ao analisar os corpos de prova, observou-se uma aglomeração significativa das fibras, o que pode ter influenciado nesse resultado. Apesar da aglomeração das fibras, é importante ressaltar que todas as amostras ainda apresentam uma taxa de infiltração elevada, a qual pode ser comparada à taxa de infiltração do agregado graúdo na Tabela 13.

Kakooei *et al.* (2012) demonstra, por meio de ensaios experimentais, que amostras de concreto com fibras de polipropileno apresentam menor permeabilidade em comparação com as amostras sem fibras, devido à capacidade das fibras de prevenir o crescimento de fissuras no concreto por meio da formação de pontes de ligação.

Em relação à permeabilidade, o NCPTC (2006) considera valores entre 0,0254 e 0,6096 cm/s como indicativos de um concreto permeável, enquanto a ACI 522R-06 (2006) tipifica valores entre 0,0135 e 0,122 cm/s para essa categoria. A inclusão de agregados miúdos em concretos pode

ser uma opção viável para aprimorar as resistências mecânicas, especialmente quando os coeficientes de permeabilidade das misturas apresentam valores mais elevados. A composição granulométrica do agregado exerce uma influência mais significativa na permeabilidade do que o seu tamanho. O aumento da proporção de finos resulta em uma redução da permeabilidade, ao mesmo tempo em que aumenta a resistência à compressão e à flexão. Essas características tornam o material adequado para pavimentação em áreas com tráfego leve.

Pils *et al.* (2019) relatam que o coeficiente de permeabilidade foi mais elevado no traço com pouca adição de fibra. Nos traços com adição de 2 kg/m³ e 4 kg/m³ de fibras de polipropileno, a permeabilidade foi menor. O traço com a maior adição de fibra obteve a menor permeabilidade ($k=0,0996$ cm/s), enquanto o traço com a menor adição teve uma permeabilidade de 0,1237 cm/s, sendo este o valor mais alto entre os traços. De acordo com o NCPTC, os três traços estão dentro dos padrões de permeabilidade para o concreto permeável.

4. CONCLUSÕES

Ao analisar os resultados obtidos nos ensaios realizados, destacamos que o traço referência colorido se sobressaiu como o mais eficiente aos 28 dias. Observou-se que a inclusão de fibras, conforme previsto na literatura, tendeu a reduzir a resis-

tência à compressão. Esse fenômeno foi evidenciado pela análise dos corpos de prova após a ruptura, onde as fibras dificultaram o processo de amassamento do concreto, já naturalmente com uma trabalhabilidade limitada, resultando em aglomerados em algumas regiões do material e gerando pontos de fragilidade que culminaram em zonas de fratura, especialmente no concreto com fibra reciclada. Esses resultados sublinham a importância de um meticuloso processo de adição de fibras e uma confecção que assegure uma mistura mais homogênea.

Em relação à resistência à tração por compressão diametral, constatamos que os corpos de prova com fibras apresentaram aproximadamente 80% da resistência do concreto referência, destacando-se o concreto colorido com fibra reciclada, que obteve o melhor desempenho. Quanto à tração na flexão, verificou-se uma melhoria significativa com a adição de fibras, com o concreto contendo fibra comercial demonstrando o melhor resultado. No entanto, o concreto com fibra reciclada ainda exibiu um aumento de mais de 90% em resistência.

Quanto à taxa de infiltração dos corpos de prova, observou-se um desempenho superior no traço contendo fibra reciclada, possivelmente devido à aglomeração significativa das fibras nos corpos de prova. É importante ressaltar que, apesar dessa aglomeração, todas as amostras ainda apresentaram uma taxa de infiltração elevada, comparável à taxa de infiltração da brita. Esses resultados indicam a viabilidade e a eficácia do uso de fibras na composição do concreto permeável, enfatizando a necessidade de considerações específicas no processo de adição das fibras para otimização do desempenho do material. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BONICELLI, A.; GIUSTOZZI, F.; CRISPINO, M. Experimental study on the effects of fine sand addition on differentially compacted pervious concrete. *Construction and Building Materials*, v. 91, p.102-110, 2015.
- [2] GUIMARÃES, D.; SILVA FILHO, L. C. P. DA; PACHECO, A.R. Pisos industriais em concreto armado: determinação de teores ótimos de fibras de aço e polipropileno em ensaios mecânicos. In: IBRACON, 2011, Florianópolis – SC. Anais do 53º Congresso Brasileiro do Concreto. Porto Alegre – RS, 2011.
- [3] KAKOOEI, S.; AKIL, H.M.; JAMSHIDI, M.; ROUHI, J. The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures. *Construction and Building Materials*, v. 27, p. 73 – 77, 2012.
- [4] LUCENA, J. C. T. Concreto reforçado com fibras de polipropileno: estudo de caso para aplicação em painel alveolar de parede fina. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- [5] PILS, S. E. *et al.* Concretos drenantes: estudo de dosagem e adição de fibras de polipropileno. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 12, p. 101-121, 2019.

Análise comparativa de custos entre pavimentos rígidos e flexíveis

MICHELE AUGUSTO DE OLIVEIRA - ENG.^º M.Sc. - <https://orcid.org/0009-0000-9232-9409> (michele.aug@hotmail.com) ;
RAFAEL COSTA PAIXÃO FERNANDES - ENG.^º M.Sc. - <https://orcid.org/0009-0000-7780-0856> (rafaelpaixao95@gmail.com) ;
RONALDO FEU ROSA PACHECCO - PROF. DR. - <https://orcid.org/0009-0006-7386-3087> (ronaldo@ifes.edu.br) | **IFES**

RESUMO

A PREDOMINÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL NA MALHA RODOVIÁRIA BRASILEIRA E A MÁ CONSERVAÇÃO DAS VIAS OCASIONAM IMPACTOS SIGNIFICATIVOS AO DESENVOLVIMENTO URBANO DAS CIDADES E TORNAM IMPRESCINDÍVEL O ESTUDO DE NOVAS SOLUÇÕES DE PAVIMENTAÇÃO EM SUBSTITUIÇÃO AO PAVIMENTO DE CONCRETO BETUMINOSO. REALIZOU-SE A ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO ENTRE OS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E RÍGIDOS PARA UMA VIA DE ALTO TRÁFEGO LOCALIZADA EM VITÓRIA/ES. COMPARADAS AS ESTRUTURAS DE CADA TIPO PAVIMENTO, FORAM CONFRONTADOS OS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E CICLO DE VIDA DE CADA SOLUÇÃO. AO FINAL DO ESTUDO, CONCLUIU-SE QUE A IMPLANTAÇÃO DO PAVIMENTO RÍGIDO É VIÁVEL QUANDO COMPARADA AO PAVIMENTO FLEXÍVEL PARA TRÁFEGOS ELEVADOS E APRESENTANDO-SE ECONOMICAMENTE MAIS VANTAJOSA QUANDO LEVADO EM CONSIDERAÇÃO OS CUSTOS DE REABILITAÇÃO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL PARA UMA VIDA ÚTIL DE 20 ANOS.

PALAVRAS-CHAVE: PAVIMENTO RÍGIDO, PAVIMENTO DE CONCRETO, PAVIMENTO FLEXÍVEL, COMPARATIVO, CUSTO.

1. INTRODUÇÃO

A pavimentação é parte essencial da infraestrutura rodoviária de qualquer país, contribuindo efetivamente para o seu crescimento econômico por proporcionar o deslocamento de pessoas e mercadorias, refletindo no desenvolvimento social (CAVALET, 2019).

De acordo com a Confederação Nacional de Transporte, no Brasil a matriz de transporte tem uma participação expressiva do modal rodoviário, que concentra cerca de 65% da movimentação de mercadorias e de 95% da de passageiros, ressaltando assim a importância de que apresente condições adequadas de desempenho e utilização (CNT, 2021).

Estima-se que cerca de 99% das rodovias são construídas em pavimento flexível, ou seja, o material principal do seu revestimento é o asfalto. Esse tipo de pavimento possui uma vida útil, com correta manutenção periódica, de 8 a 12 anos. Porém, é comum encontrarmos rodovias brasileiras deterioradas antes deste prazo de utilização (CNT, 2021).

Ainda segundo a CNT, em pesquisa realizada em cerca de 1.745km de rodovias pavimentadas no Espírito Santo, foi levantado que 67,7% das rodovias apresentam problemas em seu estado geral e foram classificadas como péssimas, ruim ou em situação regular (CNT, 2017). E essa degradação aumentou nos últimos anos, sendo que no período de 2021 a 2022 cresceu em 50% (CNT, 2023).

Por elevar a qualidade das vias no que diz respeito aos critérios de ordem técnica e no que diz respeito a custo durante a vida útil do projeto, o pavimento rígido leva vantagem na implantação para tráfego de veículos mais pesados (ALVARENGA, 2013).

Para análise e caracterização da estrutura em pavimento rígido foi realizado o Estudo de Caso do projeto de Reabilitação da Avenida Vitória, localizada em Vitória/ES, onde levantaram-se os dados característicos do local, o dimensionamento do pavimento rígido pelo método PCA/84 e os métodos executivos. Utilizando-se dos dados obtidos do local de implantação por meio do estudo de caso, dimensionou-se o pavimento flexível aplicável pelo método do DNER-DNIT. Com os dois dimensionamentos, realizou-se o comparativo das estruturas e custos, finalizando com a identificação do melhor tipo de pavimentação em relação ao custo-benefício.

2. TIPOS DE PAVIMENTO

O pavimento é a estrutura construída após a terraplenagem e destinada resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos do tráfego, bem como melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e ao conforto e resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando

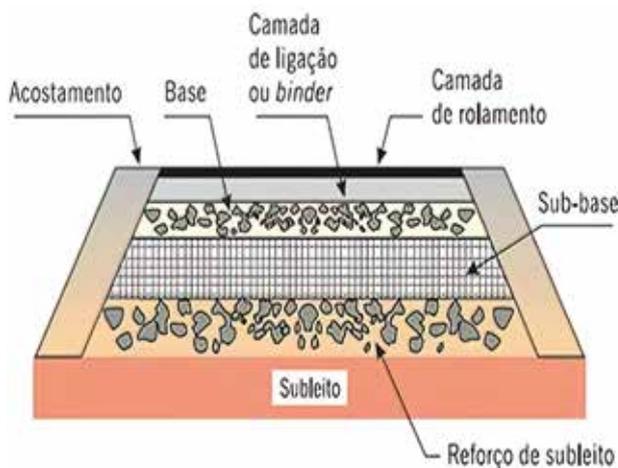


FIGURA 1

ESTRUTURA PAVIMENTO FLEXÍVEL

FONTE: BALBO, 2007

mais durável a superfície de rolamento (DNIT, 2022)

Segundo o DNIT (2022), os pavimentos são classificados como flexível, semirrígido e rígido, tendo como definição:

- ▶ **Flexível:** aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado;
- ▶ **Semirrígido:** caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias;
- ▶ **Rígido:** aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado.

2.1 Pavimento flexível

Os pavimentos asfálticos são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos e que são formados por camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito (BERNUCCI, 2008).

De acordo com o DNIT (2022), temos as seguintes definições:

- ▶ **Subleito:** É o terreno de fundação do pavimento;
- ▶ **Sub-base:** É a camada complementar à base, quando por circunstâncias técnico-econômicas não for aconselhável construir a base diretamente sobre regularização;
- ▶ **Base:** É a camada destinada a resistir e distribuir os esforços oriundos do tráfego e sobre a qual se constrói o revestimento;
- ▶ **Revestimento:** É a camada que recebe diretamente os esforços provenientes das ações dos veículos e tem a finalidade de promover conforto e segurança para os veículos que trafegam sobre ela.

Apresenta-se na Figura 1 a representação por camadas da estrutura do pavimento flexível.

No Brasil, o concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) é um dos tipos mais utilizados e trata-se do produto da mistura proporcional de agregados (britas) de vários tamanhos e cimento asfáltico, ambos aquecidos em temperaturas previamente escolhidas, em função da

TABELA 1

ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO BETUMINOSO

Número N	Espessura mínima de revestimento betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,5 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

FONTE: DNIT (2006)

característica viscosidade-temperatura do ligante (BERNUCCI, 2008).

De acordo com Bernucci et al., os materiais que são mais utilizados na pavimentação para a composição de base e sub-base são: brita graduada simples (BGS) e bica ou brita corrida; macadame hidráulico; macadame seco; misturas estabilizadas granulometricamente (estabilizadas por combinação de materiais para atender certos requisitos ou mecanicamente), solo-agregado, solo natural e solo melhorado com cimento ou cal (BERNUCCI, 2008).

Existem inúmeros métodos para o dimensionamento dos pavimentos flexíveis, porém o mais consagrado no Brasil é o do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) (CAVALET, 2019).

Para determinação das espessuras das camadas estruturais dos pavimentos flexíveis, inicialmente, segundo o método, é necessária a determinação dos coeficientes de equivalência estrutural que correlacionam empiricamente a resistência dos materiais empregados no pavimento com a de um material granular tomado como padrão de referência ($K = 1,0$). Para a base de brita graduada simples (BGS) e para o revestimento de concreto betuminoso, os coeficientes são respectivamente 1,0 e 2,0 (DNIT, 2022).

O método DNER apresenta também a espessura mínima de revestimento betuminoso necessário para a proteção da camada de base e evitar a ruptura do próprio revestimento dos esforços provenientes do tráfego nas vias. Apresenta-se na Tabela 1 as espessuras mínimas de revestimento betuminoso.

Ainda de acordo com o procedimento contido no manual de pavimentação

do DNIT (DNIT, 2022), a espessura total da estrutura de pavimento é determinada por meio da correlação de N (número de solicitações de eixos equivalente ao eixo padrão de 8,2t) e o ISC do subleito, de acordo com a Equação 1:

$$[1] \quad H_t = 77,67 \times N^{0,0482} \times ISC^{-0,598}$$

Para a determinação das espessuras de base e sub-base, o manual do DNIT determina que o ISC da base, para efeitos de dimensionamento, seja igual a 20, mesmo essa apresentando valores maiores nos ensaios.

Com base nesta premissa e com o valor da espessura mínima de revestimento betuminoso, apresentado anteriormente, as camadas são determinadas de acordo com as Equações 2 e 3, onde R é a espessura do revestimento, B é a espessura da camada de base, H20 sendo a espessura necessária para a proteção da camada de sub-base, SB a espessura da camada de base e K representando os coeficientes de equivalência estrutural de cada tipo de material (DNIT, 2022).

$$[2] \quad R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20}$$

$$[3] \quad R \times K_R + B \times K_B + SB \times K_{SB} \geq H_n$$

2.2 Pavimento rígidos

Os pavimentos de concreto (rígido) são aqueles nos quais o revestimento é executado com concreto (produzido com agregados e ligantes hidráulicos), tendo variadas técnicas de manipulação e elaboração do concreto, como pré-moldados ou produzidos in loco (BALBO, 2016).

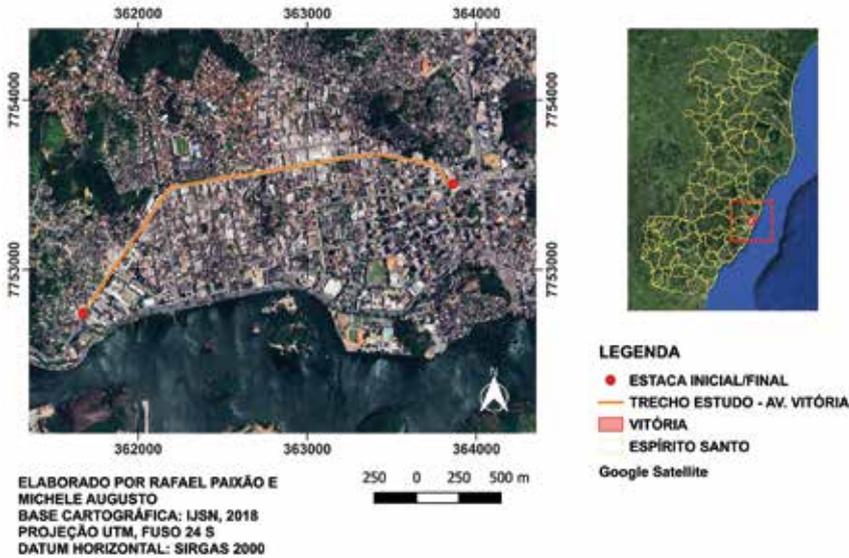


FIGURA 2
 MAPA DE LOCALIZAÇÃO
 FONTE: AUTOR

No Brasil, para o dimensionamento dos pavimentos rígidos, geralmente se utiliza a metodologia da *Portland Cement Association* (PCA) de 1984, recomendada pela ABCP (CAVALET, 2019).

O método da PCA/1984 é um método empírico-mecanístico de dimensionamento de pavimentos de concreto que emprega a lei de Miner para avaliação mecanicista e utiliza modelos de desempenho por fadiga do concreto e de erosão das placas de concreto de cimento Portland (CCP). Os ábacos para determinação das tensões atuantes foram elaborados com base no cálculo de tensões por meio de Métodos de Elementos Finitos (MEF), que permite a análise das placas como elementos de dimensões finitas. Utiliza também a análise do grau de transferência de carga nas juntas transversais, os efeitos da existência ou não de acostamentos de concreto, a contribuição estrutural das sub-bases de concreto rolado ou sub-bases tratadas com cimento, a ação dos eixos tandem triplos; e introduz o modelo de ruína por erosão de fundação do pavimento, o qual inclui o modelo de ruína por formação de degraus ou escalonamento nas juntas transversais, usando-o concomitantemente com o tradicional modelo de fadiga (SANTOS, 2011).

2.3 Outros elementos necessários para análise dos pavimentos

Os principais parâmetros de entrada para dimensionamento dos pavimentos são: o Tráfego – caracterizado pelo número de solicitações impostas ao pavimento pelo eixo-padrão que deu origem à curva de dimensionamento e a Capacidade de Suporte do Subleito (CBR) – medido pelo ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR) (SANTOS, 2011).

O ensaio de CBR consiste na determinação da relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo de prova de solo, e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa brita padronizada (DNIT, 2022).

A partir do conhecimento dos

TABELA 2
 COORDENADAS UTM

Estaca	X	Y
Inicial	363.863,65	7.753.505,43
Final	361.674,35	7.752.742,17

FONTE: AUTOR

volumes de tráfego, da classificação da frota e das cargas atuantes por eixo, deve-se definir o parâmetro de tráfego correspondente ao número “N”, necessário ao dimensionamento dos pavimentos de uma rodovia, o qual é definido pelo número de repetições de um eixo-padrão de 8,2 t (18.000 lb ou 80 kN), durante o período de vida útil do projeto (DNIT, 2006).

3. ESTUDO DE CASO

O comparativo entre a utilização do pavimento rígido em relação ao pavimento flexível foi realizado com base no projeto de Reabilitação da Avenida Vitória, localizada na capital do Espírito Santo, no trecho situado entre o Centro de Vitória e o Bairro Bento Ferreira. O estudo teve enfoque na comparação do custo de implantação dos dois tipos de pavimentos, através de planilhas orçamentárias, utilizando as tabelas referenciais de preço para determinação dos

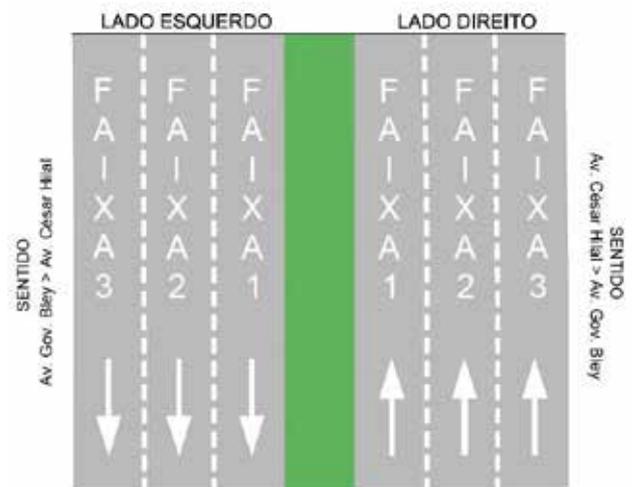


FIGURA 3
 ESQUEMA GEOMÉTRICO AVENIDA VITÓRIA
 FONTE: AUTOR

custos para cada tipo de solução. Como recursos necessários para o desenvolvimento do comparativo, foram utilizados os softwares AutoCad Civil 3D, Microsoft Excel e Google Earth Pro.

Apresenta-se na Figura 2 o mapa de localização do projeto de reabilitação da Avenida Vitória.

A Tabela 2 apresenta as coordenadas no sistema *Universal Transversa de Mercator* (UTM) da estaca inicial e final do trecho estudado na Avenida Vitória.

3.1 Características geométricas

A via do presente estudo apresenta extensão de 2,62 km, com três faixas de rodagem em cada sentido de tráfego, com largura de 3,0 m, sendo as faixas 1 e 2 as faixas internas executadas em pavimento flexível, destinadas para o tráfego de carros pequenos, e a faixa 3 sendo destinada ao tráfego de ônibus e caminhões. Com enfoque no dimensionamento da estrutura de pavimentação da faixa 3 utilizando o dimensionamento pelo método PCA/84 para os pavimentos rígidos e pelo método do DNER para o dimensionamento dos pavimentos flexíveis.

Apresenta-se na Figura 3 o Esquema Geométrico utilizado na Avenida Vitória.

3.2 Características subleito

Para a determinação da estrutura dos pavimentos foi necessária a determinação do Índice de Suporte Califórnia (ISC) do subleito, por meio dos ensaios de caracterização físico e mecânicos dos materiais presentes no subleito, previstos na IS-206 - Estudos Geotécnicos do DNIT e foi determinado um ISC de projeto de 8%.

3.3 Determinação do número N

Para determinação do número "N" da faixa 3, utiliza-se a Equação 4 presente na Instrução de Projeto 02/2004 da Prefeitura Municipal de São Paulo, onde $P =$ Vida de projeto [anos] = 10 anos, $V_0 =$ Volume inicial de veículos comerciais (caminhões/ônibus) [veículos] = 2.000 e $e =$ Equivalente/veículo [adimensional] = 5,9, cujo resultado leva

a obtenção de N (Equação 5).

$$[4] \quad [N = 365 \times P \times V_0 \times 1,30 \times e]$$

$$[5] \quad N = 365 \times 10 \times 2000 \times 1,30 \times 5,9 = 5,6 \times 10^7$$

Para a faixa 3 de projeto, adotou-se um valor de tráfego muito pesado, o qual é classificado pela IP 02/2004 PMSP, como: ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em número de 1001 a 2000 por dia, na faixa de tráfego mais solicitada, caracterizada por número "N" típico superior a 5×10^7 solicitações do eixo simples padrão (80 kN).

3.4 Dimensionamento da estrutura do pavimento flexível

Com o uso do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNER (Eng. Murillo Lopes de Souza), calcula-se a estrutura das camadas de pavimentação tal como abaixo apresentado:

a) Espessura do revestimento betuminoso

Para vias com $N \geq 5 \times 10^7$, que é o caso da via estudada, o DNIT determina a espessura de 12,5 cm.

b) Espessura total do pavimento

Considerando-se que $ISC = 8\%$ e $N = 5,6 \times 10^7$, aplicado na equação 1, obtém-se a Equação 6.

$$[6] \quad \begin{aligned} H_i &= 77,67 \times N^{0,0482} \times ISC^{-0,598} \\ H_i &= 77,67 \times 5,6 \times 10^7^{0,0482} \times 8^{-0,598} \\ &= 52,93 \text{ cm} = 53 \text{ cm} \end{aligned}$$

c. Espessura sobre a camada de sub-base

Aplicando na equação 1, obtém-se: $H_{20} = 77,67(5,6 \times 10^7)^{0,0482} \times 20^{-0,548} = 30,59 \text{ CM} = 31 \text{ CM}$ [7] e aplicando o resultado da equação 7 na equação 2, resulta-se: $12,5 \times 2 + B_1 \geq 31 \geq B > = 31 - 12,5 \times 2 = 6 \text{ cm}$.

Porém, como a espessura mínima exigida pelo DNIT para a base é de 15 cm, $B = 15 \text{ cm}$.

d. Espessura sobre a camada de subleito

Aplicando os resultados das equações 6 e 7 na equação 3, obtém-se $12,5 \times 2 + 15 \times 1 + SB \times 1 \geq 53 \geq SB > = 53 - 12,5 \times 2 - 15 = 13 \text{ cm}$.

Porém, como a espessura mínima

TABELA 3

SOLUÇÃO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL

Camada	Espessura (cm)
Revestimento (CBUQ)	12,50
Base (brita graduada simples)	15,00
Sub-base (brita graduada simples)	15,00

Fonte: Autor

TABELA 4

NÚMERO DE REPETIÇÕES DE EIXO EM FUNÇÃO DA CARGA - FAIXAS 3

Eixo	Carga (kN)	Nº de repetições
Simplex	63,00	25.345.054
Simplex	105,00	3.922.449
Tandem duplo	178,50	16.240.003
Tandem triplo	267,75	120.691

Fonte: Autor

exigida pelo DNIT para a sub-base é de 15 cm, $SB = 15 \text{ cm}$.

e. Resumo da solução do pavimento

Apresenta-se na Tabela 3 a compilação dos resultados das camadas de pavimento flexível.

3.5 Dimensionamento da estrutura do pavimento rígido

Apresenta-se a seguir o dimensionamento utilizado no estudo de caso da Avenida Vitória para determinação da estrutura do pavimento rígido pela metodologia e procedimentos contidos na PCA/84 (PCA, 1984). Utilizou-se a vida útil de

TABELA 5

RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO DA PLACA DE CONCRETO - FAIXAS 3

Espessura da placa (cm)	Consumo de fadiga (%)	Danos por erosão (%)
23	0,00	160,70
24	0,00	91,70

Fonte: Autor

TABELA 6

SOLUÇÃO DE PAVIMENTO RÍGIDO

Camada	Espessura (cm)
Concreto Cimento Portland (CCP)	24,00
Sub-base – CCR	10,00

FONTE: AUTOR

projeto de 20 anos e o coeficiente de recalque de 133 MPa/m. Apresenta-se na Tabela 4 as cargas de solicitações do pavimento.

No dimensionamento do pavimento de concreto são considerados os danos por fadiga e dano por erosão. Como critério da fadiga considera as tensões de tração por flexão que passam a ser produzidas pela passagem de carga

tangenciando a borda longitudinal, e não mais a junta transversal. O dano por erosão corresponde a perda de material do topo da camada imediatamente sob a placa de concreto, por ação combinada da água e da passagem das cargas pesadas.

Apresentam-se, na Tabela 5, os valores das tensões obtidas para o presente estudo de caso, considerando uma

TABELA 7

QUANTITATIVO DE SERVIÇOS DE EXECUÇÃO PAVIMENTO FLEXÍVEL

Código	Descrição abreviada	Unidade	Quantidade	Custo total
5501706	Escavação material de 1ª categoria	m ³	4.227,53	35.595,80
5503041	Compactação de aterros a 100% PI	m ³	1.989,43	20.073,34
4011276	Base ou sub-base de BGS	m ³	2.984,14	748.302,94
4011352	Imprimação com emulsão asfáltica	m ²	9.318,33	4.752,34
4011353	Pintura de ligação	m ²	18.636,66	6.522,83
4011463	Cbuq faixa C	T	2.795,50	668.040,63
ANP	Fornecimento de EAI	T	11,8	37.246,39
ANP	Fornecimento de emulsão RR-1C	T	7,45	23.527,84
ANP	Fornecimento de Cap-50/70	T	153,75	620.033,77
5915407	Carga, manobra e descarga de agregados	T	13.963,29	45.939,22
5914389	Transporte com caminhão basculante	Tkm	361.619,07	358.002,87
5914622	Transporte de material betuminoso	Tkm	93.374,07	208.224,17

FONTE: AUTOR

TABELA 8

QUANTITATIVO DE SERVIÇOS DE EXECUÇÃO PAVIMENTO RÍGIDO

Código	Descrição abreviada	Unidade	Quantidade	Custo total
5501706	Escavação material de 1ª categoria	m ³	1.208,47	10.175,31
5503041	Compactação de aterros a 100% PI	m ³	2.387,67	24.091,59
COMP.	Lona plástica	m ²	11.938,33	29.368,29
4011214	Sub-base de CCR	m ³	1.193,83	373.227,07
4011520	Pavimento de concreto – CCP	m ³	2.550,80	1.655.902,83
3106121	Fôrmas de tábuas de pinho	m ²	1.277,04	147.000,07
4011537	Serragem de juntas	m	2.607,17	57.800,95
407818	Armação em aço CA-25	kg	15.216,86	264.164,68
407819	Armação em aço CA-50	kg	17.761,36	296.792,32
408067	Tela de aço eletrossoldada	kg	3.208,33	54.830,35
4011353	Pintura de ligação	m ²	11.938,33	4.178,41
ANP	Fornecimento de emulsão RR-1C	T	12,58	39.728,89
5915407	Carga, manobra e descarga de agregados	T	2.114,82	6.957,75
5914345	Transp. de concreto com caminhão basculante de 7 m	Tkm	39.539,65	34.004,09
5914569	Transporte com caminhão betoneira	Tkm	84.482,50	68.430,82
5914479	Transporte com caminhão carroceria	Tkm	1.059,09	963,77
5914622	Transporte de material betuminoso	Tkm	6.818,36	15.204,94

FONTE: AUTOR

TABELA 9

QUANTITATIVO DE SERVIÇOS DE EXECUÇÃO REABILITAÇÃO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

Código	Descrição abreviada	Unidade	Quantidade	Custo total
4011480	Fresagem descontínua de revestimento	m ³	492,38	44.762,26
4915667	Remoção mecanizada de revestimento	m ³	12,43	185,82
4915669	Remoção mecanizada de camada granular	m ³	29,84	279,30
4011276	Base ou sub-base de BGS	m ³	218,48	54.786,04
4011352	Imprimação com emulsão asfáltica	m ²	99,47	50,72
4011353	Pintura de ligação	m ²	10.046,60	3.516,31
4011463	Cbuq faixa C	T	1.211,56	289.526,49
ANP	Fornecimento de eai	T	0,12	399,78
ANP	Fornecimento de emulsão RR-1C	T	4,02	12.695,56
ANP	Fornecimento de CAP-50/70	T	66,64	268.741,79
5914352	Carga, manobra e descarga de fresagem	T	2.363,42	12.738,83
5914675	Carga, manobra e descarga de material demolido	T	95,48	358,05
5915407	Carga, manobra e descarga de agregados	T	480,66	1.581,37
5914389	Transporte com caminhão basculante	Tkm	105.458,78	104.404,19
5914622	Transporte de material betuminoso	Tkm	38.350,34	85.521,25

FONTE: AUTOR

estrutura sem acostamentos, assentado em uma camada de sub-base de concreto compactado com rolo (CCR) com espessura de 10,0 cm.

Dessa forma, sendo o consumo total admissível de fadiga 100%, utilizou-se o pavimento de concreto com espessura de 24,0 cm.

Portanto, para determinação dos custos do pavimento rígido foi considerada uma estrutura com placas com dimensões de 5,00 x 3,00 m assentado em uma camada de sub-base de concreto compac-

tado com rolo (CCR), com espessura de 10,0 cm, com juntas com a utilização de barra de transferência em aço CA-25 com Ø32,0 mm, comprimento de 0,46m, espaçadas a cada 0,30 m e barras de ligação com Ø12,5 mm, comprimento de 0,93 m e espaçadas a cada 0,50 m. Devido à existência de dois tipos de soluções de pavimentação, foi utilizada junta de transição entre o pavimento rígido e pavimento flexível.

Apresenta-se na Tabela 6 o resumo da solução do pavimento rígido.

4. RESULTADOS

Para a determinação do custo das estruturas de cada tipo de pavimento foram utilizadas as tabelas referenciais do DNIT apresentada do sistema SICRO com data base de abril de 2023. Os custos dos materiais betuminosos, por sua vez, foram obtidos por meio da Agência Nacional do Petróleo (ANP) com referência dos preços da Região Sudeste de abril de 2023, visto que para o Estado do Espírito Santo não são apresentados valores de referência. Por esse motivo, foi considerado um custo de 12% referente à circulação interestadual de mercadorias, além de bonificação de 15,28% sobre a aquisição de materiais betuminosos.

Devida à diferença entre a vida útil no dimensionamento do pavimento flexível (10 anos) em relação ao pavimento rígido (20 anos), foram considerados serviços de reabilitação do pavimento flexível para que o mesmo atingisse a vida útil de 20 anos. O dimensionamento do reforço de pavimento é regido pelas normas DNER-PRO 011/79 E DNER-PRO 269/94, porém, para realização desse estudo será considerado a fresagem descontínua de 5,00 cm em 100% da área do pavimento e posterior recomposição além de execução de reparo profundo em 1,00% da área total.

COMPARATIVO DE CUSTOS

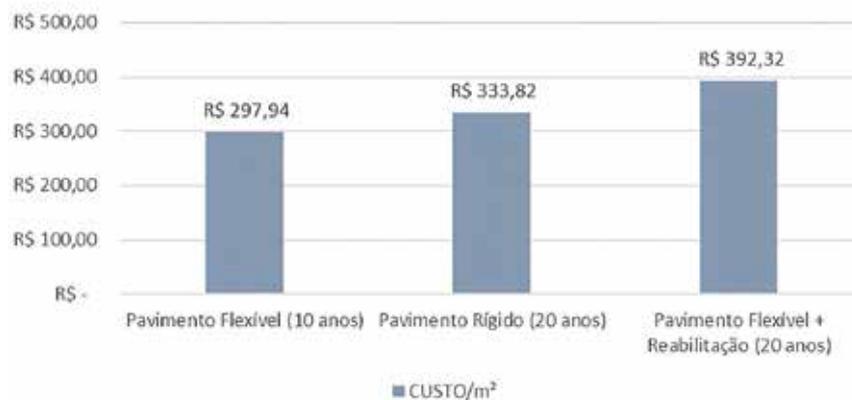


GRÁFICO 1

COMPARATIVO DE CUSTO

FONTE: AUTOR

Na Tabela 7 apresentam-se os serviços utilizados, juntamente com seus quantitativos e custo, para execução dos pavimentos flexíveis baseados na geometria descrita no item 3.1.

A Tabela 8 apresenta os serviços, quantitativos e custo para execução do pavimento rígido baseado também no item 3.1

Apresentam-se na Tabela 9 os quantitativos e custos dos serviços de reabilitação do pavimento flexível para que o mesmo obtenha vida útil de 20 anos.

Os custos totais de implantação de pavimento flexível e do rígido são respectivamente R\$ 2.776.262,14 e R\$ 3.110.606,63. O custo do pavimento flexível passa para R\$ 3.655.809,90 considerando que a reabilitação tem um custo de R\$ 879.547,76. Portanto, para uma vida útil de projeto de 20 anos, o pavimento rígido apresenta uma economia de R\$ 545.203,27 que corresponde a 17,5%, quando comparada ao pavimento flexível. No Gráfico 1, apresenta-se o custo por m² para cada tipo de solução.

A partir dos resultados do Gráfico 1, a solução em concreto asfáltico, para uma vida útil de 10 anos, apresenta um custo aproximadamente 12% inferior ao pavimento rígido.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pavimentação constitui um componente essencial na infraestrutura viária de qualquer país, desempenhando um papel eficaz no fomento do crescimento econômico ao possibilitar a mobilidade de indivíduos e bens, o que se traduz em progresso social.

Buscando novas soluções para o sistema de pavimentação no Brasil, que historicamente utiliza em sua grande maioria da pavimentação com concreto betuminoso (CBUQ), esse estudo teve como objetivo comparar os custos de implantação do pavimento rígido e do pavimento flexível, buscando apresentar a viabilidade econômica de outras soluções.

De acordo com os dados obtidos no estudo, verificou-se que considerando

apenas o custo direto de implantação, o pavimento flexível apresenta economia de 12,0%, aproximadamente R\$36,00/m², com relação ao pavimento rígido, valor esse muito moderado visto que esse pavimento apresenta metade da vida útil quando comparado ao pavimento de concreto de cimento Portland. No cenário onde foi considerado os custos com manutenção e reabilitação do pavimento flexível, o pavimento rígido apresenta uma economia de 17,5%, aproximadamente R\$ 58,50/m².

Sendo assim, para tráfegos pesados a solução em pavimento rígido de concreto se apresenta como uma alternativa viável e competitiva quando comparada com os pavimentos flexíveis na sua implantação e apresenta maior vantajosidade econômica quando levado em consideração os custos de reabilitação do pavimento flexível, devido à sua maior capacidade de resistência a cargas elevadas que, por sua vez, proporciona uma vida útil maior da estrutura do pavimento. ☹

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALVARENGA, LOPES A. T. E. A. V. UNIVERSIDADE DE SÃO FRANCISCO, 2013. Disponível em: <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/3268.pdf>. Acesso em: 11 set. 2023.
- [2] BALBO, José T. Pavimentos de Concreto. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.
- [3] BERNUCCI, Liedi L. B. E. A. Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras, 2008.
- [4] CAVALET, Victor N. et al. Análise comparativa do custo-benefício entre pavimentos flexíveis em concreto asfáltico e pavimentos rígidos em concreto de cimento portland aplicado em rodovia de alto tráfego. Balneário Camboriú, v. 33, 2019. Disponível em: http://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019v1.1%20simpo/Infraestrutura/Dimensionamento%20Avaliacao%20e%20Gestao%20de%20Pavimentos%20III/1_719_AC.pdf.
- [5] CNT: Confederação Nacional de Transporte: Aumento do custo operacional das rodovias do Espírito Santo chega a 37,7%. CNT, Brasília, 29 nov. 2017. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/es-aumento-custo-operacional-transporte-por-problemas-rodovias>. Acesso em: 8 mai. 2023.
- [6] CNT: Confederação Nacional de Transporte: Pesquisa CNT Rodovias 2021. CNT, Brasília, [s.d]. Disponível em: [//static.poder360.com.br/2021/12/pesquisa-cnt-rodovias.pdf](https://static.poder360.com.br/2021/12/pesquisa-cnt-rodovias.pdf). Acesso em: 08 mai. 2023.
- [7] CNT: Confederação Nacional de Transporte: Aumenta em 50% o número de pontos críticos na malha rodoviária brasileira em um ano. CNT, Brasília, 17 jan. 2023. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/aumenta-numero-de-pontos-criticos-na-malha-rodoviaria-brasileira-em-um-ano>. Acesso em: 8 mai. 2023.
- [8] DNIT. Manual de estudo de trafego IPR 723. DNIT, Rio de Janeiro, 15 ago. 2006. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/723_manual_estudos_trafego.pdf. Acesso em: 18 jun. 2023.
- [9] DNIT IPR 714, Departamento N. D. I.-E. D. T.-. Manual de Pavimentos Rígidos- IPR 714. DNIT, Rio de Janeiro, 26 jul. 2005. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/714_manual_de_pavimentos_rigidos.pdf. Acesso em: 18 jun. 2023.
- [10] DNIT, Departamento N. D. I.-E. D. T. Manual de Pavimentação IPR 719. DNIT, RIO DE JANEIRO, 13 maio 2022. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/ipr_719_manual_de_pavimentacao_versao_corrigda_errata_1.pdf. Acesso em: 18 jun. 2023.
- [11] PMSP, Prefeitura M. D. S. P.-. Instrução de Projeto - 02/2004 CLASSIFICAÇÃO DAS VIAS. PMSP, São Paulo, 01 jan. 2004. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/arquivos/SMSO%202018/NORMAS%20TECNICAS%20DE%20PAVIMENTACAO/INSTRUCAO%20DE%20PROJETOS/ip_02_2004_classificacao_das_vias.pdf. Acesso em: 18 jun. 2023.
- [12] SANTOS, Caio R. G. Dimensionamento e análise do ciclo de vida de pavimentos rodoviários: Uma abordagem probabilística, São Paulo, 27 jul. 2011.

O impacto da utilização de bactérias na regeneração de pavimentos de concreto

JÉSSICA W. S. DO NASCIMENTO – Eng.ª M.Sc. – <https://orcid.org/0000-0002-1077-7142> (jessica.souza@acad.ufsm.br) ;
 SABIANA G. M. DOS SANTOS – Eng.ª M.Sc. – <https://orcid.org/0000-0001-5377-2838> | UFSM
 ALLEFY T. SAMPAIO – Eng. M.Sc. – <https://orcid.org/0000-0001-8554-0839> | UPE

RESUMO

O USO DE SUBSTÂNCIAS INERTES TEM SE DIFUNDIDO NOS DIAS ATUAIS COM O INTUITO DE DESENVOLVER UMA CAMADA DIFERENCIADA DE REVESTIMENTO DE CONCRETO COM UM MÉTODO DE REGENERAÇÃO ADICIONADO À SUA COMPOSIÇÃO, POSSIBILITANDO O PROGRESSO TECNOLÓGICO COM AVANÇOS SIGNIFICATIVOS NO RAMO DA PAVIMENTAÇÃO. NESSE CONTEXTO, ESTE ESTUDO VISA INVESTIGAR A CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO EMPREGANDO BACTÉRIAS NO MATERIAL CAPAZES DE GERAR MINERAIS À BASE DE CARBONATO DE CÁLCIO. TESTES-PILOTO FORAM REALIZADOS EM LABORATÓRIO PARA COMPELIR FISSURAS E REFINAR A REGENERAÇÃO UTILIZANDO A ADIÇÃO DE DIFERENTES TEORES 1:2:3, COM MODIFICAÇÃO DE 50% DO AGREGADO GRAÚDO POR ARGILA DILATADA, COM RELAÇÃO A/C DE 0,5. OS RESULTADOS OBTIDOS INDICAM QUE O MÉTODO DE IMPREGNAÇÃO POR SIMPLES SUBMERSÃO É INSUFI-

CIENTE PARA A NECESSÁRIA ABSORÇÃO DE BACTÉRIAS EM FRAGMENTOS DE ARGILA EXPANDIDA. SUGERE-SE, PORTANTO, QUE SEJAM IMPLEMENTADAS AÇÕES NO CICLO DE DOSAGEM DO CONCRETO, POIS ISSO É EXTREMAMENTE IMPORTANTE E PODE COMPROMETER A QUALIDADE DAS BACTÉRIAS.

PALAVRAS-CHAVE: REVESTIMENTO DE CONCRETO, CICATRIZAÇÃO, BACTÉRIAS, BIOMATERIAIS.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, há uma atenção crescente com a sustentabilidade, uma vez que se iniciou a busca por um equilíbrio entre a sociedade, a economia e o meio ambiente nas atividades humanas, e o setor da construção civil não é diferente, com o lançamento de pavimentos sustentáveis se tornando cada vez mais comum [1]. Em

contrapartida, a importância do uso de biomateriais na Engenharia não está tão bem desenvolvida, pois se limita exclusivamente à produção de grandes estruturas de concreto [2].

O concreto de cimento Portland é um dos materiais de construção mais utilizados no mundo e seu uso continua a aumentar na construção moderna, pois é um material rentável e diversificado que pode ser adaptado a inúmeros formatos, além de possuir propriedades altamente atrativas em sua composição. Contudo, esse material deve ser resistente à compressão, dado que estará sujeito a altas cargas distribuídas, e não deve romper em hipótese alguma, visto que a durabilidade dos pavimentos de concreto é substancialmente afetada por fissuras [3]. Desse modo,



FIGURA 1

(A) PROBIÓTICO; (B) REAGENTE UREIA; (C) REAGENTE ACETATO; (D) ARGILA EXPANDIDA

FONTE: AUTORES (2023)



FIGURA 2

MATERIAIS COMPONENTES DO TRAÇO DE CONCRETO

FONTE: AUTORES (2023)

os defeitos no revestimento de concreto ocorrem devido a diversos mecanismos como retração, reações de congelamento e descongelamento e forças mecânicas de compressão e tração [4]. Vale destacar que o aparecimento de defeitos nessas camadas de revestimento de concreto é, no entanto, inevitável, sendo de extrema importância o seu controle [5].

O impacto dos defeitos de durabilidade nas economias nacionais pode ser substancial e reflete-se na grande quantidade de recursos gastos na manutenção e no reparo das camadas de revestimentos de concreto [6]. Acredita-se que a inserção de bactérias específicas na composição do concreto seja suficiente para reparar e interromper alguns tipos de fissuras, bem como porosidades interligadas, o que reduzirá a taxa de absorção de água ao longo do tempo [7]. O material em si tem uma certa capacidade de autorreparo, preenchendo os espaços vazios das fissuras com produtos da hidratação do cimento Portland anidro remanescentes no concreto [8]. Sendo assim, novas tecnologias estão sendo desenvolvidas para aprimorar essa propriedade regenerativa do concreto, que podem ser divididas de acordo com a utilização de quatro tipos de materiais: fibras, retentores de água, agentes cicatrizantes encapsulados e bactérias [9].

Diante dos aspectos observados, esta pesquisa visa investigar uma das soluções sustentáveis a ser implementada em pavimentos de concreto com a utilização de biomateriais em sua composição, por

meio da qual são inseridos na mistura da camada de revestimento capazes de gerar minerais à base de carbonato de cálcio, procedimento que pode ocasionar o selamento de fissuras e impermeabilização da água, além de prevenir falhas com um procedimento de cura interna que seria mais acessível que os convencionais.

2. PROTOCOLO EXPERIMENTAL

Buscando caracterizar o comportamento do caso base, o estudo baseia-se em ensaios experimentais realizados no Laboratório de Pavimentação do Instituto Federal do Amazonas (IFAM) e está dividido em quatro etapas: a primeira consiste nos mecanismos envolvidos na autorregeneração do concreto; a segunda resume os principais métodos envolvidos no desenvolvimento da tecnologia do bioconcreto até o momento atual (precipitação do carbonato de cálcio por meio da hidrólise bacteriana da ureia e a incorporação de esporos bacterianos e compostos orgânicos no concreto); a terceira etapa refere-se à execução de todas as etapas da metodologia experimental, bem como ao sistema adotado para moldagem, cura, indução de fissuras e observação dos corpos de prova; a quarta e última etapa, a análise dos resultados.

2.1 Materiais

Os materiais utilizados nas misturas para a impregnação das partículas de argila expandida foram: probiótico com bac-

térias do gênero *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis* (Figura 1-a), 10 g de ureia (Figura 1-b) e 10 g de acetato de cálcio (Figura 1-c), além de partículas de argila expandida de 6 a 15 mm (Figura 1-d). Também foram impregnadas partículas de vermiculita superfina de 0,4 mm, utilizando as mesmas quantidades de probiótico e nutrientes citadas acima.

Os corpos de prova foram moldados com cimento Portland CP II-Z-32, agregado miúdo do tipo areia média natural de leito de rio, micaxisto ou seixo granulado, vermiculita, água potável fornecida pela companhia distribuidora da região, 50% do agregado grão modificado com partículas de argila expandida (relação a/c igual a 0,5), com diâmetro máximo de 15 mm e 3% de superplastificante em relação à massa de cimento (Figura 2). Fazendo uma pequena ressalva que o ensaio de granulometria dos agregados não foi realizado, uma vez que não foram utilizados diferentes tamanhos máximos nominais característicos.

As partículas de argila foram separadas em dois grupos: impregnadas com suspensão de esporos de bactérias e composto orgânico, e não impregnadas, sendo estas utilizadas para confecção de corpos de prova de controle, que foram utilizados como referência. O mesmo procedimento foi então adotado para as partículas de vermiculita. Os materiais utilizados para este fim foram: betoneira, baldes plásticos, colher de pedreiro, haste metálica cilíndrica e molde cilíndrico com diâmetro interno de 100 mm.

O procedimento de impregnação foi realizado segundo o método proposto por [10]. Para a absorção, foram aquecidos 2L de água a 80°C em um forno de micro-ondas e as partículas de argila expandida foram imersas em água saturada com nutrientes e uma suspensão de esporos bacterianos. Em seguida, elas foram agitadas constantemente com um equipamento de agitação e impregnação antes da adição de nutrientes (10 g de acetato de cálcio e 10 g de ureia). Os esporos foram dispersos 2 minutos antes do agregado miúdo (6-15 mm). Além disso, um processo preliminar de impregnação em partículas de vermiculita foi realizado no laboratório de microbiologia do IFAM para verificar se as bactérias germinariam ou não na presença de nutrientes.

2.2 Métodos

Os corpos de prova com dimensões 10x20 cm foram moldados em formato cilíndrico [11] e desmoldados 24 horas depois, sendo então levados à câmara úmida para cura. O traço inicial foi determinado com base no utilizado por [12] 1:2,42:0,76 em massa, ou 1:2,81:2,81 em volume de cimento, areia e agregado miúdo. Assim, foi aplicado um traço de 1:2:3, com 50% do agregado graúdo substituído por argila expandida e uma relação a/c de 0,5. No entanto, a vermiculita também foi introduzida como agregado miúdo em traço posterior.

Quanto à moldagem dos corpos de prova, devido à incorporação de vermiculita, foi imprescindível reduzir a quantidade de agregado miúdo no traço e o processo na betoneira evidenciou a necessidade de saturação dado ao seu alto consumo de água. Portanto, foi necessário reduzir a proporção de vermiculita quando esta foi incorporada ao agregado miúdo, visto que ela absorve uma quantidade elevada de água.

Dessa forma, como a quantidade de argila expandida disponível era limitada, as quantidades dos outros materiais foram calculadas com base nesse valor. Assim, o traço final de 1:1,75:2,25 utilizou 2,04 kg de cimento, 2,856 kg de areia, 0,714 kg de vermiculita, 2,30 kg de brita, 2,30 kg de argila expandida e 1,02 kg de água, nas proporções em massa de 1:1,40:0,325:1,125:1,125.

As partículas de argila expandida sem impregnação bacteriana foram saturadas com água por 30 minutos antes de serem



FIGURA 3
IMERSÃO DO CORPO DE PROVA IMPREGNADO EM UMA SOLUÇÃO BACTERIANA

FONTE: AUTORES (2023)

inseridas na betoneira, pois sua grande absorção de água pode afetar a hidratação da pasta de cimento, além de que a ausência de saturação pode fazer com que essas partículas flutuem no concreto fresco.

Por fim, foram moldados 8 corpos de prova, 4 dos quais eram bioconcretos, com bactérias impregnadas nas partículas de argila expandida, e 4 corpos de prova de controle, que foram usados como referência. Além disso, 2 amostras foram submetidas à indução de fissuras aos 14 dias, enquanto as demais amostras foram utilizadas para verificar a ação das bactérias e realizar ensaios de resistência à compressão. Após a indução de fissuras

aos 14 dias, o fechamento das fissuras foi verificado visualmente e periodicamente. É importante observar que a germinação de bactérias em partículas de vermiculita mostrou que, na presença de nutrientes, os microrganismos podem se reproduzir e liberar carbonato de cálcio. Portanto, os mesmos foram devidamente protegidos dentro das partículas de agregado miúdo e, por meio da impregnação a vácuo, foi possível que as bactérias sobrevivessem ao processo de dosagem.

2.2.1 IMERSÃO DAS AMOSTRAS EM SOLUÇÕES BACTERIANAS

Aos 21 dias, não foi possível observar a ação das bactérias sobre as fissuras. Por esse motivo, determinou-se que uma amostra impregnada seria parcialmente imersa em uma solução bacteriana para otimizar o processo de cicatrização. É importante salientar, no entanto, que esse fenômeno não seria mais uma autocicatrização e, sim, uma espécie de recuperação da amostra. Desse modo, a composição da solução escolhida foi água, 5 g/L de bactérias, 2,5 g/L de ureia e 1,25 g/L de acetato de cálcio. A amostra parcialmente imersa na solução pode ser visualizada na Figura 3.

2.2.2 PROCESSO DE DESMOLDAGEM DAS AMOSTRAS

Inicialmente, foi determinada a desmoldagem dos corpos de prova 24 horas



A



B

FIGURA 4
(A) DESMOLDAGEM DO CORPO DE PROVA; (B) CPs IMPREGNADOS DE BACTÉRIAS

FONTE: AUTORES (2023)

após a concretagem. No entanto, um dos espécimes de bioconcreto se desintegrou durante o processo de desmoldagem. Este fato pode ter ocorrido devido à inserção de grandes quantidades de superplastificante na mistura (Figura 4-a). Assim, o estado do corpo de prova indicou que as partículas de argila expandida estavam concentradas na parte superior da amostra e a coesão na região central estava seriamente comprometida (Figura 4-b).

Além do mais, a concentração de partículas de argila expandida em uma das extremidades indicou que não houve saturação das mesmas e, portanto, flutuaram para a região superior do corpo de prova. Por esse motivo, apenas os corpos de prova de controle foram desmoldados em 24 horas e as amostras impregnadas restantes em 7 dias.

2.2.3 TESTE DE INDUÇÃO DE FISSURAS

Um dos corpos de prova de controle foi submetido a um ensaio de compressão até o ponto imediatamente anterior à ruptura. O intuito era verificar se seria possível utilizar a prensa hidráulica do laboratório de materiais de construção do IFAM para induzir fissuras nas amostras com segurança (Figura 5-a). Quando foi verificado que as amostras haviam atingido o ponto de ruptura, o carregamento foi removido e foi efetuada uma verificação visual da superfície da amostra, além de realizar o mesmo teste em uma das amostras de bioconcreto (Figura 5-b).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Processo de impregnação, cura e indução de fissuras em Bioconcreto

Nota-se que a quantidade de argila expandida adotada neste estudo foi muito superior à proporção de referência, bem como o uso de brita na composição do agregado graúdo, material não presente anteriormente. Também é importante mencionar que a granulometria da argila adotada por [12] foi de partículas com diâmetros inferiores a 4 mm, enquanto esta pesquisa adotou diâmetros máximos de 9 mm.

Referente aos agregados miúdos, estes devem ser submersos em água por um período de 24 horas antes do uso, pois isso evita que as partículas de argila flutuem na



A



B

FIGURA 5

(A) INDUÇÃO EM UMA AMOSTRA DE CONTROLE; (B) AMOSTRA DE CONTROLE

FONTE: AUTORES (2023)

superfície do concreto. Neste estudo, no entanto, foi adotada uma metodologia em que a argila ficou submersa por apenas 30 minutos na solução, enquanto as amostras de controle ficaram imersas em água pelo mesmo período. Além disso, no trabalho proposto por [12], foi utilizada a impregnação a vácuo, procedimento que otimizou a inserção da solução bacteriana no interior do agregado miúdo. Porém, este estudo não teve acesso a essa tecnologia e adotou um processo simples de imersão, que provou ser suficiente para a impregnação das bactérias nas partículas de argila expandida, o que pode ter mantido as bactérias na superfície do agregado.

Embora a análise de indução das fissuras tenha ocorrido em um período extremamente curto de apenas 30 dias, o resultado foi ideal, pois as trincas foram induzidas por compressão após apenas 14 dias. Ficou evidenciado que houve tempo suficiente para que a ação bacteriana fosse verificada.

Ficou evidente que não houve ação bacteriana visível na amostra de bioconcreto, ao contrário do trabalho realizado por [12], e não foram encontrados cristais de carbonato de cálcio nas fissuras. Possivelmente, isso

ocorreu pelo simples fato de que as bactérias estavam concentradas na superfície do material e não sobreviveram ao processo de laminação do concreto. Nem mesmo a imersão da amostra em uma solução bacteriana foi capaz de induzir o fechamento das fissuras. Isso pode ter ocorrido devido ao curto tempo decorrido entre a adoção do método e a avaliação das fissuras.

Outro elemento que pode ter afetado positivamente o estudo foi a utilização de quantidades consideráveis de superplastificante e vermiculita. A introdução dessas variáveis inexistentes na obra de referência, pode ter sido o diferencial no desempenho do material de alguma forma. Por fim, o tempo de execução do concreto foi muito elevado, pois a consistência desejada foi difícil de ser obtida. Por esse motivo, foi determinado que os microrganismos permaneceriam na superfície do material e, assim, resistiriam ao processo de dosagem devido à alta energia empregada.

3.2 Verificação visual das fissuras na amostra de bioconcreto

Aos 30 dias, fissuras foram inspecionadas visualmente com recurso de um



FIGURA 6

(A) INSPEÇÃO NO MICROSCÓPIO; (B) FISSURA IMPREGNADA; (C) FISSURA NÃO IMPREGNADA; (D) SUPERFÍCIE DA AMOSTRA

Fonte: Autores (2023)

microscópio, como pode ser visualizado na Figura 6-a e as fissuras dos corpos de prova impregnados e de controle podem ser vistas nas Figuras 6-b a 6-d. Foi possível verificar o fechamento das fissuras, semelhante ao trabalho realizado por [12].

Desse modo, ficou nítido que as amostras de bioconcreto apresentam um melhor acabamento do que as amostras de controle. Este fato pode ser explicado pelo confinamento por mais de 48 horas adicionais, o que provavelmente comprimiu as

partículas de concreto e reduziu a quantidade de porosidade superficial.

4. CONCLUSÕES

As investigações realizadas sob o enfoque da Microbiologia na Engenharia apresentam uma sucessão de possibilidades que ainda não foram descritas em minúcias na literatura. Dessa forma, com base na análise do biomaterial incorporado à mistura da camada de revestimento do concreto, identificou-se que o bioconcreto é um material eficaz em sua propos-

ta de tratamento autônomo de fissuras. Sendo assim, é possível sugerir propostas de melhoria buscando minimizar o impacto nos pavimentos de concreto, de modo que possa servir como alternativa aos métodos convencionais que tradicionalmente têm alto potencial poluidor. Vale salientar que, como qualquer material, o Bioconcreto também possui suas limitações, que são mais evidentes na questão da rentabilidade e da acessibilidade aos insumos, principalmente aos agentes microbianos e ao lactato de cálcio. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SOUZA NASCIMENTO, J. W. O efeito da utilização de biomateriais na restauração de estruturas de concreto empregando bactérias como agentes de cura. Anais do 1º Congresso Online de Engenharia de Materiais, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1p, 2019. <https://eventos.congresso.me/eventos/engmatcon/anais>
- [2] SOUZA NASCIMENTO, J. W.; SAMPAIO, A. T. Characterization of concrete coating using bacteria as a floor regeneration agent. Anais do 62º Congresso Brasileiro do Concreto, Florianópolis, SC, Brasil, 1-15p, 2020a. <https://www.ibracon.org.br/eventos/62cbc/artigos/62cbc/artigos>
- [3] NASCIMENTO, J. W. S. do; SAMPAIO, A. T. Estudo de teste da resistência do pavimento asfáltico empregando ligante tipo asfalto-borracha pelo processo úmido. Cap. 11, 155-176pp. Campina Grande, PB: Editora Amplla, 2020. <https://doi.org/10.51859/amplla.rsd191.1120-11>
- [4] NASCIMENTO, J. W. S. do. et al. Functional evaluation of pathologies in flexible pavement. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 6, n. 1, p. 110-129, 2021b. <https://doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/civil-engineering/flexible-pavement>
- [5] QUEIROZ, F. M. et al. Causes and risks of pathological manifestations in the historic facades of Manaus. Cap. 10, 71-79pp. Belo Horizonte, MG: Editora Poisson, 2021. <https://doi.org/10.36229/978-65-5866-082-8.CAP.10>
- [6] SAMPAIO, A. T.; NASCIMENTO, J. W. S.; SOUSA, D. S. V. Patologia de fachadas: revisão de literatura. Cap. 15, 178-187pp. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020. <https://doi.org/10.22533/at.ed.87320210915>
- [7] SANTOS, J. L. et al. Asphalt resurfacing: analysis in a critical segment in the city of Manaus. Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 5, p. 10580-10595, 2022a. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n5-5400>
- [8] SOUZA NASCIMENTO, J. W. et al. Funcionalidades panorâmicas dos tipos de reciclagem em rodovias de pavimentos flexíveis. Cap. 3, 39-54pp. Rio de Janeiro, RJ: e-Publicar, 2023a. <https://doi.org/10.47402/ed.ep.c202321603686>
- [9] SOUZA NASCIMENTO, J. W. et al. The effect of using recycling techniques on asphalt pavements. Brazilian Journal of Development, v. 9, n. 7, p. 22354-22367, 2023b. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n7-0098>
- [10] MORS, R. M.; JONKERS, H. M. Practical Approach for Production of Bacteria-Based Agent-Contained Light Weight Aggregates To Make Concrete Self-Healing. ICSHM 2013: Proceedings of the 4th International Conference on Self-Healing Materials, p. 240-243, 2013.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2018.
- [12] JONKERS, H. M. Bacteria-based self-healing concrete. Heron, v. 56, n. 1-2, p. 5-16, 2011.

Correlação das propriedades mecânicas e físicas por meio da propagação **de ondas de ultrassom em concretos produzidos com adição mineral de pó de ferro**

RODRIGO ROGERIO CERQUEIRA DA SILVA - Dr. - <https://orcid.org/0000-0002-7928-9462> (rodrigorogerioudorador@gmail.com) ;
CINTHYA BERTOLDO - Dr^a. - <https://orcid.org/0000-0001-9039-4805> (cinthyab@unicamp.br) | **UEC**

RESUMO

VISANDO ATENDER ÀS NECESSIDADES DA SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL, O USO DE ADIÇÕES MINERAIS DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA METALÚRGICA, ANTES DESCARTADOS NO MEIO AMBIENTE, TEM SIDO APROVEITADO PELA INDÚSTRIA CIMENTÍCIA. A PRESENTE PESQUISA TEM COMO OBJETIVO AVALIAR A RESISTÊNCIA, ELASTICIDADE E POROSIDADE DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM ADIÇÃO DE PÓ DE FERRO EM COMPARAÇÃO AO CONCRETO CONVENCIONAL, CORRELACIONANDO SUAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E FÍSICAS COM OS PARÂMETROS OBTIDOS PELO ENSAIO DE ULTRASSOM. OS RESULTADOS APRESENTARAM MELHORIAS NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICA E ACÚSTICAS, PARA OS TRAÇOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO MINERAL DE PÓ DE FERRO EM TEORES DE 25 E 50%. AS ANÁLISES ESTATÍSTICAS APRESENTARAM MODELOS DE CORREÇÃO COM (R^2) SUPERIORES A 91%, INDICANDO QUE O ENSAIO DE ULTRASSOM, PELO MÉTODO DIRETO, PODE SER UTILIZADO NO CONTROLE DE QUALIDADE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO, QUE FAZEM O USO DE ADIÇÕES MINERAIS EM TRAÇOS DE CONCRETO VISANDO

MELHORAR SUAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E ELÁSTICAS.

PALAVRAS-CHAVE: ENSAIO DE ULTRASSOM, ADIÇÃO MINERAL, COEFICIENTE DE RIGIDEZ, RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, MÓDULO DE ELASTICIDADE.

1. INTRODUÇÃO

Na busca por atender às necessidades de suportar e transmitir elevadas cargas estáticas e dinâmicas e, ao mesmo tempo, atender à necessidade de novas alternativas para a sustentabilidade e de reaproveitamento de materiais em benefício do meio ambiente das grandes obras de infraestrutura, as adições minerais oriundas de resíduos de processos das indústrias metalúrgica ou mecânica têm sido utilizadas pela indústria cimentícia. No intuito de diminuir os impactos causados pela indústria cimentícia ao meio ambiente, estão sendo testadas e analisadas adições minerais que possam vir a ser incorporadas ao concreto sem

alterar a sua quantidade de finos e sem comprometer significativamente suas propriedades reológicas, além de diminuir o custo nos traços de concreto, por meio da diminuição do consumo de cimento (MORAES, 2001; DINIZ *et al.* 2018).

Geralmente as adições minerais são oriundas de resíduos de processos industriais, muitas vezes descartados no meio ambiente, sendo então aproveitados pela indústria cimentícia. Um dos resíduos pouco pesquisados como adição mineral durante a produção de concreto é o pó de ferro, obtido a partir de processos de fabricação da indústria metalúrgica ou mecânica, podendo ser obtido facilmente, em grandes volumes, das empresas do setor.

Um dos grandes desafios para os estudos de dosagem e usos de concretos com adições minerais está no controle de qualidade da homogeneidade da mistura, do tempo de cura e do ganho de resistência ao longo do tempo. São parâmetros de difícil avaliação, gerando dúvidas

TABELA 1

TRAÇOS UTILIZADOS NA PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

% adições pó de ferro	Traço	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita (Kg)	Pó de ferro (Kg)	Relação a/c	Slump (mm)
0	1:2:2,5	10,0	20,0	25,0	0	0,6	190
10%	1:2:2,5:0,1	10,0	20,0	25,0	1,0	0,6	200
25%	1:2:2,5:0,25	10,0	20,0	25,0	2,5	0,6	200
50%	1:2:2,5:0,50	10,0	20,0	25,0	5,0	0,6	220

FONTE: AUTORES (2023)

quando comparados aos valores determinados em projeto, que geralmente são obtidos em laboratório.

Alguns autores propõem o uso da velocidade de propagação de ondas de ultrassom, na inferência da qualidade do concreto por meio de parâmetros de resistência e rigidez (Demirboğa *et al.*, 2004; Ulucan *et al.*, 2008; Uysal, *et al.* 2011) e propriedades físicas como absorção de água (Hamid *et al.*, 2010; Bouchhima *et al.*, 2013 e Amâncio *et al.*, 2019), para concretos produzidos com diferentes tipos e dosagens de aditivos minerais. Segundo os autores supracitados, a técnica de avaliação das estruturas por meio da utilização de propagação de ondas ultrassônicas se destaca pela praticidade, portabilidade e facilidade no manuseio, além de não causar danos às estruturas. Assim, o uso de ensaios não destrutivos como o ultrassom tem sido empregado nas últimas décadas para a obtenção de modelos de correlação entre as velocidades de propagação das ondas de ultrassom, com propriedades mecânicas e físicas do concreto, obtidas por meio de ensaios destrutivos (ANDRADE e FIGUEIREDO, 2014; RODRIGUES e FIGUEIREDO, 2003).

Tendo em vista o que foi apresentado, foram realizados ensaios de medição de velocidade do pulso ultrassônico em concretos com diferentes porcentagens de adições minerais de pó de ferro, a fim de avaliar se o ensaio é capaz de verificar as diferenças entre os traços, e obter modelos de correlação entre as propriedades mecânicas e físicas com os parâmetros de propagação de ondas obtidos pelo ensaio de ultrassom.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais e métodos

Como amostragem para a pesquisa, foram confeccionados 72 corpos de prova cilíndricos de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura de concreto (ABNT-NBR 5738, 2015), conforme o traço em massa (1:2:2,45), com consumo de cimento de 380 Kg/m³ e fator a/c de 0,6. A amostragem foi composta por 7 repetições considerando as idades de ensaio de 7, 14 e 28 dias com as seguintes



FIGURA 1

ADIÇÃO MINERAL DE PÓ DE FERRO

FONTE: AUTORES (2023)

características: sem adição e com adição de pó de ferro com teores 10%, 25% e 50% em função da massa de cimento (Tabela 1), considerando a mesma relação a/c (água/cimento). As porcentagens de adições minerais foram utilizadas em relação à massa de cimento, não havendo o objetivo de diminuição da massa de cimento diante da utilização das adições. A Tabela (1) mostra os traços utilizados na preparação das amostras.

O pó de ferro acrescentado ao concreto foi obtido por meio do processo de usinagem e corte de aço CA-50 (Figura 1). A caracterização do pó de ferro e dos agregados miúdos e grãos, foi realiza-

da segundo as recomendações das normas para agregado miúdo (ABNT-NBR 17054, 2022; ABNT-NBR 16916, 2021; ABNT-NBR 16972, 2021; ABNT-NBR 16917, 2021; ABNT-NBR 16972, 2021).

2.2 Ensaios realizados

Logo após a produção do concreto para cada tipo de traço, realizou-se ensaios de *slump test* (ABNT-NBR 16889, 2020). Os corpos de prova moldados foram ensaiados aos 7, 14 e 28 dias para determinação da resistência à compressão (f_c) – (ABNT-NBR 5739, 2018) e módulo de elasticidade (E_c) – (ABNT-NBR 8522,



A



B

FIGURA 2

(A) ENSAIO DE COMPRESSÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE EM CORPO DE PROVA DE CONCRETO INSTRUMENTADOS COM EXTENSÔMETROS; (B) ENSAIO DE ULTRASSOM EM CORPOS DE PROVA COM EQUIPAMENTO MODELO USLAB AGRICEF, BRASIL

FONTE: AUTORES (2023)

TABELA 2

RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS AGREGADOS MIÚDOS, GRAÚDOS E PÓ DE FERRO

Agregado	Massa específica (kg/m ³)	Massa unitária (kg/m ³)	Diâmetro máximo (mm)	Módulo de finura
Brita	2650	1500	25	6,75
Pó de ferro	2960	2530	1,2	1,72
Areia	2590	1310	4,8	1,89

Fonte: Autores (2023)

TABELA 3

VALORES DE ADIÇÕES DE PÓ DE FERRO E DENSIDADE DOS CONCRETOS PARA OS TRAÇOS PRODUZIDOS COM DIFERENTES ADIÇÕES DE PÓ DE FERRO

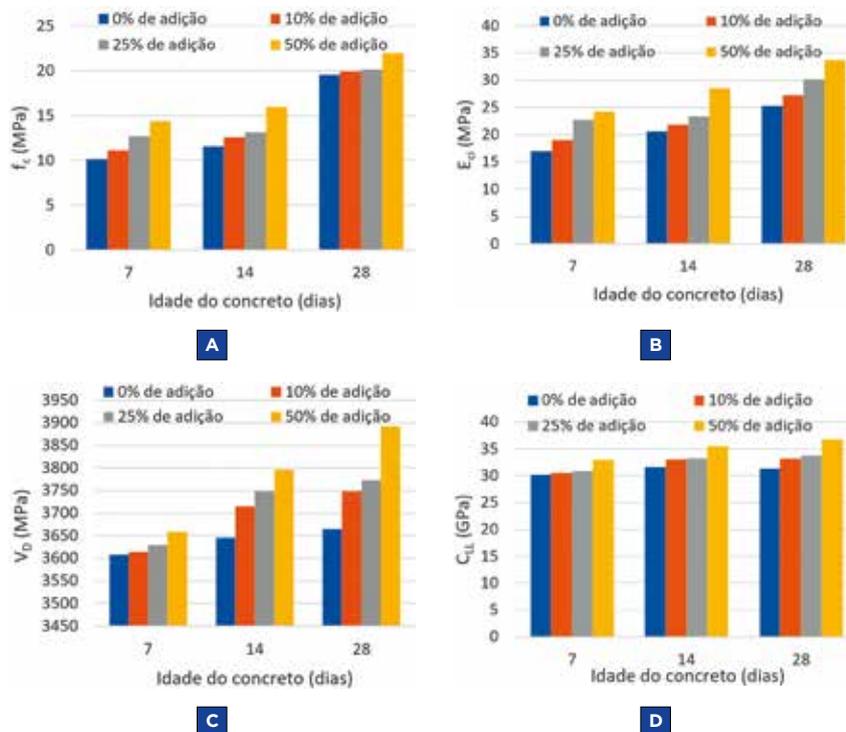
Idade (dias)	Adição de pó de ferro (%)	Densidade (kg/m ³)
7	0%	2318
	10%	2335
	25%	2345
	50%	2459
14	0%	2378
	10%	2388
	25%	2371
28	0%	2460
	10%	2330
	25%	2365
	50%	2374
	50%	2422

Fonte: Autores (2023)

2017) conforme Figura 2(a), em máquina universal de ensaios (EMIC), com célula de carga de 15.000 toneladas, com capacidade máxima de 100 MPa, com taxa de carregamento de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s.

Anteriormente à realização dos ensaios destrutivos, os corpos de prova cilíndricos foram ensaiados nas diferentes idades (7, 14 e 28 dias) pelo método de propagação de ondas, ensaio direto, utilizando equipamento de ultrassom (USLAB, Agricef, Brasil –

ABNT-NBR 8802, 2019 – Figura 2b) e transdutores de faces planas de 45 kHz. Os ensaios de ultrassom foram realizados posicionando os transdutores em faces opostas do corpo de prova (Figura 2b). A partir do comprimento do corpo de prova (L) e do resultado do tempo de propagação das ondas (T), foram calculadas as velocidades de propagação das ondas de ultrassom (V) conforme a norma ABNT-NBR 8802 (2019). A massa e as dimensões de cada corpo de prova

**FIGURA 3**

COMPORTAMENTO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E ACÚSTICAS EM FUNÇÃO DA IDADE DO CONCRETO E DAS CONCENTRAÇÕES DAS ADIÇÕES DE PÓ DE FERRO NA MATRIZ CIMENTÍCIA.

(A) RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (f_c); (B) MÓDULO DE ELASTICIDADE (E_{ci}); (C) VELOCIDADE DIRETA (V_D); (D) COEFICIENTE DE RIGIDEZ (C_{LL})

Fonte: Autores (2023)

foram determinadas em todas as idades para o posterior cálculo da densidade (ρ). De posse da velocidade direta e da densidade do concreto (ρ), foi determinado o coeficiente de rigidez ($CLL = \rho \cdot V^2$) de cada amostra.

As amostras também foram submetidas, na idade de 28 dias, ao ensaio de absorção por imersão, conforme especificações da ABNT-NBR 9778 (2005). Em seguida, foi realizado o ensaio de ultrassom seguindo as especificações da norma ABNT-NBR 8802 (2019), para avaliar correlações entre as propriedades física e acústica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela (2) mostra os resultados da caracterização dos agregados (graúdo, miúdo e pó de ferro) utilizados na elaboração dos traços de concreto.

Apesar das diferentes porcentagens de adição de pó de ferro, os valores das densidades dos concretos mostrados na Tabela (3), ficaram dentro dos limites para concreto, entre 2000 kg/m^3 a 2800 kg/m^3 (ABNT-NBR 9778, 2015). A adição mineral de pó de ferro alterou os valores do Slump Test, aumentando o abatimento em 30 mm, considerando o traço de concreto sem adição mineral e com adição

de 50% em pó de ferro. As adições de pó de ferro aumentaram a trabalhabilidade dos traços de concreto, conservando as características de coesão, homogeneidade, evitando os processos de segregação e exsudação.

A variação de densidade com a adição de pó de ferro, considerando o material sem adição mineral, teve um aumento em torno de 3 a 6%, respectivamente, para todas as idades conforme Tabela (3). Esse aumento na densidade está relacionado à elevada massa unitária da adição de pó de ferro, que promove o aumento da compactidade do esqueleto granular do concreto, elevando conseqüentemente a massa específica do compósito.

Segundo Tutikian e Dal Molin (2008), este aumento da densidade é causado pelas pequenas partículas das adições que podem agir como pontos de nucleação para os produtos de hidratação, alterando a microestrutura da zona de transição, reduzindo ou eliminando o acúmulo de água livre que, normalmente, fica retido sob os agregados.

As maiores variações em função da adição de pó de ferro foram obtidas nas propriedades mecânicas (f_c e E_{ci}) e acústicas (V_D e C_{LL}) para todas as idades consideradas (Figura 3). As propriedades de resistência e de rigidez (f_c e E_{ci}) foram as que tiveram as maiores variações em função das adições minerais, enquanto que a velocidade e o coeficiente de rigidez (V_D e C_{LL}) apresentaram, apesar de crescentes, menores variações com o aumento das concentrações de pó de ferro (Figura 3).

Para todos os parâmetros obtidos, houve um acréscimo aos 28 dias, considerando as adições de (10%, 25% e 50%) em relação ao traço sem adição de pó de ferro.

Para os ensaios destrutivos, ocorreram aumento de 2%, 3% e 11% para a resistência à compressão (f_c) e de 7%, 16% e 25% para o módulo de elasticidade (E_{ci}). Quanto aos ensaios não destrutivos, ocorreram aumentos de 6%, 7% e 15% para o coeficiente de rigidez (C_{LL}) e de 2%, 3% e 6%, respectivamente, para a velocidade direta de ultrassom (V_D), conforme apresentado na Figura (3). A adição mineral preenche os poros

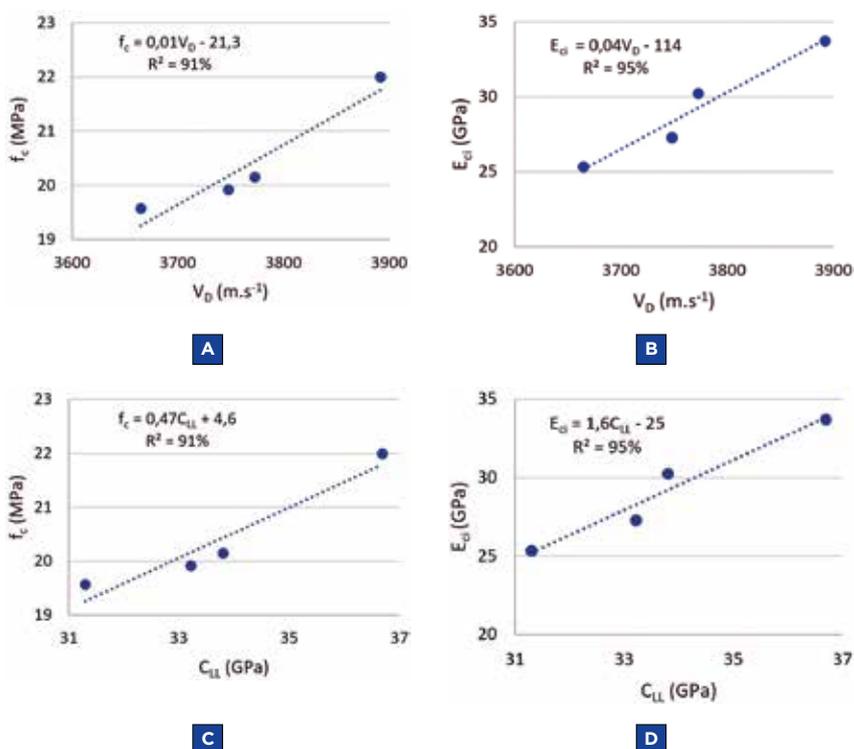


FIGURA 4

MODELOS DE REGRESSÃO OBTIDOS ENTRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS E ACÚSTICAS. (A) RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (f_c) E VELOCIDADE DIRETA (V_D); (B) MÓDULO DE ELASTICIDADE (E_{ci}) E VELOCIDADE DIRETA (V_D); (C) RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (f_c) E COEFICIENTE DE RIGIDEZ (C_{LL}); (D) MÓDULO DE ELASTICIDADE (E_{ci}) E COEFICIENTE DE RIGIDEZ (C_{LL})

FONTE: AUTORES (2023)

microscópicos da matriz cimentícia, resultando em uma propagação de onda mais rápida. De acordo com Bitá *et al.* (2016), a interação da onda com a microestrutura causa perdas por atenuação, assim a quantidade de agregado incorporado à matriz cimentícia desempenha um papel importante na propagação de ondas, aumentando consideravelmente a velocidade da onda. Assim, devido ao fator de diminuir a porosidade do concreto, um concreto menos poroso e com, portanto, um menor número de pontos de atenuação, fornecerá um ambiente mais propício à propagação rápida das ondas, enquanto que um concreto poroso terá um número maior de pontos de atenuação, acarretando na diminuição da velocidade da onda ultrassônica, assim o uso da adição de pó de ferro parece ter um impacto mais definitivo em controlar a atenuação da energia ultrassônica.

Estudos realizados por Silva (2005)

demonstraram os benefícios das adições minerais em concreto, devido a diminuição da porosidade com a idade, oriunda da hidratação da matriz cimentícia, preenchendo os vazios por meio do empacotamento dos grãos de cimento na zona de transição. A escolha da adição mineral a ser empregada deve contemplar aspectos diferenciados daqueles que são normalmente adotados, ou seja, devem ser verificados aspectos referentes ao estado de aglomeração ou de dispersão das partículas, que é consequência de sua natureza química e física (MORAES, 2010). A utilização de minerais de ferro deve ser verificada, de modo a avaliar como sua atuação irá preencher os poros e promover a manutenção ou melhoria das propriedades da matriz cimentícia (ALMADA, 2020).

Os modelos gerados entre os parâmetros não destrutivos (V_D e C_{LL}) e os destrutivos (f_c e E_{ci}), foram todos

TABELA 4

VALORES ABSORÇÃO POR IMERSÃO, E VELOCIDADE DIRETA MÉDIA (V_D), PARA OS TRAÇOS PRODUZIDOS COM DIFERENTES ADIÇÕES DE PÓ DE FERRO

Adições	Absorção (%)	V_D (m.s ⁻¹)
0%	9,4	2908
10%	9,10	3025
25%	8,80	3048
50%	8,20	3313

FONTE: AUTORES (2023)

estatisticamente significativos (P-valor < 0,05), sendo que as melhores correlações foram obtidas para a previsão da rigidez (E_{ci}) (Figura 4). Os modelos obtidos entre resistência à compressão (f_c) e velocidade direta (V_D) apresentam coeficientes de determinação (R^2) próximos dos encontrados na literatura com aditivos minerais de cinzas volantes, zeólita natural e escória de alto-forno, variando entre 90 a 96% (HAMID *et al.*, 2012). Os modelos obtidos por Yildirim e Sengul (2011) para correlacionar o módulo de elasticidade em compressão estática (E_{ci}) com a velocidade de propagação direta (V_D), apresentaram valores de R^2 entre 80 a 96%.

Correlações entre os parâmetros de rigidez (C_{LL}) e as propriedades mecânicas de resistência (f_c) e de módulo de elasticidade (E_{ci}) obtidos em ensaios de ultrassom e de compressão, respectivamente, foram encontrados em Silva (2020), com modelos lineares e valores de R^2 na faixa de 85% a 97% para E_{ci} e de 79% a 95% para f_c .

Na Tabela (4), são apresentados os resultados obtidos de absorção por imersão e a velocidade de propagação de onda ultrassônica longitudinal das amostras ensaiadas após a saturação. A absorção de água está diretamente relacionada com a porosidade do material. Concretos que apresentam elevados valores para a absorção de água representam estruturas com maiores índices de vazios (Tabela 4). Considera-se, assim, que as adições minerais colaboraram para o preenchimento dos poros do concreto, devido ao diâmetro das partículas e à redução da porosidade em função da

elevação da compacidade e da massa específica (SANTOS, 2019).

A regressão entre a velocidade de ultrassom e a absorção apresentou modelo com R^2 de 96% (Figura 5) e P-Valor de 0,02, menor que 0,05, demonstrando existir uma relação estatisticamente significativa entre os parâmetros, com nível de confiança de 95,0%. Os resultados obtidos indicam que o aumento das adições de pó de ferro diminuiu a porosidade das amostras e, com isso, houve conseqüente diminuição do teor de água dentro das amostras de concreto, aumentando a velocidade da propagação de ondas de ultrassom. Esta diminuição do teor de água contribui para diminuir a distância entre partículas, favorecendo a ligação dos hidratos durante a fase sólida, formando uma microestrutura densa, o que facilita a propagação de onda acústica com uma velocidade de onda mais rápida (ZHANG *et al.*, 2015).

As adições minerais utilizadas no presente trabalho influenciaram na configuração da microestrutura interna do concreto, principalmente no tamanho dos poros e na sua distribuição, e conseqüentemente, na resistência mecânica. Os resultados obtidos no presente estudo estão coerentes com a literatura, que indicam que as adições minerais diminuem tanto a porosidade da zona de transição quanto a conectividade entre os poros, melhorando tanto as propriedades físicas, como as mecânicas e as acústicas (WINSLOW E COHEN, 1994; SILVA, 2005; GODINHO, 2020).

4. CONCLUSÕES

A adição mineral de pó de ferro nas concentrações 10%, 25% e 50% em função da massa de cimento contribui para o aumento das propriedades mecânicas de resistência à compressão (f_c) e módulo de elasticidade (E_{ci}), e das propriedades acústicas como velocidade direta (V_D) e coeficiente

de rigidez (C_{LL}). O uso desses resíduos na composição do concreto pode aumentar os parâmetros mecânicos e físicos, ao modificar a sua microestrutura.

As correlações entre os parâmetros mecânicos e acústicos foram estatisticamente significativas com elevados coeficiente de determinação (R^2 superiores a 91%). Tendo em vista os resultados da pesquisa, o ensaio de ultrassom se mostrou uma técnica expedita para avaliação das características do concreto, capaz de distinguir traços com precisão e confiabilidade em concretos produzidos especificamente com diferentes teores de adições minerais de pó de ferro.

Os modelos de predição do módulo de elasticidade (E_{ci}) do concreto por meio do ensaio de ultrassom apresentaram melhores correlações do que os modelos de predição da resistência à compressão (f_c). O coeficiente de rigidez obtido por ultrassom (C_{LL}) apresentou melhor correlação com os parâmetros de rigidez (E_{ci}) e de resistência à compressão (f_c) do concreto do que a velocidade de propagação das ondas (V_D). Este resultado, como esperado pelas bases teóricas do ensaio de propagação de ondas, também é esperado, já que o coeficiente de rigidez inclui parâmetro físico do concreto (densidade).

A adição mineral de pó de ferro reduziu a absorção de água nas amostras de concreto, fato ocasionado pela redução da porosidade do material, em função da elevação da compacidade e da massa específica e, conseqüentemente,

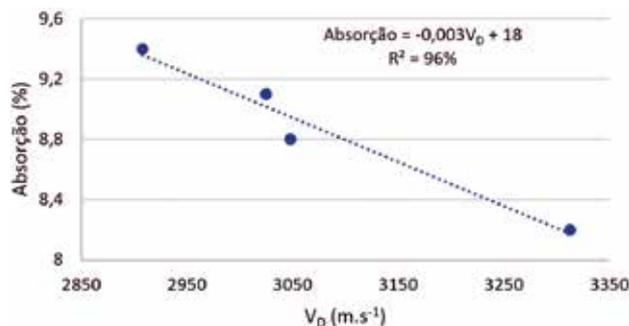


FIGURA 5

MODELO DE REGRESSÃO ENTRE ABSORÇÃO POR IMERSÃO E VELOCIDADE LONGITUDINAL

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

houve aumento das propriedades mecânicas. Com o ensaio de propagação de ondas de ultrassom foi possível verificar a redução da porosidade do material em função do aumento da velocidade com o

aumento da concentração de adição de pó de ferro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de

Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) de São Paulo pelo financiamento dos diversos projetos do grupo de pesquisa, que viabilizou as instalações e infraestrutura utilizadas nesta pesquisa. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALMADA, B. S. Influência da heterogeneidade de rejeitos de minério de ferro utilizados como adição mineral nas propriedades de microconcretos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas, p.135. 2021.
- [2] AMÂNCIO, F. A.; de OLIVEIRA Dias, A. R.; LUCAS, S. O.; LIMA, D. A.; CABRAL, A. E. B. Correlação entre o ensaio de ultrassom e as propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos convencionais. *Revista Técnico-Científica*, 2019.
- [3] ANDRADE, D. S.; FIGUEIREDO, E. J. P. Estimativa da Resistência à compressão do concreto por meio de ensaios não destrutivos no estádio Maracanã. *CONCRETO & CONTRUÇÃO*, v. 74, p. 94-99, 2014.
- [4] BITA, H., FAIZ, B., MOUDDEN, A., LOTFI, H., OUACHA, E. H., BOUTAIB, M. Evaluation of Ultrasonic Attenuation in Mortars Structures Using the Argand Diagram. *International Journal of Materials Engineering*, v. 6, n. 3, p. 77-84, 2016.
- [5] BOUCHHIMA, L.; ROUIS, M. J.; CHOURA, M. Correlation of ultrasound pulse velocity with Mechanical properties and water absorption in Phosphogypsum-crushing sand-lime-cement building bricks. *International Journal for Research in applied Science and Engineering Technology*. Vol. 1 Issue IV, November 2013.
- [6] DEMIRBOĞA, R.; TÜRKMEN, İ.; KARAKOC, M. B. Relationship between ultrasonic velocity and compressive strength for high-volume mineral-admixed concrete. *Cement and concrete research*, 34 (12), 2329-2336. 2004.
- [7] DINIZ, H. A. A.; DE OLIVEIRA, J. N.; DA SILVA, L. P.; DE MACÊDO, M. S., DE SOUZA, M. M. Caracterização e avaliação das propriedades de concretos autoadensáveis com adições minerais e baixo consumo de cimento. *HOLOS*, V. 5, P. 51-64, 2018.
- [8] GODINHO, J. P.; JUNIOR, T. F. S.; MEDEIROS, M. H. F.; SILVA, M. S. A. Factors influencing ultrasonic pulse velocity in concrete. 13. ed. Curitiba: Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, 2020.
- [9] HAMID, R.; YUSOF, K.M.; ZAIN, M.F.M. Um método combinado de ultra-som aplicado a concreto de alto desempenho com sílica ativa. *Materiais de Construção e Construção*, 24 (1), p.94-98, 2010.
- [10] HAMID, R.; YUSOF, K. M.; ZAIN, M. F. M. Ultrasonic Testing of HPC with Mineral Admixtures. In: *Nondestructive Testing Methods and New Applications*. Malaysia IntechOpen, 2012. p. 221-234.
- [11] MORAES, K. A. M. Otimização do uso de adições minerais para produção de concreto auto-adensável. 212 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.
- [12] RODRIGUES, G. S. S. FIGUEIREDO, E. J. P. Módulo de elasticidad estático del hormigón determinado por medio de pruebas de ultrasonido. *Materiales de Construcción (Madrid)*, v. 53, p. 327-336, 2003.
- [13] SANTOS, R. Propriedades físico-mecânicas e colorimétricas do concreto pigmentado com óxido de ferro vermelho e preto: haahahah. Monografia (Especialização) – Curso de Arquiteura e Urbanismo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (Ipt), Faculdade de Arquiteura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.
- [14] SILVA, G. J. B. Estudo do Comportamento do Concreto de Cimento Portland produzido com a Adição do Resíduo de Polimento do Porcelanato. 107 f. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação) – Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Ciência dos Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- [15] SILVA, R. R. C. da. Propagação de ondas de ultrassom em sistemas de contenção par obras de terra. Tese de Doutorado. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. p.113. 2020.
- [16] TUTIKIAN, B. F. e DAL MOLIN. *Concreto Autoadensável*. São Paulo: Editora PINI Ltda., 2008.
- [17] ULUCAN, Z. Ç.; TÜRK, K.; KARATAŞ, M. Effect of mineral admixtures on the correlation between ultrasonic velocity and compressive strength for self-compacting concrete. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 44(5), 367-374. 2008.
- [18] UYSAL, M.; SUMER, M. Performance of self-compacting concrete containing different mineral admixtures. *Construction and Building materials*, 25(11), 4112-4120. 2011.
- [19] WINSLOW, D. N.; COHEN, M. D. Percolation and pore structure in mortars and concrete. *Cement and Concrete Research*, v. 24, p. 25-37, 1994.
- [20] YILDIRIM, H.; SENGUL, O. Modulus of elasticity of substandard and normal concretes. *Construction and Building Materials*, v. 25, n. 4, p. 1645-1652, 2011.
- [21] ZHANG, J.; HOU, D.; HAFIZ, R. B.; HAN, Q.; MA, H. Monitoring setting and hardening of concrete by active acoustic method: effects of water-to-cement ratio and pozzolanic materials. *Construction and Building Materials*, v. 88, p. 118-125, 2015.

CINPAR 2024 vai acontecer no Ceará

A Conferência Internacional em Patologia das Edificações e Reabilitação das Construções (CINPAR) será realizada em Fortaleza de 29 a 31 de maio, no Centro de Eventos do Ceará. Em sua vigésima edição, o foco do evento in-

cidirá sobre o ciclo de vida das construções e a mudança climática. Além deste tema central, a conferência apresentará e discutirá gestão de ativos e manutenção, eficiência energética, novos materiais para reabilitação, monitoramento de estruturas, técnicas de

diagnóstico de manifestações patológicas e modelagem de informações prediais. As palestras vão acontecer em inglês, espanhol e português. As inscrições poderão ser feitas até 30 de março, no site: <https://doity.com.br/cinpar-2024>.

Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

A 15ª edição do Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas vai acontecer nos dias 16 e 17 de maio, em São Paulo, no Millennium Centro de Convenções.

Promovido pela Associação Brasileira de Pontes e Estruturas (ABPE) e Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural (ABECE), o evento vai con-

tar com a participação de palestrantes nacionais e estrangeiros. As inscrições podem ser feitas no site: <https://cbpe2024.abece.com.br/>.

Congresso Brasileiro de Patologia das Construções

O evento focado em patologia e recuperação de estruturas será realizado de 17 a 20 de julho, no Campus Dom Luís, da Unichristus, em Fortaleza. O vice-presidente do IBRACON, Prof.

Enio Pazini Figueiredo, será um dos palestrantes, abordando a resistividade do concreto e sua relação com a durabilidade das estruturas. Entre os temas a serem apresentados e debatidos, destacam-se: mecanismos de

deterioração, ensaios não destrutivos, técnicas e materiais de reparo, recuperação e reforço, inspeção predial e manutenção de edificações. As inscrições podem ser feitas no site: <https://cbpat.org.br/>.

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

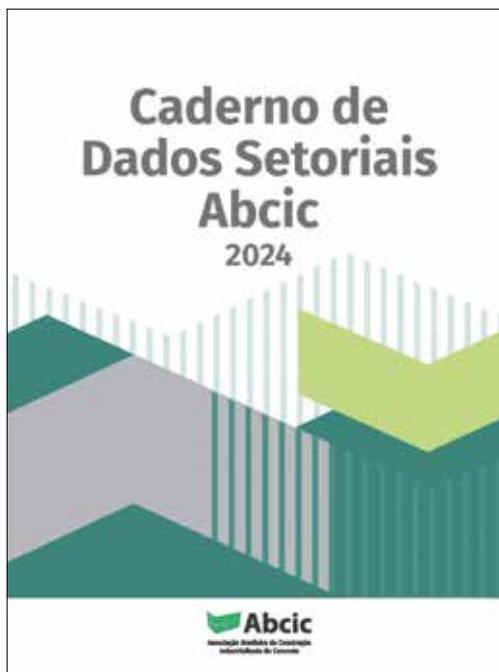


Aquisição:
www.ibracon.org.br
(Loja Virtual)

Caderno de Dados Setoriais do pré-fabricado de concreto

A primeira edição do Caderno de Dados Setoriais traz a sondagem da área de pré-fabricados de concreto no Brasil. Realizado pelo Instituto Brasileiro de Economia da Fundação Getúlio Vargas (FGV IBRE), o relatório apresenta o perfil das indústrias.

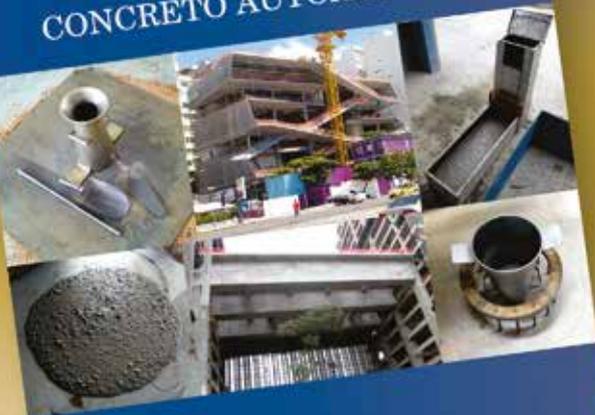
Os pré-fabricados estão presentes em centros de distribuição e logística, indústria, varejo, edifícios comerciais, shopping centers, infraestrutura e obras especiais, além de obras de habitação e relacionadas à mineração, agro-negócio, data center, entre outros. A pesquisa mostrou que, em dezembro de 2022, havia mais de 7,7 mil empregados, enquanto a produção total de pré-fabricados alcançou mais de 801 mil m³. A região Sul concentra 55% da



produção, seguida pelo Sudeste (34%) e pelo Nordeste (8%). As indústrias de pré-fabricados de concreto consumiram 319,6 mil toneladas de concreto e 75,5 mil toneladas de aço. As vendas de pré-fabricados atingiram quase 850 mil m³, o que representou uma queda de 2,5% em relação à média registrada em 2021.

Dois dados levantados pela pesquisa reforçam os investimentos em tecnologia realizados pela indústria: 69% das empresas produzem concreto autoadensável e mais de 56% apontaram estar em fase de estudos para a implementação do *Ultra High Performance Concrete* (UHPC), com registros de que 4,9% implantou o UHPC e 2,4% em fase de implementação. A protensão é adotada por 46% das empresas em suas soluções.

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

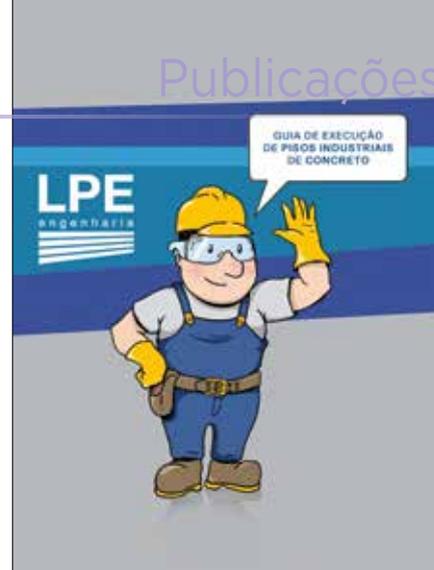


Guia de execução de pisos industriais de concreto

Elaborada pela LPE, o Guia traz o know-how da empresa na execução de pisos industriais de concreto. Seu objetivo é orientar os profissionais do segmento por meio de orientações para a correta execução de pisos industriais, visando às boas práticas de mercado. O Guia aborda o concreto para pisos indus-

triais, placa teste, execução, fôrmas, reforços, pisos reforçados, vibração do concreto, barras de transferência, equipamentos necessários, corte de juntas, cura, selagem, capeamento, planicidade, endurecedores de superfície, entre outros assuntos.

Faça o download da publicação no site: www.ibts.org.br.



Prática Recomendada para Pavimento de Concreto Permeável

Será lançada em breve a Prática Recomendada para Dosagem, Projeto Hidráulico, Estrutural, Execução e Manutenção de pavimento urbano de concreto permeável moldado no local pelo Comitê Técnico 306 do IBRACON. O concreto permeável é uma mistura de consistência seca (com abatimento quase zero), com graduação aberta e ele-

vada porosidade (com índice de vazios entre 15% e 35%), com ausência ou pequena quantidade de agregado miúdo, que resulta numa rede de poros interconectados que permitem o fluxo de água pela estrutura.

O pavimento de concreto permeável permite que a água se infiltre pelos poros até atingir o subleito e se infiltrar no

solo ou ser coletado por sistema de captação. Ele pode ser aplicado em vias residenciais e estacionamentos, calçadas para pedestres, ciclovias, praças e passeios públicos, decks para piscinas.

A Prática Recomendada fornece informações e orientações técnicas sobre terminologia, aplicações, materiais, requisitos, procedimento de dosagem, dimensionamento hidráulico, diretrizes de projeto estrutural, técnicas construtivas e de inspeção e manutenção de pavimentos de concreto permeáveis urbanos moldados "in loco".



GUIA DE PREVENÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO PRÁTICA RECOMENDADA IBRACON



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

Guia de Prevenção da Reação Alkali-Agregado

COORDENADORES

Cláudio Sbrighi Neto, Eduardo Brandau Quitete e Arnaldo Forti Battagin

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

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

DADOS TÉCNICOS

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

PATROCÍNIO



Aquisição: Acesse a Loja Virtual do IBRACON.

www.ibracon.org.br



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



65º

CONGRESSO BRASILEIRO DO

CONCRETO

22 a 25 - outubro - 2024 - Alagoas - Maceió

Participe do maior evento nacional técnico-científico sobre o Concreto

PATROCÍNIO E EXPOSIÇÃO

- Estreite relacionamentos na Feira Brasileira da Construção em Concreto
- Associe sua marca a um evento do setor com mais de 50 anos
- Apresente seus cases no Seminário de Novas Tecnologias

PROGRAMAÇÃO

- Conferências plenárias
- Seminários temáticos
- Sessões técnico-científicas
- Cursos de atualização profissional
- Concursos estudantis

Inscrições on-line e promocionais até 16 de Junho



MAIS INFORMAÇÕES

 www.ibracon.org.br  [ibracon_oficial](https://www.instagram.com/ibracon_oficial)  [ibraconOffice](https://twitter.com/ibraconOffice)  [ibraconOffice](https://www.facebook.com/ibraconOffice)  office@ibracon.org.br

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