



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

2

Atena
Editora
Ano 2020



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

2

Atena
Editora

Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Camila Alves de Cremo

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof^a Dr^a Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof^a Dr^a Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Prof^a Dr^a Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Prof^a Dr^a Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Prof^a Dr^a Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^a Dr^a Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^a Dr^a Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof^a Dr^a Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Dr^a Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^a Dr^a Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^a Dr^a Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof^a Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof^a Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof^a Dr^a Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof^a Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Prof^a Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof^a Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof^a Dr^a Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Prof^a Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof^a Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco

Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
 Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
 Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
 Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
 Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
 Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
A642	<p>A aplicação do conhecimento científico na engenharia civil 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Braga Machado Tullio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-65-5706-170-1 DOI 10.22533/at.ed.701200907</p> <p>1. Engenharia civil – Pesquisa – Brasil. 2. Construção civil. I. Tullio, Franciele Braga Machado. II. Machado, Lucio Mauro Braga.</p> <p style="text-align: right;">CDD 338.4769</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil 2” contempla vinte e três capítulos com pesquisas relacionadas a temas da engenharia civil.

O desenvolvimento de novos materiais e a utilização de novas tecnologias na sua composição permitem um grande avanço na área, gerando alternativas de execução e muitas vezes evitando patologias nas edificações.

O estudo sobre o comportamento de materiais utilizados na construção civil permite o aperfeiçoamento de sistemas construtivos já existentes e proporciona uma otimização na execução de projetos.

O livro aborda também artigos que avaliam desempenho de solos, seu comportamento junto a estruturas de edificações e obras de pavimentação.

Esperamos que esta obra proporcione uma leitura agradável e contribua para a geração de novas pesquisas na área da engenharia civil, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico.

Franciele Braga Machado Tullio

Lucio Mauro Braga Machado

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ADERÊNCIA DO CHAPISCO COM ADIÇÃO DE CAL	
André Miranda dos Santos	
Ângelo Just da Costa e Silva	
João Manoel de Freitas Mota	
DOI 10.22533/at.ed.7012009071	
CAPÍTULO 2	13
AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO CAPILAR EM ARGAMASSAS ESTABILIZADAS DE REVESTIMENTOS SUBSTITUINDO AGREGADOS NATURAIS POR AGREGADOS ARTIFICIAIS	
Valéria Costa de Oliveira	
Emílio Gabriel Freire dos Santos	
Leandro de Souza Carvalho	
Rafael Alves de Oliveira	
Fernanda dos Santos Gentil	
Ieda Maria Fagundes Zanolla	
DOI 10.22533/at.ed.7012009072	
CAPÍTULO 3	30
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO PIGMENTO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRAÇÃO DE CONCRETOS DE ALTO DESEMPENHO	
Amanda Vieira Noletto	
Dalmo Gabriel da Silva Santana	
Beatriz Santos Neri	
Maria Carolina de Paula Estevam D'Oliveira	
Salmo Moreira Sidel	
DOI 10.22533/at.ed.7012009073	
CAPÍTULO 4	38
AVALIAÇÃO DO ATAQUE DE ÍONS CLORETO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, CONTENDO OU NÃO ADIÇÕES MINERAIS	
Rayssa Valéria da Silva	
Fuad Carlos Zarzar Júnior	
José Wertson Gonçalo Pereira	
Gênova Gabriela Oliveira de Paula Rocha	
Leonardo José Silva do Vale	
João Gabriel Souza dos Reis	
Igor Albuquerque da Rosa Teixeira	
Pedro Daltro Macedo de Alencar	
José Flávio Batista Vilela	
Carlos Fernando Gomes do Nascimento	
DOI 10.22533/at.ed.7012009074	
CAPÍTULO 5	51
AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA ADIÇÃO DE METACAULIM NO CONCRETO FRENTE À PENETRAÇÃO DE ÍONS CLORETO	
Jefferson Thales Siqueira Gomes	
Emerson José da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.7012009075	

CAPÍTULO 6	68
COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE CELULOSE: UMA REVISÃO	
Marllon Victor Soares Cabral Humberto Mycael Mota Santos	
DOI 10.22533/at.ed.7012009076	
CAPÍTULO 7	81
EFEITO DA SÍLICA ATIVA EM SUSPENSÃO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO	
Albert Luiz Follmann Bruno Teles Cordeiro Fernando Pelisser Artur Spat Ruviano	
DOI 10.22533/at.ed.7012009077	
CAPÍTULO 8	95
ESTUDO DAS PROPRIEDADES DE UM CONCRETO COM 20MPA NO ESTADO FRESCO, MISTURADO À MÃO E NA BETONEIRA, COM E SEM A SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR AREIA BRITADA	
Gabriel Rigaud Figueirôa Lyra Anderson José Silva André Vinícius Melo Couto André William Barbosa Brito Sócrates Ildfonso Farias da Silva Simone Perruci Galvão	
DOI 10.22533/at.ed.7012009078	
CAPÍTULO 9	105
INFLUÊNCIA DO PROCEDIMENTO DE MISTURA DOS ADITIVOS NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS ESTABILIZADAS	
Juliana Pippi Antoniazzi Luciano Vargas Vaz Gihad Mohamad Raquel Petry Brondani Schmidt Bernardete Trindade	
DOI 10.22533/at.ed.7012009079	
CAPÍTULO 10	114
VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DE DETERGENTE DOMÉSTICO COMO ADITIVO PLASTIFICANTE EM ARGAMASSA CIMENTÍCEA	
Jessica Maria de Oliveira Galeno Ataídes Oliveira Galvão Junior Marcos Vinícios Aguiar Mohana Mylena Veras Cavalcante	
DOI 10.22533/at.ed.70120090710	
CAPÍTULO 11	128
AVALIAÇÃO DO ATRITO DE INTERFACE ENTRE BLOCOS DE EPS E DIFERENTE SOLOS E GEOSSINTÉTICOS ATRAVÉS DO CISALHAMENTO DIRETO	
Arthur Ivo Zuquim	
DOI 10.22533/at.ed.70120090711	

CAPÍTULO 12	143
CONTRIBUIÇÃO DA RIGIDEZ TORSIONAL DE VIGAS NO CÁLCULO DE MOMENTOS FLETORES EM LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO	
Jonas Pereira Falcão Francisco dos Santos Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.70120090712	
CAPÍTULO 13	159
DETERMINAÇÃO DA RIGIDEZ EXPERIMENTAL DE VIGOTA TRELIÇADA OBJETIVANDO O DIMENSIONAMENTO DE ESCORAS DE LAJES	
Rebeca Alexandra de Moraes Candido Tiago Duarte de Lima Adão Marques Batista	
DOI 10.22533/at.ed.70120090713	
CAPÍTULO 14	170
EFEITOS DA TEMPERATURA NAS DEFORMAÇÕES POR FLUÊNCIA DO CONCRETO	
Edmilson Lira Madureira Brenda Vieira Costa Fontes Juliana Caroline Neves de Araújo	
DOI 10.22533/at.ed.70120090714	
CAPÍTULO 15	186
ESTABILIDADE ELÁSTICA EM PILARES METÁLICOS SUBMETIDOS À ATUAÇÃO CONJUNTA DO CARREGAMENTO VERTICAL E DO VENTO	
Wesley Imperiano Gomes de Melo Normando Perazzo Barbosa	
DOI 10.22533/at.ed.70120090715	
CAPÍTULO 16	205
INFLUÊNCIA DO GRAUTE NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS	
Rafael Azevedo Lino Orieta Soto Izquierdo Indara Soto Izquierdo Márcio Roberto Silva Corrêa	
DOI 10.22533/at.ed.70120090716	
CAPÍTULO 17	222
INSPEÇÃO PRELIMINAR E MONITORAMENTO DE EDIFICAÇÃO EM CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM BRASÍLIA	
Matheus Nunes Reis Jorge Antonio da Cunha Oliveira Jocinez Nogueira Lima	
DOI 10.22533/at.ed.70120090717	
CAPÍTULO 18	237
O CÁLCULO CORRETO DOS EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM EM ESTRUTURAS DE EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO	
Antonio Oscar Cavalcanti da Fonte Felipe Luna Freire da Fonte Ennes do Rio Abreu	
DOI 10.22533/at.ed.70120090718	

CAPÍTULO 19	251
REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO COM PRF: UM ESTUDO DE CASO	
Elisson Bilheiro Ferreira Filho	
Ruan Richelly Santos	
Letícia Ikeda Castrillon Fernandez	
Diôgo Silva de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.70120090719	
CAPÍTULO 20	270
CAPACIDADE DE ANCORAGEM DE CONECTORES COM CABEÇA EM CONEXÕES VIGA-PILAR DE CONCRETO ARMADO	
Nataniel Wontoon Barbosa Lima	
Ana Paula Bona Barros Medeiros	
Guilherme Oití Berbert-Born	
João Gabriel Pacheco Monteiro	
Marcos Honorato de Oliveira	
Maurício Ferreira de Pina	
DOI 10.22533/at.ed.70120090720	
CAPÍTULO 21	285
ESTUDO DA DOSAGEM DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL REFORÇADO COM FIBRAS ADOTANDO O MÉTODO DO EMPACOTAMENTO COMPRESSÍVEL (MEC)	
Matheus Galvão Cardoso	
Rodrigo de Melo Lameiras	
DOI 10.22533/at.ed.70120090721	
CAPÍTULO 22	301
IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS DE EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS	
Tauhana Eineck	
Diogo Rodrigues	
Patrícia Dalla Lana Michel	
DOI 10.22533/at.ed.70120090722	
CAPÍTULO 23	305
UMA ABORDAGEM SOBRE A CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS LATERÍTICOS APLICADOS À PAVIMENTAÇÃO	
Lettycia Pinheiro da Silva	
Lázaro Fernandes Pereira	
Beatriz Almeida Nascimento	
Livia Ramos Lima	
Roseli Oliveira Guedes Martins	
DOI 10.22533/at.ed.70120090723	
SOBRE OS ORGANIZADORES	307
ÍNDICE REMISSIVO	308

CAPACIDADE DE ANCORAGEM DE CONECTORES COM CABEÇA EM CONEXÕES VIGA-PILAR DE CONCRETO ARMADO

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 17/04/2020

Maurício Ferreira de Pina

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

Brasília – Distrito Federal

<http://lattes.cnpq.br/4242041552985485>

Nataniel Wontoon Barbosa Lima

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

Brasília – Distrito Federal

<http://lattes.cnpq.br/5396804155138439>

Ana Paula Bona Barros Medeiros

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

Brasília – Distrito Federal

<http://lattes.cnpq.br/8087403776402873>

Guilherme Oití Berbert-Born

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

Brasília – Distrito Federal

<http://lattes.cnpq.br/1977206567654100>

João Gabriel Pacheco Monteiro

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

Brasília – Distrito Federal

<http://lattes.cnpq.br/6196630340629548>

Marcos Honorato de Oliveira

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

Brasília – Distrito Federal

<http://lattes.cnpq.br/0471906852268220>

RESUMO: Em inúmeras situações o uso de barras com gancho para conectar diferentes membros estruturais é inconveniente devido a limitações geométricas. Em alguns casos, a curvatura do gancho e o comprimento de ancoragem necessário não se ajustam às dimensões dos elementos. Eles também podem levar ao congestionamento da armadura, dificultando a colocação e a consolidação de concreto. Os conectores com cabeça, por sua vez, consistem em alternativas promissoras em tais circunstâncias, uma vez que evidências numéricas e experimentais mostram que o comprimento de ancoragem requerido pode ser reduzido significativamente com a sua utilização, otimizando os processos de detalhamento, construção, favorecendo também a flexibilidade estrutural. Este trabalho apresenta os resultados de 6 testes de arrancamento em conectores com cabeça embutidos em prismas de concreto armado que simulam conexões viga-pilar. A influência do comprimento de embutimento

(h_{ef}) e diâmetro da barra (Φ_c) na capacidade de ancoragem dos conectores e é analisada e discutida. Os resultados experimentais são comparados com estimativas determinadas conforme os modelos de cálculo propostos por Regan (2000), Eurocode 2 (2010), ETAG/EOTA Anexo C (2010), *FIB* Bulletin 58 (2011) e ACI 318 (2019) para avaliar o desempenho dos tais. De acordo com os resultados experimentais, a capacidade máxima de ancoragem e a acurácia dos modelos teóricos mostraram-se afetadas pelo valor de h_{ef} . Dentre os modelos teóricos avaliados, o proposto por Regan (2000) apresentou estimativas mais acuradas, com uma média igual a 1,18 para a razão entre as resistências experimentais e estimadas, desvio padrão igual a 0,20 e coeficiente de variação igual a 0,17.

PALAVRAS-CHAVE: Conexão viga-pilar, capacidade de ancoragem, barras com cabeça, cone de concreto.

ANCHORAGE CAPACITY OF HEADED BARS IN REINFORCED CONCRETE BEAM-COLUMNS JOINTS

ABSTRACT: There are numerous situations in which the use of hooked bars to connect different structural members is inconvenient due to geometrical limitations. In some cases, the curvature of the hook and the required anchorage length do not fit within the dimensions of the elements. They can also lead to reinforcing congestion, hindering concrete placing and consolidation. Headed bars are increasingly used as an alternative in such cases, as the literature shows that their anchorage length can be significantly reduced, thus optimizing the detailing and construction processes, also favoring structural flexibility. This paper presents the results of six pullout tests on headed anchors embedded in reinforced concrete prisms which were idealized to represent beam-column joints. The influence of the embedment length (h_{ef}) and bar diameter (Φ_c) on the anchorage capacity of the anchors is analyzed and discussed. The resistances measured in the tests are compared to theoretical ones which were calculated according to calculation models proposed by Regan (2000), Eurocode 2 (2010), ETAG/EOTA Anexo C (2010), *FIB* Bulletin 58 (2011) e ACI 318 (2019). According to the experimental results, the ultimate pullout strength and the accuracy of the theoretical models were shown to be affected by the embedment length. Among the theoretical models analyzed, the one proposed by Regan (2000) presented the most accurate estimates, with an average of 1,18 for the ratio between the experimental and estimated strengths, standard deviation of 0,20, and coefficient of variation equal to 0,17.

KEYWORDS: Beam-column joints, anchorage capacity, headed anchors, concrete breakout.

1 | INTRODUÇÃO

Conectores com cabeça (*headed studs*) são cada vez mais utilizados como mecanismos de transferência de forças em estruturas de concreto, pré-fabricadas ou moldadas in-loco, em situações nas quais a geometria dos elementos é insuficiente para o

desenvolvimento completo do comprimento de ancoragem de barras retas. A sua utilização pode reduzir o comprimento de embutimento requerido, simplificar detalhes construtivos, elevar a velocidade do processo construtivo, além de solucionar problemas de obstrução do concreto em estruturas com elevada densidade de armadura. Estes conectores são amplamente utilizados para conectar diferentes membros estruturais, por exemplo, em ligações base-pilar e conexões viga-pilar, bem como em situações de reforço e a confiabilidade e aplicabilidade de sua utilização já foram avaliadas em estudos numéricos e experimentais. Conseqüentemente, diretrizes para orientar o uso desse mecanismo de ancoragem foram introduzidas em normas como o *FIB Bulletin 58* (2011) e o *ACI 318* (2019).

Em conexões viga-pilar de concreto armado, a utilização de barras com ganchos se tornou uma alternativa viável para situações em que o comprimento de embutimento elevado de barras retas impede sua adequação no elemento estrutural. Entretanto, em algumas circunstâncias, tal como em estruturas superarmadas, os ganchos também podem ocasionar o congestionamento das armaduras, reduzindo a praticidade de sua montagem e dificultando a concretagem. Neste contexto, os conectores com cabeça mostram-se uma alternativa promissora em substituição aos métodos de ancoragens convencionais supracitados.

Apesar de suas vantagens, a utilização de conectores com cabeça ainda consiste em um desafio para projetistas estruturais, uma vez que os atuais modelos de cálculo para estimativa da capacidade resistente dos tais ainda necessitam ser aprimorados a fim de que possam fornecer resultados mais acurados. Conforme Shao (2016) e Nilforoush *et al.* (2017), uma das razões que contribui para essa imprecisão dos resultados é o fato de que muitos destes modelos de cálculo desconsideram a influência de variáveis importantes, tais como a influência do tamanho da cabeça e a presença armadura suplementar, no desempenho das ancoragens. Assim, para auxiliar no desenvolvimento de modelos de cálculo mais precisos, pesquisas para investigar e avaliar o comportamento de conectores com cabeça embutidos em elementos de concreto vêm sendo realizadas.

Furche e Eligehausen (1991) iniciaram estudos sobre a influência do efeito de borda, resistência do concreto, tamanho da cabeça do conector e comprimento de embutimento na capacidade de ancoragem, relacionando esta última variável com o mecanismo de falha. Conforme o *ACI 318* (2019), para conectores com cabeça sob tensões de tração, os possíveis modos de falha, os quais são relevantes para a estimativa da carga última, são a ruptura pela ruptura da barra de aço, ruptura pelo cone de concreto, deslocamento lateral, fendilhamento do concreto e escorregamento da ancoragem, como ilustrado na Figura 1. A alternância entre estes mecanismos de falha depende, além do comprimento de embutimento, do cobrimento lateral, espessura do elemento de concreto, área de contato efetiva da cabeça, entre outros fatores que são discutidos na pesquisa realizada por Gil-Martín (2019).

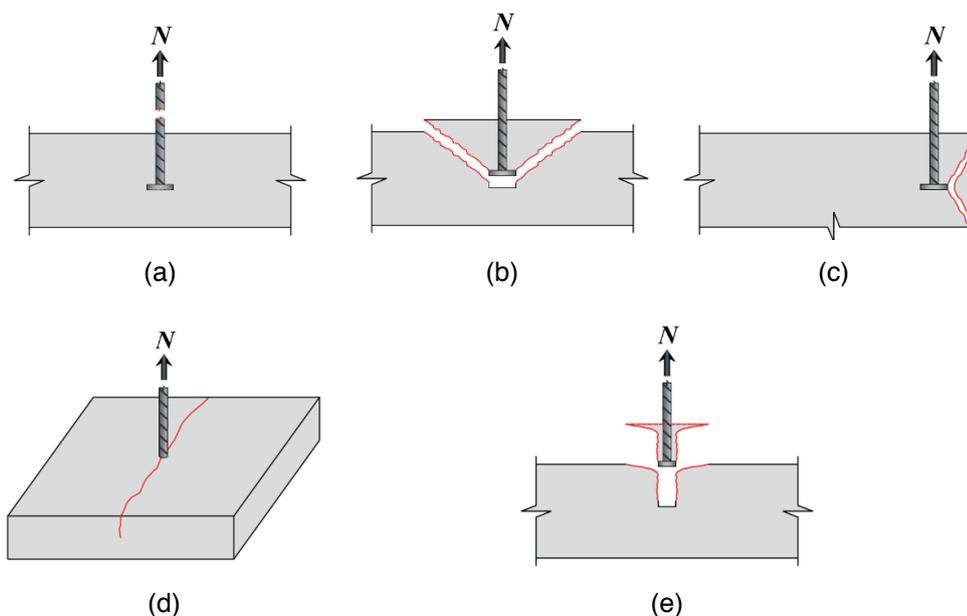


Figura 1 - Modos de falha de conectores (a) ruptura da barra de aço, (b) ruptura pelo cone de concreto, (c) deslocamento lateral, (d) fendilhamento do concreto, (e) escorregamento.

Bashandy (1996) aprofundou os estudos de Furche e Eligehausen (1991) e mostrou que o valor da capacidade de ancoragem tende a aumentar à medida em que a distância até a borda aumenta, considerando que uma massa maior de concreto resiste a formação da ruptura por deslocamento lateral. Bujnak, Bahleda e Farbak (2014) e Chun, Choi e Jung (2017) investigaram a influência do nível de fissuração do concreto na capacidade de carga, mostrando que esta pode ser consideravelmente reduzida pela presença de fissuras, e Sharma *et al.* (2017) conduziram testes experimentais com diferentes taxas de armadura suplementar, em ancoragens com cabeça submetidas a esforços de tração e cisalhamento, mostrando que a carga de falha pode ser aumentada com a utilização destas, propondo também um modelo de cálculo mais acurado.

Portanto, apesar de ter a sua viabilidade de utilização comprovada, a aplicabilidade dos conectores com cabeça ainda não foi explorada em sua totalidade, estando isto ligado ao fato de que recomendações normativas e guias de dimensionamento ainda necessitam de aprimoramento em seus modelos teóricos. Além disso, dentre as pesquisas desenvolvidas nos últimos 50 anos que investigaram o comportamento das barras com cabeça, poucas evidenciaram o estudo delas em conexões viga-pilar de concreto armado, regiões críticas em estruturas com elevadas densidades de armadura, uma vez que a alta concentração de barras de aço pode prejudicar a concretagem e a consolidação do material.

Isto posto, neste trabalho são analisados e discutidos os resultados de 6 testes de arrancamento em barras com cabeça ancoradas em prismas de concreto armado, projetados para simular conexões viga-pilar com base em um modelo adaptado do que fora apresentado por Chun, Choi e Jung (2017). É investigada a influência do comprimento

de embutimento (h_{ef}) e diâmetro da barra na capacidade de ancoragem dos conectores com cabeça. As resistências experimentais são comparadas àquelas estimadas através de modelos de cálculos propostos por Regan (2000), Eurocode 2 (2010), ETAG/EOTA Anexo C (2010), *FIB Bulletin 58* (2011) e ACI 318 (2019) com a finalidade de avaliar o desempenho dos tais em termos de acurácia.

2 | MÉTODOS DE CÁLCULO

Entre os principais parâmetros estudados na literatura que influenciam na capacidade de ancoragem de conectores com cabeça estão a resistência à compressão do concreto (f_c), diâmetro da cabeça (Φ_c), o comprimento de embutimento (h_{ef}), a distância até a borda (c_{a1}), o efeito de agrupamento, a presença de armaduras suplementares e a abertura de fissuras. O valor de h_{ef} , por sua vez, para conectores com cabeça, constitui uma das variáveis que exerce maior influência na resistência última à tração e, em sua análise, de acordo com Eligehausen e Sawade (1989), deve-se levar em consideração o efeito escala que faz com que carga última aumente na proporção de $h_{ef}^{1,5}$.

Para ancoragens submetidas a esforços de tração, a resistência do concreto à tração também é um parâmetro relevante, uma vez que condiciona a transferência de esforços entre o conector e o concreto, e, segundo Eligehausen, Mallée e Silva (2006), ela pode ser considerada como sendo proporcional à raiz quadrada da resistência à compressão ($f_c^{1/2}$). Concernente a presença de fissuras, principalmente para rupturas pelo cone de concreto, ela produz impactos negativos similares ao efeito de borda, uma vez que impede o completo desenvolvimento do cone, podendo reduzir em 70% o valor da capacidade de ancoragem para o concreto não fissurado (ELIGEHAUSEN, MALLÉE e SILVA, 2006). Esta redução corresponde aos distúrbios de tensões que ocorre pela interrupção da projeção do cone de concreto.

Isto posto, a capacidade de ancoragem de um conector é dada pela equação 1:

$$N_b = k_c \cdot \lambda_a \cdot \sqrt{f_c} \cdot h_{ef}^{1,5} \quad (1)$$

onde k_c é um parâmetro que depende da presença ou não de fissuras no concreto e λ_a é um fator de modificação relacionado às propriedades mecânicas reduzidas do concreto leve. Para o concreto normal moldado in loco este valor é igual a 1,0.

A equação 1, base dos modelos teóricos disponíveis na literatura (ver tabela 1), consiste no método de cálculo utilizado pelo ACI 318 (2019) e baseia-se no modelo da capacidade do cone de concreto (CCD) proposto por Fuchs et al. (1995) e adaptado do método Kappa. Nesse modelo, a ruptura do cone de concreto é resultado da origem de uma falha que forma com a superfície do concreto um ângulo de aproximadamente 35°, formando uma pirâmide de base quadrada de lados medindo 3 vezes o valor de h_{ef} e

altura igual a h_{ef} . A carga última resistente de uma barra ou um grupo de barras ancoradas, sujeitas a esforços de tração, é dada por:

$$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{ed,N} \cdot \psi_{c,N} \cdot \psi_{cp,N} \cdot N_b \quad (2)$$

Como pode ser observado, a equação 2 depende de diversos fatores que consideram efeitos da geometria, a área de projeção do cone de concreto, espaçamentos e distância à borda do prisma, da área real da superfície a falha obtida ao se considerar efeito de borda e agrupamento; da excentricidade da aplicação da força de tração no grupo; da perturbação da distribuição de tensões no concreto provocada pelas bordas do membro de concreto; do nível de fissuração do concreto sob carga de serviço; além do valor limite da resistência de uma única ancoragem, apresentada na equação 1.

O método de cálculo apresentado no *FIB Bulletin 58* (2011) se assemelha ao *ACI 318* (2019), dependendo de um fator de redução adicional que considera a influência de armaduras dispostas próximas umas das outras no elemento de concreto, sendo aplicado para ancoragens que possuam $h_{ef} < 100$ mm. Além disso, os valores do fator k_1 são diferentes, como pode-se observar na Tabela 1.

As equações apresentadas no Eurocode 2 (2010) e no EOTA/ETAG Anexo C (2010) para o cálculo da capacidade de ancoragem pela ruptura do cone de concreto são similares àquelas presentes no *FIB Bulletin 58* (2011), com a proposição de novos valores para fator k_1 (ver Tabela 1). Regan (2000), por sua vez, propôs um valor diferente para o mesmo fator k_1 , relacionado o mesmo ao tipo de mecanismo de ancoragem.

Símbolos	Parâmetro	Regan	Eurocode 2	EOTA/ETAG	<i>fib Bulletin</i> nº 58	ACI 318	
	K1 para concreto não fissurado	14,0 para conectores com cabeça	11,9	10,1	12,7	12,5 ($h_{ef} < 280$ mm)	
	K1 para concreto fissurado	10 para ganchos e dobras	8,5	7,2	8,9	4,9 (280 mm $< h_{ef} < 635$ mm)	
	n	3/2	3/2	3/2	3/2	3/2	10 ($h_{ef} < 280$ mm)
							3,9 (280 mm $< h_{ef} < 635$ mm)
							3/2 ($h_{ef} < 280$ mm)
							5/3 (280 mm $< h_{ef} < 635$ mm)

Tabela 1 - Resumo dos modelos teóricos de cálculo para ruptura pelo cone de concreto.

3 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi constituído por um total de seis ensaios de arrancamento em conectores com cabeça pré-instalados em prismas de concreto armado com o objetivo de investigar fatores que influenciam na resistência última à tração destes mecanismos

de ancoragem. As principais variáveis foram o diâmetro dos conectores, 12,5 mm e 16 mm, o comprimento de embutimento, variando entre 60 mm e 150 mm, e a distância até a borda, 52 mm e 70 mm.

Os espécimes foram projetados para simular uma conexão viga-pilar, de maneira semelhante ao modelo proposto por Chun, Choi E Jung (2017), com espessura e comprimento fixos, 250 mm e 1100 mm, respectivamente, e largura variando entre 285 e 590 mm. Esses prismas foram dimensionados para que os ensaios ocorressem com a peça não fissurada, sob condições de boa aderência, e com o modo de falha governado pela ruptura do cone de concreto (*concrete breakout*). Detalhes da disposição das armaduras são apresentados na Figura 2 e as principais características dos espécimes são mostradas na Tabela 2.

O concreto utilizado foi do tipo usinado e, para a determinação de suas propriedades mecânicas foram moldados corpos de prova (CPs) com dimensões iguais a 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura, os quais foram submetidos a ensaios de resistência à compressão e à tração por compressão diametral, de acordo com a ABNT NBR 7222 (2011) e a ABNT NBR 5739 (2007), respectivamente. A resistência à compressão média aos 28 dias (f_{cm}) foi igual a 40,6 MPa, a resistência à tração média (f_{ctm}) foi igual a 3,75 MPa e o módulo de elasticidade (E_c) igual a 38,99 GPa.

Na fabricação dos conectores foram utilizadas barras de aço CA-50 e as cabeças circulares foram conectadas a estas por meio do processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido, de modo que a sua falha ocorresse pela ruptura da seção da barra de aço. A Tabela 2 mostra propriedades mecânicas destes materiais supracitados.

Especimes	Conectores com cabeça						Armadura de Flexão / Prisma					
	h_{ef}	φ_c	φ_h	C_{a1}	f_y	E	N1/N2	φ_f	N3	f_y	E	b_w
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(GPa)		(mm)		(MPa)	(GPa)	(mm)
H-80-16-70	80	16,0	48,0	70,0	500	200	3	16,0	6	500	200	380
H-110-16-70	110						4		6			470
H-150-16-70	150						5		7			590
H-60-12-52	60	12,5	37,5	52,0			4	12,5	6			285
H-85-12-52	85						5		6			360
H-120-12-52	120						6		6			465

Tabela 2 - Características principais dos espécimes.

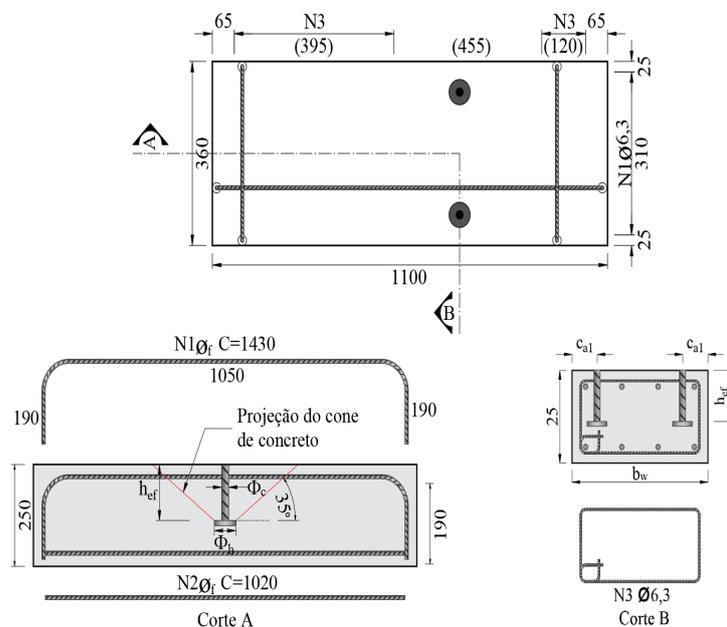


Figura 2 - Detalhamento das armaduras dos blocos de concreto.

Para a realização das análises, foram coletados dados da carga de tração aplicada, deformação e deslizamento dos conectores com cabeça, deformação da armadura longitudinal do bloco de concreto e deslocamento vertical do bloco provocado por sua deflexão. A obtenção dos valores de forças e deformações durante os ensaios de arrancamento foi realizada, respectivamente, por meio de células de carga, LVDT's (Transdutores de Variação de Deslocamento Linear) e extensômetros elétricos.

Os LVDT's foram posicionados em 4 pontos selecionados, sendo dois em cada face lateral fora da área de formação do cone de concreto e um em cada barra na face inferior do bloco (ver Figura 3). Os LVDT's 1 e 2 mensuram o escorregamento das barras, e os 3 e 4, posicionados nas laterais, o deslocamento do bloco de concreto. Para posicionar os LVDT's na cabeça dos conectores, uma barra adicional de 5 mm de diâmetro foi soldada na superfície inferior das cabeças, sendo revestida de poliestireno Expansível (EPS) durante a concretagem, de acordo com o detalhe 1 na Figura 3.

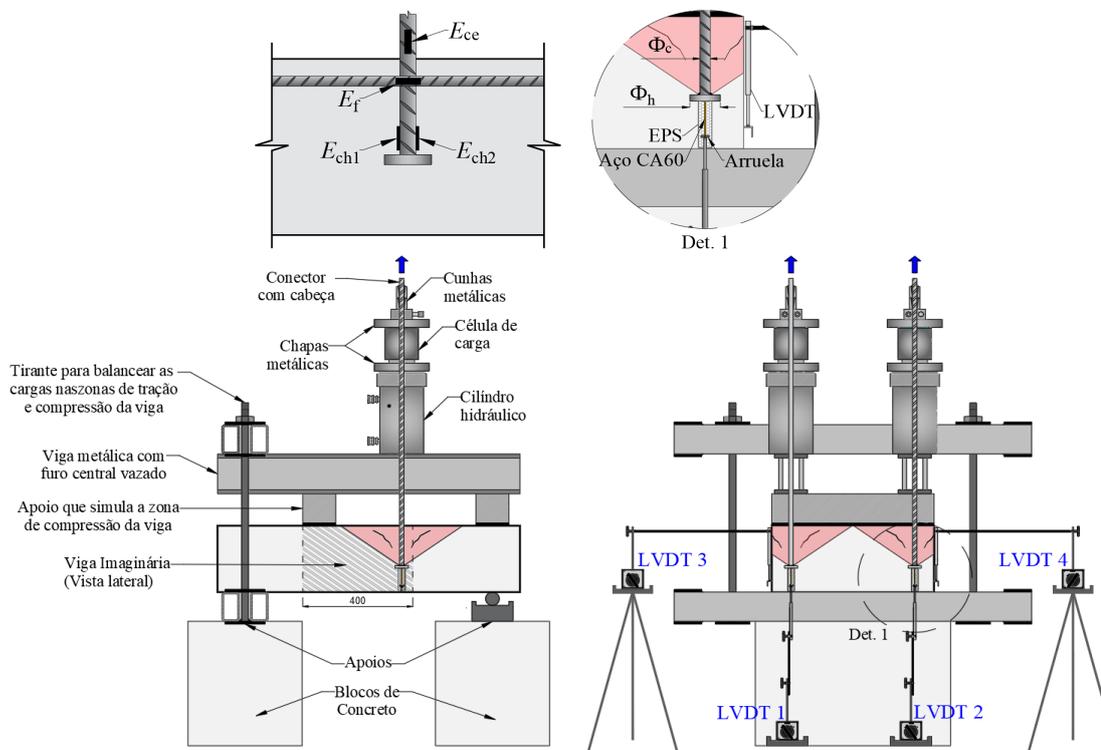


Figura 3 - Sistema de ensaio e detalhamento da instrumentação.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, são apresentados resultados experimentais referentes a capacidade resistente à tração (N_u) de conectores com cabeça pré-instalados em prismas de concreto armado. Estes resultados experimentais, por sua vez, são comparados com os estimados através dos modelos teóricos apresentados na literatura. Vale ressaltar que, nos ensaios realizados, todos os espécimes foram dimensionados à flexão de modo que as rupturas ocorressem pela formação do cone de concreto, modo de falha definido como objeto de estudo nesta pesquisa.

Conforme Eligehausen (1984), a presença de fissuras no elemento de concreto pode reduzir a resistência última à tração de conectores tipo pino com cabeça, cerca de 20% para aberturas médias da ordem de 0,3 mm, e uma das formas de prevenir essa queda no desempenho da ancoragem consiste em limitar abertura média de fissuras a 0,03 mm. Com esta finalidade, utilizou-se o código normativo ABNT NBR 6118 (2014) para determinar as aberturas de fissura (w_k) de forma analítica, com base no momento de fissuração dos prismas de concreto, calculados a partir das estimativas de carga última dos conectores, e, por intermédio dos resultados, determinou-se a taxa de armadura longitudinal (ρ) necessária para os espécimes.

Estes valores encontrados para as aberturas de fissura e para o momento de fissuração ainda foram comparados com aqueles fornecidos pelo software Response-2000, o qual foi desenvolvido pela Universidade de Toronto para calcular a resistência e a ductilidade

de uma seção transversal de concreto armado submetida a cisalhamento, momento e carga axial. Assim, buscando estabelecer um padrão no nível de fissuração e manter o mesmo inferior ao valor recomendado por Eligehausen (1984), variou-se a taxa de armadura longitudinal do pilar, representado pelo bloco de concreto, entre 1,27% e 1,38%. O resumo das taxas de armadura e abertura de fissura são apresentados na Tabela 3.

ID	ϕ (mm)	ρ (%)	M_u (kNm)	$w_{k\ NBR}$ (mm)	$w_{k\ Resp.}$ (mm)
H-80-16-70	16	1,27	72,7	0,01	0,02
H-110-16-70	16	1,37	96,6	0,02	0,02
H-150-16-70	16	1,36	120,8	0,02	0,03
H-60-12-70	12,5	1,38	60,5	0,01	0,00
H-85-12-55	12,5	1,36	75,7	0,01	0,00
H-120-12-55	12,5	1,27	91,0	0,01	0,02

Tabela 3 - Características principais dos espécimes.

ID	h_{ef} (mm)	N_u (KN)	N_u / N_{Regan}	$N_u / N_{Eurocode}$	N_u / N_{EOTA}	N_u / N_{FIB}	N_u / N_{ACI}
H-80-16-70	80	45,23	1,05	1,24	1,30	1,16	1,06
H-110-16-70	110	62,37	0,95	1,12	1,18	1,05	1,07
H-150-16-70	150	105,45	1,24	1,46	1,53	1,36	1,39
H-60-12-70	60	36,27	1,47	1,73	1,81	1,62	1,32
H-85-12-55	85	56,22	1,34	1,58	1,66	1,48	1,39
H-120-12-55	120	67,92	1,04	1,22	1,28	1,14	1,16
Média			1,18	1,39	1,46	1,30	1,23
Desvio Padrão			0,20	0,24	0,25	0,22	0,15
Coefficiente de Variação			0,17	0,17	0,17	0,17	0,13

Tabela 4 - Resultados das cargas de ruptura experimentais e teóricas.

Todos os espécimes falharam pela ruptura do cone de concreto. A tabela 4 apresenta a capacidade resistente à tração (N_u) dos conectores medidas nos ensaios e compara estas com os valores teóricos calculados seguindo as recomendações de Regan (2000), Eurocode 2 (2010), ETAG/EOTA 001 Anexo C (2010), *FIB Bulletin 58* (2011) e ACI 318 (2019). Uma vez que haviam dois conectores por prisma de concreto, os valores de N_u apresentados consistem na média aritmética entre as duas cargas.

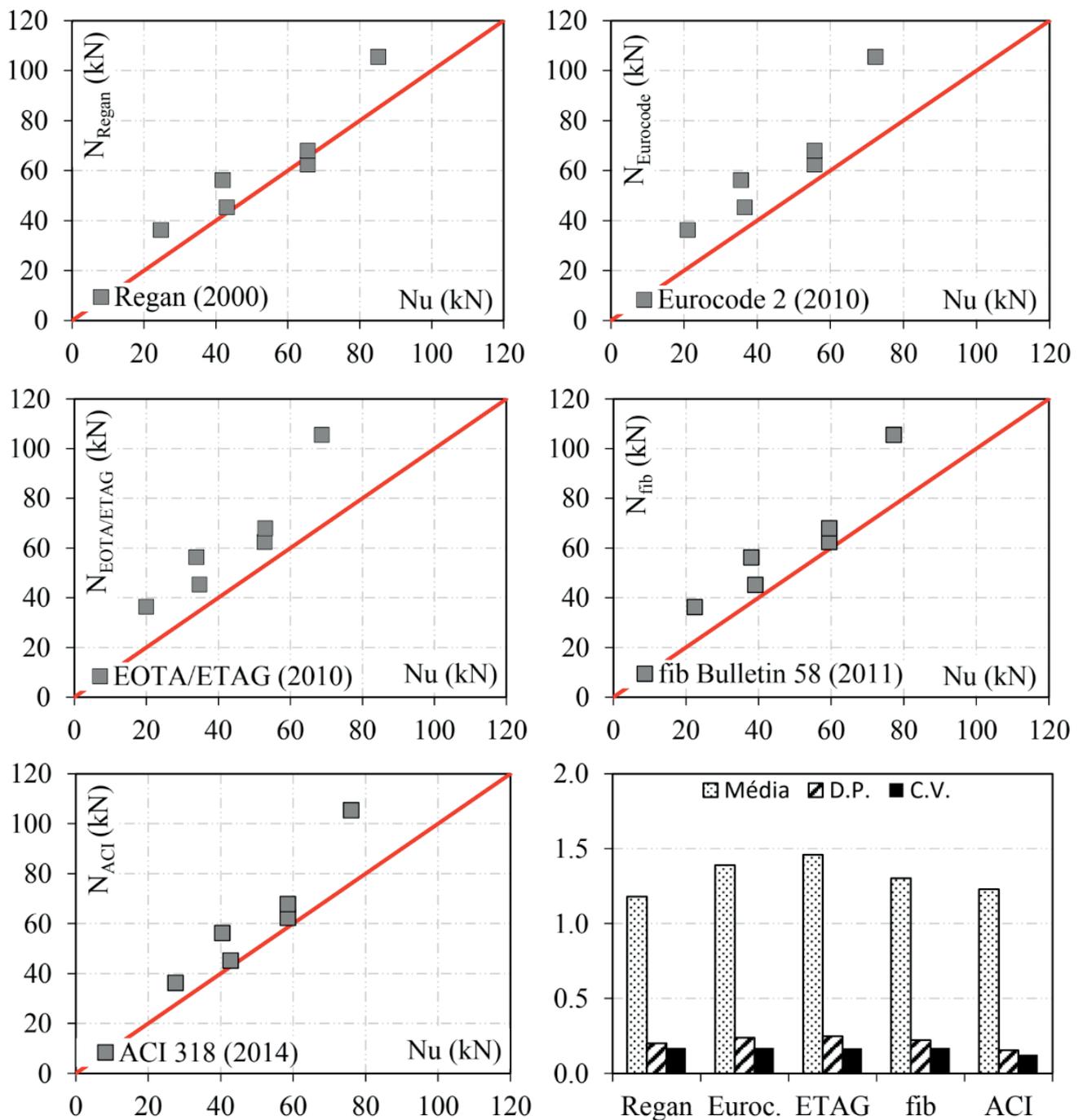


Figura 4 - Avaliação dos modelos teóricos quanto a acurácia das estimativas da capacidade de carga.

Como pode ser observado na tabela 4, dentre os métodos de cálculo analisados, o modelo apresentado por Regan (2000) mostrou a melhor correlação com os valores obtidos nos ensaios, com uma média igual a 1,18 para a razão entre as resistências experimental e estimada (N_u/N_{te0}), desvio padrão igual a 0,20 e coeficiente de variação igual a 0,17. Entretanto, apesar de mostrar a maior acurácia, este modelo de cálculo foi o que apresentou resultado desfavorável à segurança, superestimando a capacidade de ancoragem do conector (ver figura 4). O segundo modelo de cálculo a apresentar estimativas mais acuradas foi aquele previsto no ACI 318 (2019), com média, desvio padrão e coeficiente de variação igual a 1,23, 0,15 e 0,13, respectivamente. Este modelo também foi o que apresentou a menor dispersão dos resultados.

Concernente aos modelos de cálculo com performance mais insatisfatória em termos de acurácia, destacaram-se aqueles presentes no EOTA/ETAG Anexo C (2010) e Eurocode 2 (2010), sendo os mais conservadores. Entretanto, o último mostrou um melhor desempenho, com uma menor média para a razão $N_u/N_{u,teo}$, 1,39, e menor desvio padrão, igual a 0,24.

A figura 5 avalia a precisão dos modelos teóricos em função do comprimento de embutimento do conector, confrontando o mesmo com a razão entre as resistências experimental e teórica, doravante definida por fator λ . Observou-se que, para os espécimes ensaiados, a acurácia dos modelos de cálculo tendeu a reduzir com o decréscimo do comprimento de embutimento, com exceção daquele previsto no ACI 318 (2019).

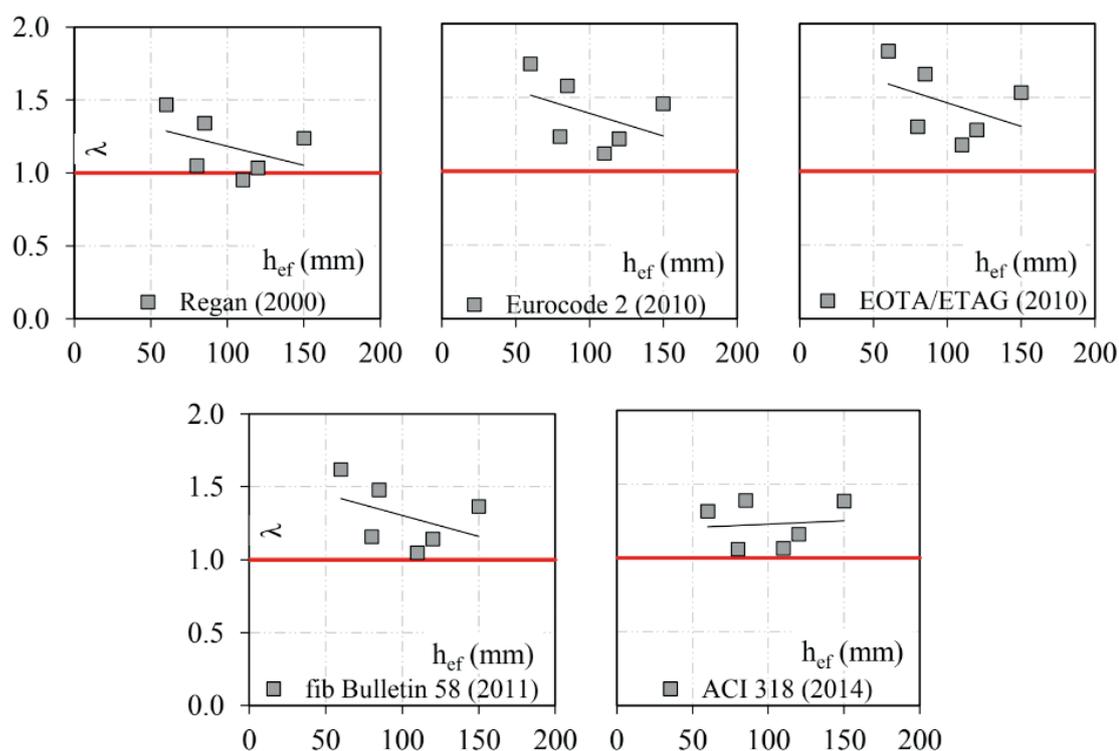


Figura 5 - Avaliação dos modelos teóricos quanto a acurácia em função de h_{ef} .

Através da figura 5, observa-se que para valores de h_{ef} próximos a 100 mm, verificou-se também que os modelos teóricos passaram a fornecer estimativas mais satisfatórias em termos de acurácia. Novamente, é possível notar que o método proposto por Regan (2000) foi o que apresentou resultados mais acurados, mas forneceu valores desfavoráveis à segurança.

No que diz respeito aos modelos de cálculo do Eurocode 2 (2010), EOTA/ETAG Anexo C (2010) e *FIB* Bulletin 58 (2011), o desempenho dos tais foi menor em comparação com o daquele previsto no ACI 318 (2019) devido às maiores imprecisões obtidas para valores de h_{ef} inferiores a 100 mm. Tal comportamento pode estar relacionado ao fato de que estas normas, diferentemente do ACI 318 (2019), consideram o efeito negativo das amaduras do prisma de concreto armado dispostas com espaçamento inferior a 150 mm.

A figura 6 mostra a correlação entre a capacidade de ancoragem dos conectores com cabeça e o comprimento de embutimento. Conforme pode ser observado, a resistência a tração se elevou com incrementos sucessivos no valor de h_{ef} . Através da linha de tendência, criada por meio de uma interpolação exponencial, percebe-se que há uma forte correlação entre ambos, comportamento este que já era esperado. De acordo Petersen *et al.* (2018), o comprimento de embutimento exerce uma grande influência sobre o modo de ruptura das ancoragens, condicionando o seu desempenho, e, segundo Gil-Martín *et al.* (2019), esta influência se torna mais notável nos casos em que a falha é governada pela ruptura do cone de concreto.

Para investigar a possível influência do diâmetro nominal do conector na sua capacidade de carga, inicialmente buscou-se eliminar a influência da resistência à compressão do concreto e, principalmente, do comprimento de embutimento no valor de N_u , uma vez que o valor de h_{ef} varia e foi evidenciada a correlação entre h_{ef} e a resistência última à tração. Com este objetivo, a carga última experimental foi normalizada dividindo-se a mesma pelo produto entre a raiz da resistência à compressão média do concreto e o comprimento de embutimento elevado à potência de 1,5, como mostra a equação 3. Os valores de N_u normalizados são apresentados na tabela 5.

Comparando os resultados, é possível averiguar que não foi possível identificar uma tendência de crescimento ou decréscimo da capacidade resistente à tração do conector com a variação do diâmetro nominal da barra. Tal comportamento indica a pouca ou nenhuma interferência do diâmetro nominal da barra na capacidade resistente à tração dos conectores. Este resultado pode mudar para maiores comprimentos de embutimento.

$$N_{u,normalizado} = \frac{N_u}{\sqrt{f_{cm}} \cdot h_{ef}^{1,5}} \quad (3)$$

ID	h_{ef} (mm)	d	$N_{u,normalizado}$ ($N^{0,5}/mm^{0,5}$)
H-80-16-70	80	16,0	1,05
H-110-16-70	110	16,0	0,95
H-150-16-70	150	16,0	1,24
H-60-12-70	60	12,5	1,47
H-85-12-55	85	12,5	1,34
H-120-12-55	120	12,5	1,04

Tabela 5 - Valores de N_u normalizados.

5 | CONCLUSÕES

Esta pesquisa apresenta os resultados de nove testes de arrancamento em conectores com cabeça pré-instalados em prismas de concreto armado. As principais variáveis foram

o comprimento de embutimento, diâmetro dos conectores, e a distância até a borda. Os valores medidos nos ensaios para a capacidade de ancoragem foram comparados com os teóricos calculados a partir dos modelos de cálculo apresentados por Regan (2000), Eurocode 2 (2010), EOTA/ETAG Anexo C (2010), *FIB Bulletin 58* (2011) e ACI 318 (2019). As principais conclusões são apresentadas abaixo:

- I. Dentre as variáveis, o comprimento de embutimento exerceu maior influência sobre a capacidade de ancoragem dos conectores com cabeça. Para o diâmetro de 16 mm, um incremento de 87,5% no valor de h_{ef} (80 mm para 150 mm) proporcionou um ganho aproximadamente igual a 133% na capacidade resistente à tração. Para o menor diâmetro, observou-se um comportamento semelhante, embora com uma menor taxa de crescimento.
- II. Dentre os métodos de cálculo analisados, o que fora proposto por Regan (2000) foi o que apresentou a melhor correlação, fornecendo uma média igual a 1,18 para a razão N_u/N_{teo} , desvio padrão igual a 0,20 e coeficiente de variação igual a 0,17. No entanto, apesar de ser mais preciso, o mesmo apresentou resultado desfavorável à segurança. O modelo teóricos que apresentou o menor desempenho em termos de acurácia foi o proposto na norma EOTA/ETAG Anexo C (2010), com média para a para a razão N_u/N_{teo} igual a 1,46, desvio padrão igual a 0,25 e coeficiente de variação igual a 0,17, respectivamente, sendo classificado como o mais conservador.
- III. Nos ensaios realizados, o diâmetro nominal da barra mostrou pouca ou nenhuma interferência na capacidade resistente à tração dos conectores. Tal comportamento pode mudar para maiores comprimentos de embutimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar sua gratidão a Paul E. Regan, professor emérito da Universidade de Westminster, por todas as relevantes considerações feitas durante o desenvolvimento desta pesquisa. Ao suporte financeiro da CAPES e CNPq, agências de desenvolvimento de pesquisas brasileiras.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, **Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI-318**. New York, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto, ABNT NBR 5739**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, ABNT NBR 7222**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto e execução de obras de concreto armado e protendido – procedimento, ABNT NBR 6118**. Rio de Janeiro, 2014.

BASHANDY, T. **Application of headed bars in concrete members**. Ph.D. Dissertation, University of Texas at Austin, Austin, Texas, 1996.

BUJNAK, J.; BAHLEDA, F.; FARBAK, M. **Headed fastenings acting in cooperation with supplementary steel reinforcement**. *Procedia Engineering*, v. 91, p.250-255, 2014.

CHUN, S.-C.; CHOI, S.-H.; JUNG, H. **Side-Face Blowout Failure of Large-Diameter High-Strength Headed Bars in Beam-Column Joints**. *ACI Structural Journal*, v. 114, n. 1, p.161-172, jan.-fev. 2017.

ELIGEHAUSEN, R. **Wechselbeziehungen zwischen Befestigungstechnik und Stahlbetonbauweise**, (Interactions of Fastenings and Reinforced Concrete Constructions). In *Fortschritte im Konstruktiven Ingenieurbau*, Verlag Wilhelm Ernst and Sohn. Berlin, 1984.

ELIGEHAUSEN, R; MALLÉE, R; SILVA, J. F. **Anchorage in Concrete Construction**. 1° edition, Ernst and Sohn GmbH and Co. KG. 2006.

ELIGEHAUSEN, R., SAWADE, G. **Fracture Mechanics Based Description of the Pull-Out Behaviour of Headed Studs Embedded in Concrete**. *Fracture Mechanics of Concrete Structures. From Theory to Applications*. L. Elfgren, ed., Chapman & Hall, London, p. 263-281. 1989.

Eurocode 2: **Design of concrete structures – Part 4-2: Design of fastenings for use in concrete, EN 1992-4**. Brussels: European Committee for Standardization, CEN/TC 250, 2010.

EOTA, ETAG ANEXO C: **Anchors for Use in Concrete**. Guideline for European Technical Approval of Metal, Brussels, 2010.

FIB BULLETIN 58. Design of Anchorages in Concrete. International Federation for Structural Concrete, Lausanne, Switzerland, 2011.

FUCHS, W.; ELIGEHAUSEN, R.; BREEN, J.E. **Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete, Authors' Closure to Discussion**. *ACI Structural Journal*, v. 92, n. 6, p.794-802, 1995.

FURCHE, J.; ELIGEHAUSEN, R. **Lateral Blow out Failure of Headed Studs Near a Free Edge**. *ACI Structural Journal*, v.130, p.235-252, jan. 1991.

GIL-MARTÍN, L. M.; HERNÁNDEZ-MONTES, E. **Reinforcement anchored in tension by heads. Review of capacity formulation and applicability limits**. *Engineering Structures*, v. 184, p. 186-193, jan. 2019.

NILFOROUSH, R.; NILSSON, M.; ELFGREN, L.; OŽBOLT, J.; HOFMANN, J.; ELIGEHAUSEN, R. **Influence of Surface Reinforcement, Member Thickness, and Cracked Concrete on Tensile Capacity of Anchor Bolts**. *Aci Structural Journal*, v. 114, n. 6, p.1519-1530, nov.-dec. 2017.

PETERSEN, D.; LIN, Z.; ZHAO, J. **Design of anchor reinforcement for seismic tension loads**. *Engineering Structures*, v. 164, p. 109-118, 2018.

REGAN, P. E. **Shear Reinforcement of Flat Slabs**. International Workshop on Punching Shear Capacity of RC Slabs - Proceedings, TRITA-BKN, *Bulletin 57*, p. 99-107, 2000.

SHAO, Y. **Anchorage of headed reinforcing bars in exterior beam-column joints**. PhD Thesis, University of Kansas, Lawrence, Kansas, 2016.

SHARMA, A.; ELIGEHAUSEN, R.; ASMUS, J. **Comprehensive analytical model for anchorages with supplementary reinforcement**. In 3rd International Symposium on Connections between Steel and Concrete. Stuttgart, Germany, 2017.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aderência 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 17, 18, 20, 42, 183, 276

Adições Minerais 38, 39, 49, 51, 55, 67, 81, 82, 90, 94

Aditivo 18, 19, 20, 21, 23, 24, 26, 27, 32, 33, 45, 46, 47, 74, 83, 105, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 116, 119, 120, 125, 126, 127

Aditivo Plastificante 114, 116, 119, 120

Areia de Brita 13, 14, 16

Argamassas 3, 4, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 97, 105, 106, 107, 108, 109, 112, 113, 114, 116, 117, 119, 120, 126, 127, 130, 139, 206, 210

Argamassas Estabilizadas 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 25, 27, 28, 105, 106, 112, 113

Arquitetura 30, 31

C

Cal Hidratada 1, 5, 10

Chapisco 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

Cisalhamento Direto 128, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 142

Colorido 30, 31, 32, 36, 37

Compósitos Cimentícios 68, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 79

Concreto 3, 12, 13, 15, 18, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 72, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 102, 103, 104, 113, 115, 116, 123, 127, 143, 144, 145, 146, 148, 149, 157, 158, 160, 161, 162, 163, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 176, 177, 178, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 204, 210, 211, 214, 217, 220, 221, 222, 223, 224, 227, 231, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 245, 250, 251, 252, 253, 255, 256, 257, 267, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 296, 298, 299, 303, 304

Corrosão 38, 40, 42, 49, 50, 51, 53, 54, 66, 67, 303

D

Detergente Doméstico 114, 116, 119, 125, 127

E

EPS 128, 129, 130, 131, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 277

Escoramento 159, 160, 161, 162, 163, 168, 169

F

Fibras de Celulose 68, 71, 73, 78

G

Geossintéticos 128, 140, 141

I

Interação 55, 75, 76, 139, 143, 220, 250

Íon Cloreto 39, 42

L

Laje Pré-Moldada 159, 166, 168

M

Manifestações Patológicas 15, 51, 53, 223, 225, 226, 235, 301, 302, 303, 304

Metacaulim 11, 12, 50, 51, 52, 53, 55, 56, 60, 62, 64, 65, 66, 67

Método dos Elementos Finitos 143, 144

Migração de Íons 39, 43, 45

Módulo de Elasticidade 81, 83, 84, 85, 86, 87, 90, 91, 92, 93, 164, 198, 201, 207, 210, 211, 214, 217, 218, 239, 242, 276, 289

P

Patologias 39, 97, 222, 223, 234, 252

Permeabilidade 13, 14, 16, 17, 18, 21, 23, 27, 28, 39, 40, 51, 65, 66, 112, 125, 306

Poliestireno Expandido 128, 129, 137, 138, 140, 141

Procedimento 11, 37, 49, 93, 105, 108, 132, 157, 165, 172, 174, 175, 185, 204, 211, 226, 229, 284, 292, 295, 304

Programa Computacional 61, 143

R

Reforço 11, 50, 68, 69, 70, 71, 72, 74, 129, 232, 233, 236, 251, 252, 253, 255, 256, 257, 259, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 269, 272, 285, 288, 289, 304, 305

Rigidez à Torção 143, 144, 146, 148, 154, 155, 157

Rigidez Experimental 159, 167, 168

S

Sílica 12, 32, 33, 38, 39, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 56, 81, 82, 83, 84, 85, 88, 89, 90, 91, 92, 93

Sílica Ativa 32, 33, 38, 39, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 81, 82, 83, 84, 85, 89, 90, 92, 93
Solos 128, 129, 130, 133, 134, 135, 136, 137, 142, 305, 306

 **Atena**
Editora

2 0 2 0