



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: Profª Drª 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

Profª Drª 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

Profª Drª 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

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª 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

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

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

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

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

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

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

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª 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

Profª Drª 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	
Lívia Ramos Lima	
Roseli Oliveira Guedes Martins	
DOI 10.22533/at.ed.70120090723	
SOBRE OS ORGANIZADORES	307
ÍNDICE REMISSIVO	308

ESTUDO DA DOSAGEM DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL REFORÇADO COM FIBRAS ADOTANDO O MÉTODO DO EMPACOTAMENTO COMPRESSÍVEL (MEC)

Data de aceite: 01/06/2020

Data da submissão: 03/04/2020

Matheus Galvão Cardoso

Mestre em Estruturas e Construção Civil – PECC
- Universidade de Brasília- Distrito Federal -
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Faculdade
de Tecnologia (FT), Departamento de Engenharia
Civil e Ambiental (ENC)
matheus-ssdo@hotmail.com
<http://lattes.cnpq.br/3855774354488267>

Rodrigo de Melo Lameiras

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade do
Minho – Professor na Universidade de Brasília.
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Faculdade
de Tecnologia (FT), Departamento de Engenharia
Civil e Ambiental (ENC)
<http://lattes.cnpq.br/9194162024248712>

RESUMO: O concreto autoadensável reforçado com fibras de aço (CAARF) é uma inovação que reúne as vantagens do concreto autoadensável e do concreto reforçado com fibras, que podem atuar em dois problemas do concreto convencional, melhorando a concretagem e eliminando a necessidade de vibrações com sua alta trabalhabilidade, além de aumentar a ductilidade e tenacidade do concreto devido à inclusão da fibra. Este material pode ser usado

em estruturas com altas taxas de reforço, permitindo uma concretagem mais eficiente e, ao mesmo tempo, reduzindo a taxa de reforço. Existem várias maneiras de se dosar um concreto autoadensável, sendo uma das mais precisas a abordagem proposta por De Larrard (1999), o Método do Empacotamento Compressível. Este método baseia-se na solução do empacotamento de misturas secas em todos os componentes utilizados na dosagem do concreto. No entanto, os estudos de dosagem do CAARF usando o MEC ainda são incipientes. Há tentativas de considerar o efeito da fibra no concreto proposto por De Larrard (1999) e por Yu *et al.* (1993). De Larrard (1999) avalia o efeito das fibras considerando uma zona perturbada que elas podem gerar na mistura, enquanto Yu *et al.* (1993) simula o efeito das fibras através do conceito de diâmetro equivalente. Os resultados apontaram que as duas abordagens podem ser utilizadas para dosagens do CAARF, entretanto, para volumes de fibras maiores que 2%, a abordagem que apresentou mais indicada é a proposta por YU *et al.* (1993).

PALAVRAS-CHAVE: Concreto reforçado com fibras, Método de empacotamento compressível, concreto autoadensável, Concreto Autoadensável reforçado com fibras.

ABSTRACT: The Self-Compacting Concrete fiber Reinforced (SCCFR) is an innovation that brings together the advantages of self-compacting concrete and steel fiber reinforced concrete, which can act on two problems of conventional concrete, improving the concreting step by eliminating the need for vibration due to its high workability, in addition to increasing the ductility and toughness of the concrete due to the inclusion of the fiber. This material can be used in structures with high reinforcement rates, enabling a more efficient concreting and at the same time reducing the reinforcement rate. There are several ways to measure a self-compacting concrete, one of the most precise being the approach proposed by De Larrard (1999), the concrete mixture proportioning. This method is based on solving the packaging of dry mixtures in all components used in the dosing of the concrete. However, SCCFR dosing studies using the MEC are still incipient. There are attempts to consider the effect of fibre on the concrete proposed by De Larrard (1999) and by Yu *et al.* (1993). De Larrard (1999) assesses the effect of fibers by considering a disturbed zone that they can generate in the blend, while Yu *et al.* (1993) simulates the effect of fibres through the concept of equivalent diameter. The results indicated that the two approaches can be used for SFRSCC mixes, however, for volumes of fibers greater than 2%, the most indicated approach is the one proposed by YU *et al.* (1993).

KEYWORDS: Fiber reinforced self-compacting concrete, method of compressible packaging, self-compacting concrete,

1 | INTRODUÇÃO

O concreto de cimento Portland é o principal material de engenharia utilizado pelo homem. Diversos são os fatores que podem explicar sua larga utilização, tais como, a elevada resistência mecânica, custos relativamente baixos, versatilidade de se adequar nas mais variadas formas e ainda à rapidez de execução (GARTNER, 2004).

Essa grande utilização faz com que cada vez mais se realize pesquisas com o intuito de se desenvolver tecnologias e variações deste material que aumentem as suas aplicabilidades, sobretudo, pelo fato do concreto apresentar algumas peculiaridades, como por exemplo, o comportamento frágil e baixa capacidade de deformação quando sujeito a tração (FIGUEIREDO, 2011).

O Concreto Reforçado com Fibras (CRF) é um exemplo de variação do concreto, onde se adiciona fibras na matriz do concreto com intuito de melhorar sua resistência à fissuração, tenacidade, resistência à fadiga, resistência ao impacto, dentre outras propriedades. As propriedades do concreto reforçado com fibras dependem do tipo, quantidade e dimensão das fibras (MEHTA E MONTEIRO, 2014).

No momento do lançamento do concreto diversos problemas são observados, onde muitas vezes a deficiência na mão de obra na concretagem pode afetar significativamente

sua durabilidade. Com o objetivo de sanar os problemas advindos das falhas de concretagem, como nas etapas de lançamento e vibração, foi desenvolvido no final da década de 1980 por engenheiros japoneses o Concreto Autoadensável (CAA). O CAA tem como principais vantagens a capacidade de resistir à segregação, habilidade de preenchimento dos espaços e ainda habilidade de passar por restrições (REPETTE, 2011).

O Concreto Autoadensável Reforçado com Fibras (CAARF) é uma inovação que alia os benefícios dos dois tipos de concretos supracitados. Traz consigo os benefícios do CRF como o ganho de tenacidade, e capacidade de resistir às tensões de tração residuais, pós-fissuração aliado às características do CAA, como a trabalhabilidade, habilidade de preenchimento e de transpor restrições, sem segregar e dispensando o uso de vibração.

Existem diversas maneiras para se dosar um concreto autoadensável, sendo uma das mais precisas, a abordagem proposta por De Larrard (1999), o Método do Empacotamento Compressível (MEC). O método se baseia em uma teoria que soluciona a questão de empacotamento de misturas secas em todos componentes utilizados na dosagem do concreto. O MEC apresenta algumas vantagens como o fato de basear-se em princípios científicos fundamentando-se em uma observação dos fenômenos, levantamento de hipóteses, criação de modelos matemáticos que representam os fenômenos e na confirmação experimental da eficácia dos modelos estabelecidos; a possibilidade da utilização de novos materiais que estão sendo amplamente utilizados na confecção dos concretos nos dias atuais, tais como microssílica, fíler calcário, superplasticantes, entre outros. Além disso, pode ser implementado computacionalmente, tendo em vista a possibilidade de ser esquematizado na forma de um algoritmo, foi desenvolvido o Betonlab Pro, uma ferramenta computacional desenvolvida com base no MEC. Esse software é capaz de realizar a otimização de misturas granulares para serem alcançadas as propriedades do desejadas concreto, como a resistência e a trabalhabilidade.

Contudo, a dosagem do CAARF é mais difícil de ser obtida tendo em vista o fato do efeito negativo promovido pelas fibras nas características reológicas do concreto autoadensável. O MEC, assim como outros métodos de dosagem do CAA, também pode ser adaptado para ser utilizado na dosagem do CAARF (GRUNEWALD, 2004; RAMBO, 2012; GABROIS, 2012), entretanto, os estudos realizados ainda são incipientes. Apesar das propostas de De Larrard (1999) e Yu (1993) para a consideração do efeito das fibras na mistura e compacidade da estrutura, os resultados não foram tão precisos, e apresentaram grande variabilidade, conforme Grunewald (2004) demonstrou em suas pesquisas.

1.1 Motivação

Mesmo se tratando de um material da construção civil relativamente novo, alguns estudos já foram realizados a respeito do CAARF (GRÜNEWALD, 2004; SILVA, 2004; PEREIRA et al., 2008; BARROS et al., 2009; RAMBO, 2012; FRITIH et al., 2013; LAMEIRAS,

2013; SALEHIAN, 2015). Esses estudos focam, principalmente, na determinação das propriedades do material no estado fresco e endurecido.

Apesar de já se utilizar o MEC na dosagem de CAARF (GRUNEWALD, 2004; RAMBO, 2012), observa-se uma lacuna quanto aos estudos que avaliem a melhor forma para que seja utilizado na produção deste concreto, devido a necessidade da determinação de uma maneira mais precisa da consideração do efeito das fibras na mistura, sobretudo para garantir um concreto com características reológicas requeridas, sabendo que ele precisa ser autoadensável.

Existem como referência as propostas de De Larrard (1999) através da consideração da fibra através de uma zona perturbada e a de Yu et al (1993) que avalia a fibra na mistura por meio do conceito de um diâmetro equivalente. Contudo estudos desenvolvidos por Grunewald (2004) comparando os dois métodos, através de diversas variações evidenciaram a necessidade de estudos complementares que possam ajudar a definir a maneira mais precisa da avaliação deste efeito na compacidade da mistura.

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Concreto Autoadensável (CAA)

Originado no Japão na década de 1980 o Concreto Autoadensável (CAA) foi desenvolvido com o intuito de aumentar a durabilidade das estruturas, tendo em vista a disponibilidade de mão de obra pouco qualificada, onde foi constatado por engenheiros japoneses, que o adensamento inadequado era um dos principais fatores que afetavam a durabilidade das estruturas. Com a capacidade do CAA de se adensar sem a necessidade de vibração, aliada a grande capacidade de transpor obstáculos, foi possível alcançar aplicações mais rápidas e fáceis, com redução de mão de obra e ainda o fim dos ninhos de concretagem e barulhos de vibradores nas obras (REPETTE, 2011).

Segundo Mehta e Monteiro (2014), o CAA se diferencia do concreto comum pela superioridade das suas características reológicas. Trata-se de um concreto fluido com grande abatimento, de alta coesão e que pode ser lançado e adensado sem vibradores. Suas principais aplicações são em elementos pré-moldados e pré-fabricados, estruturas densamente armadas e concretagens submersas. Diferencia-se do concreto convencional principalmente pelas características no estado fresco (TUTIKIAN *et al.*, 2011).

Sua utilização vem crescendo significativamente nos últimos anos, levando em conta o fato de vir se destacando em todo o mundo com vários trabalhos publicados em congressos e seminários, mostrando dentre outros aspectos positivos da sua utilização, a diminuição do tempo de concretagem, um melhor acabamento e a qualidade do concreto quando comparado com um concreto vibrado (BARROS, 2009).

2.2 Concreto Autoadensável Reforçado com Fibras (CAARF)

A cada dia que passa os concretos reforçados com fibras ganham maior interesse entre a comunidade científica. Estes concretos podem apresentar desempenho superior e características muito diferenciadas dos concretos produzidos sem reforço (RAMBO, 2012). Segundo Grunewald (2004), apresenta as vantagens do concreto autoadensável mais significativas no estado fresco, e ainda são observadas as vantagens obtidas com a adição das fibras no estado endurecido, como a tenacidade e ductilidade por exemplo. Porém uma atenção especial deve ser dada quanto à redução da trabalhabilidade do material, onde um emaranhado de fibras pode ser formado e prejudicar a autoadensabilidade do CAARF.

O reforço de fibras melhora principalmente o comportamento pós-fissuração do concreto, levando a um comportamento mais dúctil do material. Tal comportamento é explicado pela capacidade das fibras de transferirem as tensões através das fissuras, potencialmente levando a uma redução das aberturas de fissuras. A redução nas aberturas de fissuras dependerá da quantidade de fibras que atravessam a fissura, assim como das propriedades físicas e mecânicas da fibra, da relação de aspecto determinada pela razão do comprimento/diâmetro, rugosidade, resistência à tração e módulo de elasticidade (Grunewald, 2004; Lameiras, 2015).

Salehian e Barros (2015) salientam que o CAARF tem contribuído amplamente para o desenvolvimento do concreto, aumentando o campo de aplicação na Engenharia Civil que é cada vez mais exigente do ponto de vista do seu comportamento material e estrutural. O mesmo autor ressalta que o reforço de fibras oferece resistência à propagação de fissuras, permitindo que o CAARF apresente uma elevada capacidade de absorção de energia durante a fissuração da matriz, com ganhos observados, inclusive quanto à ductilidade e durabilidade.

A utilização de reforço fibroso em concreto vem crescendo bastante nos últimos trinta anos. A possibilidade da substituição das armaduras convencionais, de maneira total ou parcial é um grande atrativo observado no CAARF. Em seus estudos YOU *et al.* (2010) verificaram a possibilidade da substituição dos estribos de vigas moldadas com CAA por fibras metálicas, onde foi determinado que a depender do teor de fibras essas vigas apresentavam uma mudança no mecanismo de cisalhamento de frágil para dúctil. Já em estruturas de pequena espessura as armaduras convencionais podem ser totalmente substituídas conforme Lameiras (2015) realizou em seus estudos na fabricação de painéis pré-moldadas, onde utilizou o CAARF em substituição das armaduras convencionais. Sendo assim, a inclusão de fibras, além de melhorar a qualidade do concreto, pode acarretar em redução do período de construção, bem como de custos.

Tendo em vista esta grande aplicação diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos para que se entenda mais sobre esse tipo de concreto, seja para estudar melhores

maneiras de se dosar um concreto autoadensável (GRUNEWALD, 2004), seja para verificar aplicações em elementos estruturais (BARROS et al., 2009; YOU, 2010; LAMEIRAS, 2015).

2.2.1 Dosagem do CAARF

As técnicas de cálculo estrutural e construção civil passaram por notáveis progressos, para acompanhar esse desenvolvimento foi necessário o desenvolvimento de metodologias de dosagens mais precisas. Tudo isso visando garantir ao concreto as características exigidas por construtores e projetistas. Existe um renovado interesse na dosagem dos concretos, tendo em vista que os métodos que vinham sendo utilizados apresentam certas limitações, pois consistiam basicamente em dosar uma mistura de cimento, água e agregados, para que fossem atingidos o abatimento e a resistência à compressão aos 28 dias especificados (SILVA, 2004).

Uma das abordagens mais precisas é a proposta por De Larrard (1999), o Método do Empacotamento compressível (MEC). O MEC se baseia em uma teoria que soluciona a questão de empacotamento de misturas secas em todos componentes utilizados na dosagem do concreto. Relaciona os materiais constituintes com as características desejadas do concreto, por meio de equações. Esse método apresenta ainda uma grande vantagem com relação a outros métodos que é a possibilidade de ser programável. Usando dessa possibilidade foi desenvolvido o Betonlab Pro, uma ferramenta computacional desenvolvida com base no Modelo do Empacotamento Compressível (MEC). Esse software é capaz de realizar a otimização de misturas granulares para serem alcançadas as propriedades do desejadas concreto, como a resistência e a trabalhabilidade.

2.3 Método do Empacotamento Compressível (MEC)

Segundo De Larrard (1999) para a dosagem de um concreto trata-se de se resolver um problema de empacotamento. Depois de mais de uma década de estudo de sua equipe, De Larrard conseguiu construir uma teoria que soluciona a questão de empacotamento de misturas secas em todos componentes utilizados na dosagem do concreto. Foi uma versão que veio para aprimorar os modelos de empacotamento desenvolvidos pelo Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Esse método tem como grande diferencial a possibilidade de se relacionar características requeridas para o concreto, como resistência à compressão, trabalhabilidade, viscosidade, por meio de equações, com os materiais constituintes e com a compacidade da mistura, possibilitando uma dosagem racional e científica.

Segundo Silva (2004) o MEC apresenta algumas vantagens com relação aos demais métodos, os quais são descritos a seguir:

- o desenvolvimento deste método segue os princípios científicos, ou seja, é fundamentado em uma observação dos fenômenos, levantamento de hipóteses, esta-

belecimento de modelos matemáticos que representam os fenômenos e nas comprovações experimentais dos modelos estabelecidos;

- inclui em seus modelos matemáticos a contribuição dos novos materiais que estão sendo utilizados na confecção dos concretos atualmente tais como; a microsílica, fíler calcário, superplasticantes, entre outros;
- utiliza um grande conjunto de dados experimentais para diversos concretos;
- é um método capaz de ser implementado computacionalmente

2.4 Descrição Conceitual do Método do Empacotamento

O MEC se baseia em dois blocos principais, o empacotamento virtual que é a compacidade tida como a máxima que pode ser obtida para determinada partícula e o empacotamento real que é o realmente obtido no processo adotado. Onde são correlacionados esses dois empacotamentos com um protocolo adotado.

2.4.1 Empacotamento virtual

O Empacotamento Virtual pode ser definido como um arranjo geométrico entre as partículas considerado ideal, onde se consiga alcançar uma compacidade máxima para as partículas. Formaguini (2005) define a compacidade virtual de empacotamento como a máxima compacidade possível de uma mistura granular monodispersa, organizando os grãos um a um em um determinado volume. Por exemplo, em partículas cúbicas é possível a obtenção da compactação máxima de 100%, arranjando os cubos um a um, face a face, conforme a Figura 1 mostra.

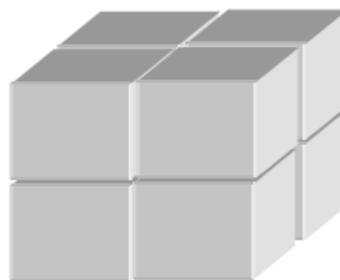


Figura 1- Arranjo de cubos, com compacidade máxima de 100% (Formaguini, 2005).

2.4.2 Empacotamento real

Conforme afirma De Larrard (1999) levando em conta estudos propostos por Mooney (1951) por analogia com o modelo de viscosidade, busca-se a determinação de um coeficiente K que irá relacionar os empacotamentos real e virtual, conforme pode ser visto nas equações 01 e 02:

$$K = \frac{1}{\left(\frac{\beta}{\phi} - 1\right)} \quad (\text{Equação01})$$

$$K = \sum_{i=1}^n K_i = \sum_{i=1}^n \frac{y_i/\beta_i}{\frac{1}{\Phi} - \frac{1}{\gamma_i}} \quad (\text{Equação02})$$

Como K é uma característica do protocolo de empacotamento, a densidade de empacotamento é então o valor de ϕ definido implicitamente pela equação 01. Onde o K é um função estritamente crescente de ϕ , como a soma de tais funções, para que haja é um valor único de ϕ satisfazendo esta equação para qualquer valor K positivo. Os γ_i são os parâmetros de controle do experimento, β_i são características das classes de grãos, e o valor de K depende do processo de fazer a mistura.

Adotando as equações mostradas, é possível determinar a compacidade virtual de materiais granulares. Com a realização de ensaios onde a energia de compactação é conhecida, pode ser determinada a compacidade real e assim adotando as equações 01 e 02 a compacidade virtual pode ser determinada, pois os valores de K também são conhecidos.

A compacidade real pode ser determinada experimentalmente de duas maneiras, dependendo do tamanho das partículas. No caso de partículas maiores que $100 \mu\text{m}$ é utilizado um ensaio de compressão e vibração.

2.5 Ensaio para determinação da compacidade experimental das misturas binárias

Conforme afirma Silva (2004) a compacidade experimental deve ser realizada para as partículas maiores que $100 \mu\text{m}$. Esta compacidade é determinada usando o protocolo de empacotamento, que utiliza vibração associada à compressão. De Larrard (1999) afirma que essa metodologia apresenta o valor de k igual a 9,0. O ensaio consiste na adição de um volume pré-definido da mistura dentro de um cilindro com dimensões conhecidas. Neste cilindro é colocado um pistão que proporcione uma pressão de compressão de 10 kPa no material. Logo em sequência, o cilindro e o pistão que seguem ilustrados na Figura , são levados a uma mesa vibratória com frequência e tempo determinados. Depois desse procedimento, a altura final da camada do material compactado deve ser medida e então a compacidade experimental pode ser calculada pela equação 03 (SILVA, 2004).

$$\phi = \frac{4M_s}{\pi \cdot D_c^2 \cdot h \cdot \rho_s} \quad (\text{Equação03})$$

onde:

ρ_s é a densidade do material;

M_s é a massa do material seco;

D_c é o diâmetro interno do cilindro;

h é a altura final da camada do material compactado.

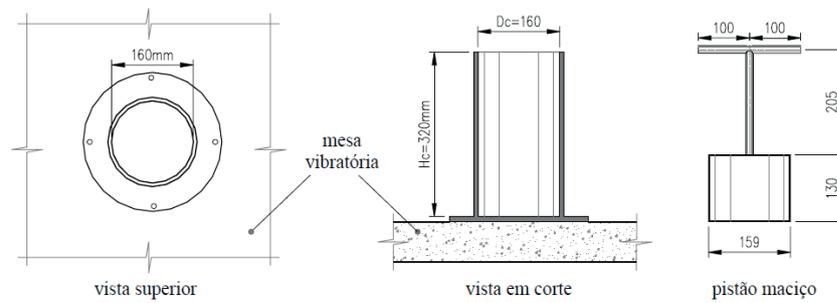


Figura 02- Cilindro metálico utilizado no ensaio (Silva, 2004).

2.5.1 Efeito da inclusão das fibras no MEC

Adição de fibras causa uma perturbação no empacotamento. Para a consideração do efeito desta perturbação, leva-se em conta a existência de um coeficiente universal k_f , que é a razão entre a distância de propagação e o tamanho das partículas, conforme pode ser visto na Figura 3. No caso de uma fibra suficientemente curta, a mesma pode caber em um interstício de grãos grosseiros sem perturbar o empacotamento natural. O comprimento total da fibra não é capaz de perturbar o empacotamento agregado.

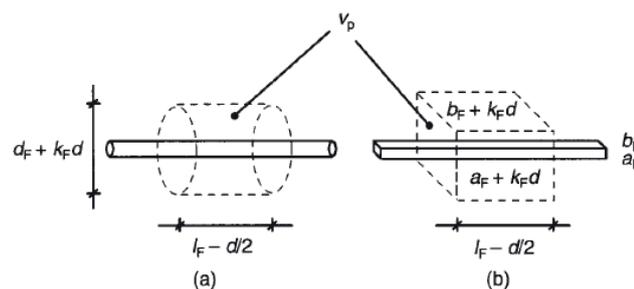


Figura 3- Região perturbada pela adição de fibras (De Larrard, 1999).

Seja L_f o comprimento da fibra e d_f o diâmetro da fibra. Sendo d_f o diâmetro da fibra cilíndrica, k_f é um coeficiente que relaciona o volume perturbado da fibra com o diâmetro máximo do agregado (d), a é a altura da fibra e b é a base da fibra, no caso de fibras retangulares. Assim, a compacidade virtual média afetada pela inclusão das fibras pode ser determinada utilizando a equação 04:

$$\bar{\beta}_l = (1 - \phi_f - N_{sf} \cdot v_p) \beta \quad (\text{Equação 04})$$

Seja

$\bar{\beta}_l$: Compacidade virtual média de β , numa mistura afetada pela parede do recipiente ou pela inclusão das fibras;

ϕ_f : Porcentagem de fibras no esqueleto granular;

N_{sf} : Número de fibras por unidade de volume;

- v_p : Volume perturbado de uma fibra;
 β : Compacidade virtual não perturbada;

2.5.2 Conceito de diâmetro equivalente

A abordagem da perturbação que as fibras causam na compacidade pode ser feita ainda de outra maneira. Seria a consideração de um diâmetro equivalente, onde a fibra seria levada em conta como um agregado com um diâmetro que simularia seu comportamento dentro da mistura. Um método proposto por Yu *et al.* (1993) que possibilitava a inclusão de partículas irregulares no cálculo da compacidade de uma mistura através do cálculo de um diâmetro equivalente. Este método levava em conta diversos aspectos como a forma e o tamanho dos grãos e a energia de compactação da mistura (YU e ZOU, 1998). A proposta é encontrar um diâmetro de uma esfera fictícia que representaria as fibras na mistura. O conceito de diâmetro equivalente proposto por Yu *et al.*(1993) pode ser determinado aplicando as seguintes equações:.

$$d_p = \left(3.1781 - 3.6821 \cdot \frac{1}{\Psi} + 1.5040 \cdot \frac{1}{\Psi^2} \right) d_v \quad (\text{Equação05})$$

A esfericidade (Ψ) e o diâmetro da esfera equivalente (d_v), podem ser encontrados pelas equações 23 e 24.

$$\Psi = 2.621 \cdot \frac{(L_f/d_f)^{2/3}}{1 + 2(L_f/d_f)} \quad (\text{Equação06})$$

$$d_v = 1.145 (L_f/d_f)^{1/3} d_f \quad (\text{Equação07})$$

3 | METODOLOGIA

Para a realização desta pesquisa foram realizadas misturas binárias entre os agregados graúdos de brita calcária com grãos retidos entre as peneiras 6,3 mm – 9,5 mm, diâmetro médio de aproximadamente 8mm, com as fibras Maccaferri FS7 (FAC-NA-33/60) e Maccaferri FF3 (FAC-NA-50/67), as características das fibras utilizadas estão descritas no quadro 01.

Tipo de Fibra	FF3	FS7
Diâmetro da fibra	0,075	0,055
Comprimento da Fibra	5,000	3,300
Densidade	7,850	7,850
Número de fibras por g	5,767	16,100

Quadro 1 - Características geométricas das fibras (MACCAFERRI, 2019)

O procedimento de vibração e compressão para determinação das compacidades seguiu o protocolo descrito abaixo:

1. Pesar o material seco a ser ensaiado e as porcentagens de fibras a serem utilizadas, numa massa final de 2010,0 g;
2. Homogeneização da mistura por aproximadamente 2 minutos;
3. Com o cilindro devidamente fixado na mesa vibratória, insere-se o material no cilindro, de forma que todo o material tenha sido despejado no interior desse.
4. Nota-se que o material no cilindro fica um pouco desnivelado. Dito isso, sugere-se fazer um espalhamento manual desse material somente para que esse fique mais nivelado para o posterior emprego do peso de aço;
5. Coloca-se o peso de aço acima do material no cilindro;
6. Liga-se a mesa vibratória por um período de 2 minutos.
7. Após o desligamento do aparelho, são realizadas 4 medidas da diferença da altura do peso de aço em relação à borda do cilindro, Vale ressaltar que essas medidas foram tiradas em pontos fixos para todos os ensaios. A média dessas alturas é utilizada para o cálculo da compacidade experimental;
8. Por fim, o cilindro é retirado da mesa vibratória e o material é descartado.

Inicialmente foi determinada separadamente a compacidade de cada um dos materiais utilizados na mistura. Neste procedimento adotou-se para a brita utilizou-se 2010,0 g de material e para cada uma das fibras utilizadas, 1000,0 g. Depois disso, foram realizadas as misturas e determinadas suas respectivas compacidades experimentais.

Com a altura final do material é possível utilizando a equação 03 determinar a compacidade experimental dos materiais individualmente e posteriormente das misturas. Foi utilizado em cada mistura a quantidade material apresentado no Quadro 2. O procedimento foi repetido duas vezes buscando diminuir os erros encontrados. Quando a covariância entre os dois procedimentos foi maior de 2%, realizou-se uma nova execução do experimento para minimizar os desvios.

Teor de Fibra	Massa de Brita (g)	Massa de Fibra (g)
0,00%	2010,00	0
1,00%	2010,00	56,52
2,00%	2010,00	113,04
4,00%	2010,00	226,08

Quadro 2- Materiais utilizados no ensaio de compacidade (em massa).

Após as determinações das compacidades experimentais das misturas, a compacidade foi determinada também adotando o conceito de diâmetro equivalente

proposto por Yu *et al.*(1993) adotando as Equações 05, 06 e 07.

A compacidade da mistura binária com as fibras foi calculada também utilizando o conceito de volume perturbado desenvolvido por De Larrard(1999) adotando a equação 3. Os resultados calculados pelas duas abordagens da consideração do efeito das fibras na compacidade foram comparados com os resultados experimentais.

4 | RESULTADOS E ANÁLISES

Com base nos resultados apresentados nos Quadros 3 e 4, é possível observar que a adoção do conceito do volume perturbado proposto por De Larrard(1999) apresentou resultados aceitáveis, sobretudo para misturas com uma menor fração de fibra. Nessas misturas considerando uma fração máxima de até 2% os erros entre os dados calculados e experimentais foram menores que 1% para as fibras FF3.

Teor de Fibra	Compacidade média	Nf	Vp	Compacidade calculada	Erro (%)
0,00%	0,5957	0	0	0,5957	0,00%
1,00%	0,5767	0,4527	0,0577	0,5742	-0,45%
2,00%	0,5563	0,9054	0,0577	0,5526	-0,65%
4,00%	0,5393	1,8108	0,0577	0,5096	-5,82%

Quadro 3-Comparação entre a Compacidade experimental e a calculada adotando o Conceito do Volume perturbado para fibra FF3.

Já para as fibras FS7 os erros foram um pouco maiores, contudo ainda pequenos considerando teores de até 2%, conforme pode ser visto no Quadro 04. Mostrando que esta abordagem é eficiente e pode ser utilizada na dosagem de concreto autoadensáveis utilizando o MEC.

Teor de Fibra	Comp. Exp.	Nf	Vp	Comp. calc.	Erro
0,00%	0,59569	0	0	0,5957	0,00%
1,00%	0,57679	1,26385	0,026	0,5703	-1,14%
2,00%	0,56570	2,5277	0,026	0,5449	-3,81%
4,00%	0,53154	5,0554	0,026	0,4942	-7,56%

Quadro 4-Comparação entre a Compacidade experimental e a calculada adotando o Conceito do Volume perturbado para fibra FS7.

Os resultados apresentados nos Quadros 05 e 06 mostram uma precisão ainda maior no cálculo da compacidade adotando o conceito do diâmetro equivalente proposto por Yu(1993), que considera a fibra como uma esfera que possua o mesmo volume da fibra. Conclusão semelhante à obtida por Grunewald (2004) em suas pesquisas.

Teor de fibra (%)	Comp. Exp.	Comp. Calc	Erro (%)
0,00%	0,5957	0,5957	0,000%
1,00%	0,5767	0,5858	1,556%
2,00%	0,5563	0,5762	3,461%
4,00%	0,5393	0,5574	3,257%

Quadro 5-Comparação entre a Compacidade experimental e a calculada adotando o Conceito do Volume perturbado para fibra FF3.

Conforme pode ser observado nos resultados obtidos no Quadro 5 quanto a fibra FF3, nas compacidades calculadas com todas as porcentagens de fibras propostas, os erros foram baixos, mostrando uma maior precisão da consideração do conceito de diâmetro equivalente em comparação a metodologia proposta por De Larrard(1999), para maiores teores de fibras.

Teor de fibra (%)	Comp. Exp.	Comp. Calc	Erro (%)
0,00%	0,5957	0,5957	0,000%
1,00%	0,5768	0,5774	-0,099%
2,00%	0,5657	0,5600	1,007%
4,00%	0,5315	0,5278	0,709%

Quadro 6 - Comparação entre a Compacidade experimental e a calculada adotando o Conceito do Volume perturbado para fibra FS7

Os resultados foram ainda mais precisos para as fibras FS7, com erro máximo de aproximadamente 1%, apresentando uma abordagem mais viável para quem busca dosar CAARF com maiores teores de fibras. Os gráficos abaixo ilustram a comparação entre as duas abordagens e a compacidade experimental

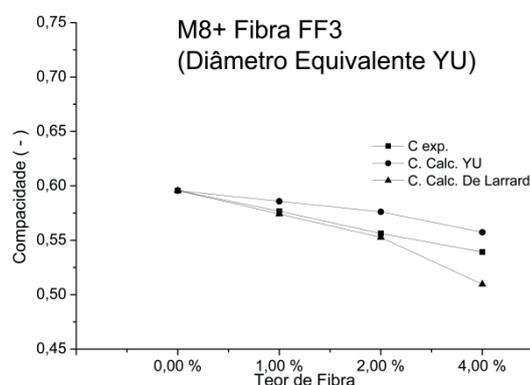


Figura 4- Compacidade experimental comparada com as calculadas com as abordagens de Yu e De Larrard para a fibra FF3.

Com base Figura 4, considerando as fibras FF3 é possível observar resultados muito semelhantes para as abordagens propostas por De Larrard(1999) e por Yu (1993) até o teor de 2% de adição de fibras, contudo quando é ultrapassado esse valor há um

distancimento dos resultados obtidos e o que mais se aproxima do resultado experimental é o obtido adotando o diâmetro equivalente.

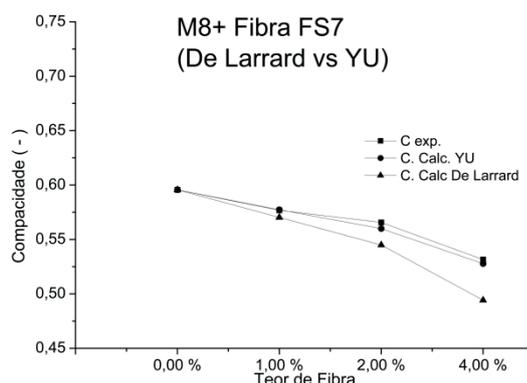


Figura 5- Compacidade experimental comparada com as calculadas com as abordagens de Yu e De Larrard para a fibra FS7.

Com base na Figura 5 considerando as fibras FS7 é possível observar resultados muito semelhantes para as abordagens propostas por De Larrard(1999) e por Yu (1993) até o teor de 2% de adição de fibras, contudo quando é ultrapassado esse valor há um distancimento dos resultados obtidos e o método mais viável a ser utilizado para ser o do diâmetro equivalente.

Todavia, como a adição de fibras prejudica a trabalhabilidade do concreto, para produção de concretos autoadensáveis, geralmente não utiliza-se teores maiores que 2 % de fibra, o que torna as duas abordagens eficientes para produção do CAARF.

5 | CONCLUSÕES

- I. As duas abordagens mostraram-se eficientes para a consideração do efeito das fibras no CAARF adotando o Método do Empacotamento Compressível.
- II. Para teores de fibras maiores que 2%, os erros adotando o conceito do “volume perturbado” proposto do De Larrard(1999) foram maiores.
- III. Para teores de fibras maiores que 2%, a adoção da abordagem do “diâmetro equivalente” mostrou-se mais eficiente.
- IV. Os resultados obtidos foram parecidos para as duas abordagens com teores de até 2% de fibras.

REFERÊNCIAS

BARROS, A. R.; GOMES, P. C. C.; BARBOZA, A. D. S. R. **Avaliação do comportamento de vigas de concreto auto-adensável reforçado com fibras de aço**. Revista Ibracon, São Paulo, 2009.

DE LARRARD, F. **Concrete mixture proportioning: a scientific approach**. CRC Press, 1999. ISBN

FERRARA, L.; MEDA, A. **Relationships between fibre distribution, workability and the mechanical properties of SFRC applied to precast roof elements**. *Materials and Structures*, v. 39, n. 4, p. 411-420, 2006. ISSN 1359-5997.

FERRARA, L.; PARK, Y.-D.; SHAH, S. P. **A method for mix-design of fiber-reinforced self-compacting concrete**. *Cement and Concrete Research*, v. 37, n. 6, p. 957-971, 2007. ISSN 0008-8846

FIGUEIREDO, A. D. D. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. 256 f. Tese (Livre Docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FRITIH, Y. et al. **Flexural and shear behavior of steel fiber reinforced SCC beams**. *KSCE Journal of Civil Engineering*, v. 17, n. 6, p. 1383-1393, 2013. ISSN 1226-7988.

GRÜNEWALD, S. **Performance-based design of self-compacting fibre reinforced concrete**. 2004. TU Delft, Delft University of Technology

GARTNER, E. M., 2004, "Industrially interesting approaches to 'low-CO2' cements". *Cement and Concrete Research*, v. 34, n. 9, pp. 1489-1498.

HEDEBRATT, J., SILFWERBRAND, J. **Full-scale test of a pile supported steel fibre concrete slab**. *Materials and Structures*, 2013. 47(4), 647–666. doi:10.1617/s11527-013-0086-5

LAMEIRAS, R BARROS, J. A.; AZENHA, M. **Development of sandwich panels combining fibre reinforced concrete layers and fibre reinforced polymer connectors. Part I: Conception and pull-out tests**. *Composite Structures*, v. 105, p. 446-459, 2013. ISSN 0263-8223.

LAMEIRAS, R.; BARROS, J. A.; AZENHA, M. **Influence of casting condition on the anisotropy of the fracture properties of Steel Fibre Reinforced Self-Compacting Concrete (SFRSCC)**. *Cement and Concrete Composites*, v. 59, p. 60-76, 2015. ISSN 0958-9465.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M., 2014. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 3ª Edição, São Paulo, Editora PINI, 616 p.

PEREIRA, E. N.; BARROS, J. A.; CAMÕES, A. **Steel fiber-reinforced self-compacting concrete: experimental research and numerical simulation**. *Journal of structural engineering*, v. 134, n. 8, p. 1310-1321, 2008. ISSN 0733-9445.

RAMBO, D. **Concretos autoadensáveis reforçados com fibras de aço híbridas: aspectos materiais e estruturais**. 2012. 185 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

REPETTE, W. L. **Concreto, Ensino, Pesquisas e Realizações**. Capítulo 49. IBRACON, 2011.

SILVA, A. D. **Dosagem de concreto pelos métodos de empacotamento compressível e Aitcin-Fauray modificado**. 2004. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

TUTIKIAN, B. F., DAL MOLIN, D. C., **Concreto Autoadensável**. 1ª Edição São Paulo: Editora Pini LTDA, 2011.

SALEHIAN, H.; BARROS, J. A. **Assessment of the performance of steel fibre reinforced self-compacting concrete in elevated slabs**. *Cement and Concrete Composites*, v. 55, p. 268-280, 2015. ISSN 0958-9465.

YU, A. B.; STANDISH, N.; MCLEAN, A. **Porosity calculation of binary mixtures of nonspherical particles**. *Journal of the American Ceramic Society*, v. 76, n. 11, p. 2813-2816, 1993. ISSN 1551-2916.

YU, A.; ZOU, R. **Prediction of the porosity of particle mixtures.** *KONA Powder and Particle Journal*, v. 16, n. 0, p. 68-81, 1998. ISSN 0288-4534.

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