



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

4

Atena
Editora
Ano 2020



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

4

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 4 [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 978-65-5706-171-8 DOI 10.22533/at.ed.718200907</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 4” conta vinte e um capítulos sobre estudos realizados nas diversas áreas da engenharia civil.

A crescente preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais exige a busca por novas alternativas no uso de materiais de construção. A presente obra oferece vários estudos em que resíduos de diferentes materiais sejam utilizados na construção civil.

Em consonância com o meio ambiente, apresentamos estudos sobre obras de saneamento, com a finalidade de promover a saúde e melhoria na qualidade de vida de uma determinada população.

São apresentadas pesquisas sobre patologias na construção civil e obras de pavimentação, o que permite o desenvolvimento de planos de manutenção e prevenção de novas patologias.

Por fim, apresentamos estudos sobre o comportamento estrutural em determinadas obras, e pesquisas sobre as diferentes demandas que a engenharia civil nos proporciona.

Desejamos que esta obra desperte ao leitor para a aplicação e desenvolvimento de novas pesquisas, com o objetivo de enriquecer ainda mais os estudos nas diversas atuações da engenharia civil. Boa leitura!

Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE CORTE DE MÁRMORE E GRANITO PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA AUTONIVELANTE	
Augusto Felipe Chiella Vinícius Felipe Chiella Nathália Cortes Tosi Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski	
DOI 10.22533/at.ed.7182009071	
CAPÍTULO 2	17
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE PÓ DE VIDRO COMO UMA ADIÇÃO MINERAL EM CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA, EM CONJUNTO AO EMPREGO DE MICROSSÍLICA	
Vinícius Felipe Chiella Augusto Felipe Chiella Nathália Cortes Tosi Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski	
DOI 10.22533/at.ed.7182009072	
CAPÍTULO 3	35
ESTUDO COMPARATIVO ENTRE BLOCOS DE CONCRETO COMUNS E BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE CELULOSE PROVENIENTE DE PAPEL RECICLADO	
Mariana de Sousa Prazeres Eduardo Aurélio Barros Aguiar	
DOI 10.22533/at.ed.7182009073	
CAPÍTULO 4	49
ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO EMPREGO DE RESÍDUO CERÂMICO COMO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO	
Nathália Cortes Tosi Augusto Felipe Chiella Vinícius Felipe Chiella Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski	
DOI 10.22533/at.ed.7182009074	
CAPÍTULO 5	61
USO DE LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA (CBC) COMO REMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND – CASO COLOMBIA	
Juan Pablo Izquierdo Jimenez Maria Juliana Alvarez Arias Manuel Alejandro Rojas Manzano	
DOI 10.22533/at.ed.7182009075	
CAPÍTULO 6	79
ESTUDO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM RESÍDUO LIGNOCELULÓSICO COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO	
Bruna Ferraz Carvalho Dantas Carlos Fernando de Araújo Calado Aires Camões	
DOI 10.22533/at.ed.7182009076	

CAPÍTULO 7 97

ESTUDO DO USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) DE MACEIÓ, COMO AGREGADO RECICLADO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E ASSENTAMENTO

Raone Bruno de Oliveira Silva
Renato Antônio Santos Rolim
Marcos André Melo Teixeira
Pedro Gustavo dos Santos Barros

DOI 10.22533/at.ed.7182009077

CAPÍTULO 8 114

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE COBRE DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS

Vinicius Lemos Pereira
Douglas Martins Sousa
Alan Monteiro Borges
Lygia Maria Policarpio Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.7182009078

CAPÍTULO 9 124

GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM JOÃO PESSOA: ESTUDO COMPARATIVO DO FLUXO DE ENTRADA NA USIBEN ENTRE OS PERÍODOS 2009/2010 E 2015/2018

Ubiratan Henrique Oliveira Pimentel
Gilson Barbosa Athayde Junior
Cristine Helena Limeira Pimentel
Samyr Sampaio Freire

DOI 10.22533/at.ed.7182009079

CAPÍTULO 10 133

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA MICROBACIA DO ARROIO BARRAÇÃO, MUNICÍPIO DE GUAPORÉ-RS

Fernando Frigo Migliorini

DOI 10.22533/at.ed.71820090710

CAPÍTULO 11 138

ANÁLISE DE ESTUDO DO RECALQUE DE EDIFICAÇÃO SITUADA EM ZONA SUL DA CIDADE DE QUITO - EQUADOR

Alexis Enríquez León

DOI 10.22533/at.ed.71820090711

CAPÍTULO 12 149

PATOLOGIA EM LAJES MACIÇAS DE EDIFÍCIO EMPRESARIAL

Bruno Matos de Farias
Ronaldo Garcia da Costa
Rebecca Alves da Silva
José Ricardo Cardoso Domingues

DOI 10.22533/at.ed.71820090712

CAPÍTULO 13 164

LEVANTAMENTO DE PATOLOGIAS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DE VIAS URBANAS DE MACAPÁ-AP

Beatriz da Silva de Brito
Alinne Emely dos Santos Duarte
Paulo Victor Prazeres Sacramento
Ruan Fabrício Gonçalves Moraes
Orivaldo de Azevedo Souza Junior

DOI 10.22533/at.ed.71820090713

CAPÍTULO 14 179

AVALIAÇÃO OBJETIVA E SUBJETIVA EM SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO FLEXÍVEL EM TRECHO URBANO
– ANÁLISE DA DISTÂNCIA ENTRE ESTAÇÕES DE AVALIAÇÃO EM SUBTRECHOS HOMOGÊNEOS

Gustavo da Silva Schiavon

DOI 10.22533/at.ed.71820090714

CAPÍTULO 15 193

IMPACTO NO NÍVEL DE SOLICITAÇÕES DOS PILARES POR DIFERENTES MODELOS DE ANÁLISE
ESTRUTURAL

Ray Calazans dos Santos Silva

Luan Reginato

Danilo Pereira dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.71820090715

CAPÍTULO 16 209

SAPATAS: COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DE CÁLCULO ANALÍTICO POR MEIO DAS BIELAS-
TIRANTES E O MEF (2D)

Denise Itajahy Sasaki Gomes Venturi

Matheus Rangel Venturi

DOI 10.22533/at.ed.71820090716

CAPÍTULO 17 224

VIGAS DE PONTES PROTENDIDAS ENTRE 20 E 40 METROS

Leonardo Lunkes Wagner

Denizard Batista de Freitas

DOI 10.22533/at.ed.71820090717

CAPÍTULO 18 238

PLANO DE MOBILIDADE URBANA – PMU: UMA BREVE ANÁLISE DA LEI 12.587/2012

Rodrigo Marques do Nascimento

Fábio Mendes Ramos

Daniel Martins Nunes

DOI 10.22533/at.ed.71820090718

CAPÍTULO 19 248

NOVO LABORATÓRIO DO CURSO DE EDIFICAÇÕES DO IFPA

Luciano Costa de Farias

Marcelo Martins Farias

Wellen Patrícia Farias dos Reis

Celestina de Lima Rezende Farias

Cleydimara Aquino de Brito

DOI 10.22533/at.ed.71820090719

CAPÍTULO 20 256

A QUALIFICAÇÃO DO PROFISSIONAL DE ENGENHARIA CIVIL NO MERCADO ATUAL E O SEU IMPACTO
DE CUSTO PARA UMA EMPRESA FORMAL

Rafaela Cardoso Galace

Flávia Aparecida Reitz Cardoso

DOI 10.22533/at.ed.71820090720

CAPÍTULO 21	267
ANÁLISE OBSERVACIONAL GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE UM TRECHO DA RODOVIA DO CAFÉ	
Amanda Fernandes de Oliveira	
Leonardo Cesar de Souza Sowinski	
Gabrielly De Souza dos Santos	
Alex Sandro da Costa	
Mariana Alher Fernandes	
DOI 10.22533/at.ed.71820090721	
SOBRE OS ORGANIZADORES.....	280
ÍNDICE REMISSIVO	281

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE PÓ DE VIDRO COMO UMA ADIÇÃO MINERAL EM CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA, EM CONJUNTO AO EMPREGO DE MICROSSÍLICA

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 19/03/2020

Vinicius Felipe Chiella

Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/6821333760606562>

Augusto Felipe Chiella

Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/5465301082677424>

Nathália Cortes Tosi

Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/8189098228117640>

Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas,
Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/0759962154482745>

RESUMO: Este trabalho investiga sobre a possibilidade de utilização de resíduo de pó de vidro, oriundo da indústria, como adição mineral para a produção de Concretos de Alta Resistência (CAR). O pressuposto básico é que, por conter cerca de 72% de massa de sílica (SiO_2), o vidro

– em partículas pequenas – possa apresentar atividade pozolânica, propiciando o aumento da resistência de misturas cimentícias. Contudo, faz-se necessário investigar o desenvolvimento da Reação Álcali-Sílica (RAS) da mistura, uma reação química expansiva existente entre os álcalis do cimento e a sílica (oriunda do vidro) em presença de água. Para tal análise foram dosados traços contendo adição de resíduo de pó de vidro e de microsílica (teores de 0%, 5% e 10% sobre a massa do cimento), os quais foram avaliados através dos ensaios de resistência à compressão uniaxial aos 7 e aos 28 dias, além da investigação da expansão provocada pela RAS através do método acelerado em barras de argamassa. Constatou-se que o pó de vidro ocasionou um leve acréscimo de resistência à compressão aos 28 dias (entretanto estes ganhos não se mostraram expressivos na análise estatística), enquanto que a microsílica acarretou em acréscimos significativos na resistência mecânica tanto aos 7 quanto aos 28 dias. Conjuntamente, observou-se que o emprego do pó de vidro e da microsílica inibiram a RAS.

PALAVRAS-CHAVE: Pó de vidro. Microsílica. Adição mineral. Concreto de Alta Resistência. Reação Álcali-Sílica.

ANALYSIS OF THE TECHNICAL FEASIBILITY OF USING GLASS POWDER AS A MINERAL ADDITION IN HIGH STRENGTH CONCRETES, WITH THE USE OF MICROSILICA

ABSTRACT: This paper investigates the possibility of using industrial glass powder residue as a mineral addition for the producing of High-Strength Concretos (HSC). The basic assumption is that, by having about 72% of silica mass (SiO_2), glass - in small particles – it can present pozzolanic activity, providing increased strength of cementitious admixtures. However, it is necessary to investigate the development of the Alkali-Silica Reaction (ASR) in the mixture, an expansive chemical reaction between the alkalis of the cement and the silica (from the glass) in the presence of water. For this analysis it was created traces containing added glass powder residue and microsilica (content 0%, 5% and 10% of the mass of cement). These were evaluated through resistance tests to uniaxial compression at 7 and 28 days, along with investigating the expansion caused by the ASR, using the accelerated method in mortar bars. It was found that the glass powder caused a slight increase in compressive strength at day 28 (however these gains were not significant in the statistical analysis), while the microsilica caused significant increase in mechanical resistance at days 7 and 28. Besides that, it was observed that the use of glass powder and microsilica inhibited RAS.

KEYWORDS: Glass powder. Microsilica. Mineral addition. High-Strength Concrete. Alkali-Silica Reaction

1 | INTRODUÇÃO

A partir do surgimento de novas tecnologias, nos últimos anos foi possível o desenvolvimento de Concretos de Alta Resistência (CAR), que – segundo a ABNT NBR 8953:2015 – são aqueles que apresentam resistências superiores à 55 MPa. A obtenção de concretos com alto desempenho no que concerne à questão da resistência pode ser alcançada com o emprego de uma baixa relação água/cimento (a/c), além de uma escolha adequada dos agregados e aglomerantes. Outro fator imprescindível a ser avaliado é o uso de aditivos químicos e de adições minerais, sendo os últimos uns dos grandes responsáveis pelo ganho de resistência e de durabilidade do concreto (ISAIA; GASTALDINI, 2004).

Federico (2013) aponta que o uso de materiais alternativos complementares ao cimento, surge como uma metodologia promissora para a redução dos impactos ambientais, não só pela redução do consumo dos recursos naturais que servem de matéria prima para o CP, mas também como diminuição da geração dos gases que se formam neste processo.

Dentro deste contexto, nas últimas décadas inúmeras pesquisas vêm sendo feitas, no exterior, para viabilização da implantação do vidro em misturas cimentícias. Seja como agregado miúdo ou como adição mineral, os resultados vêm se mostrando satisfatórios,

conquanto, no Brasil a quantidade de estudos sobre o assunto é mais limitada.

Entretanto, ao inserir materiais com presença de sílica em concretos deve-se atentar para a Reação Álcali-Sílica (RAS), uma reação química expansiva que ocorre – na presença de água – entre a sílica (presente nos agregados ou, no caso, no vidro) e os componentes alcalinos (Na_2O e K_2O) dissolvidos nos poros do concreto. Por ser expansiva a RAS pode acarretar na perda de resistência, durabilidade e elasticidade do concreto e no aparecimento de fissuras e deslocamentos, sendo, portanto, extremamente prejudicial para estruturas de concreto.

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade técnica da utilização de resíduo de pó de vidro (oriundo de processos industriais) como adição mineral em CAR, observando sua influência na resistência à compressão aos 7 e aos 28 dias além da expansão provocada pela RAS (através do método acelerado em barras de argamassa).

2 | VIDROS EM MISTURAS CIMENTÍCIAS – ESTUDOS JÁ REALIZADOS

Federico (2013) reconhece que o uso de pó de vidro como adição mineral tem potencial, tanto físico, quanto químico, de se equiparar a concretos produzidos com microssílica e com escória granular de alto-forno. Ainda, destaca que a substituição em até 10% de CP por vidro em partículas inferiores a $100\ \mu\text{m}$ tende a promover a reação pozolânica, sem desenvolver o gel expansivo da RAS. Este comportamento pozolânico em partículas menores de $100\ \mu\text{m}$ também foi verificado por Meena e Singh (2012), que também alegaram que a aplicação do pó de vidro no concreto faz com que se crie uma matriz mais densa, aumentando tanto a resistência à compressão, quanto a durabilidade do mesmo.

Shao *et al.* (2000) apontam que quanto menor a granulometria de agregados vítreos em concretos, maior é a resistência à compressão alcançada pelos mesmos, bem como mais imperceptível é a expansão oriunda da RAS. Outro ponto importante a salientar, é que os autores indicam como favorável o uso de partículas menores de $75\ \mu\text{m}$, o que poderia estar associado a uma atividade pozolânica procedente das frações pequenas do resíduo. O que colabora para esta dedução é o fato de que ensaios produzidos com vidros de $150\ \mu\text{m}$ indicaram uma baixa resistência à compressão, significando que este tamanho de partículas é muito grande para servir como pozolana.

Outra análise efetuada por Shao *et al.* (2000) mostrou que “concretos híbridos” – produzidos com 15% de pó de vidro e 15% de microssílica, em massa – alcançaram resistências inferiores, mas próximas, as de um concreto com 15% de microssílica. Isso leva a crer que o vidro desenvolve baixa atividade, nas idades iniciais, na presença da microssílica. A Figura 1 descreve graficamente este comportamento.

Já no que concerne a RAS, o estudo de Shao *et al.* (2000) mostrou que, além de não provocar expansão, o emprego de partículas finas de vidro corroborou para a inibição do

efeito. Como se nota na Figura 2, embora a expansão dos concretos produzidos com pó de vidro tenha sido superior as dos fabricados com adições convencionais (sílica ativa e cinza volante), o concreto de controle – dosado sem adições – apresentou uma expansão ainda maior desde os 12 dias. A mesma figura ainda sugere que o uso de partículas menores é vantajoso, referente a RAS.

Deste modo, nota-se que o emprego de 30% de resíduo vítreo com partículas de 38 μm , propiciou uma diminuição de aproximadamente 0,04% da RAS, o que corresponderia à metade da expansão de um concreto convencional. Ainda, é importante destacar que aos 16 dias (praticamente metade do período de tempo especificado pela ABNT NBR 15577-1:2008, para realização do ensaio de RAS pelo método acelerado) nenhuma dosagem conteve uma expansão superior a 0,095% e – portanto – se estes valores forem prospectados para os 30 dias¹, as expansões seriam inferiores aos 0,19%, configurando um potencial inócuo. Aliado a isto, o aumento de resistência – apontado por Shao *et al.* (2000) – de concretos produzidos com este resíduo mostra que o uso do vidro pode ser, sim, viável a aplicação em concretos, desde que bem selecionado e dosado.

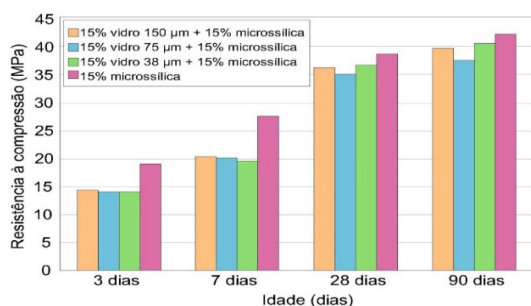


Figura 1 – Resistência à compressão de diferentes traços contendo resíduo de vidro e/ou microsilica

Fonte: Adaptado de SHAO *et al.* (2000).

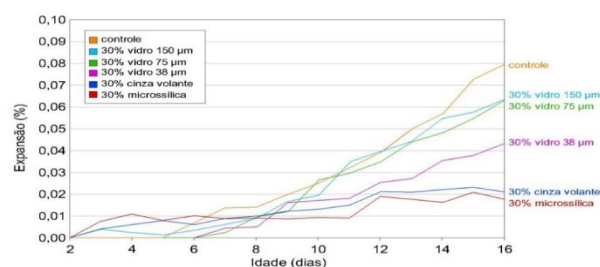


Figura 2 – Expansão RAS em concretos dosados com diferentes adições minerais

Fonte: Adaptado de SHAO *et al.* (2000).

3 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

No programa experimental, esquematizado na Figura 3, fixou-se como variáveis de resposta a resistência à compressão uniaxial aos 7 e aos 28 dias ABNT NBR 5739:2007) e a RAS pela expansão acelerada em barras de argamassa (ABNT NBR 15577-4:2008). Como variáveis controláveis definiu-se os traços, os quais foram produzidos variando os teores de adições minerais (pó de vidro e microsilica) em 0%, 5% e 10% em massa.

1. Considerando-se um crescimento proporcional, ou seja, dobrando a expansão para ter-se o dobro de tempo.

Variáveis controláveis			Variáveis de resposta		
Teor de adição de resíduo de Pó de Vidro			Resistência à compressão uniaxial ABNT NBR 5739:2007	RAS: expansibilidade em barras pelo método acelerado ABNT NBR 15577-4:2008	
0%	5%	10%			
Teor de adição de Microssílica			7 dias	28 dias	30 dias
0%	5%	10%			

Figura 3–Programa experimental

Fonte: Autores (2020).

Antes da execução dos ensaios nas misturas cimentícias fez-se a caracterização dos materiais, em especial do resíduo de pó de vidro e da microssílica, onde foi feita a análise da massa específica (ABNT NBR NM 23:2001), Índice de Atividade Pozolânica (IAP) (ABNT NBR 5752:2014) e avaliação da composição química por difratometria de raios X (DRX) e por espectroscopia de dispersão em energia (EDS).

3.1 Materiais utilizados

Os concretos ensaiados na ruptura pela compressão foram produzidos utilizando-se um traço de 1:1,24:1,94 em massa e uma relação a/c de 0,33. Destaca-se que a dosagem do traço empregado foi feita com base em um dos CAR desenvolvidos por Serafini e Pagnussat (2016). Já, quanto ao *slump*, este foi estabelecido com base no abatimento do traço de referência, onde foi utilizada a menor quantidade de aditivo químico necessária para obtenção de uma mistura homogênea.

Já para o ensaio de RAS, no preparo das argamassas, conforme a ABNT NBR 15577-4:2008, foi empregado um traço de 1:2,25 (cimento:agregado) em massa e uma relação a/c de 0,47. Ainda, como o objetivo é avaliar a influência das adições (microssílica e resíduo de pó de vidro) sobre a RAS, utilizou-se os teores de adição de pó de vidro e de microssílica (0%, 5% e 10%).

3.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado para a produção dos concretos e argamassas foi o CP V-ARI RS, cuja a massa específica (ensaiada em laboratório, conforme ABNT NBR NM 23:2001) é de 2,96 g/cm³ e a finura na #75 µm (ABNT NBR 11579:2012) é de 0,80%.

3.1.2 Agregados: miúdo e graúdo

Utilizou-se uma areia média quartzosa natural, oriunda de Sapucaia do Sul – RS, Brasil. Sua classificação em laboratório indicou um módulo de finura (ABNT NBR 7211:2009) de 1,58, diâmetro máximo de 1,18 mm, massa específica (ABNT NBR 9776:1988) de 2,61 g/cm³ e massa unitária (ABNT NBR 7251:1982) de 1,57 g/cm³.

Ainda, empregou-se uma brita 1 de origem basáltica. Esta apresentou um módulo de

finura (ABNT NBR NM 248:2003) de 6,17, diâmetro máximo de 12,5 mm e massa unitária (ABNT NBR 7251:1982) de 1,25 g/cm³.

3.1.3 Aditivo superplastificante

Utilizou-se um aditivo superplastificante a base de policarboxilato, com densidade de 1,09 g/cm³, segundo dados do fornecedor. A quantidade de superplastificante utilizada em cada traço foi a mínima suficiente para a obtenção de um *slump* 20±3 cm.

3.1.4 Adições minerais: microssílica e pó de vidro

O resíduo de pó de vidro empregado neste trabalho é proveniente diretamente de processos de perfuração, corte e lapidação de vidros, oriundo de uma indústria de vidros localizada na cidade de Caxias do Sul – RS, Brasil. Antes de ser empregado nas misturas, o resíduo foi seco em estufa até constância de massa, destorroado e passado pela peneira de #75 µm. O ensaio de massa específica (ABNT NBR NM 23:2001) mostrou um valor de 2,34 g/cm³ para o pó de vidro e 2,10 g/cm³ para a microssílica.

3.1.4.1 Índice de Atividade Pozolânica (IAP)

Ensaiado conforme preconizado pela ABNT NBR 5752:2014, o resíduo de pó de vidro apresentou um IAP de 96%, enquanto que a microssílica obteve um índice de 169%. Deste modo, mesmo que o pó de vidro tenha um IAP consideravelmente inferior ao da microssílica (73% a menos), ambos apresentam capacidade de desenvolvimento de atividade pozolânica, conforme a classificação da ABNT NBR 12653:2015. Entretanto, como o IAP do vidro resultou em um valor levemente acima dos 90% e como este conteve 100% das partículas passante na #45 µm, questiona-se se o pó de vidro realmente apresentou atividade pozolânica, ou se a manutenção da resistência propiciada por este deu-se pelo efeito filler a qual ele desempenhou.

3.1.4.2 Difratomia de Raios X (DRX)

Com o intuito de obter-se informações sobre a estrutura e composição do resíduo de pó de vidro, foi realizada a análise através da difratometria de raios X (DRX), que é usada para caracterizar as fases mineralógicas existentes na amostra. Deste modo, através dos picos cristalinos, pode-se verificar o estado estrutural da amostra (vítreo ou cristalino) e, portanto, avaliar se o pó de vidro apresenta potencialidade de desenvolver atividades pozolânicas, pois – segundo Neville (1996) a estrutura precisa ser amorfa para que a adição mineral reaja. A Figura 4 apresenta os resultados de DRX, realizados no Laboratório Central de Microscopia (LCMIC) da Universidade de Caxias do Sul, o Equipamento utilizado para fazer a análise foi o Shimadzu LabX XRD-6000.

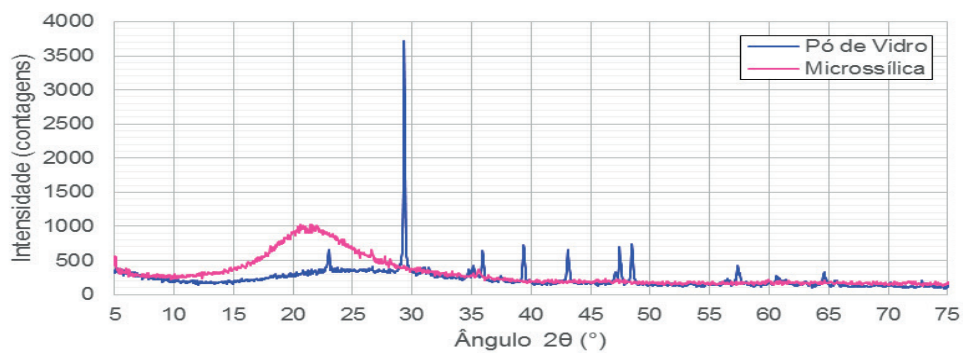


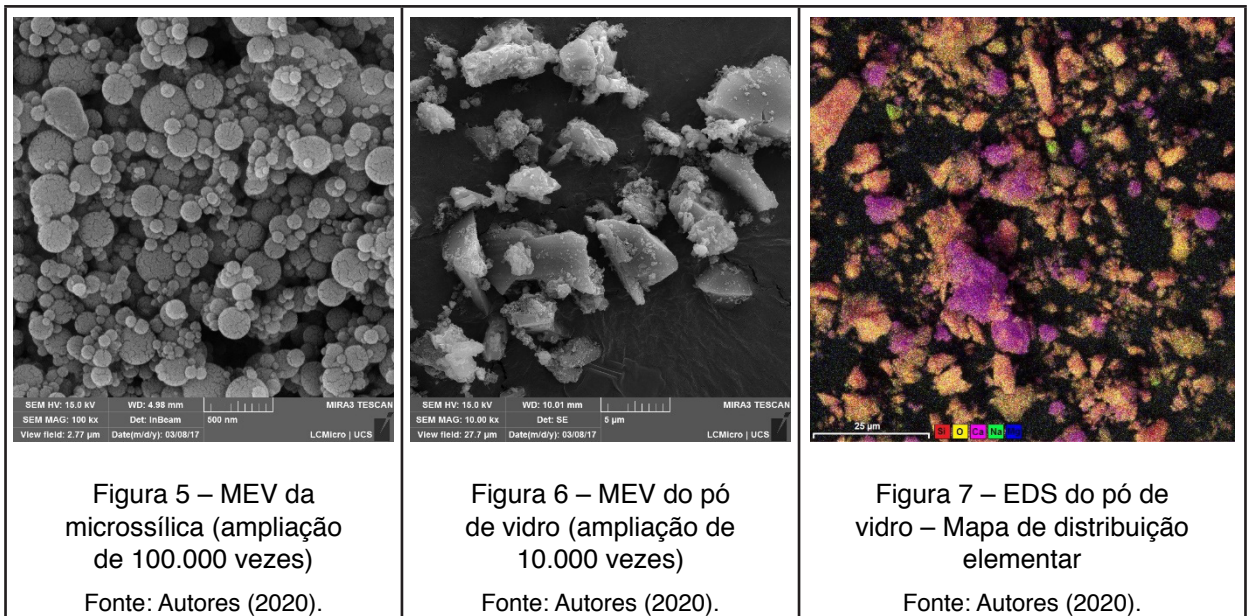
Figura 4 – DRX das adições minerais

Fonte: Autores (2020).

Como se pode notar, a microsílica apresenta uma curva mais harmônica, sem picos cristalinos, demonstrando a configuração de um alo amorfo, tendo – portanto – grande capacidade de desenvolver as reações pozolânicas. Já para o pó de vidro fica visível a existência de picos cristalinos, deste modo, esta parcela de material não vítreo não terá capacidade de desenvolver atividade pozolânica. Entretanto, a pequena parcela do material que está em estado amorfo pode vir a desenvolver pozolanicidade. Contudo, acredita-se que o resíduo de vidro em questão tem uma maior capacidade em atuar como fíler do que como material pozolânico.

3.1.4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de dispersão em Energia (EDS)

A fim de obter-se o tamanho médio das partículas, bem como o seu formato, as amostras de pó de vidro e de microsílica foram avaliadas através do microscópio eletrônico de varredura (Figura 5 e Figura 6, respectivamente). Ainda, através do mesmo equipamento (Oxford X-Max 50 mm²) fez-se a análise da composição química do pó de vidro. A Figura 7 demonstra o mapa de distribuição elementar do pó de vidro, obtido na análise de EDS.



Pelas imagens, nota-se que a microssílica apresenta partículas de tamanhos variados, contendo – até mesmo – grãos inferiores a 50 nm. Estimou-se um tamanho médio de partículas de $0,15 \mu\text{m}$, deste modo pode-se afirmar que é um material de natureza submicrométrica. Por ter partículas extremamente finas, nota-se a tendência que estas têm de se aglomerarem. Ainda, nota-se a geometria esférica, resultante do processo de formação da microssílica, onde o SiO resfria e condensa, formando as microesferas de SiO_2 .

Já, pela análise dos resultados da MEV do pó de vidro, percebe-se uma estrutura cristalina com formato angular, com grãos maiores. A maior parte das partículas apresenta um tamanho de, aproximadamente, $4 \mu\text{m}$, entretanto, foram encontradas partículas mais finas (na faixa dos 80 nm). Igualmente a microssílica, o pó de vidro também tem propensão a flocular. A presença de Si, O, Na, Ca e Mg no vidro indicam que a amostra em questão se trata de um resíduo de vidro soda-cal (vidro de janela), que – segundo SHACKELFORD (2008, p.281) – contém SiO_2 , Na_2O , CaO e MgO .

3.2 Resistência à compressão uniaxial

A resistência à compressão uniaxial foi determinada conforme a ABNT NBR 5739:2007. Os consumos de materiais de cada traço seguem conforme Tabela 1. Após a moldagem, os corpos de prova foram submetidos a uma cura inicial – por 24 h – em ambiente livre da ação de intempéries. Após, os mesmos foram deformados e mantidos armazenados em solução saturada $\text{Ca}(\text{OH})_2$, a uma temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$, até a realização dos ensaios.

Amostras					Consumo de materiais (Kg/m ³)						% aditivo sobre a massa do cimento
Nomen-clatura	Traço	a/c	Adição de Pó de Vidro	Adição de microssilica	CP V-ARI RS	Areia média	Brita 1	Pó de vidro	Microssilica	Água	
PV 0 - M 0	1:1,24:1,94	0,33	0%	0%	536,67	665,47	1041,14	0,00	0,00	177,10	0,781%
PV 0 - M 5	1:1,24:1,94	0,33	0%	5%	534,11	662,30	1036,18	0,00	26,71	176,26	0,797%
PV 0 - M 10	1:1,24:1,94	0,33	0%	10%	528,05	654,79	1024,43	0,00	52,81	174,26	1,017%
PV 5 - M 0	1:1,24:1,94	0,33	5%	0%	526,34	652,66	1021,09	26,32	0,00	173,69	1,066%
PV 5 - M 5	1:1,24:1,94	0,33	5%	5%	524,90	650,88	1018,32	26,25	26,25	173,22	1,194%
PV 5 - M 10	1:1,24:1,94	0,33	5%	10%	523,95	649,69	1016,46	26,20	52,39	172,90	1,467%
PV 10 - M 0	1:1,24:1,94	0,33	10%	0%	524,51	650,40	1017,56	52,45	0,00	173,09	1,647%
PV 10 - M 5	1:1,24:1,94	0,33	10%	5%	515,13	638,76	999,34	51,51	25,76	169,99	2,483%
PV 10 - M 10	1:1,24:1,94	0,33	10%	10%	510,11	632,54	989,62	51,01	51,01	168,34	2,500%

Tabela 1 – Consumo de materiais para a produção do CAR

Fonte: Autores (2020).

3.3 RAS: Método acelerado e, barras de argamassa

Como optou-se pela determinação da RAS pelo método acelerado, tem-se a necessidade de que as amostras produzidas sejam argamassas, e não concretos. A produção e moldagem destas foi feita conforme o prescrito pela ABNT NBR 15577-4:2008, sendo – portanto – utilizado um traço de 1:2,25 (cimento:agregado) em massa e uma relação a/c de 0,47. Na dosagem das argamassas também foram utilizadas as adições minerais. As quantidades e materiais de cada traço estão dispostas na Tabela 2. As amostras foram então colocadas em um recipiente com água e submetidas a uma temperatura de 80° C, por 24 h (em uma estufa), para a cura úmida.

Traço	Quantidade de material em massa (g)				
	CP V -ARI RS	Agregado miúdo	Água	Pó de Vidro	Microssilica
PV 0 - M 0	440	990*	206,8	0	0
PV 0 - M 5	440	990*	206,8	0	22
PV 0 - M 10	440	990*	206,8	0	44
PV 5 - M 0	440	990*	206,8	22	0
PV 5 - M 5	440	990*	206,8	22	22
PV 5 - M 10	440	990*	206,8	22	44
PV 10 - M 0	440	990*	206,8	44	0
PV 10 - M 5	440	990*	206,8	44	22
PV 10 - M 10	440	990*	206,8	44	44

* Sendo 346,5 g retidos na #1,18 mm, 247,5 g na #600 µm, 247,5 g na #300 µm e 148,5 g na #150 µm.

Tabela 2 – Quantidade de material nos traços de argamassa

Fonte: Autores (2020).

O ensaio de RAS pelo método acelerado consiste na imersão dos corpos de prova prismáticos² em banhos de solução composta de 40g de NaOH em 1 L de água – mantendo a concentração da solução em $(1,00 \pm 0,01) N^3$. A norma estabelece que deva-se aquecer a solução aos $(80 \pm 2) ^\circ C$, mantendo esta temperatura até a finalização do ensaio (um mês após). Para tal, as amostras foram colocadas em recipientes plásticos (com tampa) contendo a solução e levadas à estufa. Importante destacar que as barras receberam um calço para não ficarem em contato com o fundo do recipiente, permitindo – deste modo – que elas ficassem com todas as faces em contato com a solução.

No decorrer do ensaio, fez-se as medições das expansões ocorridas em cada amostra, sendo obrigatoriamente executadas medições aos 0, 16 e 30 dias, além de mais três leituras intermediárias para cada período. O cálculo da expansão – em cada idade – de cada amostra foi desenvolvido através da variação de seu comprimento.

A ABNT NBR 15577-1:2008, preconiza que agregados que obtiverem expansão igual ou superior a 0,19% aos 30 dias, no ensaio acelerado em barras de argamassa, devem ser considerados como potencialmente reativos. Ainda, a ASTM C 1260/01 estabelece que os agregados que apresentarem expansão inferior a 0,10% aos 16 dias são considerados como inócuos.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados estão apresentados a seguir, acompanhados de seu diagnóstico estatístico pela Análise de Variância (ANOVA).

4.1 Resistência à compressão uniaxial

Todos os traços apresentaram resistência à compressão superior a 55 MPa, inclusive dentro de 7 dias, deste modo todos concretos produzidos se configuram como CAR. Como esperado, no momento de ensaio à compressão os cp's romperam de forma explosiva, este comportamento se deve à presença de uma densa matriz argamassada, que faz com que as tensões internas culminem na ruptura da microestrutura do agregado. A Figura 8 demonstra os resultados de resistência à compressão.

2. A ABNT NBR 15577-4:2008 preconiza que as amostras devam ser prismáticas, com seção quadrada de $(25 \pm 0,7)$ mm de lado, de 285 mm de comprimento.

3. Normalidade (N), utilizada para expressar a concentração de uma solução, é dada pela razão número de equivalentes-gramas (Eq.g) do soluto e o volume da solução. O valor de Eq.g para bases se dá em função do número de hidroxilas presentes na composição da base.

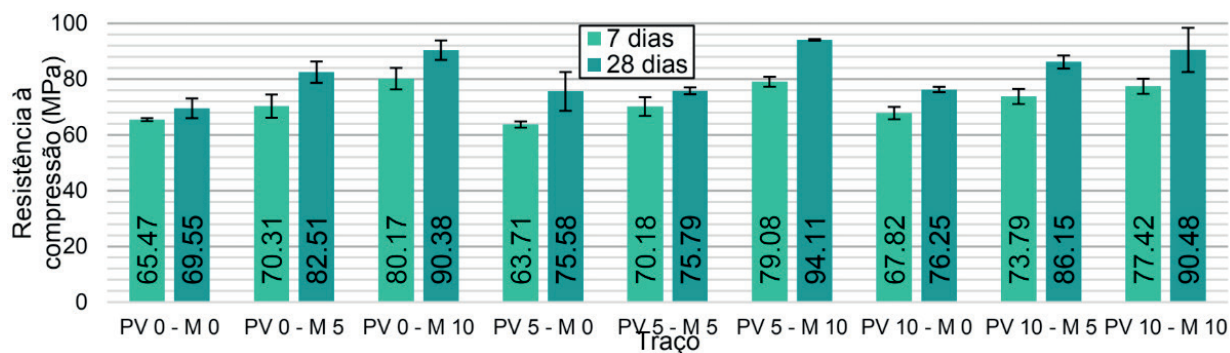


Figura 8 – Resistência à compressão uniaxial aos 7 e 28 dias

Fonte: Autores (2020).

A análise dos resultados evidencia que os concretos com altos teores de microssílica apresentaram maiores resistências tanto aos 7 dias, onde o traço mais resistente foi o PV0-M10, quanto aos 28 dias, onde o traço PV5-M10 propiciou um ganho de resistência de 35,31% em relação ao traço de referência (PV0-M0). Por outro lado, os concretos com menores resistências foram o PV5-M0 aos 7 dias e o PV0-M0 aos 28 dias.

Estes resultados obtidos estão em conformidade com os estudos Shao et al. (2000), no que diz respeito ao retardo do ganho de resistência com o emprego de pó de vidro nas misturas cimentícias. Em um comparativo com os resultados dos autores⁴, apresentados na Figura 1, nota-se concretos produzidos com partículas finas de vidro tendem a reduzir a resistência em idades iniciais. Embora, é importante destacar que, ao contrário deste trabalho, os estudos de Shao et al. (2000) foram feitos com teores de substituição do cimento pelo pó de vidro e pela microssílica (e não como teores de adição). Silva et al. (2013), também evidenciaram um decréscimo de resistência aos 7 e aos 14 dias, devido ao emprego do pó de vidro.

Comparando os resultados dos traços PV0-M10 e PV10-M0 com o PV0-M0 notou-se que, quando utilizado como única adição no traço, os 10% de microssílica propiciaram um ganho de resistência aos 28 dias de 29,95%, enquanto que os 10% de pó de vidro acarretaram em um aumento de apenas 8,97%. Inclusive, um teor de 5% de microssílica (PV0-M5) mostrou-se mais favorável que a utilização dos 10% de pó de vidro (PV10-M0), promovendo um ganho de 18,63% na resistência.

A Figura 9 apresenta o efeito dos teores de pó de vidro e da microssílica sobre a resistência à compressão aos 7 dias. Enquanto que a Figura 10 demonstra este mesmo efeito para a resistência aos 28 dias.

4. Shao et al. (2000).

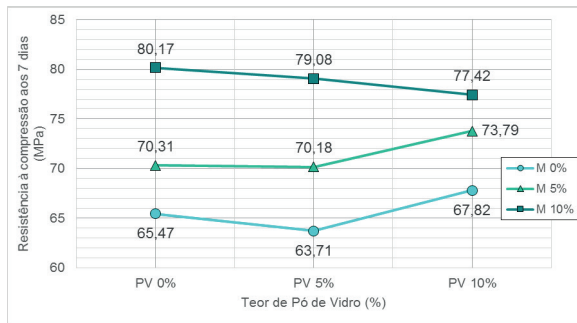


Figura 9 – Efeito dos teores de PV e de M na resistência à compressão aos 7 dias

Fonte: Autores (2020).

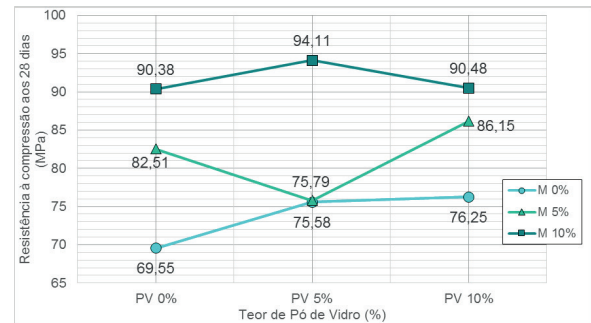


Figura 10 – Efeito dos teores de PV e de M na resistência à compressão aos 28 dias

Fonte: Autores (2020).

Evidenciou-se que o uso de 5% de pó de vidro provocou um leve decréscimo da resistência aos 7 dias quando comparado aos traços equivalentes sem o teor de pó de vidro (PV=0%). Enquanto que o uso de 10% de pó de vidro tem tendência a provocar um leve aumento da resistência. Conjuntamente, nota-se que as curvas da resistência aos 7 dias não apresentam grandes variações (indicando que o pó de vidro não provoca alterações visíveis nos resultados). Já, quanto ao afastamento das curvas umas com as outras, estas indicam que os teores de microsilica exercem variações perceptíveis na resistência.

Analisando o efeito do pó de vidro sobre a resistência à compressão aos 28 dias nota-se que, com exceção do traço PV5-M5, o uso de pó de vidro corroborou para um leve aumento de resistência. Neste sentido, quando comparados traços com mesmos teores de microsilica, o traço que resultou em maior ganho de resistência – proporcionado pelo pó de vidro – foi o PV10-M0, que aumentou a resistência em 6,7 MPa, em relação ao traço PV0-M0 (9,63% de aumento).

No que se refere à microsilica, quanto maior o teor empregado, maior foi a resistência à compressão, tanto aos 7 quanto aos 28 dias. Esta influência da microsilica está atrelada a sua intensa atividade pozolânica (IAP de 169%).

A análise de variância (ANOVA) dos resultados aos 7 dias, demonstrada na Tabela 3, mostrou que o pó de vidro não provocou variações significativas na resistência dos concretos nas idades iniciais. Entretanto, embora a Tabela 4 – que apresenta os resultados de ANOVA para a compressão aos 28 dias – também tenha evidenciado que o pó de vidro não foi significativo para a resistência em idades mais avançadas, a interação entre o pó de vidro e a microsilica mostrou-se significativa para as variações de resistência aos 28 dias. Já quanto à microsilica, fica nitidamente claro que seu emprego corrobora para o aumento de resistência desde as idades iniciais.

Variável	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de Pó de Vidro (PV)	18,3236	2	9,16178	1,21896	0,3188	3,55456	NS
Teor de Microsílica (M)	790,931	2	395,465	52,616	3E-08	3,55456	S
PV X M	43,7176	4	10,9294	1,45414	0,25729	2,92774	NS
Erro	135,289	18	7,51607				

Tabela 3 – ANOVA: resistência à compressão aos 7 dias

Onde: SQ - soma quadrática; gl - graus de liberdade; MQ - média quadrática; valor-P - probabilidade de significância; S - valor significativo; NS - valor não significativo

Fonte: Autores (2020).

Variável	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de Pó de Vidro (PV)	57,7339	2	28,8669	1,63426	0,22275	3,55456	NS
Teor de Microsílica (M)	1445,02	2	722,512	40,904	2E-07	3,55456	S
PV X M	216,939	4	54,2348	3,07043	0,04308	2,92774	S
Erro	317,945	18	17,6636				

Tabela 4 – ANOVA: resistência à compressão aos 28 dias

Onde: SQ - soma quadrática; gl - graus de liberdade; MQ - média quadrática; valor-P - probabilidade de significância; S - valor significativo; NS - valor não significativo

Fonte: Autores (2020).

Assim, o leve ganho de resistência do pó de vidro pode estar associado ao efeito fíler, onde o pequeno tamanho dos grãos de pó de vidro proporciona a colmatação (preenchimento) dos poros do concreto, aumentando a sua resistência. Ainda, embora se acredite que não seja o caso, pode ser que o vidro tenha atuado como pozolana (IAP de 96%). Entretanto, os ganhos de resistência não foram tão expressivos para serem evidenciados pela ANOVA.

Deste modo, para a compressão aos 28 dias, o melhor traço produzido (PV5-M10) se deu em decorrência da união entre a pozolanidade da microsílica (em maiores quantidades) com o efeito fíler do pó de vidro. Sendo este último, utilizado em um percentual que não afetasse as reações da microsílica com o Ca(OH)_2 .

Possivelmente, esta “Não Significância” do pó de vidro na ANOVA pode estar ligada ao fato de este ter sido empregado em conjunto com uma superpozolana (microsílica), deste modo, as variações provocadas pela microsílica foram muito mais expressivas do que as oriundas do emprego do resíduo. Outro possível fator que corroborou para tal fato, foi o uso de um traço rico (com um consumo de cimento acima de 500 Kg/m^3), assim, as variações de cerca de 5 MPa não apresentaram significância em concretos com resistências à compressão superiores a 65 MPa.

4.2 RAS: Método acelerado em barras de argamassa

A expansão das barras foi mensurada nos dias 1, 2, 5, 9, 13, 16, 19, 23, 28 e 30, contados após a moldagem dos exemplares. A Tabela 5 apresenta a expansão, de cada exemplar, após os 30 dias de ensaio, enquanto que a Figura 11 demonstra a expansão de cada traço ao longo da idade.

Amostra	Traço								
	PV 0 - M 0	PV 0 - M 5	PV 0 - M 10	PV 5 - M 0	PV 5 - M 5	PV 5 - M 10	PV 10 - M 0	PV 10 - M 5	PV 10 - M 10
Amostra 01	0,196%	0,175%	0,208%	0,213%	0,127%	0,221%	0,202%	0,083%	0,210%
Amostra 02	0,266%	0,215%	0,164%	0,214%	0,087%	0,234%	0,239%	0,070%	0,117%
Amostra 03	0,292%	0,162%	0,236%	0,190%	0,190%	0,170%	0,137%	0,162%	0,184%
Média	0,251%	0,184%	0,203%	0,206%	0,135%	0,208%	0,193%	0,105%	0,170%
Desvio padrão	0,050%	0,028%	0,036%	0,014%	0,052%	0,034%	0,051%	0,050%	0,048%
Variância	2,48E-7	7,65E-8	1,33E-7	1,87E-8	2,71E-7	1,15E-7	2,64E-7	2,50E-7	2,27E-7
Classificação ABNT NBR 15577-1:2008	PR	PI	PR	PR	I	PR	PR	I	PI

Onde: I – Inócuo; PI – Potencialmente Inócuo; PR – Potencialmente Reativo

Tabela 5 – Expansão RAS aos 30 dias

Fonte: Autores (2020).

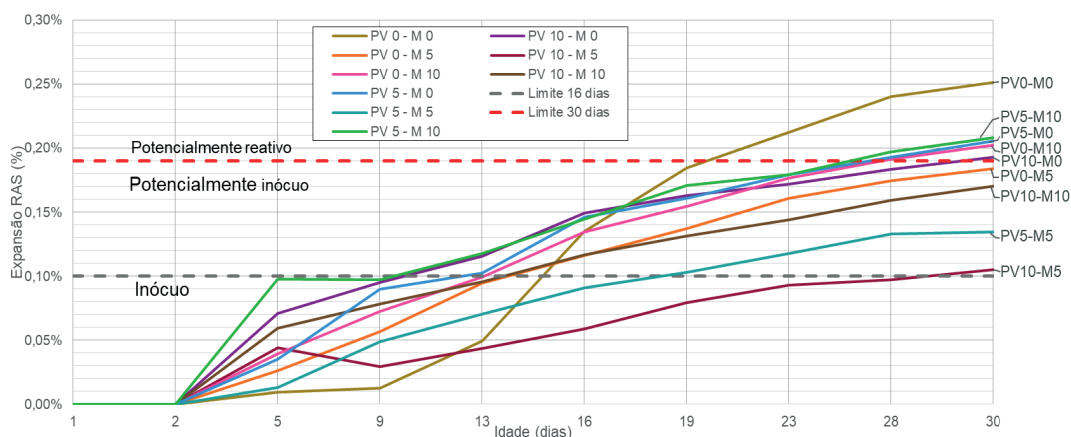


Figura 11 – Expansão RAS

Fonte: Autores (2020).

Os traços PV0-M0, PV5-M10, PV5-M0, PV0-M10 e PV10-M0 revelaram-se potencialmente reativos, enquanto que o PV0-M5 e o PV10-M10 mostraram-se potencialmente inócuos. Já o PV5-M5 e o PV10-M5, por apresentarem expansão inferior a 0,10% aos 16 dias, foram classificados como inócuos. Mesmo que a maioria dos traços apresentou potencial reativo, nenhum exemplar desenvolveu fissuração visível, nem exsudação de gel de silicato alcalino. Provavelmente isso se deva a inexistência de valores de expansão muito acima do limite preconizado pela ABNT NBR 15577-1:2008.

Conforme apontado nos estudos de Shao *et al.* (2000), era esperado que o Na₂O presente no vidro viesse a catalisar as reações expansivas da RAS, os resultados encontrados neste trabalho vão em conformidade com esta conjectura. Deste modo, nota-se que o uso do pó de vidro tende a acelerar a RAS, minimizando a expansão total nas idades avançadas.

Consequentemente, o traço sem adição mineral (PV0-M0) apresentou uma menor expansão inicial, mas no final da segunda semana (próximo aos dias 13 e 16) começou a demonstrar seu potencial reativo, ultrapassando os demais traços. Destaca-se que esta RAS existente no traço de referência deu-se exclusivamente pela a interação dos álcalis do cimento com a sílica presente nos agregados.

Similarmente ao obtido nos estudos Shao *et al.* (2000), o resíduo de pó de vidro utilizado neste trabalho não se mostrou tão efetivo na inibição da RAS quanto à microssílica. Entretanto ainda há viabilidade de sua utilização (no que se refere a RAS) pois, inclusive nos traços onde só foi utilizado o pó de vidro (sem microssílica), ele propiciou uma redução na expansão total, quando comparado ao traço de referência (PV0-M0).

Pelos resultados da ANOVA (Tabela 6), constatou-se que os teores de pó de vidro e de microssílica, bem como a interação entre os dois, influíram de forma significativa para a os resultados de expansão pela RAS. Obviamente, a idade de ensaio também se mostrou significativa para a RAS. A análise efetuada também permite afirmar que a microssílica participou mais efetivamente na inibição da RAS do que o pó de vidro, isto porque ela apresentou um valor-P bem abaixo (sendo praticamente nulo).

Variável	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de Pó de Vidro (PV)	1,39682E-06	2	6,98412E-07	3,81406	0,0240653	3,0518	S
Teor de Microssílica (M)	8,72899E-06	2	4,3645E-06	23,8347	8,441E-10	3,0518	S
Idade	8,7055E-05	8	1,08819E-05	59,4264	2,601E-44	1,9960	S
PV X M	2,44712E-06	4	6,11779E-07	3,34095	0,0116751	2,4275	S
PV X Idade	4,27853E-06	16	2,67408E-07	1,46033	0,1205632	1,7063	NS
M X Idade	3,46845E-06	16	2,16778E-07	1,18384	0,2859597	1,7063	NS
PV X M X Idade	2,01789E-06	32	6,30591E-08	0,34437	0,9996355	1,5152	NS
Erro	2,96647E-05	162	1,83115E-07				

Tabela 6 – ANOVA: RAS

Onde: SQ - soma quadrática; gl - graus de liberdade; MQ - média quadrática; valor-P - probabilidade de significância; S - valor significativo; NS - valor não significativo

Fonte: Autores (2020).

Paralelamente, a Figura 12 – que expressa as variações na RAS aos 30 dias provocadas pelo pó de vidro e pela microssílica – deixa evidente que o teor de pó de vidro tende a ser inversamente proporcional à expansão pela RAS. Ou seja, os segmentos de retas decrescentes mostram que quanto maior o teor de pó de vidro empregado à mistura,

maior é a inibição da RAS⁵. Ainda, a figura aponta que teores de 5% de microssílica são mais eficientes na inibição da RAS.

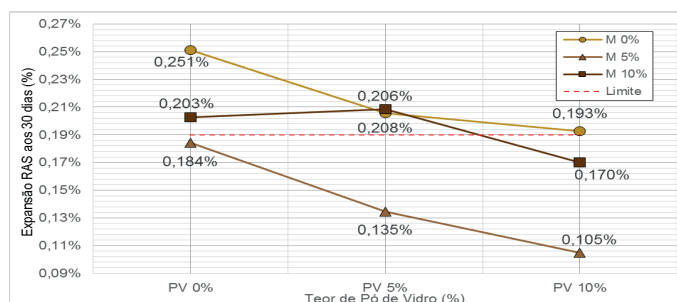


Figura 12 – Efeito do teor de PV e de M na expansão RAS aos 30 dias

Fonte: Autores (2020).

5 | CONCLUSÕES

Os resultados mostram que – para os materiais e condições empregadas neste trabalho – o resíduo de pó de vidro não propiciou ganhos e/ou perdas significativos na resistência do concreto aos 7 dias. Enquanto que aos 28 dias o resíduo de vidro acarretou em leves acréscimos de resistência (porém não significativos na análise de variância). Já, quanto a microssílica, sua elevada capacidade pozolânica proporcionou um aumento de resistência logo nas idades iniciais, sendo responsável por um acréscimo de 22,45% (traço PV0-M10 comparado ao PV0-M0) na resistência aos 7 dias.

Através dos resultados obtidos – bem como de sua análise estatística – conclui-se que mesmo embora o pó de vidro tenha desenvolvido um IAP levemente superior a 90% (sendo classificado como material pozolânico pela ABNT NBR 12653:2015), acredita-se que este tenha atuado como fíler nas misturas cimentícias e não como pozolana. Assim, as pequenas partículas do resíduo foram responsáveis por um leve aumento da resistência à compressão aos 28 dias, quando este foi utilizado em teores que não interferissem nas reações pozolânicas da microssílica com o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ presente no CP.

Quanto a RAS, ambas adições se mostraram favoráveis à inibição da expansão. Enquanto que a microssílica mostrou como mais indicado o uso de um teor de 5% o pó de vidro pressupõe a utilização de maiores teores (10%).

REFERÊNCIAS

ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS – American Society for Testing and Materials. **ASTM C-1260/01: Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)**. Philadelphia, 2001.

5. Dentre os teores avaliados, porque não se pode afirmar que maiores quantidades de pó de vidro estariam inibindo a RAS de forma mais expressiva.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 7251**: Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

_____. **NBR 8953**: Concreto Para Fins Estruturais - Classificação por Grupo de Resistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR 9776**: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

_____. **NBR 11579**: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR 15577-1**: Agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR 15577-4**: Agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

FEDERICO, Lisa M. **Waste glass** - a supplementary cementitious material. 2013. 98 f. Tese (Pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade McMaster Hamilton. Disponível em: <https://macsphere.mcmaster.ca/bitstream/11375/13455/1/fulltext.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2016.

ISAIA, Geraldo Cechella; GASTALDINI, Antônio Luiz Guerra. Perspectivas ambientais e econômicas do concreto com altos teores de adições minerais: um estudo de caso. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 19-30, abr./jun. 2004.

MEENA, Ankur; SINGH, Randheer. **Comparative Study of Waste Glass Powder as Pozzolanic Material in Concrete**. 2012. 38 f. Tese (Bacharel de Tecnologia em Engenharia Civil) - National Institute of Technology, Rourkela, 2012. Disponível em: http://ethesis.nitrkl.ac.in/3339/1/Randheer_%26_Ankur__final_Thesis.pdf. Acesso em: 13 ago. 2016.

NEVILLE, A. M. **Properties of concrete**. 4.ed. New York, U.S.: J. Wiley, 1996. 844 p.

SERAFINI, R; PAGNUSSAT, D. T. Análise de pontes de aderência para reparo entre concretos de elevada resistência. In: II Congresso Brasileiro de Patologia Das Construções, n. 2, 2016, Belém. **Artigo...** v. 1. p. 251-261.

SHACKELFORD, James F. **Ciência dos Materiais**. 6.ed. São Paulo: Pearson, 2008.

SHAO, Y. *et al.* Studies on Concrete containing ground waste glass. **Cement and Concrete Research**. v.30, p.91-100. 2000. Disponível em: <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/studies-on-concrete-containing-ground-waste-glass-dixrMfcoaR?shortRental=true>. Acesso em: 15 ago. 2016.

SILVA, A. L. B. *et al.* Concreto especial produzido a partir da substituição parcial do Cimento Portland por resíduos de vidro. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFRN, n. 9, 2013, Currais Novos. **Artigo...** p.2457-2464. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ocs/index.php/congic/ix/paper/viewFile/1224/123>. Acesso em: 12 ago. 2016.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adição Mineral 1, 2, 3, 4, 7, 12, 14, 15, 17, 18, 19, 22, 31

Adiciones Minerales 62

Agregado Cerâmico 49, 53, 55, 57, 58

Análise Estrutural 193, 194, 208, 217

Argamassa 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 25, 26, 30, 33, 46, 49, 51, 57, 58, 59, 81, 85, 86, 90, 95, 96, 97, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 111, 112, 113, 114, 115, 117, 121, 123, 149, 153, 157, 158, 159, 160

Argamassa de Assentamento 49, 113

Argamassas 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 21, 25, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 79, 80, 82, 83, 95, 96, 97, 99, 100, 101, 103, 104, 105, 106, 111, 112, 114, 115, 116, 118, 123, 130, 132

Autonivelante 1, 2, 3, 4, 9, 15, 16

Avaliação Funcional 165

B

Baixo Custo 59, 114, 115, 239, 261

Bioetanol 64, 79, 80, 81, 95

C

Canalização 133, 136

Cimento 61, 62, 63, 67, 68, 69, 70, 71, 74, 75, 76

Colombia 61, 62, 63, 64, 65, 66, 69, 74, 75, 76

Concreto 15, 17, 18, 19, 20, 29, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 59, 60, 61, 62, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 79, 80, 81, 82, 95, 96, 100, 101, 105, 108, 116, 123, 128, 129, 130, 139, 140, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 159, 161, 162, 163, 169, 199, 201, 202, 207, 208, 210, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 233, 236, 237, 269

Construção 1, 2, 3, 16, 36, 38, 46, 47, 48, 49, 50, 59, 60, 79, 80, 86, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 107, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 122, 124, 125, 126, 130, 131, 132, 139, 141, 144, 145, 147, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 157, 161, 162, 163, 164, 177, 179, 185, 194, 210, 237, 243, 246, 247, 248, 250, 255, 256, 257, 259, 260, 261, 264, 265

Contrapiso 2, 3, 15, 104

D

Demolição 49, 52, 59, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 107, 111, 112, 113, 124, 126, 132

Dimensionamento 133, 134, 135, 136, 137, 152, 197, 210, 213, 217, 221, 224, 225, 226, 229, 230, 231, 235, 237

Drenagem em Pavimentos 165

E

Edifício Empresarial 149, 150

Elementos Finitos 209, 210, 213, 216, 217, 219, 221, 222, 223

Esgotamento Sanitário 133, 134, 135, 137

F

Fundações 147, 209, 210, 211, 213, 223

G

Granito (RCMG) 1, 2

L

Laje Maciça 150, 152, 153, 154

Lignina 80, 81, 82, 83, 96

M

Macapá 164, 165, 170, 171, 174, 175, 177, 178

P

Patologia 33, 149, 150, 151, 162, 163, 167, 178

Pavimentos 74, 130, 151, 164, 165, 166, 167, 169, 170, 171, 175, 178, 180, 191, 192, 193, 194, 195, 197, 198, 199, 201, 204, 205, 206, 207, 208

Pavimentos Isolados 193, 195, 197, 198, 199, 204, 205, 207, 208

Pilar 156, 193, 195, 196, 197, 198, 199, 205, 206, 214, 215

Pórtico Plano 193, 195, 199, 204, 205, 206, 207, 208

R

Recalque 138, 142, 145

Reciclagem de RCD, 49

Redes Coletoras 133, 136

Rejeito de Cobre 114, 115, 116, 117, 119, 123

Resíduo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 29, 31, 32, 36, 37, 38, 49, 50, 51, 52, 53, 58, 59, 60, 79, 80, 81, 82, 83, 90, 91, 93, 94, 95, 97, 98, 100, 102, 103, 114, 115, 132

Resíduo de Corte 1, 2, 3, 4, 15

Resíduo Reciclado 2

Resistência Mecânica 12, 14, 15, 17, 49, 51, 54, 55, 56, 57, 105, 115, 116, 120

Risco 138, 139, 147, 195, 226, 251, 255

S

Saneamento 107, 133, 134, 135, 137, 178, 182, 240, 279

Sapatas 209, 210, 211, 212, 213, 214, 216, 223

Solo 69, 71, 123, 135, 138, 139, 141, 143, 146, 147, 166, 168, 209, 210, 211, 212, 214, 215, 217, 220, 221, 222, 240, 267, 268, 269, 272, 273, 274, 276, 277, 279

Subsistência 138, 147

Sustentabilidade 80, 115, 240

T

Teoria da Elasticidade 209

V

Vigas 156, 157, 195, 196, 198, 199, 201, 208, 224, 225, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236

 **Atena**
Editora

2 0 2 0