



7º ENCONTRO NACIONAL DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO



7º ENCONTRO NACIONAL DE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO

PROMOÇÃO



PATROCINADORES



APOIO



ORGANIZAÇÃO



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Imagens da capa

Agência Preview - Banco de Imagens

Edição de arte

Silvia Trein Heimfarth Dapper

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^a Dr^a 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
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^a Dr^a Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^a Dr^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^a Dr^a 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

7º Encontro Nacional de Aproveitamento de Resíduos na Construção

Diagramação: Camila Alves de Cremo

Indexação: Gabriel Motomu Teshima

Revisão: Os autores

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S495 7º Encontro nacional de aproveitamento de resíduos na construção / Organizadores Luciana Cordeiro, Sofia Bessa, Angela Borges Masuero, et al. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Outros organizadores
Daniel Tregnago Pagnussat
Denise Carpena Coitinho Dal Molin
Lais Zucchetti
Sílvia Trein Heimfarth Dapper
Rosana Dal Molin
Fernanda Lamego Guerra
Caroline Giordani
Iago Lopes dos Santos
Maria Fernanda Menna Barreto
Maxwell Klein Degen
Natália dos Santos Petry
Rafaela Falcão Socoloski
Roberta Picanço Casaril
Aline Zini
Jéssica Deise Bersch
Thainá Yasmin Dessuy
Thaís do Socorro Matos da Silva

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5983-681-9
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.819210811>

1. Construção civil. 2. Preservação ambiental. 3. Redução de impactos e o reaproveitamento de resíduos. I. Cordeiro, Luciana (Organizadora). II. Bessa, Sofia (Organizadora). III. Masuero, Angela Borges (Organizadora). IV. Título.

CDD 690

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

Atena
Editora

Ano 2021



Declaração dos autores

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



Declaração da editora

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



Apresentação

Um dos grandes desafios do setor da construção civil é a busca pela redução de resíduos oriundos dos mais diversos processos da produção industrial. Desta forma, é estimulada, no âmbito científico, a busca por alternativas que visam o reaproveitamento desses resíduos como matéria-prima na construção. Aliado a esta ideia, o 7º Encontro Nacional de Aproveitamento de Resíduos na Construção (ENARC) é um evento que visa incentivar a divulgação e discussão de ideias que possam embasar e desenvolver o setor da construção, levando em conta a ótica de preservação ambiental, redução de impactos e o reaproveitamento de resíduos.



Agradecimentos

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e ao Grupo FV, pelo apoio financeiro.

À ANTAC - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, pelo apoio institucional.

À UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, NORIE - Núcleo Orientado para Inovação da Edificação, PPGCI - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura e LAMTAC - Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído, pela organização.

Ao Sinduscon-RS, pelo apoio e divulgação.

Aos autores, pela divulgação das pesquisas e à comissão científica pela sua avaliação.

A todos os participantes, pelas suas contribuições, presenças e interações.

Nosso muito obrigado a todos.

PROMOÇÃO



PATROCINADORES



APOIO



ORGANIZAÇÃO





Comissão organizadora local

- Profa. Dra. Angela Borges Masuero (UFRGS) - Comissão coordenadora
- Prof. Dr. Daniel Tregnago Pagnussat (UFRGS) - Comissão coordenadora
- Profa. Dra. Denise Dal Molin (UFRGS) - Comissão coordenadora
- Profa. Dra. Lais Zucchetti (UFRGS) - Comissão coordenadora
- Profa. Dra. Silvia Trein Heimfarth Dapper (PUCRS)
- Rosana Dal Molin (ANTAC) - Secretária ANTAC
- Fernanda Lamego Guerra (Pós-Doc NORIE/UFRGS)
- Caroline Giordani (Doutoranda NORIE/UFRGS)
- Deividi Maurenre Gomes da Silva (Doutorando NORIE/UFRGS)
- Iago Lopes dos Santos (Doutorando NORIE/UFRGS)
- Maria Fernanda Menna Barreto (Doutoranda NORIE/UFRGS)
- Maxwell Klein Degen (Doutorando NORIE/UFRGS)
- Natália dos Santos Petry (Doutoranda NORIE/UFRGS)
- Rafaela Falcão Socoloski (Doutoranda NORIE/UFRGS)
- Roberta Picanço Casaril (Doutoranda NORIE/UFRGS)
- Aline Zini (Mestranda NORIE/UFRGS)
- Jéssica Deise Bersch (Mestranda NORIE/UFRGS)
- Thainá Yasmin Dessuy (Mestranda NORIE/UFRGS)
- Thaís do Socorro Matos da Silva (Mestranda NORIE/UFRGS)





Comitê científico

Profa. Luciana Cordeiro (UFPA) – Comissão coordenadora

Profa. Sofia Bessa (UFMG) – Comissão coordenadora

Revisores

Abrahão Bernardo Rohden (FURB)

Adeildo Cabral (IFCE)

Adriana Gumieri (UFMG)

Aline Barboza (UFAL)

Ana Paula Maran (UFMS)

Ana Paula Milani (UFMS)

Anderson Muller (IFSC)

Andrea Franco (UFMG)

Ariane P. Rubin (UFSC)

Carina Stolz (FEEVALE)

Carlos Eduardo Marmorato (UNICAMP)

Cláudia Ruberg (UFPB)

Cláudio Kazmierczak (UNISINOS)

Dóris Bragança (UFRGS)

Edna Possan (UNILA)

Eduardo Grala (UFPEl)

Eduardo Polesello (FEEVALE)

Elaine Antunes (UNESC)

Fabiano Pereira (UNESC)

Fabriccio Almeida (SENAI)

Feliciane Brehm (UNISINOS)

Felipe Moreira (UFPA)

Felipe Reis (IFPA)

Fernanda Costa (UFRB)

Fernando Almeida (UFMG)

Fernando José (UFMG)

Geilma Vieira (UFES)

Giselle Reis (SERG/RS)

Glaucinei Correa (UFMG)

Guilherme Brigolini (UFOP)

Guilherme Cordeiro (UENF)

Isaura Paes (UFPA)

Janaíde Rocha (UFSC)

Jardel Gonçalves (UFBA)

João Adriano Rossignolo (USP)

Juliana Moretti (UNIFESP)

Luciana Cordeiro (UFPA)

Lucimara Leal (IFPA)

Luiz Maurício Maués (UFPA)

Luizmar Lopes (UPF)

Marcelo Massulo (UFPA)

Marcelo Picanço (UFPA)

Márcia França (UFMG)

Maria Teresa Aguilar (UFMG)

Marlon Longhi (UFRGS)

Maurício Pina (UFPA)

Maurilio Pimentel (UFPA)

Mirna Gobbi (PROARQ/UFRJ)

Mônica Leite (UEFS)

Muriel Froener (UCSul)

Patrícia Chaves (IFPA)

Patrícia Lovato (UPF)

Paulo Gomes (UFAL)

Rafael Mascolo (UNIVATES)

Ricardo Girardi (PUCRS)

Richard Lermen (IMED)

Risete Braga (UFPA)

Robson Fernandes (UFPA)

Rodrigo Silva (IMED)

Sabino Alves (UNIFESSPA)

Sandra Oda (UFRJ)

Sofia Bessa (UFMG)

Talita Miranda (UFMG)

Teresa Barbosa (UFJF)

Thiago Braga (UFPA)

Thiago Melo Grabois (UFRJ)

White dos Santos (UFMG)

SUMÁRIO

ÁREA 1 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MATERIAIS, COMPONENTES, ELEMENTOS E SISTEMAS COM APLICAÇÃO DE RESÍDUOS

CAPÍTULO 1.....1

PREVISÃO DO IMPACTO DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU NO DESEMPENHO MECÂNICO DO CONCRETO

MEDEIROS; Victor Amadeu Sant' Anna; CRUZ; Bruna Ramos de Souza; ALCAZAS; Juliana Carrasco; MILANI; Ana Paula da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108111>

CAPÍTULO 2.....9

PROPRIEDADES REOLÓGICAS E HIDRATAÇÃO DE PASTAS DE CIMENTOS TERNÁRIOS CONTENDO RESÍDUOS DE MÁRMORE, PORCELANATO, BLOCO CERÂMICO E FOSFOGESSO

COSTA; Ana Rita Damasceno; GONÇALVES; Jardel Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108112>

CAPÍTULO 3.....17

OTIMIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE MOAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARA APLICAÇÃO COMO MATERIAIS CIMENTÍCIOS SUPLEMENTARES

COSTA; Ana Rita Damasceno; GONÇALVES; Jardel Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108113>

CAPÍTULO 4.....26

EFEITO DA SÍLICA ATIVA NA MITIGAÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO ATRAVÉS DO MÉTODO ACELERADO EM BARRAS DE ARGAMASSAS

CRUZ DA SILVA ARAUJO; Juliene; PEREIRA BONFIM; Francirene; PEREIRA GOUVEIA; Fernanda

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108114>

CAPÍTULO 5.....33

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA MOAGEM DO RESÍDUO DE FCC NA HIDRATAÇÃO INICIAL DO CIMENTO POR CALORIMETRIA ISOTÉRMICA

OLIVEIRA; Josinorma Silva de; ANDRADE; Heloysa Martins Carvalho, GONÇALVES; Jardel Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108115>

CAPÍTULO 6.....	42
MÉTODO DE RIETVELD PARA QUANTIFICAÇÃO DE FASES EM RESÍDUOS PARA USO COMO MATERIAIS CIMENTÍCIOS SUPLEMENTARES (MCS)	
MATOS; Samile Raiza Carvalho; COSTA; Ana Rita Damasceno; OLIVEIRA; Josinorma Silva de; MACIEL; Kuelson Rândello Dantas; GONÇALVES; Jardel Pereira	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108116	
CAPÍTULO 7.....	51
AVALIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE MISTURAS SOLO-RESÍDUO VISANDO A UTILIZAÇÃO COMO BARREIRAS IMPERMEÁVEIS EM ATERROS SANITÁRIOS	
BRESSAN JUNIOR; José C.; ZAMPIERI; Lucas Q.; NIENOV, Fabiano A.; LUVIZÃO, Gislaïne	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108117	
CAPÍTULO 8.....	58
NEUTRALIZAÇÃO DO FOSFOGESSO COM CAL E A SUA INFLUÊNCIA NA HIDRATAÇÃO E NO DESEMPENHO MECÂNICO DE MATRIZES CIMENTÍCIAS	
ANDRADE NETO; José S.; BERSCH; Jéssica D.; SILVA, Thaís S. M.; RODRÍGUEZ, Erich D.; SUZUKI, Seiiti; KIRCHHEIM; Ana Paula	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108118	
CAPÍTULO 9.....	66
INFLUÊNCIA DO RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA EM ARGAMASSAS NA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO OU DO CIMENTO	
TORRES; Ariela da Silva; PINZ; Francielli Priebbernow; PALIGA; Charlei Marcelo	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108119	
CAPÍTULO 10.....	73
DESEMPENHO TÉRMICO DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM RESÍDUOS DA MINERAÇÃO E SIDERURGIA	
BARRETO; Rodrigo Rony; MENDES; Vitor Freitas; FARDIN; Wellington; SANTANA; Vanessa Pereira; MENDES; Julia Castro	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081110	
CAPÍTULO 11.....	81
CARBONATAÇÃO NATURAL EM CONCRETO COM RESÍDUO DO BENEFICIAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM SUBSTITUIÇÃO AO AGLOMERANTE	
COSTA; Vitória Silveira da; TEIXEIRA; Fernando Ritiéle; PALIGA; Charlei Marcelo; TORRES; Ariela da Silva	

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081111>

CAPÍTULO 12.....88

INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO ARGILITO NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE MATRIZES CIMENTÍCIAS

SILVA; Thaís; BERSCH; Jéssica; ANDRADE NETO; José; MASUERO; Angela; DAL MOLIN; Denise

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081112>

CAPÍTULO 13.....95

EFEITO DA ADIÇÃO DE CINZA DE OLARIA NO ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA DE SOLO ARGILOSO DA REGIÃO DE GUARAPUAVA-PR

KADLOBICKI; Lucas; TRENTO; Vanderlei; PAULINO; Rafaella Salvador; DA SILVA; Sauana Centenaro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081113>

CAPÍTULO 14.....103

ANÁLISE CRÍTICA DOS MÉTODOS DE SEPARAÇÃO DE AGREGADOS DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) BASEADA EM CRITÉRIOS DE DESEMPENHO DE CONCRETOS RECICLADOS

FERREIRA; Guilherme de Andrades; NEUMANN; Isadora Sampaio; SANTOS; Iago Lopes; DAL MOLIN; Denise Carpena Coitinho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081114>

CAPÍTULO 15.....111

CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR DE ELEVADA REATIVIDADE PRODUZIDA VIA FRACIONAMENTO DENSIMÉTRICO E MOAGEM ULTRAFINA

LINHARES, Beatriz Dias Fernandes; LEMOS, Mônica Nunes; CORDEIRO, Guilherme Chagas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081115>

CAPÍTULO 16.....119

GEOPOLÍMERO A BASE DE METACAULIM: MEDIDAS DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

COSTA, Rayara Pinto; PY, Lucas Goldenberg; SACARDO, Lucas Eduardo Perin; LONGHI, Marlon Augusto; KIRCHHEIM, Ana Paula

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081116>

CAPÍTULO 17	127
AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM RESÍDUOS DE POLIPROPILENO TRITURADO	
GARCIA; Adson de Sousa; SILVA; Barbara Cristina Soares; JÚNIOR; Paulo Sergio Barreiros de Leão; SOUZA; Grazielle Tigre de	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081117	
CAPÍTULO 18	134
ANÁLISE EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS UTILIZANDO RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE (DREGS E GRITS)	
ALVARENGA; Bruno Medeiros de; FALCÃO; Juliane Rodrigues; TESSARO; Alessandra Buss; MATTOS; Flávia Costa de	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081118	
CAPÍTULO 19	142
CARBONATAÇÃO DE ARGAMASSAS MISTAS PRODUZIDAS COM REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO	
HERMENEGILDO, Gabriela C.; CARNEIRO, Gisele O. P.; NOGUEIRA, Júlia A. W.; BEZERRA, Augusto C., BESSA, Sofia A. L.	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081119	
CAPÍTULO 20	150
EFEITO DE UMA RESINA POLIMÉRICA NA ABSORÇÃO DE PEDRAS ARTIFICIAIS DE CALCÁRIO LAMINADO	
BEZERRA; Ana Karoliny Lemos; SILVA; Leonária Araújo; ARAÚJO; Lucas Benício Rodrigues; CABRAL; Antonio Eduardo Bezerra	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081120	
CAPÍTULO 21	158
CARACTERIZAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ (CCA) GERADA EM LEITO FLUIDIZADO	
PAGLIARIN; Karine; JORDANI; Bárbara; KOPPE; Angélica	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081121	
CAPÍTULO 22	166
INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE SUBPRODUTOS NA DISPERSÃO DE PARTÍCULAS DE CIMENTO	
MARTINS; Julia; ROCHA; Janaíde	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081122	

CAPÍTULO 23	173
COMPÓSITO CIMENTÍCIO COM GRÃOS DE POLIPROPILENO: RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL E À FLEXÃO	
COELHO, Rivaldo Teodoro; DUCATTI, Vitor Antonio; SALADO, Gerusa de Cássia	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081123	
CAPÍTULO 24	180
COMPORTAMENTO DE CONCRETOS COM BAIXO TEOR DE CASCA DE ARROZ COMO BIOAGREGADO	
AMANTINO, Guilherme; TIECHER, Francieli; HASPARYK, Nicole; TOLEDO, Romildo	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081124	
CAPÍTULO 25	187
ANÁLISE DA DURABILIDADE DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO POR RESÍDUO DE MARMORARIA EM DIFERENTES FATORES ÁGUA CIMENTO	
ALMADA, Bruna S.; SANTOS, White J.	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081125	
CAPÍTULO 26	195
ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DO CIMENTO POR RESÍDUO DE MARMORARIA COM FIXAÇÃO DA TRABALHABILIDADE PELO USO DE ADITIVOS PLASTIFICANTE	
ALMADA, Bruna S.; SANTOS, White J.	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081126	
CAPÍTULO 27	202
ANÁLISE DA APLICABILIDADE DO RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA NA PAVIMENTAÇÃO	
SANTOS, Marianny Viana dos; SOUZA, Wana Maria de; RIBEIRO, Antonio Junior Alves	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081127	
CAPÍTULO 28	208
RESÍDUO DE CONCRETO COMO SUBSTITUTO AO CIMENTO: AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DAS EMISSÕES	
OLIVEIRA, Dayana Ruth Bola; LEITE, Gabriela; POSSAN, Edna; MARQUES FILHO, José	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081128	

ÁREA 2 - DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS COM RESÍDUOS

CAPÍTULO 29..... 216

USO DO RESÍDUO DA NEFELINA EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

ROSA; Laura Pereira; HALTIERY; Diego Santos; PEREIRA; Fabiano Raupp; ANDRADE; Lucimara Aparecida Schambeck

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081129>

CAPÍTULO 30..... 224

INFLUÊNCIA DA MAGNETITA E DA BARITA EM MATRIZES CIMENTÍCIAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

MAZZARO; Filipe S.; ALVES; Jordane G.S.; ALMEIDA; Fernando C.R.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081130>

CAPÍTULO 31..... 232

UTILIZAÇÃO DE CINZA PESADA DE BIOMASSA DE PINUS TAEDA COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND NO CONCRETO CONVENCIONAL

BARCAROLI; Bruno Crimarosti; SALAMONI; Natália; ROHDEN; Abrahão Bernardo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081131>

CAPÍTULO 32..... 240

ANÁLISE DA POTENCIALIDADE DO USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO COMO AGREGADO GRAÚDO NA PRODUÇÃO DE BLOCOS PARA PAVIMENTOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO

REUPS; José Eduardo Angeli; NIEMCZEWSKI; Juliana Alves Lima Senisse

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081132>

CAPÍTULO 33..... 248

AVALIAÇÃO DO USO DO PÓ DE RETIFICA PARA APLICAÇÃO EM CAMADAS DE PAVIMENTAÇÃO

AVERNA; Larissa Bertho; MATTEDI; Carolina Vieira; DE ABREU; Victor Barreto; CONTINI; Paulo Victo Matiello; MARIANI; Bruna Bueno

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081133>

CAPÍTULO 34..... 256

CRIAÇÃO DE REVESTIMENTOS BIOINSPIRADOS A PARTIR DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO

MENEGUEL, Carolina Frota; DAPPER, Silvia Trein Heimfarth

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081134>

CAPÍTULO 35.....264

CONSTRUÇÃO DE QUIOSQUES COM TUBOS DE PAPELÃO EM EVENTOS TEMPORÁRIOS

DIAS; Nathalia Schimidt; SALADO; Gerusa de Cássia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081135>

CAPÍTULO 36.....272

REUTILIZAÇÃO DE AREIA DE FUNDIÇÃO EM ARGAMASSAS

MARAN, Ana PauLa; MENNA BARRETO, Maria Fernanda; MASUERO, Angela Borges;
DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081136>

CAPÍTULO 37.....281

CINZAS DE BIOMASSA GERADAS NA AGROINDÚSTRIA DE MALTE: CARACTERIZAÇÃO E USO EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSAS

DA SILVA; Sauana Centenaro; DA SILVA; João Adriano Godoy; PAULINO; Rafaella Salvador

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081137>

CAPÍTULO 38.....289

UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS DE RCD EM SUBSTITUIÇÃO TOTAL AOS NATURAIS PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETOS ADENSADOS DE FORMA MANUAL E MECÂNICA

SARTORE; Igor Carlesso; PAULINO; Rafaella Salvador; TORALLES; Berenice Martins

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081138>

CAPÍTULO 39.....297

INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR PÓ DE PEDRA EM TUBOS DE CONCRETO

COLONETTI; Luís Gustavo Vieira; PIROLLA; Douglas Leffa; PIVA; Jorge Henrique;
MACCARINI; Helena Somer; WANDERLIND; Augusto; ANTUNES; Elaine Guglielmi Pavei

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081139>

CAPÍTULO 40.....305

PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CIMENTO E AGREGADO POR CINZAS DE CARVÃO VAPOR

PADILHA; Lilian; PIROLLA; Douglas Leffa; PIVA; Jorge Henrique; SAVI; Aline Eyng;
WANDERLIND; Augusto; ANTUNES; Elaine Guglielmi Pavei

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081140>

CAPÍTULO 41..... 312

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO POR RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL NA RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO AXIAL DE ARGAMASSAS MISTAS

SCHILLER; Ana Paula Sturbelle; PALIGA; Charlei Marcelo; TORRES; Ariela da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081141>

CAPÍTULO 42..... 319

PAINÉIS AGLOMERADOS HOMOGÊNEOS DE MADEIRA PRODUZIDOS COM PINUS, PALHA DE MILHO, POLIETILENO TEREFTALATO E POLIURETANO DERIVADO DE ÓLEO DE MAMONA

SOUZA; Matheus; CAZELLA; Pedro H. S.; RODRIGUES; Felipe R.; PEROSSO; Marjorie B. S.; SILVA; Sérgio A. M.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081142>

CAPÍTULO 43..... 327

ESTUDO DO EMPREGO DE AGREGADOS CERÂMICOS EM CONCRETO PERMEÁVEL

STRIEDER; Helena L.; DUTRA; Vanessa F. P.; GRAEFF; Ângela G.; MERTEN; Felipe R. M.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081143>

CAPÍTULO 44..... 335

PRODUÇÃO DE PISOS INTERTRAVADOS EM ESCALA INDUSTRIAL COM A INCORPORAÇÃO DE AREIA DE FUNDIÇÃO

GHISLENI; Geisiele; LIMA; Geannina Terezinha dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081144>

CAPÍTULO 45..... 343

APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DA REGIÃO AMAZÔNICA EM ÁLCALI-ATIVADOS VISANDO O SEU USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

RIBEIRO; Rafaela Cristina Alves; CAMPOS; Patrick Cordeiro; BRITO; Woshington da Silva; PICANÇO; Marcelo Souza; GOMES-PIMENTEL; Maurílio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081145>

CAPÍTULO 46..... 350

ESTUDO EXPERIMENTAL DE ARGAMASSAS COM RESÍDUO DE CINZA VOLANTE DE

MINÉRIO DE CARVÃO EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO

BICA; Bruno O.; PADILHA; Francine; ROCHA; Janaíde; GLEIZE; Philippe

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081146>

CAPÍTULO 47.....358

ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO QUARTZOSO POR AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM DE ROCHA BASÁLTICA EM CONCRETO

WALKER; Wesley Ramon; MEINHART; Alice Helena; ARNOLD; Daiana Cristina Metz; DIAS; Letícia Andriolli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081147>

CAPÍTULO 48.....365

AVALIAÇÃO DO RESÍDUO DE ARENITO COMO AGREGADO MIÚDO EM MATRIZ DE ARGAMASSA

MARIO, Mauro; GIORDANI, Caroline; MASUERO, Angela Borges; DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081148>

CAPÍTULO 49.....373

O RESÍDUO DE NIÓBIO E SUAS POTENCIAIS APLICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO DA LITERATURA

ALVES; Jordane G.S.; MAZZARO; Filipe S.; ALMEIDA; Fernando C.R.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081161>

CAPÍTULO 50.....380

PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE SUBPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS PRODUZIDOS PARA NÚCLEO DE PAINEL SANDUÍCHE

PEREIRA; Alexandre Rosim; ROSSIGNOLO; João Adriano

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081150>

ÁREA 3 - GESTÃO DE RESÍDUOS

CAPÍTULO 51.....388

IMPACTOS DA IMPLANTAÇÃO DA GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM CAMPO GRANDE – MS

PUPIN; Nayara Severo; MAIA; Johnny Hebert de Oliveira; MILANI; Ana Paula da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081151>

CAPÍTULO 52.....395

O CICLO DA GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA UFRGS

ANTUNES; Giselle Reis; RODRIGUES; Eveline Araujo; SIMONETTI; Camila

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081152>

CAPÍTULO 53.....403

ANÁLISE SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA CIDADE DE PORTO ALEGRE/RS

ROCHA, Paulyne Vaz; SOUZA; Ana Lilian Brock de; PETRY, Natália dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081153>

CAPÍTULO 54.....412

ANÁLISE DO PLANO DE GESTÃO MUNICIPAL INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE RIO BRANCO – AC, SOB A ÓTICA DE GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

VIANA; Tiago H. da Costa; MONTEIRO; Késsio Raylen; SEGOBIA; Pedro Bomfim

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081154>

ÁREA 4 - ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

CAPÍTULO 55.....420

VALORIZAÇÃO DE RESÍDUO AGROINDUSTRIAL COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND EM FIBROCIMENTOS

BASSAN DE MORAES; Maria Júlia; SOARES TEIXEIRA; Ronaldo; PROENÇA DE ANDRADE; Maximiliano; MITSUUCHI TASHIMA; Mauro; ROSSIGNOLO; João Adriano

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081155>

CAPÍTULO 56.....428

PROJETO SARGOOD: VALORIZAÇÃO DO *SARGASSUM* NA CONSTRUÇÃO CIVIL

ROSSIGNOLO, João Adriano; BUENO, Cristiane; DURAN, Afonso Jose Felicio Peres; LYRA, Gabriela Pitolli; ASSUNÇÃO, Camila Cassola; GAVIOLI, Leticia Missiato; MORAES, Maria Julia Bassan; NASCIMENTO, João Lucas Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081156>

CAPÍTULO 57.....436

VALORIZAÇÃO DO CAULIM FLINT COMO MATERIAL CIMENTÍCIO SUPLEMENTAR (MCS)

MEDEIROS; Matheus Henrique Gomes de; MATOS; Samile Raiza Carvalho; DESSUY; Thainá Yasmin; MASUERO; Angela Borges; DAL MOLIN; Denise Carpena Coitinho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081157>

ÁREA 5 - AVALIAÇÃO AMBIENTAL E DO CICLO DE VIDA

CAPÍTULO 58.....443

AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ DE PAVIMENTO DE CONCRETO PERMEÁVEL: COMPARAÇÃO ENTRE O USO DE AGREGADOS DE RCD E NATURAIS

CASARIN; Roberta P.; ARAGÃO; Lucas C.; ZAPPE; Anna Paula S. ; THOMAS; Mauricio; PASSUELO; Ana Carolina B.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081158>

CAPÍTULO 59.....451

O IMPACTO AMBIENTAL DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOB A VISÃO DO CICLO DE VIDA

KONZEN; Bárbara Anne Dalla Vechia; PEREIRA; Andréa Franco

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081159>

CAPÍTULO 60.....462

PEGADA DE CARBONO DE CONCRETOS AUTOADENSÁVEIS PRODUZIDOS COM FINOS DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

FERREIRA; Luiza de Souza; DESSUY; Thainá Yasmin; GLITZEHNIRN; Claudia; PASSUELLO; Ana; MASUERO; Angela Borges

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081149>

CAPÍTULO 61.....468

AVALIAÇÃO DOS PARAMETROS SUSTENTÁVEIS PARA PAVERS CONFECCIONADOS COM RESÍDUOS INDUSTRIAIS

ALTOÉ; Silvia Paula Sossai; GOÉS; Isadora; ROTTA; José Venancio Pinheiro; BORIN; Mateus Roberto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081160>



PROPRIEDADES REOLÓGICAS E HIDRATAÇÃO DE PASTAS DE CIMENTOS TERNÁRIOS CONTENDO RESÍDUOS DE MÁRMORE, PORCELANATO, BLOCO CERÂMICO E FOSFOGESSO

<https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108112>

COSTA; ANA RITA DAMASCENO¹; GONÇALVES; JARDEL PEREIRA¹.

¹UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

E-MAIL DA AUTORA CORRESPONDENTE: RITA.DAMASCENO@UFBA.BR

RESUMO: Esse estudo avalia a influência da composição de cimentos ternários contendo resíduos sobre as suas propriedades reológicas e de hidratação. Como matérias-primas foram utilizados cimento Portland, fosfogesso e resíduos de mármore, porcelanato e bloco cerâmico. A área superficial específica das matérias-primas é o principal fator que governa o comportamento reológico das pastas. Seu incremento implica na redução da tensão de escoamento e viscosidade plástica. A variação da razão resíduo cerâmico/resíduo de mármore altera a cinética de hidratação nas primeiras 48 horas. As pastas são compostas principalmente por C-S-H, portlandita e etringita. Os resíduos cerâmicos, de mármore e fosfogesso podem ser utilizados como alternativas às matérias-primas naturais na produção de cimentos ternários.

PALAVRAS-CHAVES: Reologia, Hidratação, Resíduo cerâmico, Fosfogesso, Cimentos ternários.

ABSTRACT: This study assesses the influence of the ternary cements composition containing waste materials on its rheological and hydration properties. As raw materials, Portland cement, phosphogypsum, and wastes of marble, clay brick, and clay tile were used. The raw materials specific area is the main factor that governs the pastes rheological behavior. Its increase implies a reduction of the yield stress and plastic viscosity. The variation of the ceramic waste/marble waste ratio changes the hydration kinetics in the first 48 hours. The pastes are mainly composed of C-S-H, portlandite, and ettringite. Ceramic, marble, and phosphogypsum wastes can be used as alternatives to natural raw materials in the production of ternary cements.

KEYWORDS: Rheology, Hydration, Ceramic waste, Phosphogypsum, Ternary cements.

1 | INTRODUÇÃO

A incorporação de materiais suplementares em cimentos alternativos tem um impacto significativo na fluidez de suas pastas, demandando um aumento do teor de água para atingir a mesma trabalhabilidade de misturas com cimento Portland convencional⁽¹⁾. A trabalhabilidade dos cimentos ternários (CT) LC³ é governada pela argila calcinada, que retém a água reduzindo a interação efetiva entre a água e o aglomerante. O uso de calcário contendo quantidades ínfimas de componentes orgânicos aumenta significativamente a trabalhabilidade do sistema⁽²⁾. Ferreiro et al.⁽³⁾ verificaram que argilas com relação molar SiO₂:Al₂O₃ equivalente a 1:1 aumentam a demanda de água nos CT quando comparadas às de relação 2:1 para alcançar uma

trabalhabilidade aceitável para a mesma dosagem de aditivo superplastificante.

A composição mineralógica das pastas de CT depende fundamentalmente da reatividade das argilas, teor de substituição, composição do cimento e idade⁽⁴⁾. O efeito da substituição parcial do Cimento Portland por argilas calcinadas altamente reativas na hidratação é uma combinação de um efeito filler, aumentando o grau de hidratação em idades precoces, e reação pozolânica das argilas calcinadas nas idades mais avançadas⁽⁵⁾. Argilas calcinadas favorecem a formação de fases do tipo hemi e monocarboaluminato e influenciam a microestrutura dos produtos de hidratação, aumentando o comprimento da cadeia C–A–S–H onde o alumínio passa a substituir o silício⁽⁵⁻⁶⁾. No entanto, não há estudos que demonstrem o efeito de matérias-primas residuais como alternativa a fontes naturais em sistemas ternários como o LC³.

Dessa forma, o objetivo do presente estudo é avaliar a influência da composição de cimentos ternários contendo resíduos sobre as suas propriedades reológicas e de hidratação. Para tanto, foram produzidas amostras ternárias contendo cimento Portland, resíduo de porcelanato ou de bloco cerâmico, resíduo de mármore e fosfogesso. A análise tem como foco a variação tanto da fonte de argila calcinada (RP ou RBC), como a aplicação de diferentes razões resíduo cerâmico/resíduo de mármore.

2 | EQUAÇÕES, MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

As matérias-primas utilizadas nesse estudo foram cimento Portland tipo V de alta resistência inicial (CP), quartzo (Q), fosfogesso (FG) e resíduos de mármore (RM), bloco cerâmico (RBC) e porcelanato (RP). O RCB foi material descartado de uma fábrica de blocos cerâmicos vermelhos, o RP foi de uma distribuidora de peças para revestimento de piso. A amostra foi de um único lote e modelo de placa de porcelanato esmaltado. O RM foi do tipo Bege Bahia, subproduto obtido em empresa de corte e fabricação de peças ornamentais. O fosfogesso foi um resíduo da produção de ácido fosfórico em uma indústria de fertilizantes. Os resíduos foram beneficiados por moagem em laboratório. As propriedades físicas das matérias primas são apresentadas na Tabela 1.

Propriedade	CP	RBC	RP	RM	FG
Massa específica (kg m ⁻³)	3272	2814	2601	2781	2438
Área superficial específica BET (m ² kg ⁻¹)	1301	9395	4540	9681	5119
D ₁₀ (µm)	1,87	0,77	0,83	0,73	1,37
D ₅₀ (µm)	11,6	3,14	3,14	3,69	7,98
D ₉₀ (µm)	34,08	10,20	8,61	15,33	32,05

Tabela 1 – Propriedades físicas das matérias-primas após o beneficiamento.

2.2 Produção e cura

A composição padrão do cimento LC³ é de 50% de clínquer, 30% de argila calcinada, 15% de calcário e 5% de gipsita⁽⁷⁻⁹⁾. O teor de 0,72% de sulfato de cálcio

(CaSO₄) do cimento (que produz 0,91% de gipsita quando em contato com a água) foi corrigido para manter o teor da fonte de CaSO₄ em 5%. Dois cimentos ternários foram produzidos com a dosagem padrão (Tabela 3) substituindo a argila calcinada por RBC (CT.RBC) e por RP (CT.RP). Foram produzidas duas amostras de referência. A primeira contendo o CP puro. A fim de avaliar a contribuição do efeito filler, foi determinada uma segunda amostra de referência (CP.Q) contendo quartzo como material inerte em igual teor ao dos MCSs no cimento ternário (resíduo cerâmico + RM).

Amostra	CP	RBC	RP	RM	Q	FG
CT.RBC	50,36	30,00	-	15,00	-	4,64
CT.RBC _{II}	50,36	35,17	-	9,83	-	4,64
CT.RP	50,36	-	30,00	15,00	-	4,64
CT.RP _{II}	50,36	-	39,36	5,64	-	4,64
CP.Q	50,36	-	-	-	45,00	4,64
CP	100	-	-	-	-	-

Tabela 3 – Composição dos cimentos ternários e amostras de referência (%).

O efeito da razão resíduo cerâmico/RM foi analisado para os CTs considerando a razão CaCO₃/Al₂O₃ não cristalino entre as matérias-primas. As frações mássicas de RBC ou RP para RM foram ajustadas, de modo que as razões molares de Al₂O₃ e CaCO₃ na fase amorfa de cada material permanecessem equivalentes a 1:1. A composição das amostras foi determinada usando o teor de CaCO₃ de 70,97% para o RM e um teor de alumina não cristalina dos resíduos de argila de 19,83% para o RBC e 10,17% para o RP. Portanto, a razão RBC/RM foi de 3,6 na primeira amostra (CT.RBC_I) e a razão RP/RM foi de 7,0 na segunda amostra (CT.RP_{II}). A mistura foi realizada com 500 g de material anidro e 275 g de água (a/c = 0,55). As amostras foram desmoldadas após 24 h da produção, em seguida submetidas à cura submersa em água sem aditivos e em ambiente com temperatura de 20 °C.

2.3 Mini-abatimento

O ensaio de mini-abatimento foi aplicado para estudar o efeito da composição dos cimentos ternários nas propriedades reológicas das pastas ao longo do tempo. O diâmetro de espalhamento foi registrado após a retirada do cone nos tempos de 5, 15 e 30 minutos após o primeiro contato do cimento com a água, permitindo avaliar a perda de abertura ao longo do tempo.

2.4 Reometria rotacional

Para analisar comparativamente os parâmetros reológicos das pastas dos cimentos ternários produzidos e composições de referência, foram realizados ensaios no viscosímetro modelo 3530 da *Chandler Engineering* de cilindros coaxiais, de acordo com a norma ABNT NBR 9831.

2.5 Calorimetria isotérmica

A calorimetria isotérmica foi realizada para avaliar a influência da composição na cinética de hidratação das pastas de cimentos ternários a 20 °C e durante as primeiras 72 h. Para tanto, foi utilizado um calorímetro isotérmico TAM Air de oito canais (*TA Instruments*).

2.6 Difração de raios X (DRX) e análise quantitativa pelo método de Rietveld

O DRX foi aplicado para identificar a composição mineralógica das pastas de cimentos ternários após 1, 3, 7, 28 e 91 dias de hidratação. As amostras foram analisadas em um difratômetro D8 Advance (Bruker AXS) (raio de 280 nm) com radiação Cu K α ($\lambda = 0,154$ nm) a 21 °C. Foi aplicada a análise quantitativa pelo método de Rietveld utilizando-se o software GSAS II versão 3913, conforme metodologia descrita por Costa et al.⁽¹⁰⁾.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Influência da composição nas propriedades reológicas dos cimentos ternários

As pastas de CT indicaram maior conservação do espalhamento ao longo do tempo (Figura 1), tendo uma reduzida variação ($\leq 23\%$) do espalhamento entre a medida inicial e a realizada aos 30 min. Tal comportamento foi ainda mais acentuado na pasta com RP ($\leq 9\%$). As amostras com RP apresentaram diâmetros semelhantes independente da proporção resíduo cerâmico : mármore aplicada. As pastas de CT de modo geral indicaram espalhamentos menores quando comparadas ao PC, em média 13% menores para as CT.RP e 28% para as CT.RBC. Tal efeito pode estar relacionado à maior área superficial específica dos MCS.

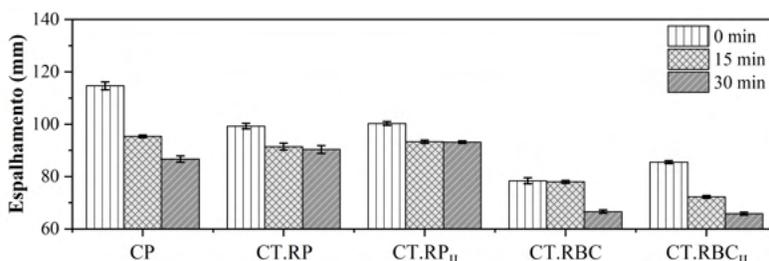


Figura 1 – Diâmetro de espalhamento das pastas ao longo do tempo.

A Figura 2 apresenta os parâmetros reológicos obtidos aplicando o modelo de Bingham para regressão das curvas de fluxo de cada pasta. As amostras com RBC apresentaram maiores tensões de escoamento. Tal efeito pode ser explicado pela elevada superfície específica do resíduo (cerca de duas vezes maior que a do RP), que aumenta a quantidade de água aderida aos grãos e reduz a água livre que aprimoraria o fluxo da mistura. Fazendo um comparativo entre os métodos de dosagem, é possível

observar que a dosagem convencional levou a maiores tensões de escoamento. Tal desempenho é justificado pela redução do teor de RM, uma vez que este apresenta a maior superfície específica. Quanto às viscosidades plásticas, de modo geral os valores seguem a mesma tendência das tensões de escoamento. A amostra CP.Q apresentou viscosidade intermediária às de CP e CT.

A diferença entre os valores de gel inicial e final indica a estabilidade das tensões de escoamento da pasta ao longo do tempo. As pastas CT apresentaram valores maiores quando comparadas às referências pastas PC, evidenciando a influência do MCS sobre os parâmetros reológicos. As variações entre gel inicial e final foram maiores para as pastas com RP.

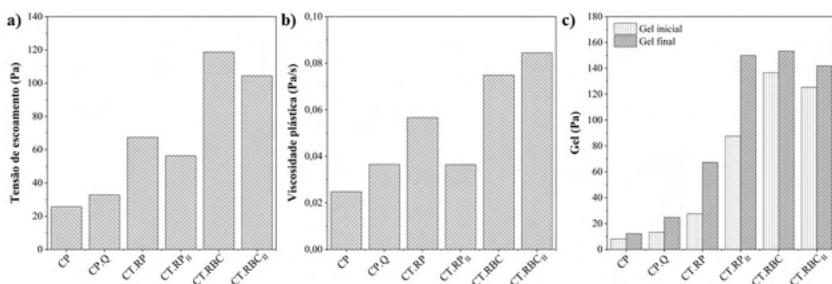


Figura 2 – Tensão de escoamento (a), viscosidade plástica (b) e força gel (c) das pastas cimentícias.

A propriedade física determinante sobre as propriedades reológicas das pastas é a área superficial específica⁽¹¹⁾. Um incremento em seu valor tem como consequência um aumento do percentual de água aderida à superfície dos grãos e a redução da água livre, dificultando assim o fluxo da mistura. Tal relação é evidenciada na Figura 3. Foram atribuídos às pastas valores de área superficial específica média dos cimentos. Estes, foram calculados de acordo com a média ponderada das superfícies específicas individuais e os teores de cada matéria-prima na matriz.

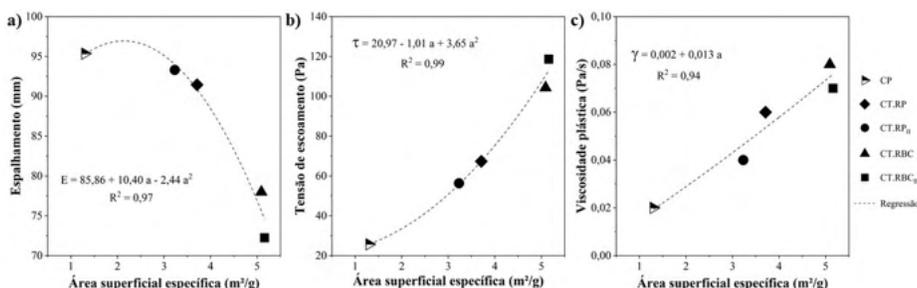


Figura 3 – Correlação entre as propriedades reológicas e a área superficial específica dos cimentos.

Os resultados sugerem uma correlação direta entre a redução do diâmetro de espalhamento e o incremento da área. Em razão das propriedades físicas das matérias-

primas, as pastas com RBC apresentaram menor trabalhabilidade. É possível observar uma correlação entre a área superficial e a tensão de escoamento e viscosidade plástica. A pasta de referência PC apresenta os maiores espalhamentos, menor tensão de escoamento, viscosidade plástica e gel inicial e final. O incremento de MCS nas pastas de CT aumenta a superfície específica e tem como consequência o comportamento inverso ao da pasta PC. Desempenho semelhante foi verificado por Favier et al.⁽²⁾, Ferreiro et al.⁽³⁾ e Perez et al.⁽¹²⁾.

3.2 Influência da composição na hidratação dos cimentos ternários

Durante as reações iniciais as amostras de CT apresentam fluxo de calor maiores quando comparadas às referências (Figura 4). Tal efeito pode ser justificado pelo maior teor de íons Ca^{2+} oriundos das matérias-primas suplementares. O pico principal de hidratação ocorre por volta de 10 h após o início do ensaio e é atribuído à formação de silicato de cálcio hidratado, hidróxido de cálcio e etringita. A diferença entre o fluxo de calor das pastas PC e PC.Q indica a contribuição associada ao efeito filler.

As amostras CT apresentaram fluxo máximo de calor superiores ao da referência, indicando uma contribuição no processo de hidratação além do efeito filler. Deve se considerar, no entanto, que a contribuição da pasta com RP foi mínima e pode estar associada ao melhor empacotamento das partículas do cimento. O incremento do pico principal de hidratação está relacionado à maior formação de CH, C-S-H e etringita, sendo maior para o RBC, seguida das pastas com RP.

A evolução do calor acumulado é apresentada na Figura 4c. A alteração na composição dos MCS diferencia as curvas desde os minutos iniciais da hidratação. O calor total na reação de hidratação das amostras com RBC pouco variou entre as diferentes dosagens desse resíduo. Os dados sugerem que a alteração da proporção alumina : carbonato de cálcio não influenciou na cinética de hidratação entre 48 e 72 h. Por outro lado, as amostras com RP em 72 horas apresentaram calor acumulado cerca de 10% maior para a pasta CT.RP_{II}. Tal efeito pode estar associado à conversão da etringita em AFm nas últimas horas, como pode ser observado por um leve pico presente na curva de fluxo de calor.

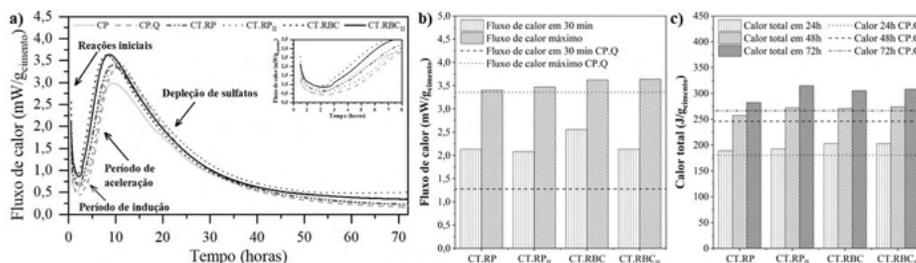


Figura 4 – Evolução do fluxo de calor (a), fluxo (b) e calor total (c) durante a hidratação das pastas.

A análise da calorimetria indica que as pastas de CT apresentaram formação de C-S-H e etringita um pouco maior no pico principal de hidratação. O incremento do fluxo de calor foi de no máximo 0,5 mW/g de cimento, sendo atribuído ao efeito de

nucleação gerado pela presença das partículas de menor dimensão. As amostras com RBC apresentaram maior taxa de hidratação quando comparada às de RP. As formulações com a dosagem não convencional (CT.RBC_{II} e CT.RP_{II}) apresentaram uma diferença sutil (< 1,6%) nos dados de calor, não sendo o suficiente para confirmar uma contribuição além da justificada pelo melhor empacotamento das partículas.

A quantificação das principais fases da composição mineralógica das pastas determinada pelo método de Rietveld é apresentada na Figura 5. Para a pasta CP observa-se um aumento do teor de portlandita e etringita, bem como de fases não cristalinas. A principal fase amorfa identificada em pastas é o C-S-H. Tal desempenho é característico de cimentos de alta resistência inicial, que apresentam grande parte da formação de C-S-H nos primeiros dias de hidratação⁽¹³⁾.

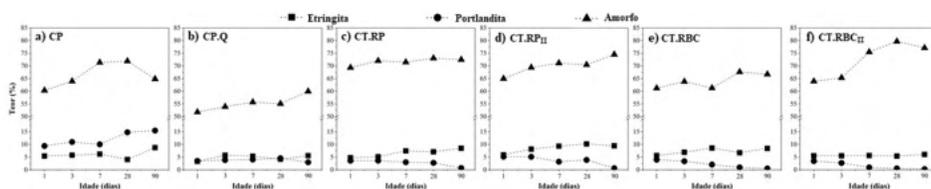


Figura 5 – Principais fases da composição mineralógica das pastas ao longo do tempo.

Para as pastas de CT observa-se um crescimento constante do teor de etringita associado ao aumento do teor de portlandita até os 7 dias, seguido de um decréscimo. Esse comportamento é atribuído ao consumo do hidróxido de cálcio na reação pozolânica e entre as pastas com RP é mais expressivo na CT.RP e nas com RBC é mais evidente na CT.RBC_{II}. Isso indica que a modificação da razão alumina : carbonato de cálcio foi vantajosa apenas para o RBC.

Para a pasta com quartzo (CP.Q), observa-se que o teor de portlandita e fases não cristalinas é crescente e está de acordo com o comportamento verificado na pasta de cimento sem substituições. O teor de portlandita aos 28 dias (4,54%) é expressivamente superior ao das pastas CT.RP (2,73%), CT.RP_{II} (3,88%), CT.RBC (0,93%) e CT.RBC_{II} (0,51%), indicando uma contribuição pozolânica dos MCS além do efeito filler.

4 | CONCLUSÕES

Com base nos resultados, as seguintes conclusões podem ser definidas:

A área superficial específica das matérias-primas é o principal fator que governa o desempenho reológico das pastas de cimentos ternários. Um incremento nessa propriedade física implica na redução da tensão de escoamento e viscosidade plástica, por outro lado o inverso é observado para o diâmetro de espalhamento.

As formulações de CT apresentaram uma diferença sutil nos dados de calor até as 72 h, não sendo o suficiente para confirmar uma contribuição além da justificada pelo melhor efeito de nucleação das partículas até esse tempo de hidratação.

A avaliação quantitativa sugere a ocorrência de reação pozolânica nas pastas a

partir dos 7 dias de hidratação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB, Bolsa nº 0289/2020) pelo apoio financeiro e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade em pesquisa. Esse trabalho também foi patrocinado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Bolsa nº 88887.124147/2014-00) em uma parceria entre a UFBA, UFRGS e UNICAMP pelo Programa Nacional de Cooperação Acadêmica (PROCAD).

REFERÊNCIAS

1. ZHANG, L. *et al.* Effect of polycarboxylate ether comb-type polymer on viscosity and interfacial properties of kaolinite clay suspensions. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 378, n. 1, p. 222-231, 2012.
2. FAVIER, A. *et al.* The Effect of Limestone on the Performance of Ternary Blended Cement LC3: Limestone, Calcined Clays and Cement. In: **Calcined Clays for Sustainable Concrete**. Springer, Dordrecht, p. 170-175, 2018.
3. FERREIRO, S. *et al.* Influence of Clay Type on Performance of Calcined Clay–Limestone Portland Cements. In: **Calcined Clays for Sustainable Concrete**. Springer, Dordrecht, p. 176-182, 2018.
4. TIRONI, A. *et al.* Kaolinitic calcined clays–Portland cement system: Hydration and properties. **Construction and Building Materials**, v. 64, p. 215-221, 2014.
5. ALUJAS, A. *et al.* Pozzolanic reactivity of low grade kaolinitic clays: Influence of calcination temperature and impact of calcination products on OPC hydration. **Applied Clay Science**, v. 108, p. 94-101, 2015.
6. PUERTA-FALLA, G. *et al.* Elucidating the role of the aluminous source on limestone reactivity in cementitious materials. **Journal of the American Ceramic Society**, v. 98, n. 12, p. 4076-4089, 2015.
7. ANTONI, M. *et al.* Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone. **Cement and Concrete Research**, v. 42, n. 12, p. 1579-1589, 2012.
8. DHANDAPANI, Y.; SANTHANAM, M. Assessment of pore structure evolution in the limestone calcined clay cementitious system and its implications for performance. **Cement and Concrete Composites**, v. 84, p. 36-47, 2017.
9. MARAGHECHI, H. *et al.* Performance of Limestone Calcined Clay Cement (LC³) with various kaolinite contents with respect to chloride transport. **Materials and Structures**, v. 51, n. 5, p. 1-17, 2018.
10. COSTA, A. R. D. *et al.* Hydration of sustainable ternary cements containing phosphogypsum. **Sustainable Materials and Technologies**, p. e00280, 2021.
11. CLAISSE, P. A. *et al.* Workability of cement pastes. **ACI Materials Journal - American Concrete Institute**, v. 98, n. 6, p. 476-482, 2001.
12. PEREZ, A. *et al.* Influence of the Manufacturing Process on the Performance of Low Clinker, Calcined Clay-Limestone Portland Cement. In: **Calcined Clays for Sustainable Concrete**. Springer, Dordrecht, p. 283-289, 2015.
13. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. **Concreto – Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3ª edição. São Paulo: Pini. 673 p, 2008.



Contatos

Endereço:

Av. Osvaldo Aranha, 99 - Prédio Castelinho, CEP:
90035-190. Porto Alegre-RS.

Telefone:

(51) 3308-3518

E-mail da comissão organizadora:

enarc2021@gmail.com

E-mail do comitê científico:

enarc.ccientifico2021@gmail.com

Site:

<https://www.ufrgs.br/enarc2021>

Instagram:

<https://www.instagram.com/enarc2021/>

Facebook:

<https://www.facebook.com/enarc2021/>

