



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 Maurente 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>



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

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

COSTA; ANA RITA DAMASCENO¹; GONÇALVES; JARDEL PEREIRA¹.

¹UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA (UFBA).

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

RESUMO: O presente estudo visa avaliar os parâmetros de moagem para o beneficiamento dos resíduos de mármore, porcelanato, bloco cerâmico e fosfogesso para reciclagem como materiais cimentícios suplementares. As matérias-primas foram beneficiadas por britagem, peneiramento e moagem em um moinho planetário de bolas variando os parâmetros de tempo e velocidade de rotação. Os resíduos foram caracterizados quanto às suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas. O estudo de moagem foi baseado na análise da distribuição de partículas por difração a laser. Os resíduos de porcelanato e bloco cerâmico apresentaram o melhor índice de moabilidade, atingindo diâmetros médios de cerca de 3 µm com as menores energias aplicadas. Os resíduos de mármore e fosfogesso indicaram tendência à aglomeração durante a moagem, demandando o uso de aditivos dispersantes e redução da velocidade de rotação.

PALAVRAS-CHAVES: Moagem, Resíduo de mármore, Resíduo cerâmico, Fosfogesso, Materiais cimentícios suplementares.

ABSTRACT: The present study aims to evaluate the milling parameters for the processing of marble, clay tile, clay brick, and phosphogypsum wastes for recycling as supplementary cementitious materials. The raw materials were benefited by grinding, sieving, and milling in a planetary ball mill, varying the parameters of time and rotation speed. The wastes were characterized according to their physical, chemical and mineralogical properties. The milling study was based on the analysis of particle size distribution by laser diffraction. The clay tile and clay brick wastes showed the best grindability indexes, reaching average diameters of about 3 µm with the lowest consumed energies. Marble and phosphogypsum wastes indicated a tendency to agglomerate during milling, demanding the use of grinding additive and reduced rotation speed.

KEYWORDS: Milling, Marble waste, Clay waste, Phosphogypsum, Supplementary cementitious materials.

1 | INTRODUÇÃO

Peças cerâmicas quebradas não são aceitas como produtos comerciais e não há meios altamente eficazes de descarte e reciclagem desse tipo de material⁽¹⁾. A quantidade de resíduos gerados nas diferentes fases de produção da indústria cerâmica europeia atinge 3-7% em peso da produção total de blocos cerâmicos vermelhos⁽²⁾. É amplamente relatado que resíduos de blocos cerâmicos finamente moídos (RBC) podem ser usados como material pozolânico⁽³⁾. Quando comparada com a argila calcinada

convencional, representa uma forma potencial de diminuir as emissões de CO₂ e os custos de produção⁽⁴⁾.

A produção brasileira de mármore é estimada em 2 milhões de toneladas por ano⁽⁵⁾. Devido à sua composição, muitas vezes semelhante à do calcário, o RM geralmente é utilizado na produção de materiais de construção, diversos pesquisadores avaliaram suas propriedades quando incorporadas em sistemas cimentícios⁽⁶⁾. O fosfogesso (FG) é um material resíduo da produção de ácido fosfórico na indústria de fertilizantes e sua composição química principal é de CaSO₄·2H₂O. Estima-se que o Brasil produza anualmente cerca de 11,6 milhões de toneladas de FG⁽⁷⁾.

Embora diversos estudos tenham abordado o uso de resíduos como alternativa às matérias-primas naturais em materiais cimentícios, ainda não há um consenso sobre os critérios de escolha dos parâmetros de beneficiamento desses subprodutos industriais. O presente estudo visa, portanto, avaliar os parâmetros de moagem para o beneficiamento dos resíduos de mármore, porcelanato, bloco cerâmico e fosfogesso para reciclagem como materiais cimentícios suplementares.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

As matérias-primas utilizadas nesse estudo foram 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 proveniente 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. Esses resíduos consistiam em pedaços de 5 a 10 cm, que foram triturados em um britador de mandíbulas de laboratório I-4198 (Pavitest) e posteriormente peneirados em uma peneira padrão de 1,18 mm. O FG foi um resíduo da produção de ácido fosfórico em uma indústria de fertilizantes. O resíduo foi seco à temperatura ambiente e os torrões foram separados manualmente até que todos passassem por uma peneira padrão de 1,18 mm.

2.2 Estudo de moagem

Os resíduos foram beneficiados em um moinho de bolas planetário PM 100 (Retsch) equipado com um jarro de moagem de aço inoxidável de 500 cm³. O RM foi moído sob velocidades de rotação de 300 rpm e 400 rpm, o RBC e RP sob 400 rpm e todos variando o tempo. O FG sob 300 rpm e variando o tempo de beneficiamento e teor de dispersante. O jarro de moagem foi carregado com 1600 bolas de aço inoxidável ($\varphi = 5$ mm) e 210 g de RBC, 195 g de RP, 208 g de RM ou 183 g de FG, que correspondem a proporções mássicas de esferas: pó de 3,8: 1, 3,9: 1 e 4,4: 1, respectivamente. Propilenoglicol também foi adicionado com um teor de 0,2% como um dispersante para evitar a aglomeração do RBC e RP nas esferas e contra as faces internas do jarro de moagem. Na moagem do RM foi aplicado 0,4%. Para o FG, variou-se o teor entre 0,2, 0,3, e 0,4% de propilenoglicol.

A granulometria dos resíduos após a moagem foi avaliada pela análise da

distribuição de partículas por difração a laser quantificada no equipamento modelo Mastersizer 3000 (*Malvern Instruments*). A energia específica de moagem foi calculada pela razão entre a energia consumida durante o beneficiamento no moinho e a massa de material produzida. O índice de moabilidade foi calculado pela razão entre a área superficial específica e a energia consumida pelo moinho durante o beneficiamento. A área superficial específica para cada cenário de moagem foi estimada com base na curva de distribuição de partículas⁽⁸⁾.

2.3 Área superficial específica (BET)

A área superficial específica dos resíduos foi determinada por isotermas de fisissorção de nitrogênio a -196 °C usando equipamento ASAP 2020 (Micromeritics) e calculada pelo método Brunauer-Emmett-Teller (BET).

2.4 Análises termogravimétricas (TG/DTG)

A análise termogravimétrica (TG) foi realizada em um analisador térmico DTG-60H (Shimadzu). Cerca de 10 mg das amostras em pó foram colocadas em cadinhos de alumina e analisadas de 25 °C a 1000 °C, em atmosfera de ar sintético (20% O₂, 80% N₂), com vazão de 50 mL.min⁻¹ e a uma taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹.

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

O DRX foi aplicado para identificar a composição mineralógica dos resíduos após o beneficiamento por moagem. As amostras foram analisadas em um difratômetro D8 Advance (Bruker AXS) (raio de 280 mm) 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.⁽⁹⁾.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Otimização dos parâmetros de moagem dos resíduos

3.1.1 Resíduo de mármore

As propriedades do RM durante e após o beneficiamento por moagem são apresentadas na Figura 1. Verifica-se que o consumo de energia aumenta com o tempo de moagem. O índice de moabilidade varia de forma expressiva em função da variação do tempo e velocidade (Figura 1). Embora as amostras com as condições 20min300rpm e 15min400rpm tenham consumido a mesma energia no beneficiamento, a primeira atingiu menores tamanhos de partículas. Desse modo, essa foi a condição escolhida para a avaliação na etapa de análise do potencial de uso do RM como MCS.

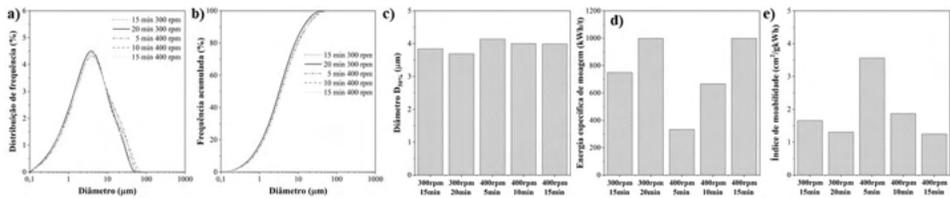


Figura 1 – Distribuição de partículas (a), frequência acumulada (b), diâmetro D_{50} (c), energia específica de moagem (d) e índice de moabilidade (e) do resíduo de mármore após a moagem.

3.1.2 Resíduo de porcelanato

O tempo de moagem foi o fator preponderante na redução do tamanho de partículas do RP (Figura 2). O índice de moabilidade do material foi expressivamente menor quando comparado aos outros resíduos (Figura 2), em razão da dureza do material atingida pela recristalização dos argilominerais aluminossilicatos nas elevadas temperaturas de queima durante a produção do porcelanato. Esse comportamento indica que o resíduo apresenta alto consumo de energia durante o seu beneficiamento, reduzindo a sua viabilidade técnica quando comparado a outros resíduos de argilas calcinadas. A condição escolhida para a análise do potencial de uso do RP como MCS foi a de 30 min a 400 rpm, visando manter o diâmetro D_{50} semelhante ao RM e ao de cimentos Portland ($\approx 10 \mu\text{m}$).

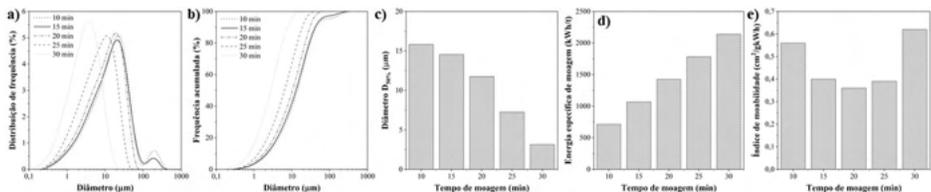


Figura 2 – Distribuição de partículas (a), frequência acumulada (b), diâmetro D_{50} (c) e índice de moabilidade (d) do fosfógeno após a moagem.

3.1.3 Resíduo de bloco cerâmico

Na moagem do RBC o tempo foi a variável determinante até cerca de 15 min (Figura 3).

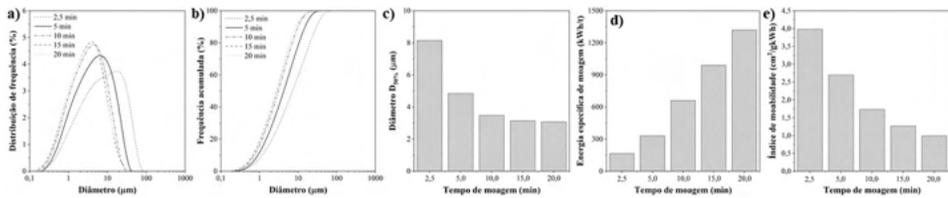


Figura 3 – Distribuição de partículas (a), frequência acumulada (b), diâmetro $D_{50\%}$ (c), energia específica de moagem (d) e índice de moabilidade (e) do resíduo de bloco cerâmico após a moagem.

A partir desse período, o tamanho das partículas tende a estabilizar, pouco variando o diâmetro $D_{50\%}$. Esse efeito é refletido na evolução do índice de moabilidade, para o qual ocorre pouca variação a partir dos 10 min, embora o consumo de energia na moagem tenha aumentado (Figura 3). A condição escolhida para avaliação do potencial de uso do RBC como MCS foi a de 15 min a 400 rpm, visando reduzir o consumo de energia no beneficiamento e garantir um diâmetro $D_{50\%}$ semelhante ao do RP.

3.1.4 Fosfogesso

A moagem do fosfogesso foi limitada pela forte tendência à aglomeração do material. Em cenários com velocidades ou tempos maiores que 300 rpm e 5 min, respectivamente, o resíduo adere às superfícies das esferas e das paredes do jarro de moagem, tornando-se uma peça única solidificada. Portanto, esses limites de velocidade e tempo foram fixados e foram aplicados diferentes teores de um aditivo dispersante (propilenoglicol) (Figura 4).

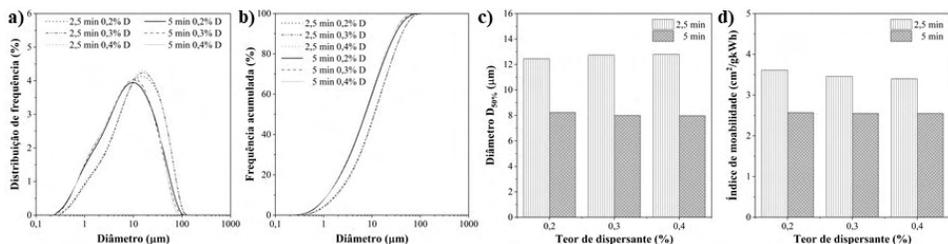


Figura 4 – Distribuição de partículas (a), frequência acumulada (b), diâmetro $D_{50\%}$ (c) e índice de moabilidade (d) do fosfogesso após a moagem.

Apenas as amostras submetidas a 5 min de moagem apresentaram $D_{50\%}$ menores que o estimado para um cimento Portland convencional ($\approx 10 \mu\text{m}$). Dentre essas, a condição de 0,4% de dispersante foi a escolhida para a etapa de análise do potencial de uso do FG como MCS, pois apresentou o menor $D_{90\%}$ ($32,05 \mu\text{m}$).

3.2 Análise do potencial de uso dos resíduos como materiais cimentícios suplementares

A Tabela 1 indica as propriedades físicas dos resíduos após o beneficiamento por moagem e considerando as condições ótimas escolhidas na etapa anterior. Todos os resíduos atingiram tamanho de partículas semelhantes ou menores que os estipulados para o cimento Portland convencional, bem como elevadas áreas superficiais específicas, indicando que cumprem os requisitos físicos para uso como MCS.

Propriedade	RBC	RP	RM	FG
Área superficial específica BET ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$)	9395	4540	9681	5119
D_{10} (μm)	0,77	0,83	0,73	1,37
D_{50} (μm)	3,14	3,14	3,69	7,98
D_{90} (μm)	10,20	8,61	15,33	32,05

Tabela 1 – Propriedades físicas das matérias-primas.

A Tabela 2 apresenta a composição química das matérias-primas obtidas por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) usando um instrumento S8 Tiger (Bruker).

Material	CaO	SiO ₂	MgO	SO ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Na ₂ O	Outros	PF
RBC	0,09	64,79	1,29	0,04	20,86	6,55	3,43	0,94	0,11	0,11	0,67	1,12
RP	1,29	65,02	0,98	0,03	20,23	4,60	2,16	0,51	0,06	3,06	1,99	0,07
RM	49,03	4,53	3,71	0,04	0,45	0,27	0,07	0,03	0,01	n.d.	0,11	41,75
FG	33,02	1,10	0,02	40,43	0,11	0,48	49 ppm	0,68	0,73	n.d.	1,09	22,34

Tabela 2 – Composição de óxidos das matérias-primas (%).

A composição mineralógica das matérias-primas foi identificada por TG/DTG/DTA e DRX/Rietveld (Figura 5). O RBC apresenta uma perda ao fogo de 1,09% na faixa de 25 °C e 100 °C devido à perda de água livre. A constância da massa durante a análise indica uma queima eficiente do bloco cerâmico na indústria. Isso significa que todos os minerais de argila da matéria-prima atingiram a temperatura de desidroxilação durante a queima. O mesmo ocorre para o resíduo de porcelanato. O FG tem uma perda de massa de 20,03% na faixa de temperatura de 100 °C e 190 °C devido à temperatura de desidratação da gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e da brushita ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). O RM apresenta uma perda de massa na faixa de 500 °C a 800 °C atribuída à descarbonatação da calcita (CaCO_3) e dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)⁽¹⁰⁾.

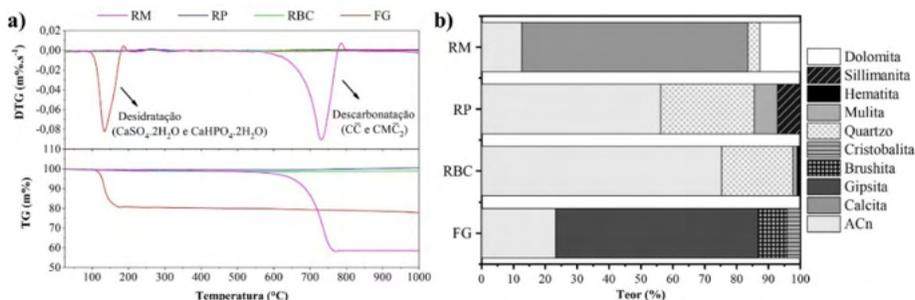


Figura 5 – Composição mineralógica dos resíduos obtida por TG/DTG (a) e DRX/Rietveld (b).

Com relação ao DRX, o PG apresenta gipsita e brushita que também foram identificados nos resultados de TG. O RBC apresenta um teor significativo de fases amorfas (75%). A queima da argila a 850 °C causa a desidroxilação dos argilominerais e promove uma desordem estrutural das fases resultando em fases amorfas⁽¹¹⁾. O quartzo é um material adicionado pela indústria cerâmica para melhorar a estabilidade térmica e dimensional do bloco cerâmico⁽¹²⁾. A diferença entre o teor de SiO₂ total, identificado pelo FRX, e o teor de quartzo, quantificado por DRX/Rietveld, fornece o teor de dióxido de silício no argilomineral. Para o RBC, por exemplo, 64,79% de SiO₂ foi detectado por FRX e 22,35% de quartzo foi detectado por DRX/Rietveld. Em outras palavras, o teor de SiO₂ no argilomineral desse resíduo de argila é de 42,44%. Como o teor de Al₂O₃ é de 20,86%, uma relação Al₂O₃/SiO₂ de aproximadamente 2,0 é identificada, a qual está associada à presença de montmorilonita. Para o RP, essa proporção é de 1,8, sugerindo a presença de argilominerais nas proporções de 1:1 (caulinita) e 2:1 (montmorilonita).

O RM apresenta cerca de 56% de carbonatos. Com base na decarbonação da calcita e dolomita, é possível estimar na análise TG que as perdas de massa dessas fases são de 20,87% e 4,03%, respectivamente. A diferença da perda de massa estimada (24,90%) e da perda de massa obtida pelo TG (41,49%) deve-se ao carbonato de cálcio amorfo que não é verificado nos difratogramas de DRX. Considerando que o conteúdo amorfo de WM (41,40%) é CaCO₃, a perda de massa devido à decarbonação seria de 43,18%, o que indica que ambas as técnicas, TG e DRX, indicaram resultados semelhantes.

O grau de cristalinidade é um fator fundamental para a classificação dos resíduos cerâmicos (RBC e RP) como MCS. Minerais argilosos em sua forma bruta não apresentam atividade pozolânica. No entanto, ao serem calcinadas acima da temperatura de desidroxilação, há um aumento da desordem estrutural, um incremento da reatividade do material e, conseqüentemente, o desenvolvimento do potencial pozolânico⁽¹³⁾. O teor de amorfo reflete, portanto, a reatividade pozolânica do resíduo cerâmico como MCS. Argilas calcinadas de modo geral apresentam elevado teor de fases não cristalinas (10 a 60%)⁽¹⁴⁻¹⁵⁾.

Observa-se também que os resíduos com composição mineralógica de fases formadas em temperaturas mais elevadas estão associados a maior demanda de energia específica de moagem e menores índices de moabilidade. O RP, por exemplo, é a amostra na qual esse efeito foi mais expressivo. A fração cristalina do resíduo é

essencialmente composta por mulita e sillimanita, que possuem temperaturas de formação de no mínimo 1200 e 1400 °C, respectivamente, conferindo maior energia de ligação e, portanto, maior dureza ao material.

Considerando os critérios de propriedades físicas e composição mineralógica, os resíduos estudados apresentam potencial de aplicação como MCS. O FG pode ser utilizado como matéria-prima alternativa à gipsita natural. Os resíduos RBC e RP como alternativa às argilas naturais, sendo o primeiro mais indicado devido ao menor consumo de energia para o beneficiamento por moagem. O RM moído possui potencial para uso como alternativa ao filler calcário em materiais cimentícios.

4 | CONCLUSÕES

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

O índice de moabilidade é um fator determinante na otimização dos parâmetros de moagem, permitindo avaliar não apenas o tamanho de partículas obtido para cada condição, mas também considerando o grau de aumento da área superficial específica e o consumo de energia durante a moagem.

O beneficiamento dos resíduos em moinho de alta energia foi efetivo na redução do tamanho das partículas, atingindo as proporções requeridas para o uso como MCS. Os resíduos com composição mineralógica de fases formadas em temperaturas mais elevadas estão associados a maior demanda de energia específica de moagem e menores índices de moabilidade.

O resíduo de mármore do tipo bege Bahia apresenta composição mineralógica semelhante ao do calcário comercial e as propriedades físicas podem ser atingidas através da moagem. Os resíduos de bloco cerâmico e de porcelanato apresentam potencial de uso como MCS em substituição às argilas naturais calcinadas, embora o RP demande maior energia durante o beneficiamento por moagem.

O fosfogesso analisado possui potencial de uso como alternativa à gipsita natural em materiais cimentícios.

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. LAVAT, A. E. *et al.* Characterization of ceramic roof tile wastes as pozzolanic admixture. **Waste management**, v. 29, n. 5, p. 1666-1674, 2009.

2. PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. Reusing ceramic wastes in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 5, p. 832-838, 2010.
3. ZHAO, Y. *et al.* The particle-size effect of waste clay brick powder on its pozzolanic activity and properties of blended cement. **Journal of Cleaner Production**, v. 242, p. 118521, 2020.
4. TOLEDO FILHO, R. D. *et al.* Potential for use of crushed waste calcined-clay brick as a supplementary cementitious material in Brazil. **Cement and Concrete Research**, v. 37, n. 9, p. 1357-1365, 2007.
5. CHIODI FILHO, C. **O setor brasileiro de rochas ornamentais**. Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS, 2018.
6. KABEER, K. S. A.; VYAS, A. K. Utilization of marble powder as fine aggregate in mortar mixes. **Construction and Building Materials**, v. 165, p. 321-332, 2018.
7. DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral). **Sumário Mineral**, 2015. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2015>.
8. DAMINELI, B. L. *et al.* Viscosity prediction of cement-filler suspensions using interference model: A route for binder efficiency enhancement. **Cement and Concrete Research**, v. 84, p. 8-19, 2016.
9. COSTA, A. R. D. *et al.* Hydration of sustainable ternary cements containing phosphogypsum. **Sustainable Materials and Technologies**, p. e00280, 2021.
10. RAMACHANDRAN, V. S. *et al.* **Handbook of thermal analysis of construction materials**. Noyes Publications / William Andrew Publishing, New York, 2002.
11. SABIR, B. B. *et al.* Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review. **Cement and concrete composites**, v. 23, n. 6, p. 441-454, 2001.
12. ARSENOVIC, M. *et al.* Clay brick walls thermal properties. **International Journal of Modern Manufacturing Technologies**, v. 2, n. 1, p. 15-18, 2010.
13. TEKLAY, A. *et al.* Calcination of kaolinite clay particles for cement production: A modeling study. **Cement and Concrete Research**, v. 61, p. 11-19, 2014.
14. AVET, F. *et al.* Determination of the amount of reacted metakaolin in calcined clay blends. **Cement and Concrete Research**, v. 106, p. 40-48, 2018.
15. HOLLANDERS, S. *et al.* Pozzolanic reactivity of pure calcined clays. **Applied Clay Science**, v. 132, p. 552-560, 2016.



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/>

