



**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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> 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](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto: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>

<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>42</b>
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	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108116">https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108116</a>	
<b>CAPÍTULO 7.....</b>	<b>51</b>
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	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108117">https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108117</a>	
<b>CAPÍTULO 8.....</b>	<b>58</b>
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	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108118">https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108118</a>	
<b>CAPÍTULO 9.....</b>	<b>66</b>
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	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108119">https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108119</a>	
<b>CAPÍTULO 10.....</b>	<b>73</b>
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	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081110">https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081110</a>	
<b>CAPÍTULO 11.....</b>	<b>81</b>
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>

<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>127</b>
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	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081117">https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081117</a>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>134</b>
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	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081118">https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081118</a>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>142</b>
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.	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081119">https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081119</a>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>150</b>
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	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081120">https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081120</a>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>158</b>
CARACTERIZAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ (CCA) GERADA EM LEITO FLUIDIZADO	
PAGLIARIN; Karine; JORDANI; Bárbara; KOPPE; Angélica	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081121">https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081121</a>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>166</b>
INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE SUBPRODUTOS NA DISPERSÃO DE PARTÍCULAS DE CIMENTO	
MARTINS; Julia; ROCHA; Janaíde	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081122">https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081122</a>	

**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 CO<sub>2</sub> 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>



## INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA DO ARGILITO NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE MATRIZES CIMENTÍCIAS

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

SILVA; THAÍS<sup>1</sup>; BERSCH; JÉSSICA<sup>1</sup>; ANDRADE NETO; JOSÉ<sup>1</sup>; MASUERO; ANGELA<sup>1</sup>; DAL MOLIN; DENISE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.

E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: THAISDOSOCORRO9@GMAIL.COM

**RESUMO:** Este artigo avalia a influência do argilito nas propriedades reológicas de matrizes cimentícias. O argilito foi calcinado durante 60 minutos a 750°C, peneirado em malha de 0,6 mm e moído durante 3 e 6 minutos em moinho de disco. Realizaram-se ensaios de reometria rotacional em pastas de cimento Portland CP-V ARI com relação água/cimento de 0,5, com substituição em massa de 0%, 5%, 10% e 20% do cimento pelo resíduo. A diminuição da granulometria e o aumento do teor de substituição do argilito ocasionou aumento na tensão de escoamento, na viscosidade das pastas e diminuição da trabalhabilidade.

**PALAVRAS-CHAVES:** Argilito; pozolana; reologia; granulometria; pasta.

**ABSTRACT:** This paper evaluates the influence of coal mining waste on the rheological properties of cementitious matrices. The coal mining waste was calcined for 60 minutes at 750°C, sieved in 0.6 mm mesh, and milled for 3 and 6 minutes in a disc mill. Rotational rheometry tests were performed on pastes of Portland cement CP-V ARI with water/cement ratio of 0.5, with substitution in mass of 0%, 5%, 10% and 20% of cement by the waste. The decrease in particle size and the increase in the substitution content of coal mining waste caused an increase in yield stress, viscosity of pastes, and decreased workability.

**KEYWORDS:** Coal mining waste; pozzolan; rheology; granulometry; paste.

### 1 | INTRODUÇÃO

O cimento Portland, material com maior produção em massa no mundo, é o principal responsável pelo consumo de matérias-primas e de recursos naturais, além de causar a emissão de grandes quantidades de CO<sub>2</sub>, totalizando aproximadamente 8% das emissões antropogênicas (CHATHAM HOUSE, 2018<sup>(1)</sup>). A utilização de materiais cimentícios suplementares (MCSs) na sua produção é importante para a mitigação desses efeitos negativos, possibilitando reduzir o teor de clínquer, principal responsável pelos impactos ambientais. Contudo, os MCSs comumente utilizados, como a cinza volante e a escória de alto forno, além de serem encontrados em apenas algumas regiões do Brasil, apresentam quantidades limitadas, e a maior parte já é consumida pela indústria de cimento. As argilas calcinadas, amplamente disponíveis, são materiais promissores para suprir essa demanda (SCRIVENER et al., 2018<sup>(2)</sup>).

As argilas calcinadas podem apresentar atividade pozolânica, incrementando propriedades de materiais cimentícios, como a resistência à compressão. Esse crescimento deve-se, em especial, à presença de caulinita que, quando calcinada, transforma-se em metacaulinita (FERNANDEZ et al., 2011<sup>(3)</sup>). Avet e Scrivener (2018)<sup>(4)</sup> explicam que a utilização de metacaulim puro não é interessante economicamente, pois seu custo é três vezes superior ao do cimento Portland. Assim, as argilas calcinadas com teores mais baixos de caulinita são uma alternativa.

O argilito é um resíduo argiloso do processo de extração do carvão mineral e representa cerca de 20% de sua produção (PACHECO, 2008<sup>(5)</sup>; CRM, 2018<sup>(6)</sup>). No Brasil, a produção de carvão em 2018 foi de 1,2 milhões de toneladas, e no mundo, de 3,90 bilhões de toneladas (BP, 2019<sup>(7)</sup>). Considerando-se os mesmos 20% da produção de carvão como argilito, 240 mil toneladas e 780 milhões de toneladas de resíduo seriam produzidos, respectivamente, no Brasil e no mundo; os 20%, no entanto, podem variar conforme a mina e a forma de extração do carvão.

Na região de Candiota (Rio Grande do Sul - RS), a mineração de carvão mineral ocorre a céu aberto. Há dois bancos de carvão com cerca de 2m de espessura intercalados por uma camada de 80 cm de argilito. Esse resíduo é comumente destinado a aterros (PACHECO, 2008<sup>(5)</sup>; CRM, 2018<sup>(6)</sup>; MALACARNE, 2019<sup>(8)</sup>). Buscando contribuir para o estudo de MCSs, este trabalho avalia a influência da granulometria de um argilito gerado no RS e submetido a diferentes tempos de moagem nas propriedades reológicas de matrizes cimentícias, avaliadas a partir de ensaios em pasta.

## 2 | MATERIAIS

O argilito, obtido de uma mina na região de Candiota, foi calcinado por 60 minutos a 750 °C, seguindo o procedimento de Malacarne (2019<sup>(8)</sup>), para transformar a caulinita em metacaulinita e, assim, tornar possível sua aplicação como adição pozolânica em matrizes cimentícias. Após a calcinação e resfriamento brusco, passou-se o argilito em uma peneira com abertura de 0,6 mm (30 mesh), denominando-o ARG0. Inicialmente, buscou-se avaliar a sua potencialidade com o menor dispêndio de energia, sem submetê-lo a processos de moagem. Contudo, devido ao efeito da finura do material na atividade pozolânica, após a calcinação, foi realizada a moagem do resíduo em moinho de disco com dois tempos diferentes (3 e 6 minutos, denominados ARG3 e ARG6, respectivamente). Os diâmetros médios obtidos para o ARG0, ARG3 e ARG6, com granulometria a laser, são 20,45 µm, 15,08 µm e 8,91 µm, respectivamente.

A caracterização química do resíduo *in natura* foi realizada com o ensaio de fluorescência de raios-X (FRX), apresentada na tabela 1. A soma dos óxidos de silício, alumínio e ferro supera 70%, o teor de álcalis equivalente é inferior a 1,5% e o teor de sulfatos é inferior a 4%. A perda ao fogo é menor do que 10%. Assim, o argilito *in natura* atende aos requisitos químicos para se classificar como um material com atividade pozolânica, conforme a NBR 12653 (ABNT, 2014<sup>(9)</sup>). No FRX, não foram identificados cloretos e zinco, nem metais pesados.

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	MgO	ZrO <sub>2</sub>	PF
57,39	24,29	4,26	2,14	1,16	1,12	0,61	0,25	0,02	8,75

Tabela 1 - Composição química do resíduo argilito *in natura*, obtida através do ensaio de FRX

Fonte: MALACARNE, 2019<sup>(8)</sup>

O ensaio de difração de raios-X (DRX), mostrado pela figura 1, identificou que o material *in natura* é predominantemente cristalino, com picos de caulinita bem evidentes. Após a calcinação do material é possível observar que não houve aumentos expressivos na amorficidade do material, contudo os picos de caulinita sofreram a desidroxilação e não foram mais verificados. Sendo assim, é provável que a caulinita tenha se transformado em metacaulinita (BERNAL et al., 2017<sup>(10)</sup>). Os teores de caulinita no argilito *in natura* e após a calcinação foram determinados por Malacarne (2019)<sup>(8)</sup>, que observou teores de 47,11% e de 0,84%, respectivamente, indicando que aproximadamente 98% da caulinita original foi decomposta em, possivelmente, metacaulinita. No presente estudo, utilizou-se cimento Portland CP V ARI com massa específica  $3,13 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$ , conforme NBR 16605 (ABNT, 2017<sup>(11)</sup>). O diâmetro médio do material, obtido através de granulometria a laser, é de  $11,04 \mu\text{m}$ .

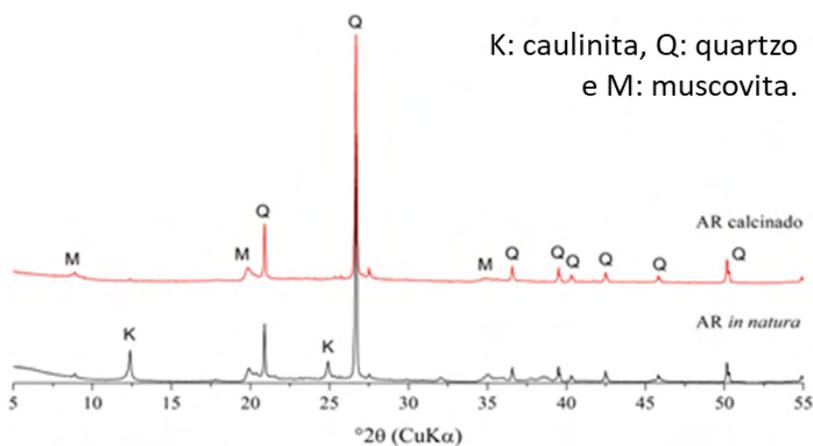


Figura 1 – Difratograma de Raio X do resíduo *in natura* e após a calcinação

Fonte: MALACARNE, 2019<sup>(8)</sup>

### 3 | MÉTODOS

A influência do argilito nas propriedades reológicas das matrizes cimentícias foi avaliada a partir da substituição em massa do cimento em teores de 5%, 10% e 20%. Além disso, foram executados ensaios de referência, com 0% de substituição. A mistura das pastas foi realizada com relação água/aglomerante 0,50 em um misturador vertical da marca Makita. O procedimento de mistura adotado é descrito a seguir:

- a) colocar a água no cimento + argilito, previamente misturados e dispostos no recipiente de mistura;
- b) misturar manualmente com o auxílio de uma haste metálica durante 30 segundos;
- c) acoplar o recipiente ao misturador em 20 segundos;
- d) ligar o misturador na velocidade de 10.000 rpm e misturar durante 70 segundos.

O comportamento reológico das pastas de cimento com diferentes teores de argilito foi avaliado por meio de um reômetro rotacional Brookfield R/S Plus, com cilindro cônico. Foram seguidas as recomendações da ASTM C1749-17a<sup>(12)</sup>; as pastas foram colocadas no reômetro após 2 minutos do fim da mistura (4 minutos após o contato com a água).

A figura 2 apresenta a configuração de ensaio adotada, em que a taxa de cisalhamento começa em  $0,129 \text{ s}^{-1}$  e aumenta em escala logarítmica até alcançar  $50 \text{ s}^{-1}$  e, então, decresce na mesma taxa, conforme os estudos de Vance et al. (2013)<sup>(13)</sup> e Malacarne (2019)<sup>(8)</sup>. Os parâmetros reológicos (tensão de escoamento e viscosidade plástica) foram obtidos por meio da aplicação do modelo Herschel-Bulkley na segunda curva de desaceleração.

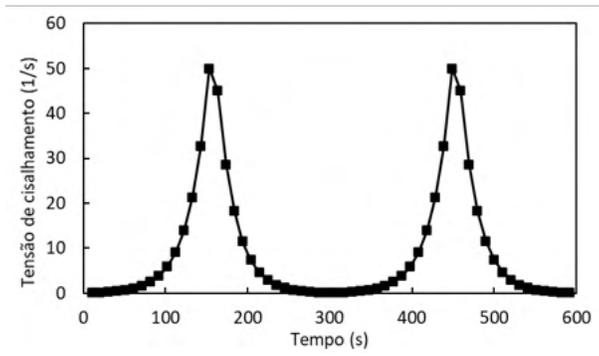


Figura 2 – Procedimento de ensaio de reometria com base na frequência de rotação em função do tempo

Fonte: Autores, 2021

#### 4 | RESULTADOS

A figura 3 apresenta as curvas tensão de cisalhamento versus taxa de cisalhamento das pastas com diferentes teores de argilito e com as diferentes granulometrias, ARG0, ARG3 e ARG6 respectivamente. É possível observar que a granulometria do argilito influencia na reologia da pasta. Quanto maior o teor de substituição do cimento por argilito, menores as tensões de cisalhamento observadas com o ARG0. Contudo, ao moer o resíduo, observou-se o comportamento inverso da pasta, em que o aumento da

substituição de cimento ocasionou o aumento da tensão de cisalhamento das pastas. Em relação à reologia, portanto, a utilização do ARG0 apresentou melhor comportamento, porém, sua reatividade pozolânica é possivelmente inferior à do ARG3 e ARG6 devido ao maior diâmetro de suas partículas.

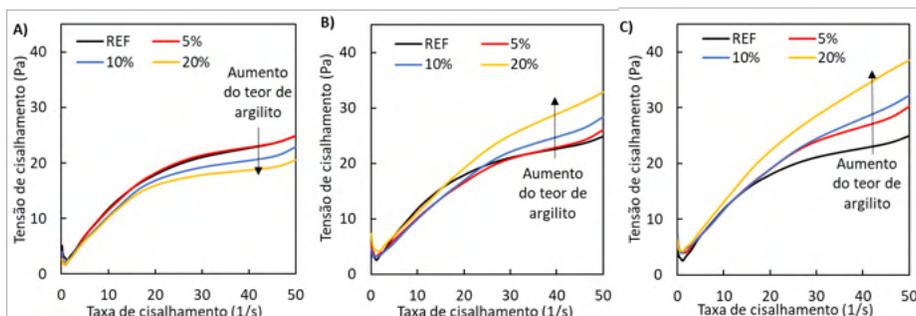


Figura 3 – Curva de tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento para as pastas: a) com ARG0; b) com ARG3 e c) com ARG6

Fonte: Autores, 2021

Em geral, como observado para o ARG3 e o ARG6, ao se substituir o cimento por argilas calcinadas, observa-se uma grande redução de fluidez devido à elevada área superficial das argilas e, por conseguinte, à maior demanda de água (LI e DING, 2003<sup>(14)</sup>; SHANAHAN et al., 2016<sup>(15)</sup>). Com o argilito ARG0 se observa o oposto, possivelmente devido à granulometria mais grossa, sendo as partículas maiores que as do cimento e, assim, possivelmente apresentando área superficial menor. Com isso, tem-se uma redução de finos na mistura e consequentemente da superfície disponível para adsorção da água, o que gera um aumento de fluidez e redução das tensões de cisalhamento.

A figura 4 apresenta os resultados de viscosidade, tensão de escoamento e índice de comportamento das pastas para ARG0, ARG3 e ARG6 e os diferentes teores de substituição. Analisando o índice de comportamento “n”, representado na figura 4-c, é possível observar que todas as pastas apresentaram comportamento pseudoplástico. Sendo assim, sua viscosidade reduz com o aumento da taxa de cisalhamento. Contudo, em geral, a moagem do resíduo favoreceu o comportamento dilatante, devido ao maior fator de empacotamento nas pastas, como observado por Andrade Neto *et al.* (2021)<sup>(16)</sup>.

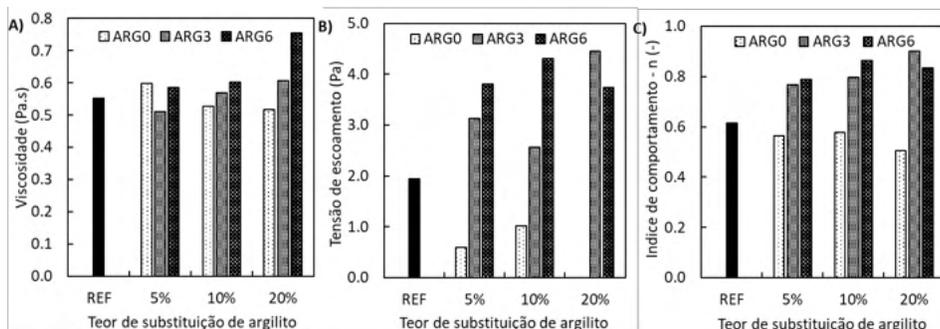


Figura 4 – Parâmetros reológicos das misturas com ARG0, ARG3 e ARG6 e diferentes teores de substituição: a) viscosidade; b) tensão de escoamento e c) índice de comportamento

Fonte: Autores, 2021

A tensão de escoamento da mistura com substituição de 20% de ARG0 foi de 0 Pa, de acordo com o modelo Herschel-Bulkley, porém não é essa a tensão de escoamento “real” da mistura, visto que esse modelo tende a dar valores desse parâmetro mais baixos que outros modelos. Ademais, é possível observar que os resultados de viscosidade corroboram o observado nas curvas de tensão de cisalhamento versus taxa de cisalhamento (figura 3). A granulometria do argilito é o que mais impacta a viscosidade das pastas avaliadas, indicando que quanto menor o diâmetro da partícula do resíduo, maior a viscosidade das misturas quando realizada a substituição de cimento.

Em relação aos teores de substituição, o ARG3 e ARG6 causaram aumento da viscosidade e da tensão de escoamento das misturas, devido ao aumento de partículas finas das pastas. Contudo, o ARG0 provocou a diminuição da viscosidade com o aumento do teor de substituição, devido ao diâmetro de suas partículas serem superiores ao do cimento, reduzindo a superfície disponível para a adsorção de água nas partículas, gerando um aumento de água livre e disponível para lubrificar as partículas, promovendo a fluidez, como identificado anteriormente.

## 5 | CONCLUSÃO

A granulometria das partículas de argilito influencia no comportamento reológico das misturas cimentícias, aumentando a viscosidade e a tensão de escoamento ao aumentar a finura do material. O mesmo comportamento é observado quando aumenta-se o teor de substituição das misturas realizadas com ARG3 e ARG6, que sofreram o processo de moagem, tornando suas partículas mais finas em relação às de cimento. As pastas com ARG0, que não foi beneficiado no moinho de discos, apresentaram o comportamento inverso, apresentando diminuição da viscosidade e da tensão de escoamento e diminuição da taxa de cisalhamento, quando comparadas com a referência, indicando que seu diâmetro é maior que o dos grãos de cimento. Do ponto de vista econômico, a utilização do resíduo sem moer, ARG0, é mais interessante pois não prejudica o comportamento reológico das misturas; contudo, devido ao maior tamanho de seus grãos, deve-se realizar a verificação de sua reatividade pozolânica em comparação ao ARG3 e ARG6.

## REFERÊNCIAS

1. CHATAM HOUSE. Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete. **CHATAM HOUSE Report**, 2018. Disponível em: <<https://reader.chathamhouse.org/making-concrete-change-innovation-low-carbon-cement-and-concrete#>>. Acesso em: 22 de setembro de 2019.
2. SCRIVENER, K. L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO<sub>2</sub> cement-based materials industry. **Cement and Concrete Research**, v. 113, 2018, p. 2-26.
3. FERNANDEZ, R.; MARTIRENA, F.; SCRIVENER, K. L. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite. **Cement and Concrete Research**, v. 41, n. 1, 2011, p. 113-122.
4. AVET, F.; SCRIVENER, K. Investigation of the calcined kaolinite content on the hydration of Limestone Calcined Clay Cement (LC<sup>3</sup>). **Cement and Concrete Research**, v. 107, 2018, p. 124-135.
5. PACHECO, E. T. **Estudo do beneficiamento a seco do carvão da mina de Candiota – RS**. 2008. 78 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.
6. CRM. COMPANHIA RIOGRANDENSE DE MINERAÇÃO. **Balanço 2018**. Porto Alegre: CRM, 2018. 3 p.
7. BP. **BP Statistical Review of World Energy**. 68th edition, 2019. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-coal.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2019.
8. MALACARNE, C. S. Desenvolvimento e caracterização de cimentos LC<sup>3</sup> - cimentos ternários a base de argila calcinada e calcário - a partir de matérias primas do Rio Grande do Sul. 2019. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2019.
9. ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.
10. BERNAL, S. A.; JUENGER, M. C. G.; KE, X.; MATTHES, W.; LOTHENBACH, B.; DE BELIE, N.; PROVIS, J. L. Characterization of supplementary cementitious materials by thermal analysis. **Materials and Structures**, v. 50, p. 1-13, 2017.
11. ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
12. ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C1749 – 17a**: Standard Guide for Measurement of the Rheological Properties of Hydraulic Cementitious Paste Using a Rotational Rheometer. Pennsylvania, 2017.
13. VANCE, K.; KUMAR, A.; SANT, G.; NEITHALATH, N. The rheological properties of ternary binders containing Portland cement, limestone, and metakaolin or fly ash. **Cement and Concrete Research**, v. 52, p. 196-207, 2013.
14. LI, Z.; DING, Z. Property improvement of Portland cement by incorporating with metakaolin and slag. **Cement and Concrete Research**, v. 33, 2003, p. 579-584.
15. SHANAHAN, N.; TRAN, V.; WILLIAMS, A.; ZAYED, A. Effect of SCM combinations on paste rheology and its relationship to particle characteristics of the mixture. **Construction and Building Materials**, v. 123, 2016, p. 745-753.
16. ANDRADE NETO, J. S.; SANTOS, T. S.; PINTO, S. A.; DIAS, C. M. R.; RIBEIRO, D. V. Effect of the combined use of carbon nanotubes (CNT) and metakaolin on the properties of cementitious matrices. **Construction and Building Materials**. v. 271, p. 1-15, fev. 2021.



## 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/>

