



# 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)

Glauceinei 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>	




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

## 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>





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

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

**COSTA, RAYARA PINTO<sup>1</sup>; PY, LUCAS GOLDENBERG<sup>1</sup>; SACARDO, LUCAS EDUARDO PERIN<sup>1</sup>; LONGHI, MARLON AUGUSTO<sup>1</sup>; KIRCHHEIM, ANA PAULA<sup>1</sup>**

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

EMAIL: RAYARAPINTOCOSTA@GMAIL.COM

**RESUMO:** O geopolímero é um ligante obtido a partir da ativação química de uma fonte de aluminossilicatos em solução alcalina, como por exemplo argilas calcinadas. Possui propriedades similares ao cimento Portland, mas com reduzido impacto ambiental. Avaliou-se a resistência mecânica e cinética de hidratação deste ligante desenvolvido com duas argilas caulínicas calcinadas, AE23 (de elevada pureza) e AE27 (um resíduo da extração do carvão mineral). As pastas de geopolímero foram avaliadas perante resistência à compressão e ensaio de impedância eletroquímica. Os resultados apontaram o acentuado desenvolvimento de resistência mecânica e impedância eletroquímica dos geopolímeros com AE23 comparados a AE27.

**PALAVRAS-CHAVES:** Geopolímero, argilas, impedância eletroquímica.

**ABSTRACT:** The geopolymer is a binder obtained from the chemical activation of aluminosilicates source in alkaline solution, such as calcined clays. It has properties similar to Portland cement, but with reduced environmental impact. The mechanical and hydration kinetic resistance of geopolymers developed with two calcined kaolinitic clays, AE23 (high purity) and AE27 (a residue from coal extraction) were evaluated. The geopolymer pastes were evaluated for compressive strength and electrochemical impedance testing. The results showed the accentuated development of mechanical strength and electrochemical impedance of geopolymers with AE23 compared to AE27.

**KEYWORDS:** Geopolymer, clays, electrochemical impedance.

### 1 | INTRODUÇÃO

Em 2020, a produção anual do cimento Portland foi estimada em 4,1 bilhões de toneladas, e no Brasil em torno de 57 milhões de toneladas <sup>(1)</sup>. Devido a utilização em larga escala, e o processo de produção envolvido, o cimento Portland (CP) é uma das maiores fontes de emissão de CO<sub>2</sub>, sendo a indústria cimenteira responsável por cerca de 8% das emissões mundiais totais <sup>(2)</sup> <sup>(3)</sup>. Assim, pesquisas vêm sendo realizadas buscando o desenvolvimento de cimentos alternativos ao cimento Portland e que gerem impactos ambientais reduzidos, principalmente no que tange à emissão de CO<sub>2</sub>, entre elas, os geopolímeros <sup>(4)</sup>. Quando adequadamente dosados, eles podem apresentar propriedades mecânicas comparáveis ou até melhores que o CP, além de possuírem melhor potencial ecológico <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>.

Nos geopolímeros a fonte de aluminosilicatos ao reagirem com ativadores alcalinos, por meio de mecanismos de geopolimerização, formam como principal produto da reação um gel, como por exemplo o silico aluminato de sódio hidratado (conhecido na química do cimento como N-A-S-H), que pode apresentar elevadas resistências mecânicas<sup>(6)</sup>. Para que ocorra a reação, é necessário o uso de ativadores alcalinos, tais como hidróxidos e silicatos, sendo os mais usuais a base de sódio e potássio. Quanto aos precursores, os principais utilizados são argilas calcinadas (predominantemente metacaulim), cinza volante e escória de alto forno<sup>(7) (8) (9)</sup>.

O uso de argilas na produção dos geopolímeros tem papel importante no desenvolvimento da tecnologia no Brasil. Atualmente, a maioria da cinza volante e escória de alto forno produzidas anualmente são utilizadas como adição mineral em cimento Portland, por isso, as argilas poderiam ser utilizadas para atender à demanda futura na produção desse ligante<sup>(10)</sup>. As caulínicas, por exemplo, tem a caulinita como principal mineral e embora apresentem baixa reatividade para a geopolimerização em seu estado natural, se tornam reativas quando passam por um processo de ativação térmica (calcinadas entre 700-900 °C). A caulinita é transformada em metacaulim e há a formação de fase amorfa<sup>(11) (12)</sup>. Além disso, outros argilominerais (como por exemplo illita e esmectita) também podem ser utilizados como precursores na síntese de geopolímeros<sup>(13)</sup>.

Apesar desse conhecimento prévio, não se tem total controle e entendimento da influência da pureza da argila, relacionada ao teor de metacaulinita formada, nas propriedades dos geopolímeros, de modo que pesquisas são necessárias. Assim, este artigo avalia propriedades mecânicas e químicas de geopolímeros produzidos com duas argilas calcinadas, uma com elevado teor de metacaulinita e outra, um resíduo da extração de carvão mineral por ensaios de resistência à compressão e espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS).

A espectroscopia de impedância é um método não destrutivo, no qual se utilizam frequências de impedância para analisar as propriedades de um material<sup>(14)</sup>. A mistura de cimento e água entre os eletrodos formam uma célula dielétrica, que com a aplicação de um campo de energia elétrica alternada, faz os íons percorrerem a fase aquosa em direção aos eletrodos, produzindo um efeito de condutividade. A partir deste princípio, é possível medir a resistência que o material impõe ao aplicar-se uma carga elétrica<sup>(15)</sup>. Valores de impedância mais elevados, por exemplo, são indicativos de um maior preenchimento das redes de poros durante a hidratação, reduzindo, portanto, a condutividade.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Empregou-se como material precursor duas argilas: AE23, de origem natural proveniente de Pantano Grande (RS); AE27, um resíduo da extração de carvão mineral de Candiota (RS). No beneficiamento, as argilas in natura foram destorroadas, britadas, e submetidas a secagem em estufa a 100 °C até constância de massa. Em seguida, foram peneiradas em malha 0,6 mm para obter tratamento térmico homogêneo. Submeteu-se o material passante a calcinação em mufla elétrica com taxa de aquecimento de 10 °C/min e patamar de 1 h à temperatura de 800±5 °C, com posterior choque térmico. Então, executou-se moagem em moinho de bolas durante 1 h e ensaio de granulometria

por difração a laser para determinar o tamanho das partículas. A metodologia do beneficiamento e a composição físico-química das argilas foram obtidas em estudo anterior onde se pode obter mais informações<sup>(16)</sup>.

Na análise físico-química das argilas, empregou-se os seguintes equipamentos: fluorescência de raios X (FRX) com Shimadzu XRF 1800; granulometria a laser com Cilas 1180, água como solvente e ultrassom durante 60s para dispersar as partículas<sup>(16)</sup>.

Como ativador, utilizou-se micropérolas NaOH P.A, marca Dinâmica 99% pureza, e Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, marca Manchester com 14,8% Na<sub>2</sub>O, 32% SiO<sub>2</sub>, densidade 1,58 g/cm<sup>3</sup> e 53,07% H<sub>2</sub>O. Na dosagem, usou-se as argilas como precursor em solução ativadora de NaOH com 15 e 20% e módulo de sílica (Ms) SiO<sub>2</sub>/Na<sub>2</sub>O de 0 e 1,0. A relação água/sólidos adotada foi 0,4. Conduziu-se a reação de geopolimerização em temperatura ambiente (25°C) e a mistura das pastas por 7 min em velocidade lenta em argamassadeira planetária. Por fim, preencheu-se as formas de acrílico em duas camadas e adensou-se em mesa vibratória por 20 e 40 s respectivamente.

Na resistência à compressão ensaiaram-se cinco corpos de prova cúbicos de dimensão 20 mm, nas idades de 3, 7, 28 e 90 dias para cada dosagem. As amostras foram desmoldadas após 24 h e realizou-se cura em recipiente com lâmina de água em temperatura ±40 °C. O ensaio foi conduzido em prensa EMIC DL 20000, com célula de carga acoplada de 200 kN, precisão de 1 N e deslocamento de 0,5 mm/min.

A metodologia da espectroscopia de impedância eletroquímica segue Suryanto<sup>(17)</sup>, sendo moldado cp cúbico, 50 mm. Na célula colocou-se um par de pinos de aço inoxidável (Ø 2,4 mm), espaçados 25 mm um do outro, e imersos a profundidade de 25 mm na pasta. Após compactação, as partes expostas foram cobertas com filme plástico, para reduzir a evaporação<sup>(18)</sup>. Realizou-se as medições por potenciostato da Autolab modelo PGSTAT 302, usando faixa de frequência de 1 kHz a 1 MHz, e amplitude de sinal de 350 mV. As medições foram conduzidas no modo voltagem de acionamento, em ciclos de 4 min, durante as 72 h após a aferição. Os equipamentos ficaram em modo de espera até seu acionamento, no qual foram realizadas 7 medições às 0h, 0,5, 1, 6, 12, 24 e 72h após moldagem. Para este ensaio, escolheu-se os traços com 20% de NaOH e Ms SiO<sub>2</sub>/Na<sub>2</sub>O 1,0 (AE20.1).

### 3 | APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de FRX (%), perda ao fogo [PF (%)] das argilas AE23 e AE27 in natura, granulometria a laser após calcinação a 800 °C e moagem das argilas são apresentados na Tabela 1<sup>(16)</sup>. D10, D50 e D90 indicam o diâmetro ao qual 10%, 50% e 90% das partículas são inferiores. Dméd é o diâmetro médio.

Argila	Composição química											Granulometria			
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	PF	D10	D50	D90	Dméd
AE23	28,5	56,4	1,1	0,96	1,0	-	0,1	-	0,1	0,1	11,6	0,9	5,2	17,3	7,2
AE27	20,9	65,0	0,4	2,56	1,9	0,8	0,1	<0,05	-	0,9	7,3	0,7	4,5	22,3	8,1

Tabela 1 – Caracterização físico-química das argilas

Fonte: adaptado Dornelles et al. (2018)

Em uma metacaulinita de elevada pureza, é esperado que a quantidade de óxidos de alumina e sílica sejam similares. Os dados mostram que AE23 e AE27 apresentam valores entre 20-30% de , valor inferior ao teor de sílica constatado, o que sugere a presença de impurezas junto a caulinita <sup>(19)</sup> <sup>(20)</sup>. O maior teor de sílica está associado a sua parcela não reativa, usualmente em forma de quartzo. A presença desta associada a caulinita pode influenciar a microestrutura, a cinética de reação e as propriedades mecânicas dos geopolímeros <sup>(20)</sup>. A análise mineralógica das amostras *in natura* confirma a existência de outras fases minerais como o quartzo e mostra picos mais intensos de caulinita para AE23 <sup>(16)</sup>. Também, para relação /, a argila AE27 exhibe índice 57% superior a AE23. As propriedades mecânicas dos geopolímeros são afetadas consideravelmente pelas relações / <sup>(21)</sup>, no entanto, essa relação é válida apenas para a parcela reativa dos óxidos <sup>(22)</sup>. Por outro lado, nas características físicas, os tamanhos das partículas das argilas têm valores próximos.

Os resultados de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS) obtidos para as amostras de argila AE23 e AE 27 estão representadas na Figura 1. Ela mostra diagramas de Nyquist, onde pode ser visto a Impedância Real (Z') versus a Impedância Imaginária (Z''), valores medidos em ohms ( $\Omega$ ). Verifica-se na pasta com AE23, o crescimento da impedância em comparação ao início e fim das medições (real e imaginária). Entretanto, nota-se maior instabilidade durante a primeira hora de hidratação, causando redução no valor da impedância. Após 1 h, é visível o crescimento da impedância conforme a diminuição do líquidos nos poros <sup>(24)</sup> these empirical relationships can limit the application of the electrical measurements to a specific material or exposure history. To facilitate the development of a general method that is applicable to a concrete member in service, this paper characterizes the electrical conduction in cement paste subjected to drying (desorption. Os resultados do traço com AE27 apresentaram uma evolução constante, onde os valores de impedância aumentam até o fim das medições. O aumento da resistividade que ambas apresentam, por si só é explicado pela própria hidratação que ambos os traços sofrem <sup>(25)</sup>.

Para facilitar a comparação, os geopolímeros contaram com mesma dosagem para este ensaio, então a diferença encontra-se na argila. Ao confrontar os dados das amostras AE23 e AE27, é visível a diferença entre os valores de resistência que cada uma emprega na passagem de energia (impedância). Verifica-se que a primeira (AE23) inicia com uma impedância inferior, porém no decorrer da hidratação, termina com valores muito superiores. Isso pode ocorrer devido ao maior preenchimento das redes de poros, uma vez que AE23 apresenta maior teor de caulinita (92,4%), se comparado a AE27 (47,1) e, portanto, reduzindo condutividade <sup>(25)</sup>.

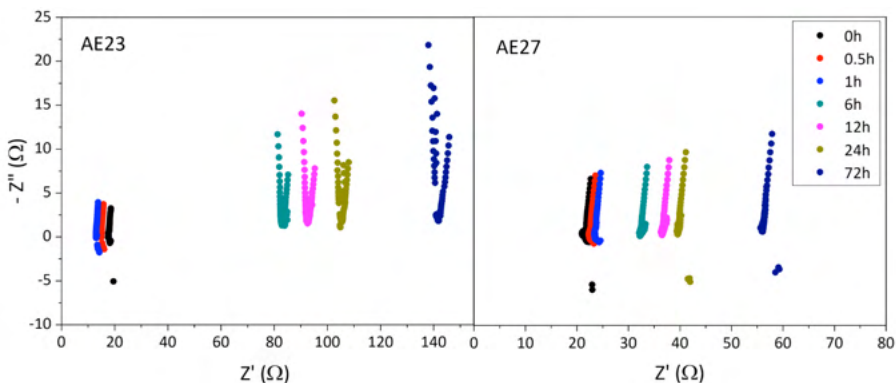


Figura 1 - Evolução da Impedância nos geopolímero com AE23 e AE27 (NaOH 20% e Ms 1,0)

Fonte: elaborado pelos autores

Figura 2 mostra a resistência à compressão dos geopolímeros. Nela nota-se o acentuado desenvolvimento da resistência com AE23 em relação a AE27. Isto ocorre devido AE23 possuir teor superior de metacaulim, após calcinação, e de alumina, comparativamente a AE27.

Também, nas dosagens com apenas NaOH como ativador alcalino, percebe-se redução da resistência mecânica (0-15 e 0-20). Isto pode estar atrelado ao teor de ativadores de NaOH, que favorece à formação de estruturas zeolíticas, particularmente após períodos de cura sob condição úmida ou após breve período a temperatura elevada<sup>(24)</sup>. Em contrapartida, o aumento do conteúdo de silicato de sódio retarda a taxa de formação de zeólitas, promovendo altas resistências, como é observado nas dosagens com silicatos. Além disso, o uso de silicato proporciona a formação de uma estrutura mais densa e reticulada, que reflete no acréscimo de resistência mecânica<sup>(26) (27)</sup>.

Adicionalmente, realizou-se análise estatística de variância (ANOVA) para interpretação da significância entre fatores para AE23. Os fatores tempo de cura e Ms mostram-se significativos no que diz respeito à resistência mecânica das amostras. Desta forma, pode-se dizer que a melhor interação observada estatisticamente neste estudo para a argila AE23 foi a composição com teor de NaOH de 15% e Ms  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$  igual a 1,0. Para AE27 esta análise não pôde ser realizada, devido a resistências nulas obtidas em algumas dosagens.

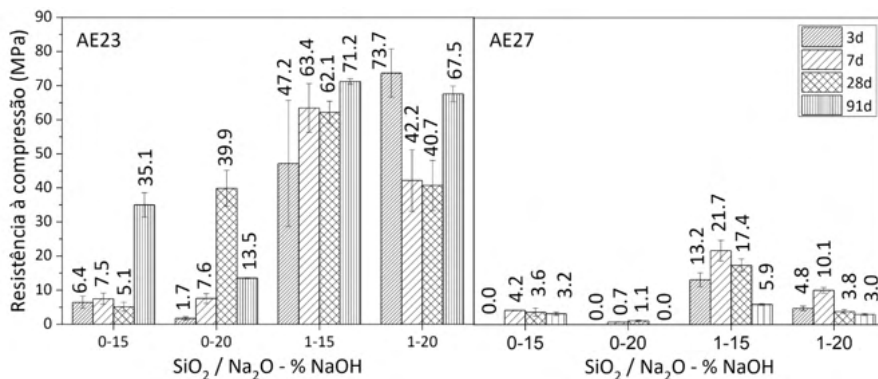


Figura 3 – Resistência à compressão dos geopolímeros com argila AE23 e AE27

Fonte: elaborado pelos autores

Embora não tenha sido viável realizar medições de resistência à compressão em idades inferiores a 3 dias por questões técnicas, o dado de impedância do traço AE20.1 (Na<sub>2</sub>O 20% e SiO<sub>2</sub>/Na<sub>2</sub>O 1,0) se correlaciona ao de resistência à compressão. São obtidos valores mais elevados de impedância e resistência no cimento com AE23 comparativamente a AE27. A matriz mais compacta (com maior preenchimento das redes de poros) sugerida nos resultados de impedância eletroquímica, se reflete em resistências à compressão mais elevadas.

#### 4 | CONCLUSÕES

No geral, os geopolímeros produzidos com argila AE23 apresentaram melhor desempenho comparativamente a AE27, resíduo proveniente da extração do carvão mineral, em termos de resistência à compressão e impedância eletroquímica. Ressalta-se, que embora esses materiais sejam argilas caulínicas, as mesmas possuem diferenças nas características químicas que podem ter influenciado na reatividade e nos produtos de reação dos geopolímeros. AE23, por exemplo, apresenta maior teor de metaculinita, o que proporciona melhores resultados. Além disso, o silicato de sódio proporciona um geopolímero mais denso e resistente.

#### REFERÊNCIAS

1. U.S. Geological Survey, **Mineral Commodity Summaries 2021**. 2021.
2. R. M. ANDREW. Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production. **Earth Syst. Sci. Data**, v. 10, p. 195–217, 2017.
3. B. C. MCLELLAN, R. P. WILLIAMS, J. LAY, A. VAN RIESSEN, AND G. D. CORDER. Costs and carbon emissions for geopolymer pastes in comparison to ordinary portland cement. **J. Clean. Prod.**, v. 19, n. 9–10, p. 1080–1090, 2011.
4. P. H. R. BORGES, T. M. DE F. LOURENÇO, A. F. S. FOUREAUX, AND L. S. PACHECO. Estudo comparativo da análise de ciclo de vida de concretos geopoliméricos e de concretos à base de cimento Portland composto (CP II). **Ambient. Construído**, v. 14, n. 2, p. 153–168, 2014.

5. M. A. LONGHI, E. D. RODRÍGUEZ, S. A. BERNAL, J. L. PROVIS, AND A. P. KIRCHHEIM. Valorisation of a kaolin mining waste for the production of geopolymers. **J. Clean. Prod.**, v. 115, p. 265-272, 2016.
6. P. DE SILVA, K. SAGOE-CRENSIL, and V. SIRIVIVATNANON. Kinetics of geopolymerization: Role of  $Al_2O_3$  and  $SiO_2$ . **Cem. Concr. Res.**, v. 37, n. 4, p. 512–518, 2007.
7. P. DUXSON AND J. L. PROVIS. Designing precursors for geopolymer cements. **J. Am. Ceram. Soc.**, v. 91, n. 12, p. 3864–3869, 2008.
8. J. L. PROVIS. Geopolymers and other alkali activated materials: why, how, and what? **Mater. Struct.**, v. 47, p. 11–25, 2014.
9. J. L. PROVIS AND S. A. BERNAL. Geopolymers and Related Alkali-Activated Materials **Annu. Rev. Mater. Res.**, v. 44, n. 1, p. 299–327, 2014.
10. A. HEATH, K. PAINE AND M. MCMANUS. Minimising the global warming potential of clay based geopolymers. **Journal of Cleaner Production**, v. 78, p. 75-83, 2014.
11. T. D. S. ROCHA, D. P. DIAS, F. C. C. FRANÇA, R. R. D. S. GUERRA, L. R. D. C. D. O. MARQUES. Metakaolin-based geopolymer mortars with different alkaline activators (Na+ and K+). **Construction and Building Materials**, v. 178, p. 453–461, 2018
12. J.DAVIDOVITS. Geopolymers based on natural and synthetic metakaolin. A critical review. **Ceramic Engineering and Science Proceedings**, v. 38, n. 3, p. 201-2013, 2017.
13. L.YUN-MING, H. CHENG-YONG, M. MUSTAFA AL BAKRI, K. HUSSIN. Structure and properties of clay-based geopolymer cements: A review. **Progress in Materials Science**, v. 83, p. 595–629, 2016.
14. I. KUSAK, M. LUNAK, AND Z. CHOBOLA. Monitoring of Concrete Hydration by Electrical Measurement Methods. **Procedia Eng.**, v. 151, p. 271–276, 2016.
15. P. BARNES AND J. BENSTED. **Structure and Performance of Cements**. 2 ed. Nova York: Taylor e Francis, 2002.
16. A. S. DORNELLES, F. T. SILVA, F. SOUZA, E. RODRÍGUEZ AND A. P. KIRCHHEIM. Caracterização de argilas gaúchas com potencial de aplicação para produção de ligantes alternativos. In: 60° CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2018, Foz do Iguaçu. **Anais do 60° Congresso Brasileiro de Concreto CBC 2018**. Foz do Iguaçu: IBRACON, 2018.
17. B. SURYANTO, J. O. BUCKMAN, W. J. MCCARTER, AND H. TAHA, In-situ dynamic WetSEM imaging and electrical impedance measurements on Portland cement during early hydration. **Mater. Charact.**, vol. 142, p. 86–100, 2018.
18. H. M. TAHA, W. J. MCCARTER, B. SURYANTO, AND G. STARRS, Frequency- and Time-domain dependency of electrical properties of cement-based materials during early hydration. **Adv. Civ. Eng. Mater.**, v. 6, n. 2, p. 65–83, 2017.
19. T. VAKALOVA, V. POGREBENKOV, V. VERESHAGIN, T. KHASBAS, I. REVV. Optimising rational chemical analysis for quantitative determination of the composition of clay in soils. **Applied Clay Science**, v. 163, p. 153-163, 2018.
20. TCHAKOUTÉ, H. K. et al. Role of  $\gamma$ - on the mechanical and microstructural properties of metakaolin-based geopolymer cements. **Journal of Sol-Gel Science and Technology**, v. 86, p. 305–315, 2018.)
21. X. CHENA, Z. NIUA, J. WANGA, G. RUI ZHUA, M. ZHOUA. Effect of sodium polyacrylate on mechanical properties and microstructure of metakaolin-based geopolymer with different  $SiO_2 / Al_2O_3$  ratio. **Ceramics International**, v. 44, p. 18173–18180, 2018)
22. P. DUXSON, S.W. MALLICOAT , G.C. LUKEY, W.M. KRIVEN, J.S.J. VAN DEVENTER. The effect of alkali and Si/Al ratio on the development of mechanical properties of metakaolin-based geopolymers. **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects**, v. 292 p. 8–20, 2007
23. F. RAJABIPOUR AND J. WEISS. Electrical conductivity of drying cement paste. **Mater. Struct. Constr.**, v. 40, n. 10, p. 1143–1160, 2007.



24. A. HUSAIN, K. KUPWADE-PATIL, A. F. AL-AIBANI, AND M. F. ABDULSALAM. In situ electrochemical impedance characterization of cement paste with volcanic ash to examine early stage of hydration. **Constr. Build. Mater.**, v. 133, p. 107–117, 2017.
25. J. L. PROVIS, J. S. J. VAN DEVENTER. **Geopolymers: Structures, Processing, Properties and Industrial Application**. 1 ed. Nova York: Woodhead Publishing Limited, 2009.
26. M.A. LONGHI, B. WALKLEY, E.D. RODRÍGUEZ, A.P. KIRCHHEIM, Z. ZHANG, H. WANG. New selective dissolution process to quantify reaction extent and product stability in metakaolin-based geopolymers. **Compos. Part B Eng.**, v. 176, p.107-172, 2019.
27. B. WALKLEY, R. SAN NICOLAS, M.-A. SANI, J.D. GEHMAN, J.S.J. VAN DEVENTER, J.L. PROVIS. Phase evolution of  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  gels in synthetic aluminosilicate binders. **Dalt. Trans.**, v. 45, p. 5521–5535, 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/>

