



# 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>	

<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>



## MÉTODO DE RIETVELD PARA QUANTIFICAÇÃO DE FASES EM RESÍDUOS PARA USO COMO MATERIAIS CIMENTÍCIOS SUPLEMENTARES (MCS)

<https://doi.org/10.22533/at.ed.8192108116>

MATOS; SAMILE RAIZA CARVALHO<sup>1</sup>; COSTA; ANA RITA DAMASCENO<sup>1</sup>; OLIVEIRA; JOSINORMA SILVA DE<sup>1</sup>; MACIEL; KUELSON RÂNDELLO DANTAS<sup>1</sup>; GONÇALVES; JARDEL PEREIRA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA.

E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: SAMILERCM@UFBA.BR

**RESUMO:** Esse artigo descreve uma metodologia para análise quantitativa da composição mineralógica de resíduos para aplicação como MCS, utilizando o método de Rietveld no software livre GSAS II. Os resíduos de mármore, porcelanato, bloco cerâmico, resíduo de cascalho e fosfogesso *são utilizados para aplicar* o método. O método de Rietveld permite a verificação e análise das fases mineralógicas dos resíduos visando a substituição de fontes naturais na produção de materiais cimentícios. A técnica permite avaliar a reatividade com base no percentual de fases não cristalinas e fornece parâmetros para aplicação de dosagens químicas por estequiometria, considerando a contribuição das fases efetivamente reativas.

**PALAVRAS-CHAVES:** Difração de raios X (DRX), Análise quantitativa, Rietveld, Cimentos, Resíduos, Materiais cimentícios suplementares.

**ABSTRACT:** This paper describes a methodology for mineralogical composition quantitative analysis of waste materials for application as SCM, by the Rietveld method using the free software GSAS II. The quantitative analysis combined with XRF is used to determine the composition of marble, clay tile, clay brick, phosphogypsum, and gravel wastes. The Rietveld method allows the verification and analysis of waste mineral compounds aiming at the replacement of the natural source in the production of cementitious materials. The technique allows evaluating the reactivity based on the non-crystalline phase content and provides parameters for the application of chemical proportioning by stoichiometry, considering the contribution of the effectively reactive phase.

**KEYWORDS:** X-ray diffraction (XRD), Quantitative analysis, Rietveld, Cement, Wastes, Supplementary cementitious materials.

### 1 | INTRODUÇÃO

A substituição parcial do clínquer por materiais cimentícios suplementares (MCS) é uma alternativa promissora para a redução da emissão de CO<sub>2</sub> e da extração de matérias-primas naturais pela indústria cimenteira<sup>(1,2)</sup>. Essa estratégia já é utilizada e os principais materiais empregados são fíler calcário, cinza volante e escórias<sup>(3)</sup>. No entanto, a limitação desses materiais em algumas regiões tem motivado a busca por resíduos locais que possam ser utilizados como MCSs.

Para avaliar o potencial de aplicação de um resíduo como MCS é importante realizar uma caracterização completa, com ensaios físicos, químicos e mineralógicos.

A caracterização mineralógica é complementar à análise química e é fundamental para compreender como os elementos estão conectados, em quais fases eles estão presentes e assim, entender sobre a reatividade do material<sup>(4)</sup>.

A análise mineralógica pode ser feita qualitativamente, a fim de identificar as fases cristalinas presentes na amostra e quantitativamente para saber o teor de cada fase. O método de Rietveld é aplicado para quantificar as fases cristalinas. No entanto, para amostras com índice de cristalinidade abaixo de 100%, os percentuais das fases são superestimados e devem ser corrigidos. Três métodos alternativos podem ser utilizados para quantificar o teor de fases amorfas ou cristalinas identificadas no material, são eles o método do padrão interno<sup>(5)</sup>, método do padrão externo<sup>(6)</sup> e o método das áreas<sup>(7)</sup>.

Esse trabalho tem como objetivo fornecer as informações básicas para avaliação do potencial de uso de um material residual a partir da análise da composição de fases. Para tanto, será apresentado o procedimento necessário desde o preparo da amostra até a análise de Rietveld no *software* livre GSAS II e a determinação do índice de cristalinidade. Por fim, será apresentada a possível aplicação desses resultados na dosagem química estequiométrica.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Os materiais residuais analisados nesse estudo foram fosfogesso (FG) e resíduos de cascalho (CAP), bloco cerâmico (RBC), porcelanato (RP) e mármore (RM). O FG foi um resíduo da produção de ácido fosfórico em uma indústria de fertilizantes. O CAP foi resíduo da perfuração de um poço para extração de petróleo e gás. O RCB foi material residual de uma fábrica de blocos cerâmicos vermelhos, o RP foi de uma distribuidora de placas de porcelanato esmaltado. O RM foi material descartado obtido em empresa de fabricação de peças ornamentais. As características físicas dos materiais são apresentadas na Tabela 1.

Propriedade	FG	CAP	RBC	RP	RM
Massa específica (kg m <sup>-3</sup> )	2438	2710	2814	2601	2781
D <sub>10</sub> (µm)	1,37	1,60	0,77	0,83	0,73
D <sub>50</sub> (µm)	7,98	8,55	3,14	3,14	3,69
D <sub>90</sub> (µm)	32,05	81,97	10,20	8,61	15,33

Tabela 1 – Propriedades físicas dos materiais residuais.

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



Material	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	SO <sub>3</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>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	Outros	PF
FG	33,02	1,10	0,02	40,43	0,11	0,48	49 ppm	0,68	0,73	n.d.	1,09	22,34
CAP	2,21	52,71	3,30	0,16	18,59	7,66	2,85	0,92	0,16	1,23	0,30	9,91
RBC	0,09	64,79	1,29	0,04	20,86	6,55	3,43	0,94	0,11	0,11	0,67	1,12
RP	1,29	65,02	0,98	0,03	20,23	4,60	2,16	0,51	0,06	3,06	1,99	0,07
RM	49,03	4,53	3,71	0,04	0,45	0,27	0,07	0,03	0,01	n.d.	0,11	41,75

Tabela 2 – Composição de óxidos dos materiais residuais (%).

## 2.2 Difração de raios X (DRX)

As análises são realizadas em um difratômetro de raios-x (*Bruker - radiação CuK $\alpha$* ), com passo de 0,02°/s, coletados numa faixa de 5 a 70° (2 $\theta$ ). Para interpretação de cada difratograma no *software Highscore Plus 3.0.5* é necessário inicialmente converter o arquivo, do formato.txt (gerado pelo equipamento de DRX) para o formato.rd. Esse procedimento é realizado no *software ConvX*, colocando no parâmetro do equipamento (*Anode - Cu*). A Figura 1 apresenta o fluxograma das etapas, desde a difração de raio-x até a quantificação das fases.

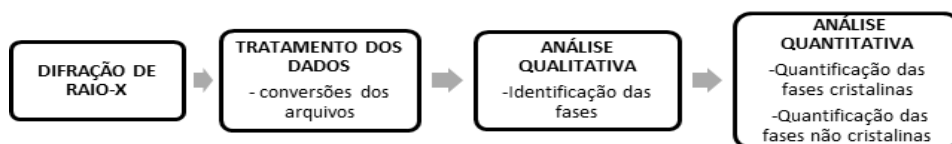


Figura 1. Fluxograma das etapas para análise dos dados

### 2.2.1 Análise qualitativa

Para análise qualitativa das fases cristalinas no *software Highscore Plus 3.0.5*, são utilizadas as fichas cristalográficas do bancos de dados *Inorganic Crystal Structure Database (ICSD)* e *Crystallography Open Database (COD)*. A escolha das fichas pode ser facilitada com o apoio da composição de óxidos da amostra obtida por espectrometria de fluorescência de raios X (FRX). Com essa análise podem ser descartados elementos que não estão presentes na amostra e priorizados elementos presentes em maior quantidade.

A busca nas referências bibliográficas nas quais materiais semelhantes foram analisados também é uma ferramenta para nortear a escolha das fichas para o refinamento. As fichas com bom ajuste, coincidem com os picos da amostra. Além disso, é importante observar que os três picos principais (de maiores intensidades) das fichas selecionadas estejam presentes na amostra.

## 2.2.2 Análise quantitativa pelo método de Rietveld

O método Rietveld consiste basicamente em ajustar uma curva teórica ao difratograma experimental, por meio do método dos mínimos quadrados. A curva teórica contém parâmetros estruturais, tais como dimensões de célula unitária e posições atômicas, de modo que o procedimento de ajuste resulta no refinamento dos parâmetros inicialmente utilizados.

### *Parâmetros de refinamento*

No software *GSAS II* os parâmetros gerais refinados são o fator de escala, a curva de Background (*polinômio de Chebyshev*), o deslocamento da amostra (erro de altura), os parâmetros das células unitárias e, por fim, os parâmetros instrumentais da forma de pico ( $W, X, V, U, SH/L$ ), onde o  $W$  refina a largura da gaussiana relacionada ao alargamento instrumental. Esse parâmetro deve apresentar valor positivo. O  $X$  refina a largura da lorentziana relacionada ao tamanho do cristalito. O  $V$  refina a largura gaussiana relacionada ao alargamento instrumental. O  $U$  refina a largura da gaussiana relacionada à microdeformação da rede, representando também uma contribuição instrumental. O  $SH/L$  refina os termos de assimetria relacionados à divergência axial.

O resultado do refinamento corresponde à fração mássica de cada fase cristalina identificada. A qualidade do ajuste é avaliada pelo fator chi-quadrado ( $X^2$ ), que corresponde ao *Goodness of Fit* (GOF) ao quadrado. No *GSAS II*,  $X^2$  corresponde à soma dos desvios quadrados entre os valores observados e calculados para cada ponto de dados. Geralmente, o resultado é considerado confiável se o valor de  $X^2$  se encontra na faixa de 1,0 a 2,0<sup>(8)</sup>.

A Figura 2 apresenta o fluxograma das etapas de refinamento utilizando o software *GSAS II*. Com as fichas das fases identificadas no formato (*.cif*), do difratograma da amostra em estudo no formato (*.raw*) e do arquivo de parâmetros do equipamento em (*.prm*), é possível iniciar o refinamento pelo método de Rietveld. Alguns passos devem ser seguidos: 1) Abra um novo projeto e salve-o com um novo nome (File->New Project; File->Save Project). 2) Selecione Import->Phase->from CIF file e, em seguida, uma por uma, selecione cada fase que você deseja refinar. 3) Selecione Import->Powder Data-> from *GSAS powder data file* e escolha o arquivo dos dados de difração. Certifique-se de que seus dados do DRX foram salvos em um formato (*.raw*). O *GSAS II* solicitará automaticamente que você insira um arquivo de parâmetros do instrumento (*.prm*) e esse mesmo arquivo poderá ser usado para todas as amostras referentes ao mesmo equipamento. Em seguida uma janela surgirá automaticamente, perguntando a quais fases a amostra será associada. Clique em *Set All* ->OK para associar a todas as fases inseridas anteriormente. 5) Selecione *PWDR*->*Sample Parameters* e desative a caixa do *Histogram scale factor* (fator de escala do histograma), caso tenha mais de uma fase. 6) Clique em uma das fases na árvore de dados e você notará que uma das outras janelas agora aparece com muitas informações e abas sobre a fase selecionada. Selecione a aba *Data* e clique na caixa de refinamento *Phase fraction* (fração de fase). Isso permite refinar a intensidade dessa fase específica. Caso tenha mais de uma fase, terá que fazer para todas as fases. 7) Selecione *Calculate*->*Refine*. O refinamento será executado e, quando concluído, exibirá o valor de  $R_w$  (residual ponderado). O programa solicitará o carregamento dos novos resultados, selecione OK. 8) Vá a *PWDR*->*Background* e uma nova janela será aberta. Se a forma geral da linha de base estiver errada, você poderá adicionar mais termos ao polinômio de Chebyshev "*Number of coeff.*" Selecione

*Calculate* -> *Refine*. Em geral, quanto mais linear fora a linha de Background, menor será o número de termos necessários no polinômio. Nesta etapa o número de termos pode ser incrementado gradativamente até atingir o melhor ajuste, indicado por um menor *Rw*, após as iterações. 9) Para refinar o erro inerente à altura da amostra, vá para *PWDR*->*Sample Parameters* e clique na caixa de *Sample displacement* (refinamento de deslocamento de amostra). Selecione *Calculate* -> *Refine*. 10) Em seguida, a localização dos picos pode ser corrigida através do ajuste dos parâmetros da célula unitária. Seleciona-se uma fase e então a caixa *Refine unit cell* na aba *General*. Caso tenha mais de uma fase terá que fazer para todas as fases. Selecione *Calculate*->*Refine*. 11) Para ajustar a forma dos picos, vá para *PWDR*->*Instrument Parameters* e clique na caixa ao lado do parâmetro *W*. Selecione *Calculate*->*Refine*. Repita o processo ativando o parâmetro *X* e depois o *V*, *U*, *SH/L*. Todos eles são coeficientes matemáticos, para a forma do pico do padrão calculado. Em um bom refinamento, após esta etapa, o *Rw* indicado será menor que 10% e o *GOF* menor que 2, indicando um bom ajuste entre os padrões.

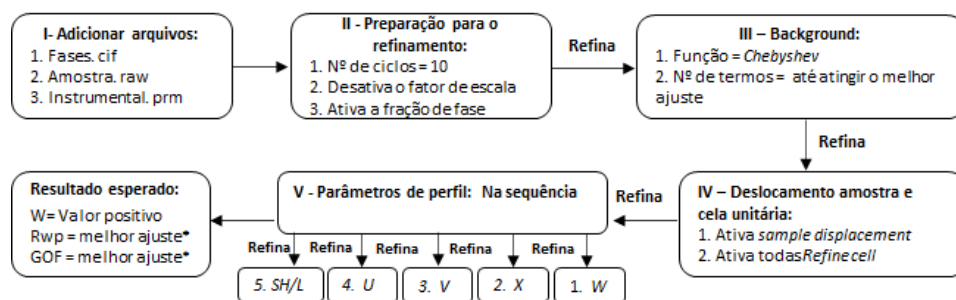


Figura 2 - Fluxograma das etapas do refinamento

### 2.2.3 Determinação do grau de cristalinidade

A quantificação obtida pelo método de Rietveld pode ser aprimorada com a determinação do grau de cristalinidade da amostra a partir da quantificação das fases não cristalinas e semicristalinas não identificadas (ACn). O método mais acessível para essa quantificação é descrito detalhadamente em Mittemeijer e Scardi<sup>(7)</sup>. Consiste em estimar o grau de cristalinidade aplicando o cálculo das áreas referentes às fases cristalinas (picos agudos do difratograma experimental) e fases não cristalinas em um intervalo de difração  $2\Theta$ <sup>(9)</sup>. Nesse método, o teor de ACn é determinado aplicando a Equação 1<sup>(7)</sup>. A variável AA, corresponde à porção não cristalina da amostra. Seu valor é obtido a partir da linha de base extraída do GSAS II após o refinamento, a essa curva é aplicada uma função *Pseudo-voigt* centrada no ângulo  $(2\Theta)$  em que há o halo amorfo. A área sob a função *Pseudo-Voigt* representa o teor de fases não cristalinas. Já a AC, área cristalina, corresponde a diferença entre a área sob o difratograma experimental e AA. O grau de cristalinidade é dado pela razão entre a área cristalina e a área total sob o difratogramas experimental, enquanto a porcentagem complementar corresponde ao ACn.

### 2.3 Avaliação da reatividade dos materiais e dosagem química por estequiometria

A análise quantitativa pelo método de Rietveld combinada à determinação do teor de fases não cristalinas é uma ferramenta prática para avaliação da reatividade de materiais cimentícios suplementares. Isso ocorre porque muitos materiais tornam-se mais reativos diante de uma desordem estrutural das suas fases. Esse efeito ocorre, por exemplo, em argilominerais. Os quais possuem pouca reatividade pozolânica quando em seu estado natural e tornam-se gradativamente mais reativos à medida que se aproximam da sua temperatura de desidroxilação<sup>(10)</sup>. No entanto, deve-se considerar que ao exceder continuamente a temperatura até a faixa de recristalização, a reatividade é reduzida em função da retomada da ordem na estrutura cristalina<sup>(11)</sup>. Portanto, MCS com elevado teor de fases amorfas apresentam maior potencial de reatividade.

O DRX/Rietveld quando combinado ao FRX permite estimar a composição de óxidos da fração não cristalina do material. Desse modo, a técnica viabiliza a aplicação da dosagem química, ou seja, que consideram as reações com base em suas relações estequiométricas. Através da diferença entre o teor de determinado óxido obtido por análise de FRX e o seu teor nas fases cristalinas quantificadas após análise de DRX, é possível calcular o seu percentual potencialmente reativa nos MCS. Isto é, o percentual do óxido presente na fase amorfa que apresenta maior potencial de reação para formação de produtos hidratados.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Análise quantitativa pelo método de Rietveld de materiais residuais

A composição mineralógica dos resíduos é apresentada na Figura 3. A Figura 3a apresenta os difratogramas com a identificação das fases cristalinas e a Figura 3b a quantificação obtida pelo método de Rietveld e das áreas.

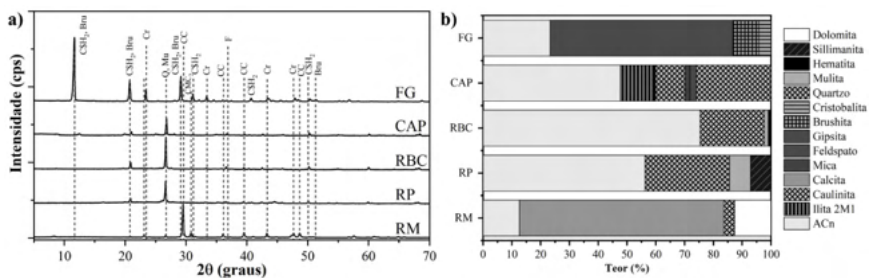


Figura 3 – Composição mineralógica dos resíduos obtida por DRX (a) e quantificada por Rietveld (b).

O PG é essencialmente composto por gipsita, brushita e cristobalita (ICSD 27221, 109193, 180900). O CAP contém quartzo, ilita, caulinita, mica e feldspato (ICSD 34644, 90144, 63192, 172270, 4354). As fases cristalinas do RBC e RP consistem em quartzo,

mulita, sillimanita e hematita (62404, 158097, 100450, 33643). O RM é composto por calcita, dolomita e quartzo (80869, 10404, 62404).

### 3.2 Potencial de aplicação dos resíduos como MCSs

Por conta do alto teor de gipsita observado no PG, ele tem potencial para ser utilizado como controlador de pega na produção do cimento, substituindo a matéria prima natural. Alguns estudos já avaliam esta aplicação<sup>(12,13)</sup>. A desidroxilação durante a queima da cerâmica promove uma desordem de fase estrutural resultando em fases amorfas e mais reativas<sup>(14)</sup>. Nesse caso, o RBC se destaca pelo maior teor de fases não cristalinas (75%) e consequente com maior reatividade. Este fator, junto ao alto teor de fases compostas por aluminossilicatos justifica os estudos do RCB como potencial MCS. A mesma análise também justifica os estudos do RM como MCS<sup>(15)</sup>. O RM é composto por cerca de 56% de carbonatos, esta composição justifica os estudos que já realizados para avaliar o seu potencial como filer calcário<sup>(16)</sup>. Por fim, o alto teor de aluminossilicatos no CAP e a grande quantidade de fases não cristalinas (47,66%) indicar um potencial pozolânico do material, mas ainda são necessários estudos para avaliar o seu uso como MCS. Na indústria cimenteira, o CAP já foi avaliado como matéria prima na produção de clínquer Portland<sup>(17)</sup>.

### 3.3 Aplicação da quantificação na dosagem química por estequiometria

Os resíduos baseados em argilas submetidas à queima (RBC e RP) podem ter a razão  $Al_2O_3/SiO_2$  dos argilominerais e o percentual de alumina reativa calculados pela associação entre os resultados de DRX/Rietveld e FRX. Através da diferença entre o teor de  $SiO_2$  total obtido por análise de FRX e o teor de quartzo quantificado após análise de DRX, é possível calcular o percentual de dióxido de silício no argilomineral. Para o RBC, por exemplo, 64,79% de  $SiO_2$  foi identificado por FRX e 22,35% de quartzo foi quantificado por DRX/Rietveld. Ou seja, o teor de  $SiO_2$  no argilomineral desse resíduo de argila é de 42,44%. Uma vez que o teor de  $Al_2O_3$  é de 20,86%, é identificada uma relação  $Al_2O_3/SiO_2$  de aproximadamente 2,0, a qual está relacionada à presença de montmorilonita. Para o RP, essa proporção é de 1,8, indicando a presença de argilominerais nas proporções de 1:1 (caulinita) e 2:1 (montmorilonita).

Aplicando a diferença entre o teor de  $Al_2O_3$  total (FRX) e o percentual desse óxido nas fases cristalinas dos resíduos (mulita e sillimanita), identifica-se os teores de alumina da fração não cristalina. Isto é, o RBC e RP possuem 4,40% e 3,02% de alumina reativa, respectivamente. O conhecimento desse percentual permite ser mais realista em relação ao potencial de reatividade das matérias-primas, aprimorando a aplicação da dosagem estequiométrica de cimentos contendo MCS e até mesmo de materiais álcali ativados<sup>(18,19)</sup>.

## 4 | CONCLUSÕES

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

- O uso de softwares livres para a análise quantitativa pelo método de Rietveld é uma técnica de baixo custo e que permite aprofundar as interpretações dos resultados qualitativos do DRX.

- A análise de Rietveld e quantificação de fases não cristalinas é fundamental para avaliação do potencial de uso de um material residual como MCS.
- As análises de DRX/Rietveld combinadas ao FRX permite estimar o tipo de argilomineral constituinte de resíduos argilosos, bem como calcular a fração efetivamente reativa dos seus óxidos. Isso viabiliza uma abordagem mais realista do potencial das reações decorrentes do uso de resíduos como MCS.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB, Bolsas nº 0397/2018, 0287/2019 e 0289/2020) pelo apoio financeiro e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade em pesquisa. Esse trabalho também foi patrocinado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Bolsas nº 451677/2019-1 e 88887.124147/2014-00) em uma parceria entre a UFBA, UFRGS e UNICAMP pelo Programa Nacional de Cooperação Acadêmica (PROCAD).

## REFERÊNCIAS

1. ISTERI, V. *et al.* Production and properties of ferrite-rich CSAB cement from metallurgical industry residues. **Science of the Total Environment**, vol. 712, p. 136208, 10 Apr. 2020.
2. SCRIVENER, K. *et al.* Calcined clay limestone cements (LC<sup>3</sup>). **Cement and Concrete Research**, vol. 114, no. August 2017, p. 49–56, 2018.
3. GCCA - Global Cement & Concrete Association. **Cement Sustainability Initiative, Getting the numbers right**. Disponível em: <https://gccassociation.org/gnr/>. Acesso em 10 de jun. 2021.
4. ANDERSON, J. *et al.* X-ray diffraction - New eyes on the process. In: 2014 IEEE-IAS/PCA **Cement Industry Technical Conference**. IEEE, p. 1-9.2014.
5. DE LA TORRE, A. G. *et al.* Rietveld quantitative amorphous content analysis. **Journal of Applied Crystallography**, v. 34, n. 2, p. 196-202, 2001.
6. ARANDA, M. A. G. *et al.* Rietveld quantitative phase analysis of OPC clinkers, cements and hydration products. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, v. 74, n. 1, p. 169-209, 2012.
7. MITTEMEIJER, E. J.; SCARDI, P. **Diffraction analysis of the microstructure of materials**. 1st ed. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004.
8. ABU, M. J. *et al.* Synthesis of high purity titanium silicon carbide from elemental powders using arc melting method. **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, v. 47, p. 86-92, 2014.
9. CALLIGARIS, G. A. *et al.* On the quantitative phase analysis and amorphous content of triacylglycerols materials by X-ray Rietveld method. **Chemistry and Physics of Lipids**, v. 212, p. 51–60, 2018.
10. TEKLAY, A. *et al.* Calcination of kaolinite clay particles for cement production: A modeling study. **Cement and Concrete Research**, v. 61, p. 11-19, 2014.
11. TIRONI, A. *et al.* Thermal analysis to assess pozzolanic activity of calcined kaolinitic clays. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 117, n. 2, p. 547-556, 2014.
12. CÁNOVAS, C. R. *et al.* Valorization of wastes from the fertilizer industry: Current status and future trends. **Journal of Cleaner Production**, vol. 174, p. 678–690, 20 Jan. 2018.

13. ROSALES, J. *et al.* Treated phosphogypsum as an alternative set regulator and mineral addition in cement production. **Journal of Cleaner Production**, vol. 244, 2020.
14. SCRIVENER, Karen, et al. **Calcined clays for sustainable concrete**. RILEM, 2015.
15. KANNAN, D. M. *et al.* High performance concrete incorporating ceramic waste powder as large partial replacement of Portland cement. **Construction and Building Materials**, v. 144, p. 35-41, 2017.
16. SINGH, M. *et al.* An investigation on effect of partial replacement of cement by waste marble slurry. **Construction and Building Materials**, v. 134, p. 471-488, 2017.
17. AL DHAMRI *et al.* Oil-based mud cutting as an additional raw material in clinker production. **Journal of hazardous materials**, v. 384, p. 121022, 2020.
18. FERREIRO, S. *et al.* Effect of raw clay type, fineness, water-to-cement ratio and fly ash addition on workability and strength performance of calcined clay-limestone Portland cements. **Cement and Concrete Research**, v. 101, p. 1-12, 2017.
19. COSTA, A. R. D. *et al.* Hydration of sustainable ternary cements containing phosphogypsum. **Sustainable Materials and Technologies**, p. e00280, 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/>

