

Armando Dias Duarte
(Organizador)

ENGENHARIA CIVIL:

Demandas sustentáveis e
tecnológicas e aspectos ambientais 2



Atena
Editora

Ano 2022

Armando Dias Duarte
(Organizador)

ENGENHARIA CIVIL:

Demandas sustentáveis e
tecnológicas e aspectos ambientais 2



Atena
Editora

Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 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 Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Engenharia civil: demandas sustentáveis e tecnológicas e aspectos ambientais 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Armando Dias Duarte

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia civil: demandas sustentáveis e tecnológicas e aspectos ambientais 2 / Organizador Armando Dias Duarte. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0384-5

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.845221108>

1. Engenharia civil. I. Duarte, Armando Dias (Organizador). II. Título.

CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

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

A coleção de trabalhos intitulada “*Engenharia civil: Demandas sustentáveis e tecnológicas e aspectos ambientais 2*” é uma obra que tem como foco principal a discussão científica por intermédio de diversos trabalhos que compõe seus capítulos. O volume abordará de forma categorizada e interdisciplinar, pesquisas cujos resultados possam auxiliar na tomada de decisão, tanto no campo acadêmico, quanto no profissional.

Os trabalhos desenvolvidos foram realizados em instituições de ensino, pesquisa e extensão localizadas no Brasil. Nos capítulos apresentados, são encontrados estudos de grande valia nas áreas de: materiais da construção civil, análise de estruturas por meio de métodos numéricos, recursos hídricos e gestão. A composição dos temas buscou a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos (as), mestres (as) e todos (as) aqueles (as) que de alguma forma se interessam pela área da Engenharia Civil, através de temáticas atuais com resoluções inovadoras, descritas nos capítulos da coleção. Sendo assim, a divulgação científica é apresentada com grande importância para o desenvolvimento de toda uma nação, portanto, fica evidenciada a responsabilidade de transmissão dos saberes através de plataformas consolidadas e confiáveis, como a Atena Editora, capaz de oferecer uma maior segurança para os (as) novos (as) pesquisadores (as) e os (as) que já atuam nas diferentes áreas de pesquisa, exporem e divulguem seus resultados obtidos.

Armando Dias Duarte

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA EM BAIRRO DE ELEVADO FLUXO DE VEÍCULOS – ESTUDO DE CASO

Eduardo Antonio Maia Lins
Daniele de Castro Pessoa de Melo
Diogo Henrique Fernandes da Paz
Sérgio Carvalho de Paiva
Adriane Mendes Vieira Mota
Luiz Vital Fernandes Cruz da Cunha
Luiz Oliveira da Costa Filho
Fábio José de Araújo Pedrosa
Fábio Correia de Oliveira
Rosana Gondim de Oliveira
Fabio Machado Cavalcanti
Maria Clara Pestana Calsa
Fernando Arthur Nogueira Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8452211081>

CAPÍTULO 2..... 10

ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM UMA RODOVIA PERNAMBUCANA

Eduardo Antonio Maia Lins
Adriana da Silva Baltar Maia Lins
Daniele de Castro Pessoa de Melo
Diogo Henrique Fernandes da Paz
Sérgio Carvalho de Paiva
Adriane Mendes Vieira Mota
Luiz Vital Fernandes Cruz da Cunha
Luiz Oliveira da Costa Filho
Fábio José de Araújo Pedrosa
Fábio Correia de Oliveira
Rosana Gondim de Oliveira
Fabio Machado Cavalcanti
Maria Clara Pestana Calsa
Fernando Arthur Nogueira Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8452211082>

CAPÍTULO 3..... 24

ANÁLISE AMBIENTAL DOS IMPACTOS NEGATIVOS GERADOS POR CEMITÉRIO – ESTUDO DE CASO

Eduardo Antonio Maia Lins
Adriana da Silva Baltar Maia Lins
Daniele de Castro Pessoa de Melo
Diogo Henrique Fernandes da Paz
Sérgio Carvalho de Paiva
Adriane Mendes Vieira Mota

Luiz Vital Fernandes Cruz da Cunha
Luiz Oliveira da Costa Filho
Fábio José de Araújo Pedrosa
Fábio Correia de Oliveira
Rosana Gondim de Oliveira
Andréa Cristina Baltar Barros
Fabio Machado Cavalcanti
Fernando Artur Nogueira Silva
Maria Clara Pestana Calsa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8452211083>

CAPÍTULO 4..... 36

**ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICO DO CONCRETO LEVE COM ARGILA EXPANDIDA E
ADIÇÃO DA CINZA DO COCO EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO**

João Paulo Monteiro Carvalho
Simone de França Cardoso
Wilson Linhares dos Santos
Mércia Maria Pinheiro Gambarra

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8452211084>

CAPÍTULO 5..... 49

**EFFECT OF BASALT POWDER AND METAKAOLIN FILLERS ON ASPHALT MASTIC
BEHAVIOR**

Ana Luiza Rezende Rodrigues
Rodrigo Pires Leandro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8452211085>

CAPÍTULO 6..... 63

**MASSA CERÂMICA À BASE DE RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL PARA IMPRESSÃO
3D POR EXTRUSÃO**

Márcia Silva de Araújo
Gabriel Elias Toledo Ferreira
José Alberto Cerri

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8452211086>

CAPÍTULO 7..... 77

**VALORIZATION OF SLATE WASTE TO PRODUCE MATERIALS CERAMICS AND
COMPOSITES**

Luciana Boaventura Palhares
Douglas Filipe Galvão
Tayna E. B. Lucena
Sthefany B. P. da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8452211087>

CAPÍTULO 8..... 90

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE PAVERS

PRODUZIDOS COM O USO DE SÍLICA ATIVA

Martônio José Marques Francelino

Fred Rodrigues Barbosa

João Manoel de F. Mota

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8452211088>

CAPÍTULO 9..... 103

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ARGAMASSA PRODUZIDO COM AGLOMERANTE ÁLCALI-ATIVADO À BASE DE RCV E CINZAS

Otacisio Gomes Teixeira

Mateus Ribeiro Caetano

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8452211089>

CAPÍTULO 10..... 113

ASPECTO HISTÓRICO DO PROJETO DO RESERVATÓRIO DO RIO ARICANDUVA NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO SOB O ASPECTO HIDROLÓGICO

Ariston da Silva Melo Júnior

Claudia de Oliveira Lozada

João Jorge Pereira da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84522110810>

CAPÍTULO 11..... 125

ANÁLISE ESTRUTURAL DE EDIFICAÇÕES DAS ÁREAS RIBEIRINHAS PÓS DESASTRE: UM OLHAR PARA O BANCO DA VITÓRIA, ILHÉUS-BA

Igor Ângelo Lobão de Souza

Joandre Neres de Jesus

Vanessa Neri de Souza

Kaique Ourives Silva

Ozana Almeida Lessa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84522110811>

CAPÍTULO 12..... 138

ESTUDO DA CAPACIDADE DE SUPORTE DA PRAIA DO BAIRRO NOVO, OLINDA, PERNAMBUCO

Eduardo Antonio Maia Lins

Daniele de Castro Pessoa de Melo

Diogo Henrique Fernandes da Paz

Sérgio Carvalho de Paiva

Adriane Mendes Vieira Mota

Luiz Vital Fernandes Cruz da Cunha

Luiz Oliveira da Costa Filho

Fábio José de Araújo Pedrosa

Fábio Correia de Oliveira

Rosana Gondim de Oliveira

Fabio Machado Cavalcanti

Maria Clara Pestana Calsa

Fernando Arthur Nogueira Silva

Hugo Vinicius Arruda de Sales

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84522110812>

CAPÍTULO 13..... 155

TAIPA DE PILÃO: UMA TÉCNICA CONSTRUTIVA COM TERRA

Kauan de Jesus Oliveira

Júlio Coura Diniz

Erick Roberto Campos

Sayonara Espinoza Silva

Samuel Velasques Fernandes de Noronha

João Victor Rech Ruiz da Silva

Muriellen Cristina Cavalheiro da Frota Monteiro

Rafael Luis da Silva

Alex Gomes Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84522110813>

CAPÍTULO 14..... 165

ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS DE VIGAS EM CONCRETO ARMADO ATRAVÉS DO SOFTWARE ANSYS

Henrique Cardoso Koch

Bruna Manica Lazzari

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84522110814>

CAPÍTULO 15..... 214

ANÁLISE NUMÉRICA DE ATERRO TESTE SOBRE SOLO ARGILOSO MUITO MOLE REFORÇADO COM COLUNAS DE BRITA

Pedro Gomes dos Santos Pereira

Bruno Teixeira Lima

Marcus Peigas Pacheco

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84522110815>

CAPÍTULO 16..... 225

ANÁLISE ESTRUTURAL ELÁSTICA LINEAR DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO POR DIFERENTES MODELOS DE CÁLCULO: UM ESTUDO DE CASO

Ray Calazans dos Santos Silva

Luan Reginato

José Anchieta Damasceno Fernandes Neto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84522110816>

CAPÍTULO 17..... 241

GERENCIAMENTO, CONTROLE E APLICAÇÃO DO MÉTODO - *LEAN CONSTRUCTION* NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Diego Ramos de Melo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84522110817>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 255

ÍNDICE REMISSIVO..... 256

AValiação DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ARGAMASSA PRODUZIDO COM AGLOMERANTE ÁLCALI-ATIVADO À BASE DE RCV E CINZAS

Data de aceite: 01/08/2022

Otacisio Gomes Teixeira

Centro universitário UNIFG/ANIMA
Bahia

<http://lattes.cnpq.br/6644029346243520>

Mateus Ribeiro Caetano

Universidade de Brasília (UnB)
Brasília-DF

<http://lattes.cnpq.br/8027817248677375>

RESUMO: O cimento é um dos materiais mais utilizados pela construção civil mundial, apenas no Brasil em 2016 foram produzidas 57 milhões de toneladas de cimento, segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC). No entanto, existem aspectos negativos decorrentes de sua produção, como a extração da matéria prima, que degrada vastas áreas naturais e sua elevada emissão de dióxido de carbono (CO₂) em seu processo industrial. Outro fator contribuinte com a degradação do meio ambiente está vinculado a cerâmica vermelha e os resíduos gerados pela sua produção e seu descarte. Diante disso, o presente trabalho tem por objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de aglomerante produzido por meio da ativação alcalina com uso de materiais alternativos da indústria da cerâmica, sendo estes os resíduos de cerâmica vermelha (RCV) e cinzas resultantes da queima da madeira e como ativador o hidróxido de sódio (NaOH). Por tanto, foram realizados em laboratório experimentos de dosagem do aglomerante, avaliando os que

obtiveram melhores resultados de consistência, tempo de pega e resistência mecânica. Para a argamassa, foram determinadas as resistências à compressão em quatro idades diferentes (3, 7, 14, e 21 dias). A análise dos resultados mostra a viabilidade para uso na construção civil, além de ser uma forma de reutilização de resíduos da indústria da cerâmicos reduzindo o impacto produzido pelo seu descarte, dando utilidade a estes e evitando o uso de cimento que possui elevada degradação ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Álcali-Ativado; Cerâmica Vermelha; Argamassa; Sustentabilidade.

EVALUATION MECHANICAL PROPERTIES OF MORTAR PRODUCED WITH ALKALI-ACTIVATED BINDER BASED ON RCV AND ASHES

ABSTRACT: Cement is one of the most used materials in civil construction, in Brazil alone, in 2016, 57 million tons of cement were produced, according to the SNIC (National Syndicate of the Cement Industry). However, there are negative aspects decurrent from its production, such as the extraction of primary matter, which degrades enormous natural areas, and elevated carbon dioxide (CO₂) emissions from its industrial process. Another contributing factor to the degradation of the environment is linked to the red ceramic and the residues generated by its production and discarding. Facing this, the present article aims to evaluate the physical and mechanical properties of binder produced through alkaline activation with the use of alternative materials of the ceramic industry, these being the red ceramic residues (RCV) and

ashes from the burned wood and, as activator, sodium hydroxide (NaOH). To that end, binder dosage laboratory tests were executed, evaluating those which acquired the best results in consistency, determination of setting times and mechanical resistance. For the mortar, the resistance to compression and traction were measured by diametral compression at four distinct ages (3, 7, 14 and 21 days). The analysis of the results reveals the viability of the use of the ceramic industry residues in civil construction, allowing reduction of the environmental impact of their discard by making use of them and avoiding the use of cement.

KEYWORDS: Alkali-Activated; Red Ceramic; Mortar; Sustainability.

1 | INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas o cimento tem sido amplamente usado pela construção civil em todo o mundo para produção de argamassas e concreto. No entanto, o produto resultante desse material apresenta algumas desvantagens, tais como: grande massa específica, alta fragilidade, baixa resistência à fadiga e tração, baixa tenacidade e resiliência (WANG; XU; LIU, 2016). Além de grandes impactos ambientais, tendo em vista que, para cada tonelada de cimento produzido, estima-se que seja emitido a mesma razão em dióxido de carbono (CO₂) sendo uma relação de escala 1:1 (MAJIDI, 2009 apud GERALDO et al., 2017).

Dessa forma, a busca por alternativas sustentáveis em ligantes que cumpram com as mesmas exigências a qual o cimento atende, tem atraído a atenção da comunidade científica internacional. Estudos sobre a reação da ativação alcalina tem subsidiado testes que buscam materiais alternativos aos atuais aglomerantes, visto que, esse tipo de ativação, possibilita a reutilização de materiais da construção civil, reduzindo os impactos dos descartes de entulhos.

Para que ocorra a álcali-ativação é necessária uma fonte de sílica, outra de alumínio, além de um meio alcalino para que ocorram as reações gerando calor com menor emissão de CO₂ (FAHIM HUSEIEN et al., 2017). Por ser considerada rica fonte de sílica, as cinzas podem ser utilizadas para a produção de um gel cimentício através do processo de ativação alcalina. Enquanto o RCV apresenta elevadas concentrações de alumínio (GERALDO et al., 2017).

Para que isso seja feito, é necessário ser constituído um ambiente com alta basicidade através de elementos à base de sódio ou potássio que seja capaz de promover o rompimento da sílica e do alumínio através de uma reação conhecida como dissolução exotérmica. (PALOMO, apud CASTRO, 2015). Dessa forma os ativadores alcalinos permitem que a sílica atinja a condição de reação podendo formar sílico- aluminato ou C-S-H. (MURTA, 2008).

Visando minimizar os impactos da produção do cimento e o descarte de resíduos decorrentes da produção de cerâmica vermelha o presente trabalho busca através de experimentos em laboratório dosar e avaliar as propriedades do aglomerante álcali- ativado

em estado fresco e suas propriedades quando incorporado agregado miúdo.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Para a realização desta pesquisa, foi utilizado hidróxido de sódio em escamas (NaOH) de pureza 98%, resíduo de cerâmica vermelha (RCV), cinza de fornos da indústria de cerâmicas, água e areia. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Materiais do UniFG.

A coleta do material ocorreu no município de Guanambi, foram recolhidas cinzas e blocos cerâmicos de diversas fábricas do perímetro urbano da cidade. O hidróxido de sódio, comercializado sem restrições, foi adquirido em mercados da cidade.

Em trabalhos relacionados com a ativação alcalina, Geraldo et al, 2017 e Matos, 2018, utilizam materiais como resíduo de cerâmica vermelha e cinzas, a caracterização química realizada pelos autores trazem a seguinte composição para os materiais:

Óxidos	Cinza (%)	RCV (%)
SiO ₂	89,01	64,5
Al ₂ O ₃	3,3	12,3
TiO ₂	0,62	1,5
Fe ₂ O ₃	0,56	11,2
Na ₂ O	-	-
SO ₃	0,34	-
K ₂ O	2,16	6,3
MgO	-	1,6
CaO	1,5	1,2
CuO	0,08	-
ZnO	0,22	-
Outros	2,21	1,4

Tabela 1 – Caracterização química da cinza e RCV.

Fonte: GERALDO *et al*, 2017 e MATOS, 2018 (adaptado).

Também foram realizados testes com argamassa convencional, utilizando-se cimento, areia e água, com objetivo de ter um parâmetro de referência, comparando um dos materiais mais utilizado pela construção civil, o Cimento Portland, com um material totalmente alternativo, produzido por reações químicas.

2.2 Preparação do Material

O primeiro passo para preparação do material consistiu na redução de partículas do RCV, para isso foi necessário triturar blocos cerâmicos, também foram processados a cinza, seguido do peneiramento, admitindo-se grão de diâmetro máximo de 0,150 milímetros para ambos materiais.

O NaOH foi dosado e diluído em água, criando-se um meio base com elevada temperatura de reação exotérmica, atingindo em média 90°C, ideal para que ocorra as reações de quebra das ligações químicas da cinza, que, ao adicioná-la promoveu sua ativação. Após a mistura destes compostos foi adicionado gradativamente o RCV, responsável pela maior parcela de alumínio entre os materiais usados.

Foram dosados diferentes quantidade de cada material em diversos testes, visando encontrar o que melhor apresentasse consistência após a mistura. As dosagens obedeciam às relações molares de cada material, por se tratar de compostos alternativos e devido à falta de normatização para estes, quando possível, foi adotado as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) aplicadas para testes com cimento Portland.

2.3 Ensaios

Para os experimentos que obtiveram melhores resultados iniciais de aspecto físico, foram executados ensaios de tempo de pega, obedecendo a norma ABNT NBR 16607:2018 (figura 1), utilizando o aparelho de Vicat foi realizada periodicamente a penetração da agulha, verificando assim o início e fim de pega do aglomerante.



Figura 1 – Execução de teste de tempo de pega no aparelho de Vicat.

Fonte: Autores, 2019.

Assim sendo, foi realizada a caracterização da areia para incorporação no aglomerante, para isso, o material foi colocado em estufa por 48 horas a 150°C para desidratação do material, seguido do peneiramento para separação granulométrica, os valores obtidos foram expressos em um gráfico de curva granulométrica, como mostra a figura 2. A determinação da massa específica foi executada conforme a ABNT NBR NM 52:2009, aferindo-se o valor de 2.54 kg/dm³, enquanto, a massa unitária, normatizada pela ABNT NBR NM 45:2006, obteve a leitura de 1.52 Kg/dm³.

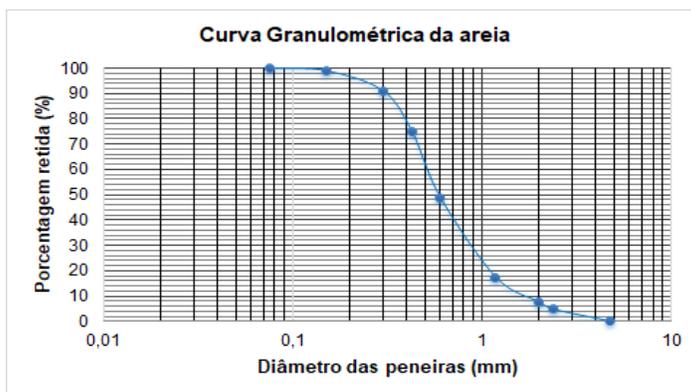


Figura 2: Análise granulométrica da areia.

Fonte: Autores, 2019.

Para o preparo da argamassa foi empregado o método de dosagem ACI-211.1- 1994, o traço de cimento, areia e água utilizado para a argamassa convencional foi de 2:4:1,6. Para realizar teste de consistência *Flow-Table* foi necessário a preparação da argamassa utilizando o traço de argamassa convencional e para o aglomerante álcali- ativado foi incorporando agregado miúdo, em uma relação de aglomerante e areia de 1:1 para todos os dois ensaios, variando apenas a quantidade de água.

Para a homogeneização de todo material fez se uso de misturador mecânico, adicionando-se o NaOH e água para sua diluição, seguido da cinza e RCV, misturando por 3 minutos seguindo a execução do teste de consistência conforme determinado pela ABNT NBR 13276:2016, o mesmo procedimento foi aplicado para a argamassa com cimento Portland.



Figura 3 - Misturador mecânico utilizado para preparo da argamassa.

Fonte: Autores, 2019.

Após o preparo da argamassa foram moldados corpos de prova em formas de dimensões 50x100 mm (conforme mostra a figura 4), decorrido 24 horas os mesmos foram desmoldados das formas e submetidos a cura térmica durante 12 horas a temperatura de 65°C, em seguida foram avaliadas as propriedades de resistência a compressão em quatro idades diferentes (3, 7, 14 e 21 dias), enquanto os corpos de prova de argamassa convencional foram desmoldados e submersos em água para o processo de cura úmida para as quatro idades.



Figura 4 – Corpos de prova de argamassa moldados em formas de 50x100 mm, a esquerda (A) argamassa álcali-ativada, a direita (B) argamassa convencional de cimento Portland.

Fonte: Autores, 2019.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizados 25 testes de dosagem, tendo apenas 2 apresentado consistência, e não apresentaram exsudação e eflorescência no período monitorado de sete dias, sendo estes os principais fatores que levaram a inviabilizar os demais testes. Isso ocorre devido a dosagem entre os materiais e o ativador alcalino estarem diretamente ligadas ao desempenho do aglomerante produzido.

Fatores que levaram diversos testes a serem descartados está em um dos pontos principais da álcali-ativação, a dosagem correta do ativador NaOH com os demais componentes, pois este permite que o material alcance todas as suas propriedades, evitando a exsudação e a baixa reatividade, devido à falta de reagente, ou consequências decorrentes da grande abundância de reagente, como a eflorescência e o excesso de porosidade, prejudicando as propriedades do aglomerante. Estes aspectos também foram abordados por MURTA, 2008.

Para cada dosagem observa-se que o início e fim de pega obteve variações nos ensaios. O ensaio E01 manteve uma relação proporcional entre o início e o fim de pega (intervalo de 2 horas), enquanto o ensaio E02, que teve redução de cinza e acréscimo de RCV teve o aumento de uma hora para o início de pega, em relação E01, e o fim após oito horas e trinta minuto. Vale ressaltar que para o ensaio E02 houve adição de cinco gramas de NaOH e acréscimo de 40% de água comparado ao E01, apesar da reação de álcali-ativação não envolver a água como no cimento, este deve ser dosado criteriosamente para que não ocorra demasia e este interfira nas propriedades que garantem a trabalhabilidade.

Ensaio	NaOH (g)	Cinza (g)	RCV (g)	Água (g)	Início de Pega (horas)	Fim de Pega (horas)
E01	20	45	70	30	02:00	04:00
E02	25	40	80	50	03:00	08:30

Tabela 2 – Valores de dosagem e tempo de pega para os ensaios do aglomerante.

Fonte: Autores, 2019.

Os testes de consistência (figura 5) obtiveram os valores de 278, 260, milímetros, respectivamente para os ensaios E01, E02, podendo constatar-se a regressão no índice de consistência da argamassa produzida com o aglomerante álcali-ativado. Mesmo no teste onde houve maior acréscimo de água, obteve consistência inferior ao teste com menor quantidade de água, enquanto a argamassa convencional obteve 250 mm, conforme dados apresentados na tabela 2.

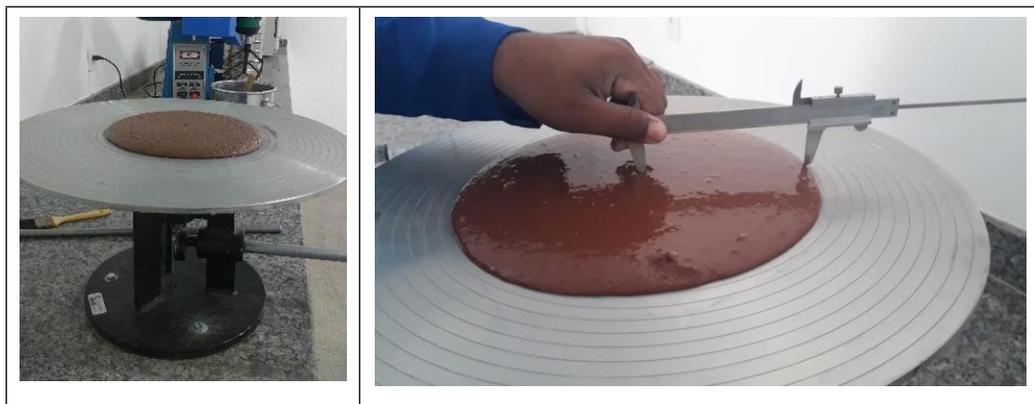


Figura 5 – Execução do teste de consistência do aglomerante álcali-ativado (Flow-Table).

Fonte: Autores, 2019.

Ensaio	Índice de consistência da argamassa (mm)
E01	278 ± 10
E02	260 ± 10
Convencional	250 ± 10

Tabela 3 – Tabela dos resultados de teste de executados na mesa de consistência (Flow-Table).

Fonte: Autores, 2019.

Após ser realizada o rompimento dos corpos de prova para avaliar sua resistência nas quatro idades, foi possível obter os resultados expressos na tabela a seguir:

Idade (dias)	Resistência atingida (MPa)		
	Convencional	Ensaio 01	Ensaio 02
3	1,11	0,81	0,74
7	1,39	0,98	0,96
14	2,04	1,04	1,04
21	1,36	1,02	0,97

Tabela 4 – Resultados obtidos pelo ensaio de compressão de corpos de prova de argamassa.

Fonte: Autores, 2019.

É possível observar, com os valores de resistência obtidos, que a argamassa álcali-ativada apresenta resistência inferior a argamassa convencional, e os testes mostras que para os ensaios 01 e 02, alcançaram resistências equiparadas.

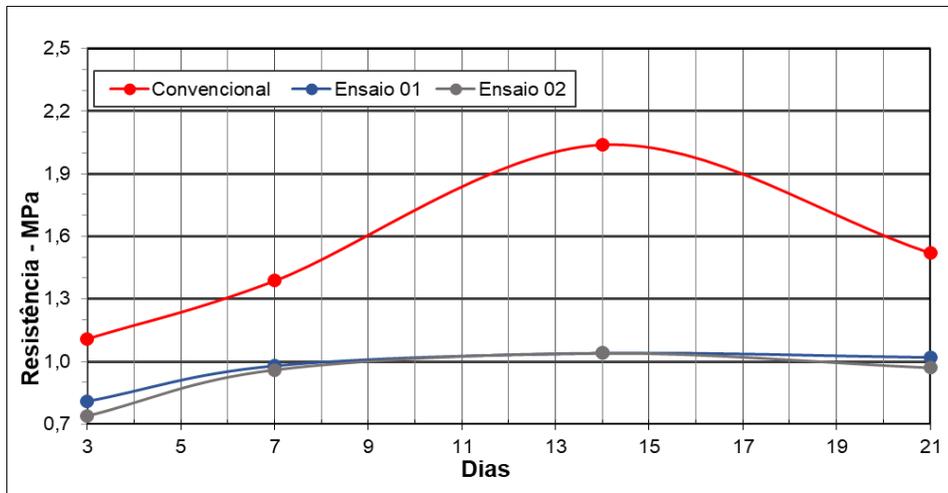


Figura 6 – Resistência a compressão de argamassa em quatro idades diferentes.

Fonte: Autores, 2019.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados do tempo de pega, os valores podem ser comparados a alguns tipos de cimento, tendo atingido o início de pega em tempo igual ou superior a uma hora e fim de pega inferior a 10 horas. Enquanto o teste de consistência Flow-Table possibilitou avaliar o fluxo da argamassa visando identificar os índices de consistências, com resultados variando 50 mm entre os ensaios.

Para tanto, os ensaios realizados de dosagem e os testes feitos em argamassa fresca com o novo aglomerante revelam a possibilidade de seu uso em assentamento e revestimentos, sendo um material que deve seguir à risca a dosagens padronizadas devido a facilidade de alteração das propriedades quando incorporado materiais de forma aleatória.

Outro fator que corrobora com a aplicação desse aglomerante na construção civil é seu baixo impacto ambiental, onde sua produção baseia-se no reaproveitamento de materiais da indústria da cerâmica vermelha e seu uso reduz a utilização de cimento, que requer muita energia em sua produção, emitindo enormes quantidades de CO₂ na atmosfera, enquanto o uso de aglomerante álcali-ativado utiliza como meio de reação um ambiente químico para gerar calor.

Dessa forma, o aglomerante possibilita a redução do impacto ambiental causado pela construção civil, possibilitando a reutilização de materiais evitando seu descarte e reinserindo-o no ciclo da construção civil.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16607**: Cimento Portland — Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

WANG, B.; XU, S.; LIU, F. **Evaluation of tensile bonding strength between UHTCC repair materials and concrete substrate**. Construction and Building Materials, v. 112, p. 595–606, 2016.

MAJIDI, B. Geopolymer technology, from fundamentals to advanced applications: a review. **Materials Technology**, v. 24, n. 2, p. 79-87, 2009.

GERALDO, R. H. et al. **Alkali-activated binder containing wastes: a study with rice husk ash and red ceramic**. Cerâmica, v. 63, n. 365, p. 44–51, 2017.

FAHIM HUSEIEN, G. et al. **Geopolymer mortars as sustainable repair material: A comprehensive review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 80, n. May, p. 54–74, 2017.

MURTA, F. L. **Produção de argamassas a partir da ativação alcalina de metacaulim e de resíduo de tijolo moído por cales virgem e hidratada**. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro-UENF, 2008.

CASSOL, G. **Caracterização e utilização do resíduo de cerâmica vermelha como material pozolânico em matrizes cimentantes**. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, 2015.

MATOS, S. R. C. **Desenvolvimento de Argamassa Álcali-Ativada para Utilização em Sistemas de Reparo com Incorporação de Cinza Agroindustrial**. Universidade Federal da Bahia – UFBA. Escola Politécnica. Salvador, 2018.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acidez 1, 2, 5, 6, 7, 8, 33

Agregado miúdo 36, 45, 46, 47, 97, 105, 107, 112

Álcali-ativado 103, 109, 110, 111

Análise por elementos finitos 165, 186

ANSYS 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 177, 178, 180, 184, 185, 186

Argamassa 65, 88, 94, 97, 102, 103, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112

Asphalt mastic 49, 50, 51, 55, 61, 62

Asphalt mixture 49, 50, 51, 52, 53, 60

B

Benefícios 10, 11, 37, 93, 94, 163, 248

Binder 49, 50, 51, 52, 53, 55, 57, 58, 59, 60, 76, 103, 104, 112

C

Cerâmica vermelha 65, 75, 103, 104, 105, 111, 112

Characterization 53, 54, 76, 77, 79, 81, 83, 85, 89

Civil construction 2, 77, 79, 80, 86, 87, 103, 104, 155, 156, 241

Coco 36, 37, 38, 39, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 48

Concreto 28, 36, 38, 39, 45, 46, 47, 65, 76, 88, 89, 90, 91, 92, 96, 97, 98, 101, 102, 104, 113, 121, 126, 131, 137, 159, 162, 163, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 190, 195, 207, 208, 210, 211, 213, 216, 218, 220, 221, 223, 225, 232, 233, 234, 239, 240

Construção civil 1, 7, 8, 37, 47, 63, 65, 75, 89, 103, 104, 105, 111, 137, 155, 163, 165, 241, 242, 243, 245, 249, 251, 252, 253, 254

Contaminação 2, 6, 10, 24, 25, 26, 32, 34, 152

D

Danos 10, 13, 15, 18, 24, 125, 130, 134, 136, 137

Densidade 17, 115, 117, 121, 128, 138, 139, 140, 152

E

Enchente 125, 127, 128, 129, 131, 133, 134, 135

Estrada 10, 21, 135

F

Filler 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 84, 93, 95

G

Gerenciamento de riscos 125

H

Hidráulica 113, 124

Hidrologia 23, 113

I

Impactos 1, 3, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 33, 34, 37, 104, 125, 127, 130, 135, 138, 140

Impressão 3D 63, 65, 66, 68, 74

Inundação 113, 130, 135

J

Jazigos 25, 27, 28, 29

L

Litoral 6, 138, 153

M

Manufatura aditiva 63

Massa cerâmica 63, 73

Matriz 10, 11, 12, 13, 22, 24, 26, 27, 31, 32, 33, 34, 65, 97, 159

Meio ambiente 2, 11, 14, 19, 21, 22, 23, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 103, 137, 139, 152, 153, 163

N

New materials 77

P

Patologia da construção 125

Pavimento intertravado 90, 91, 92, 96, 102

Piscinão 113

Polição 2, 6, 14, 22, 24, 25, 26, 28, 32, 34, 37, 145

População 10, 13, 14, 15, 17, 21, 25, 26, 33, 35, 118, 125, 127, 128, 129, 130, 131, 134, 135, 136, 138, 139, 140, 141, 143, 144, 145, 146, 147, 150, 152, 153

Precipitação 1, 2, 3, 4, 116, 129

Pressão 24, 27, 32, 68, 138, 152, 234

Processing 77, 78, 79, 80, 88, 89

R

RCC 63, 65

Resíduo de construção civil 63

Resistência à compressão 36, 39, 46, 47, 63, 65, 69, 70, 71, 90, 92, 95, 96, 98, 99, 100, 101, 161

Riscos 15, 17, 24, 25, 30, 32, 33, 125, 127, 128, 136

S

Saúde 5, 8, 17, 24, 25, 26, 29, 30, 34

Sílica ativa 90, 93, 95, 96, 97, 99, 101

Slate waste 77, 80, 82, 83, 84, 87, 89

Soluções construtivas 63, 155

Sustentabilidade 102, 103, 137, 152, 163, 255

T

Taipa de pilão 155, 156, 157, 158, 159, 161, 162, 163, 164

V

Variáveis 10, 12, 48, 165, 166, 169, 172, 174

Vigas em concreto armado 165, 168, 174

ENGENHARIA CIVIL:

Demandas sustentáveis e
tecnológicas e aspectos ambientais 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 




Atena
Editora

Ano 2022

ENGENHARIA CIVIL:

Demandas sustentáveis e
tecnológicas e aspectos ambientais 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 




Atena
Editora

Ano 2022