

**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](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto: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**

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

*Data de aceite: 01/08/2022*

*Data de submissão: 21/06/2022*

### **Márcia Silva de Araújo**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
DAMEC  
Curitiba - Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/5114251476191021>

### **Gabriel Elias Toledo Ferreira**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
DACOC  
Curitiba - Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/6579844692926494>

### **José Alberto Cerri**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
DACOC  
Curitiba - Paraná  
<http://lattes.cnpq.br/5969194630840866>

**RESUMO:** Em busca de alternativas sustentáveis ao cimento Portland, um dos aglomerantes promissores é baseado na álcali-ativação de materiais com elevado teor de sílica. No Brasil, dentre os componentes dos resíduos de construção civil (RCC), a fração vermelha (FV) é composta por produtos cerâmicos, a qual predomina em relação à fração cinza. Resíduos que compõe fração vermelha como: tijolos, telhas, louças sanitárias e até solo de escavação são derivados de argilo-minerais e tem potencial para serem ativados alcalinamente, quando finamente moídos. Paralelamente aos estudos sobre cimento álcali-ativado, é crescente o

número de empresas em diversos países, que tem investido na produção de impressoras 3D de grande porte e em soluções construtivas utilizando essa tecnologia. A proposta deste trabalho é adaptar uma massa à base de pó de bloco cerâmico ativada com hidróxido de cálcio e adicionar argila com silicato de sódio, para adequá-la à manufatura aditiva por extrusão de massa. A capacidade de plasticização da argila foi avaliada pelo método de Pfefferkorn e por curvas de força versus deslocamento, obtidas em uma máquina universal de ensaios. Nessa máquina foi acoplada um aparato de extrusão sobre uma mesa de deslocamento 3D para obtenção de peças impressas. Foram também realizados ensaios de resistência à compressão axial em corpos de prova cilíndricos após 3 dias de cura. Bastaram 10% de argila para tornar a composição, de FV com cal, fluída o suficiente para impressão 3D. Foi verificada uma correlação linear entre a força de escoamento da massa e a quantidade de silicato na suspensão de argila. Os resultados de resistência mecânica à compressão dessa cerâmica atendem aos requisitos da norma brasileira de alvenaria de vedação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Impressão 3D. Manufatura aditiva. Massa cerâmica. Resíduo de construção civil. RCC.

### CERAMIC PASTE MADE OF BUILDING WASTE FOR EXTRUSION-BASED 3D PRINTING

**ABSTRACT:** In search of sustainable alternatives to Portland cement, one of the promising binders

is based on the alkali-activation of materials with high silica content. In Brazil, among the components of construction and demolition waste (CDW), the red fraction (RF) is composed of ceramic products and prevails over the gray fraction. Products such as bricks, tiles, sanitaryware, and even excavation soil are derived from clay minerals and have the potential to be alkaline activated when finely ground. In parallel with the studies on alkali-activated cement, the number of companies, in several countries, which have invested in the production of 3D big printers and in solutions based on this technology has increased. The purpose of this work is to adapt a ceramic brick powder-based paste activated with calcium hydroxide by adding clay and sodium silicate, to use it in additive manufacturing by paste extrusion. The plasticization capacity was evaluated by the Pfefferkorn method and by force versus displacement curves, obtained by a universal testing machine to which an extrusion apparatus was attached to a 3D dislocation table to obtain printed parts. Compressive strength tests were also performed on cylindrical specimens after 3 days. 10% clay was enough to make the RF with lime composition fluid enough for 3D printing. A linear correlation was verified between the force edge to slip and the amount of silicate in the clay suspension used. The mechanical strength results of this ceramic have reached the Brazilian masonry standard requirements.

**KEYWORDS:** 3D printing. Additive Manufacturing. Ceramic paste. Building waste. CDW.

## 1 | INTRODUÇÃO

Apesar de todos os esforços da indústria cimenteira mundial para mitigar a liberação de  $\text{CO}_2$ , esse fato é inerente ao processo devido a descarbonatação do calcário, principal matéria-prima na fabricação de cimento. Outro componente do processo que libera  $\text{CO}_2$  é a queima de combustíveis fósseis, de resíduos industriais ou agrícolas, esses dois últimos utilizados no processo de co-geração. Alternativas ainda experimentais, incluem o direcionamento das emissões das chaminés dos fornos de clinquerização para fotobiorreatores com algas que fixam o  $\text{CO}_2$  no processo de fotossíntese. Esse processo fixa 2 toneladas de  $\text{CO}_2$  para tonelada de alga, as quais podem ser aproveitadas no manejo para produção de ração animal, fertilizantes ou como fonte de energia para fornos industriais. Dessa forma, esse setor industrial é responsável por 7% do  $\text{CO}_2$  gerado no planeta e, cerca de 2,6% no Brasil (CIRILO, 2019; ISTO É DINHEIRO, 2021).

Tendo em vista este cenário, a busca por materiais cimentantes alternativos de baixo carbono tem sido intensificada devido ao contexto da crise climática, tais como cimentos verdes baseados na conversão de resíduos em material cimentante. Um aglomerante alternativo ao cimento Portland são os sistemas geopoliméricos, desenvolvidos e patenteados por Davidovits (2013). Esse cimento apresenta desempenho superior ao cimento Portland, tais como: redução nas emissões de  $\text{CO}_2$ , elevada resistência a altas temperaturas, resistência química ao ataque de sulfatos e alta durabilidade (McLELLAN *et al.* 2011; ZAKKA, LIM e KHUN, 2021).

A ação pozolânica de matérias-primas ou resíduos com elevado teor de silício já é amplamente estudada. O cimento romano era confeccionado por meio da mistura

de cal, cinza vulcânica e água. O próprio nome pozolana advém da região italiana de onde se retirava a melhor matéria-prima para confecção de concreto, nos arredores de Pozzuoli. Entretanto, quando tal material se encontrava indisponível, a recomendação era que fossem utilizadas peças cerâmicas moídas (BLEZZARD, 2001). Matias *et al* (2014) reportam também que nas inspeções da argamassa de antigas construções romanas foi detectada a presença de argila tratada termicamente. Torgal e Jalali (2009) afirmam que todo material com alto teor de sílica é um potencial precursor de geopolímeros.

Uma fonte de material silicoso, de baixo custo, pode ser obtida nos resíduos de materiais cerâmicos de olarias, mas principalmente oriundo da fração vermelha dos resíduos de construção civil (RCC). Segundo Augusto Junior (2020) ao analisar estudos em diversos estados do Brasil, foi possível concluir que a fração vermelha do RCC, composta por resíduos de cerâmica vermelha, representa em média, cerca de 30% da composição. Segundo Garcia *et al.* (2015) estima-se que, por perdas, nos canteiros de obras e nas empresas cerâmicas, sejam gerados anualmente no Brasil, entre 4 e 6,5 milhões de toneladas de fração vermelha. Esses valores mostram o potencial desse resíduo como matéria-prima para produção de cimentos álcali-ativados, sendo uma solução tecnicamente viável também na gestão dos RCC.

A ativação alcalina de resíduos cerâmicos silicoso ou alumino mostra-se viável em diversos estudos (MACIOSKI, 2017, BEZERRA, 2014, HWANG *et al.*, 2019). Tuyan *et al.* (2018) reportaram que amostras de cerâmica moída ativada com 10% de hidróxido de sódio, obtiveram 36,2 MPa de resistência à compressão. Outros autores como Hwang *et al.* (2019), Cwirzena *et al.* (2014) e Li *et al.* (2016) relatam também a formação de  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (CSH) quando íons de cálcio estão presentes no sistema, sugerindo que o ganho de resistência pode ser obtido por intermédio desse meio alcalino.

Apesar dos vários sucessos já relatados, a dificuldade de desenvolver materiais cerâmicos álcali-ativados consiste na alta variabilidade dos compostos, principalmente quando as fontes de sílica advêm de produtos cerâmicos moídos. Estudos como os de RASHAD (2013), de SOARES *et al.* (2022), de RAKHIMOVA e RAKHIMOV (2019) utilizam silicato de sódio ou hidróxido de sódio ou ainda hidróxido de potássio e, matérias-primas de alto valor, como o metacaulim, o qual dificulta a aplicação em larga comercial.

Um outro aspecto que deve ser analisado juntamente com os cimentos álcali-ativados, é o crescente desenvolvimento no cenário mundial da tecnologia de impressão 3D para edificações (ALL3DP PRO, 2022). A aplicabilidade desta tecnologia em várias situações confere um ponto de inflexão na construção civil ou até mesmo, tem sido definida com potencial para se tornar uma tecnologia disruptiva. Existem aplicações deste método construtivo com custo viável (ICON, 2019; ALQUIST, 2022), embora no outro extremo já foram construídas residências por impressão 3D, avaliadas em US\$ 1 milhão (ALL3DP PRO, 2022b).

Macioski (2017) mostrou ser possível obter matriz de fração vermelha com resistência

mecânica satisfatória por meio da álcali-ativação de resíduos cerâmicos com hidróxido de cálcio devido a formação de C-S-H. O tratamento térmico é uma etapa a ser considerada no processo de álcali-ativação para potencializar o desempenho da resistência mecânica à compressão. Esse estudo propõe a álcali-ativação de resíduos provenientes de blocos cerâmicos utilizando hidróxido de cálcio como reagente ativador, bem como a adequação do comportamento da massa para impressão 3D pela introdução de argila e silicato de sódio.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo foram utilizados pó de bloco cerâmico com dimensão de partículas menor que 0,15 mm, referenciado no restante do estudo como fração vermelha (FV), cal hidratada dolomítica CH-III, fornecido pela empresa Hidra, argila utilizada em olaria e, solução de silicato de sódio C-112, fornecido pela empresa Bushle and Lepper com composição 32,5 - 38%  $\text{SiO}_2$ , 14,5 - 19,1%  $\text{Na}_2\text{O}$  e 51,20 - 53,00 % em peso de água, com relação molar [ $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ] entre 2,12 e 2,31 p/p. Os materiais são os mesmos utilizados no estudo de álcali-ativação por cal hidratada realizado por Macioski (2017), com exceção da argila e do silicato de sódio que foram adicionados para dar extrusabilidade a massa.

A análise da composição química por meio de espectroscopia de fluorescência de raios X (FRX) da FV e da cal foi realizada por Macioski (2017). Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Óxidos	FV* (%)	cal* CH-III (%)	Argila (%)
$\text{SiO}_2$	52,6	1,3	59,9
$\text{Al}_2\text{O}_3$	30,0	0,1	34,3
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	8,4	0,3	-
$\text{TiO}_2$	1,7	-	0,02
$\text{K}_2\text{O}$	0,9	-	0,18
$\text{MgO}$	0,8	25,2	-
$\text{CaO}$	0,5	46,4	-
$\text{SO}_3$	< 0,1	< 0,1	0,35
$\text{MnO}$	< 0,1	< 0,1	-
$\text{ZrO}_2$	< 0,1	-	-
$\text{Na}_2\text{O}$	< 0,1	-	-
Cl	-	< 0,1	-
$\text{K}_2\text{O}$	-	< 0,1	-
$\text{SrO}$	-	< 0,1	-
$\text{P}_2\text{O}_5$	-	< 0,1	-

Tabela 1 - Composição química por FRX

\*Fonte: Macioski (2017)



As composições e respectivos teores de água utilizados no experimento para definir o procedimento de mistura mais eficientes estão apresentados na Tabela 2.

	<b>FV (g)</b>	<b>Argila (g)</b>	<b>Cal (g)</b>	<b>Restante adicionado (g)</b>	<b>Total (g)</b>
Mistura a seco	0,00	0,00	57,93	49,60	107,53
FV úmida e Argila seca	37,70	0,00	58,17	11,69	107,56
FV seca e Argila dispersa	0,00	11,91	59,25	36,50	107,66
FV úmida e Argila dispersa	37,08	11,92	58,89	0,00	107,89

Tabela 2 - Quantidade de água adicionada a cada componente da pasta

Após o estudo do método de mistura, as suspensões de argila em silicato de sódio foram estudadas quanto ao comportamento reológico utilizando um viscosímetro Brookfield DV-DIII. A análise foi realizada com soluções contendo 60 % de argila, com adições de silicato de sódio que variaram de 0,11 % a 1,5 % em massa em relação à parcela de argila.

No preparo das massas foi usada uma argamassadeira para garantir homogeneidade. As composições preparadas têm as proporções indicadas no Tabela 3.

	<b>Argila (g)</b>	<b>H<sub>2</sub>O na Argila (g)</b>	<b>Cal (g)</b>	<b>H<sub>2</sub>O de Hidratação (g)</b>	<b>FV (g)</b>	<b>Silicato de Sódio (%)</b>	<b>H<sub>2</sub>O Faltante (g)</b>
1	28,45	18,72	115,60	96,09	255,96	0	57,19
2	28,45	18,91	115,60	91,29	255,96	0,11	61,80
3	28,45	19,24	115,60	94,04	255,96	0,21	58,72
4	28,45	19,21	115,60	92,77	255,96	0,21	60,02
5	28,45	22,36	115,60	91,75	255,96	0,32	57,89
6	28,45	19,35	115,60	92,49	255,96	0,42	60,16
7	28,45	18,79	115,60	93,62	255,96	0,42	59,59
8	28,45	19,32	115,60	91,06	255,96	0,49	61,62
9	28,45	19,47	115,60	92,02	255,96	0,63	60,51
10	28,45	18,98	115,60	91,22	255,96	0,74	61,80

Tabela 3 - Quantidade de água adicionada em cada componente da massa

Posteriormente, foi determinado o índice de plasticidade da massa com o Plasticímetro de Pfeifferkorn.

Os corpos de prova cilíndricos com 16 mm de diâmetro e 32 mm de altura foram usados no ensaio de resistência de compressão axial, realizado pela máquina universal de ensaio EMIC numa taxa de incremento de 0,25 MPa/s. O teste de Fisher foi usado para

comparar as médias com um nível de significância de 0,05 %, letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes.

Para imprimir as peças e captar as curvas força por deslocamento foi utilizada uma mesa de deslocamento 3D desenvolvida por Silva e Gnoato (2018), a qual está acoplada a uma máquina universal de ensaios EMIC DL 10.000, responsável por aplicar pressão de extrusão em um sistema reservatório-êmbolo.

Três requisitos devem ser atendidos para impressão por extrusão de massa: (a) extrusabilidade; (b) resistência mecânica; (c) qualidade da peça.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo a dar plasticidade a composição desenvolvida por Macioski (2017), composta FV e cal, para impressão 3D por extrusão, foi adicionada argila gorda, usada para a fabricação de tijolo, em substituição de 10, 20 e 30% de fração vermelha, o efeito sobre a plasticidade e a resistência mecânica pode ser observado na Figura 1 e na Tabela 4.

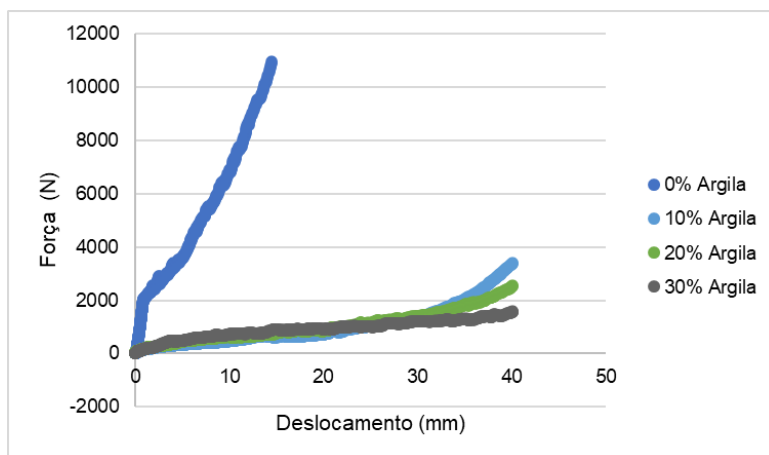


Figura 1 - Força versus deslocamento da massa no pistão da extrusora com diferentes adições de argila

Sem argila a composição apresenta exsudação de água e não tem extrusabilidade. A introdução de argila na composição reduz a força de extrusão de 92 a 88 % com relação a amostra sem argila, sendo que com 10% de argila já foi possível observar um platô de escoamento.

Argila (%)	Tensão Máxima (MPa)	Plasticidade
0	0,5*	3
10	0,96a	3,5
20	0,72b	3,1
30	0,86ab	3,3

Tabela 4 – Resultados da substituição de FV por argila

\* Macioski (2017).

Não houve uma tendência clara de aumento da resistência mecânica à compressão após 3 dias de cura com relação à quantidade de argila, ficando entre 0,7 e 1 MPa, sendo um pouco maiores do que o valor observado sem argila. O valor do teste de Chapelle da FV feito por Macioski (2007) foi de 300 mg  $\text{Ca(OH)}_2/\text{g}$  de amostra, a de argila gorda foi de 383,4 mg  $\text{Ca(OH)}_2/\text{g}$  de amostra. Apesar de maior o valor da argila, nem ela nem a FV são consideradas material pozolânico, visto ser o valor mínimo para tal igual a 436 mg de  $\text{Ca(OH)}_2$  por grama de pó cerâmico. A substituição de 10 % de FV por argila foi escolhida para dar continuidade ao estudo.

Os resultados obtidos na primeira etapa do estudo para definir o método de preparação dos compostos podem ser vistos na Tabela 5.

	Umidade (%)	Plasticidade	Resistência à compressão (MPa)
Mistura a seco	41,62	1,9	1,45 <sup>a</sup>
FV úmida e Argila seca	40,69	2,0	1,18ab
FV seca e Argila dispersa	37,92	2,1	1,29ac
FV úmida e Argila dispersa	40,15	2,1	1,20bc

Tabela 5 - Resultados das condições de mistura

Percebe-se que a mistura a seco apresentou a menor plasticidade associada a maior resistência à compressão. Entretanto, o teste F indicou que não há diferença estatística significativa entre essa amostra e as outras, isso porque a variância da amostra foi muito alta. Contudo, quando a FV é adicionada seca com a argila previamente umedecida, o material apresenta a melhor relação entre resistência à compressão e plasticidade. Portanto, este método foi considerado o mais adequado para obter as amostras para os experimentos de impressão. Uma vez que o método no qual se mistura FV seca com a argila dispersa foi o escolhido, para melhorar ainda mais o efeito da argila, foi definido utilizar a suspensão de argila defloculada com silicato de sódio. Assim, foi necessário determinar o comportamento reológico em função da concentração de silicato de sódio, cujos resultados são apresentados na Figura 2.

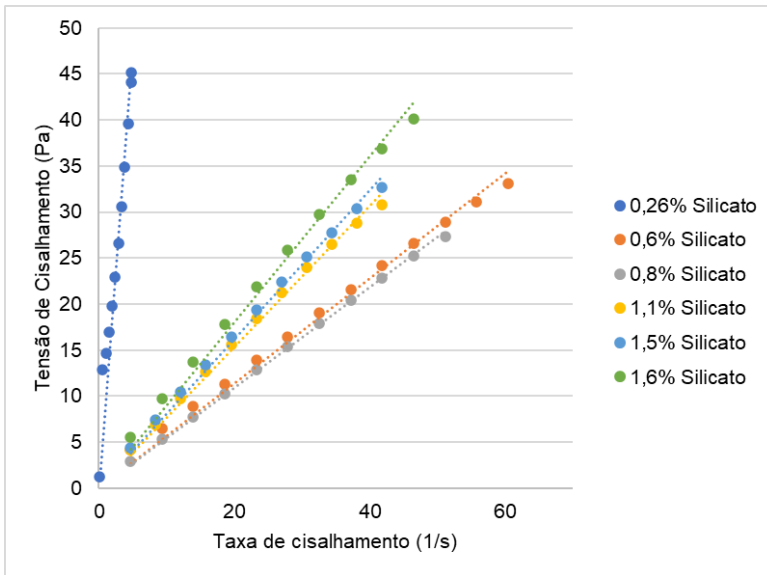


Figura 2 - Comportamento reológico de suspensão de argila com silicato de sódio

Todas as suspensões apresentaram comportamento de fluido Newtoniano, visto que apresentaram uma relação linear entre tensão de cisalhamento ( $\tau$ ) e taxa de cisalhamento ( $dv/dy$ ), definida pela Equação 1.

$$\tau = \mu \frac{dvx}{dy} \quad (1)$$

As composições que apresentaram menor viscosidade ( $\mu$ ) foram as de 0,8% e 0,6% de silicato de sódio em relação à massa de argila, como pode ser constatado na Tabela 6.

Silicato de Sódio (%)	Viscosidade (Pa.s)	R <sup>2</sup>
0,26	9,4636	0,9901
0,6	0,5692	0,9985
0,8	0,5447	0,9998
1,1	0,7683	0,9990
1,5	0,8101	0,9991
1,6	0,9004	0,9983

Tabela 6. Viscosidade e coeficiente de correlação (R<sup>2</sup>) calculadas a partir das retas apresentadas na Figura 2

Antes da impressão foi medido o índice de plasticidade Pfefferkorn, apresentado na Tabela 7, a qual também mostra os valores de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos maciços após cura por 3 dias.

Silicato de Sódio (%)	Plasticidade Pfefferkorn	Resistência à compressão (MPa)
0	5,33	1,64 a
0,11	5,71	2,62 b
0,31	5,71	-
0,42	4,53	1,89 ac
0,63	2,50	2,12 c
0,74	4,44	2,54 bc

Tabela 7 - Resultados do efeito do silicato de sódio

As amostras com 0,63 e 0,74 % de silicato de sódio apresentaram menores valores de plasticidade da massa fresca, sendo o ideal entre 3 e 5. Os valores de resistências mecânicas após 3 dias de cura das amostras 0,42, 0,63 e 0,74 % foram considerados estatisticamente iguais. Não se esperava mudanças significativas de resistência à compressão, porque não houve mudança nas relações molares  $\text{SiO}_2/\text{CaO}$  (2,6),  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (3,0), nem  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$  (0,9). Entretanto, todas as amostras atenderam aos valores referenciais de resistência à compressão de 1,5 MPa da NBR 15270-1 / 2017, “Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria”.

Os primeiros testes de impressão mostraram a necessidade de deposição da massa com diâmetro de camada menor ao diâmetro do bico extrusor. Esse procedimento resultou em camadas achatadas durante a impressão para provocar estabilidade dimensional entre as camadas, conforme mostrado na Figura 3.

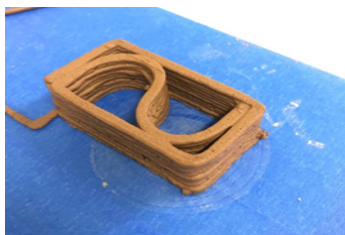


Figura 3 - Peça recém impressa com achatamento dos filamentos

Um aspecto relevante observado foi a exsudação da água durante o processo de impressão, devido ao empacotamento das partículas, como mostrado na Figura 4. A composição cerâmica carece ainda de um aditivo para reter a água da mistura durante a compressão, ou, de que seja usado um cabeçote de impressão com uma rosca sem fim para o transporte da massa até o bico.



Figura 4 - Perda de água na junção do êmbolo com o cilindro do reservatório

Simultaneamente à impressão do corpo de prova foi feito o registro da força necessária para deslocar o êmbolo a uma taxa constante, como explicado por Silva *et al.* (2018). As curvas obtidas podem ser vistas na Figura 5.

No início é possível observar um comportamento linear, até atingir a força necessária para o escoamento plenamente desenvolvido. Essa força de escoamento foi medida e plotada em relação a concentração de silicato de sódio, Figura 6, cujo comportamento resulta em uma relação linear.

Com o prosseguimento do ensaio, ocorre o aumento da força devido ao aumento do empacotamento das partículas e a exsudação da água, o que reduz a plasticidade. Pelos gráficos mostrados nas Figuras 5 e 6, a composição com 0,74% de silicato de sódio apresentou a menor força de escoamento, um resultado previsível, visto que está entre as menores viscosidades determinadas na curva de defloculação.

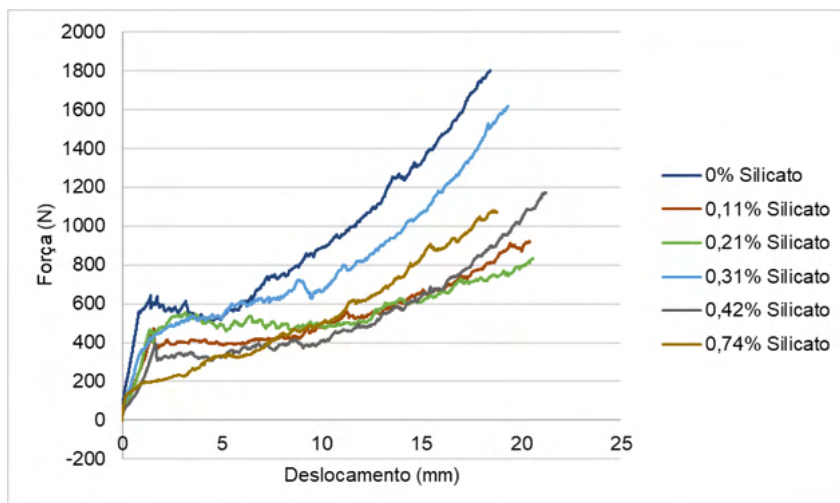


Figura 5 - Força versus deslocamento da massa no reservatório em função da concentração de silicato de sódio

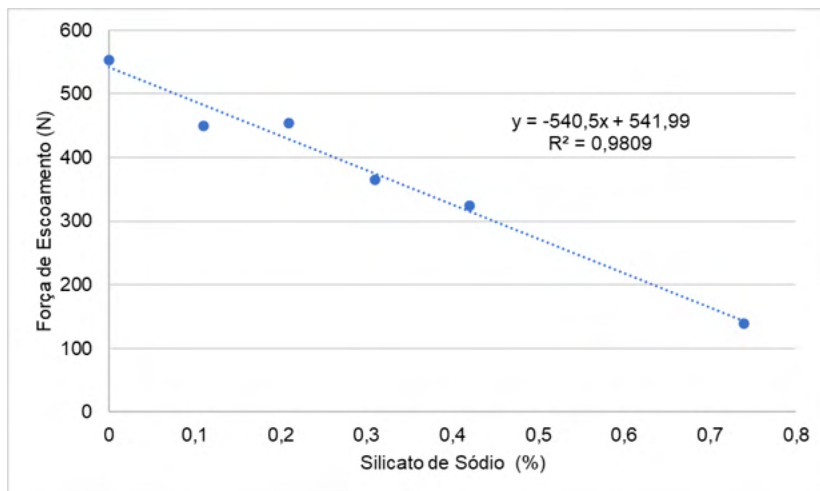
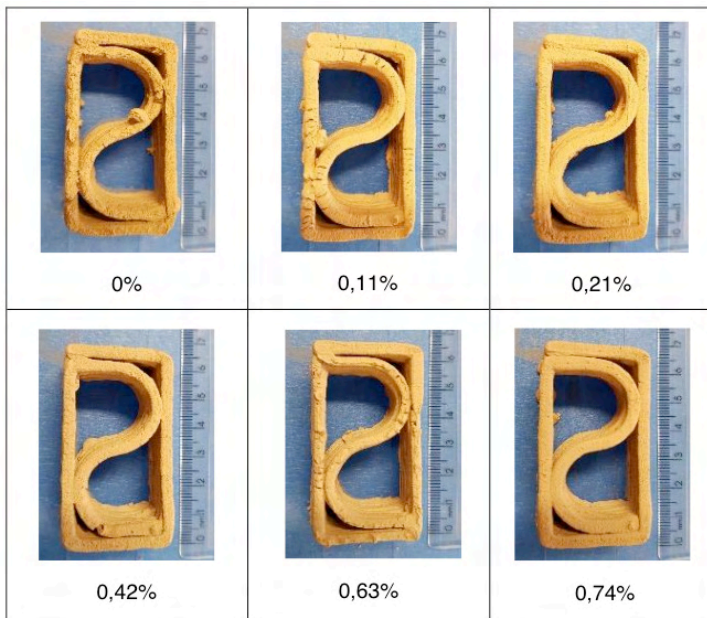


Figura 6 - Correlação entre força de escoamento e concentração de silicato de sódio

Quanto à qualidade das peças impressas, observa-se que após período de cura, um dos maiores desafios está em garantir a integridade das amostras. Depois da cura algumas amostras apresentam muitas fissuras, provavelmente devido a retração de secagem. As fotos das peças podem ser vistas no Quadro 1.

A composição com 0,74% de silicato de sódio foi a de melhor aparência, sem fissuras ou irregularidades superficiais, atingindo os três requisitos para a confeccionar as peças com a massa cerâmica: (a) extrusabilidade; (b) resistência mecânica e, (c) qualidade da peça impressa.



Quadro 1. Amostras impressas curadas com diferentes quantidades de silicato de sódio

## 4 | CONCLUSÕES

Quanto ao procedimento para preparação da massa de impressão 3D, por meio dos resultados obtidos conclui-se que é a homogeneização do pó de bloco cerâmico seco com a argila dispersa em água com silicato de sódio, potencializando o comportamento plasticizante.

A resistência mecânica à compressão das amostras com 10% de argila e silicato de sódio apresentaram todos os valores acima de 1,5 MPa.

Pode-se destacar o fato de que bastaram 10% de argila para tornar a composição de FV com cal fluida, o suficiente para uma adequada impressão 3D. Contudo, houve dificuldades em obter uma massa coesa, pois não se deve negligenciar a exsudação de água durante a extrusão, bem como a fissuração das massas após cura das amostras. Para obter uma peça, houve a necessidade de achatamento da camada impressa para melhorar a adesão e estabilidade das camadas subsequentes. Um dos resultados mais importantes foi a relação linear entre a força de escoamento e a quantidade de silicato durante o processo de impressão. A melhor composição obtida continha 0,74% de silicato de cálcio, a qual se encontra na faixa de menor viscosidade da suspensão de argila, entre 0,6 e 0,8%.



## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro da Fundação Araucária pela bolsa de iniciação tecnológica, ao técnico Felipe Perretto e aos estagiários de engenharia mecânica: Lucas Elias Caldart da Silveira e Bianca Bassetto Thiago pela ajuda.

## REFERÊNCIAS

ALL3DP PRO - **A rising trend: the top 8 companies building 3D printed houses**. Disponível em: [https://all3dp.com/2/best-companies-building-3d-printed-houses/?utm\\_source=push](https://all3dp.com/2/best-companies-building-3d-printed-houses/?utm_source=push) (2022). Acesso em 20/06/2022.

ALL3DP PRO b - **Luxury 3D Printed House Redefines Expectations**. Disponível em: <https://all3dp.com/4/luxury-3d-printed-house-redefines-expectations/> (2022). Acesso em 20/06/2022.

ALQUIST - **Project Virginia**. Disponível em: <https://www.alquist3d.com/projectva> (2022). Acesso em 20/06/2022.

AUGUSTO JUNIOR, J. - **Reciclagem e caracterização de resíduos cerâmicos de construção civil para aplicação como adição pozolânica como componente de clínquer visando novos cimentos**. 168f. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2020.

BEZERRA, I. M. T. **Desenvolvimento de corpos cerâmico utilizando ativação alcalina no resíduo da cerâmica vermelha**. 109f. Tese (doutorado), Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2014.

BLEZZARD, R.G. The history of calcareous cements, **Lea's Chemistry of cement and concrete**. In: HEWLETT, P. C. ed. Butterworth-Heinemann. Oxford, p 1 - 23, 2001

CIRILO, F., In: **ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland** "Redução na emissão de CO<sub>2</sub> é sinônimo de competitividade na indústria global do cimento. Disponível em: <https://abcp.org.br/reducao-na-emissao-de-co2-e-sinonimo-de-competitividade-na-industria-global-do-cimento/>, 2019. Acesso em 16/06/2022

CWIRZENA, A.; PROVISO, J. L.; PENTTALAA V.; HABERMEHL-CWIRZENA, K. - The effect of limestone on sodium hydroxide-activated metakaolin-based geopolymers. **Construction and Building Materials**, v. 66, p. 53-62, 2014.

DAVIDOVITS, J. - **Geopolymer Cement Review 2013**. Disponível em: <https://www.geopolymer.org/library/technical-papers/21-geopolymer-cement-review-2013/>. Acesso em 20 de mar. 2020.

GARCIA, E.; CABRAL JUNIOR, M.; QUARCIONI, V. A.; CHOTOLI, F. F. Avaliação da atividade pozolânica dos resíduos de cerâmica vermelha produzidos nos principais polos ceramistas do Estado de S. Paulo. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v.61, n.358, p. 251-258, jun. 2015.

HWANG, C. L.; YEHALAW, M. D.; VO, D.-H.; HUYNH, T.-P. Development of high-strength alkali-activated pastes containing high volumes of waste brick and ceramic powders. **Construction and Building Materials**, v. 218, p. 519-529, 2019.

ICON - ICON + New Story + ECHALE Unveil **First Homes in 3D-Printed Community**. Disponível em: <https://www.iconbuild.com/updates/icon-new-story-echale-unveil-first-homes-in-3d-printed-community>, 2019. Acesso em: 20/06/2022.

ISTO É DINHEIRO - **O concreto: terceiro maior emissor mundial de gases de efeito estufa**.

Disponível em: <https://www.istoedinheiro.com.br/o-concreto-terceiro-maior-emissor-mundial-de-gases-de-efeito-estufa/>, 2021. Acesso em: 16/06/2022

LI, H.; DONG, L.; JIANG, Z.; YANG, X.; YANG, Z. - Study on utilization of red brick waste powder in the production of cement-based red decorative plaster for walls. **Journal of Cleaner Production**, v.133, p. 1017-1026, 2016.

MACIOSKI, G. **Estudo da álcali-ativação de pó de blocos cerâmicos com cal hidratada**. 2017. p. 174. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

McLELLAN, B. C.; ROSS, P. W.; LAY, J.; RIESSEN, A. V.; CORDER, G. D. Costs and carbon emissions for geopolymer pastes in comparison to ordinary Portland cement. **Journal of Cleaner Production**, v.10, 2021.

MATIAS, G.; FARIAS, P.; TORRES, I. Lime mortars with ceramic wastes: characterization of components and their influence on the mechanical behavior. **Construction and Building Materials**. v.73, p 523 - 534, 2014.

RAKHIMOVA, N. R.; RAKHIMOV, R. Z. - Reaction products, structure and properties of alkali-activated metakaolin cements incorporated with supplementary materials - a review. **Journal of Materials Research and Technology**, 8(1), p. 1522 - 1531, 2019.

RASHAD, A. M. - Alkali-activated metakaolin: A short guide for civil Engineer – An overview. **Construction and Building Materials**, v. 41, p. 751 - 765, 2013.

SOARES J. C.; AZEVEDO A. S.; DIAS D. P. - Effect of temperature on metakaolin-quartz powder geopolymer binder with different combinations of silicates and hydroxides. **Case Studies in Construction Materials**. v.16, 2022.

TORGAL, F.P.; JALALI, S. **Ligantes obtidos por ativação alcalina**. Universidade de Minho, Departamento de Engenharia Civil. Guimarães, p. 152, 2009.

TUYAN, M.; ANDIÇ-ÇAKIR, Ö.; RAMYAR, K. Effect of alcali activator concentration and curing condition on strenght and microstructure of waste clay brick poder-based geopolymer. **Composites Part B: Engineering**, v.135, p. 242-252, 2018.

ZAKKA, W. P.; LIM, N. H. A. S.; KHUN, M. C. A Review: A scientometric review of geopolymer concrete. **Journal of Cleaner Production**, v.208, p. 1-24, 2021.

ZAWRAH, M. F.; GADO, R. A.; NELTIN, N.; DUCOURTIEUX, S.; DEVOILLE, L. Recycling and utilization assessment of waste fired clay bricks (Grog) with granulated blast-furnace slag for geopolymer production. **Process Safety and Environmental Protection**, p. 237-251, 2016.

## 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](http://www.atenaeditora.com.br) 

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

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

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 



  
Atena  
Editora


Ano 2022


# ENGENHARIA CIVIL:

Demandas sustentáveis e  
tecnológicas e aspectos ambientais 2

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

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

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

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 



  
Atena  
Editora

Ano 2022