

**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**

## AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE PAVERS PRODUZIDOS COM O USO DE SÍLICA ATIVA

*Data de aceite: 01/08/2022*

### **Martônio José Marques Francelino**

Professor Mestre, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE-UACSA

### **Fred Rodrigues Barbosa**

Pesquisador da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA

### **João Manoel de F. Mota**

Professor Doutor, Instituto Federal de Pernambuco – IFPE

**RESUMO:** O sistema de pavimentação intertravado de concreto apresentou um crescimento bastante expressivo no transcorrer dos últimos anos, todavia, em que pese seu emprego ter se tornado mais perceptível em calçadas, praças, parques, condomínios etc., quando bem dimensionado e controlado em sua produção, pode ter aplicações em áreas com solicitações de cargas mais severas, conforme prevê a NBR-9781:2013, ao estabelecer que a resistência característica de peças com dimensões (20 x 10 x 8) cm deve enquadrar-se nas classes 35 MPa ou 50 MPa. Portanto, o presente trabalho objetiva avaliar a influência da adição de sílica ativa no percentual de 8% na forma de adição às matrizes cimentícias e também na forma de substituição parcial da massa de cimento portland, em concretos de consistência seca, vibro-prensados e, por conseguinte, adequados à produção de Pavers. Nessa premissa, moldaram-se três famílias

de concretos com proporcionalidade, à saber: (i) de referência (sem adição); (ii) com 8% de adição por substituição parcial de cimento; (iii) 8% com adição pura (sem retirar cimento). Buscou-se avaliar a influência da sílica ativa no comportamento mecânico e absorção das peças recém fabricadas, de acordo com o preconizado nas normas técnicas. Os resultados apresentam reflexões consideráveis para tomada de decisões para o uso da tecnologia associada ao respectivo sistema construtivo de pavimentação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pavimento intertravado, sílica ativa, resistência à compressão.

### EVALUATION OF EFFICIENCY IN THE MECHANICAL BEHAVIOR OF PAVERS PRODUCED WITH THE USE OF SILICA FUME

**ABSTRACT:** The interlocking concrete pavement system has shown a very significant growth in recent years, however, although its use has become more noticeable on sidewalks, squares, parks, condominiums etc., when well sized and controlled in its production, may have applications in areas with more severe loads requests, as provided in NBR-9781: 2013, when it states that the characteristic strength of pieces (20 x 10 x 8) cm should fit in the classes 35 MPa or 50 MPa. Therefore, the present work aims to evaluate the influence of the addition of silica fume in the percentage of 8% in the form of addition to cementitious matrices and also in the form of partial replacement of the portland cement mass, in concretes of dry consistency, vibro-pressed, therefore suitable for Pavers production. In this premise, three families of

concrete with proportionality were molded, namely: (i) reference (without addition); (ii) with 8% addition by partial replacement of cement; (iii) 8% with pure addition (without removal of cement). The influence of the active silica on the mechanical behavior and absorption of the newly manufactured parts was evaluated, in accordance with the technical standards. The results present considerable considerations for decision making for the use of the technology associated with the respective paving system.

**KEYWORDS:** Interlocked pavement, active silica, compression strength.

## 1 | INTRODUÇÃO

O processo de fabricação e utilização da tecnologia de pavimentação intertravada teve, na década de 1940 na Alemanha, o mérito do desenvolvimento tecnológico dos primeiros equipamentos do tipo vibro-prensa para fabricação das peças de concreto em larga escala, conduzindo a excelente resistência mecânica e rigoroso controle dimensional, impulsionando, por conseguinte, o crescimento exponencial do sistema construtivo em todo o mundo a partir da década de 1970 (GODINHO,2009).

A partir deste ponto, o sistema relacionado ao pavimento intertravado apresentou um crescimento exponencial de seu emprego. Neste sentido, além de agregar uma importante contribuição estética e ecológica, possui ainda o condão de proporcionar menor consumo de energia e um bom aproveitamento das matérias primas locais, integrando-se aos ambientes de maneira harmoniosa. Todavia, esse incremento na demanda não ocorreu de forma linear, sendo mais acentuado em relação as peças com dimensões de (200 x 100 x 60) mm e (200 x 100 x 80) mm e com resistência característica à compressão de 35 MPa.

Este sistema pode ser contextualizado como um pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto justapostas em uma camada de assentamento, tendo os espaços entre as peças um preenchimento com material de rejuntamento. Com tais características, o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção (ABNT, 2013).

Além disso, sua estrutura típica pode ser observada na Figura 1, onde será possível identificar uma camada de rolamento, formada por peças pré-moldadas de concreto (pavers), capazes de suportar as cargas e as tensões provocadas pelo tráfego, protegendo a camada de base do desgaste por abrasão e propiciando uma certa estabilidade nos materiais constituinte (HALLACK,1998). Ainda segundo este autor, a capacidade de distribuição dos esforços da camada de revestimento depende essencialmente de sua espessura, formato e arranjo.

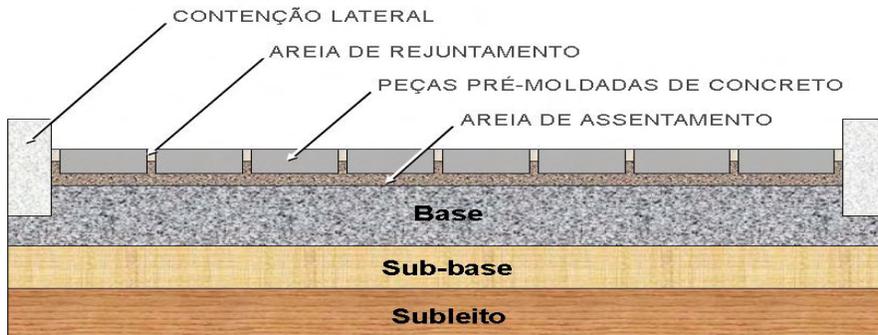


Figura 1 - Estrutura típica de um pavimento intertravado (HALLACK, 1998)

De uma forma geral, a especificação dos tipos de materiais que podem ser utilizados na fabricação e execução dos pavimentos intertravados, isto é, tipo de cimento, caracterização dos agregados miúdos e graúdos, aditivos, pigmentos e relação água/aglomerante, normalmente seguem as mesmas diretrizes estabelecidas para a utilização como insumo na produção de concretos.

Já no que diz respeito às características dimensionais destas, há que se destacar a necessidade de atendimento aos requisitos que seguem explicitados.

- a) Medida nominal do comprimento de no máximo 250 mm;
- b) medida real da largura de no mínimo 97 mm na área da peça destinada à aplicação de carga no ensaio de resistência à compressão;
- c) medida nominal da espessura de no mínimo 60 mm, especificada em múltiplos de 20 mm;
- d) tolerâncias dimensionais de  $\pm 3$  mm (comprimento, largura, espessura);
- e) o índice de forma (IF), relação entre o comprimento e a espessura da peça de concreto, sendo as peças de concreto utilizadas em vias com tráfego de veículos ou áreas de armazenamento, menor ou igual a 4.

Os requisitos de desempenho mecânico (resistência característica à compressão) devem ser determinados conforme estabelecido na NBR 9781/2013 e deve atender às especificações da Tabela 1.

Tipo de Solicitação	Resistência característica à compressão aos 28 dias (MPa)
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 50

Tabela 1 - Resistência característica à compressão

Ocorre que, uma observação nas condições de serviço das peças empregadas para a produção dos sistemas intertravados para pavimentação, acabou por evidenciar uma enorme dificuldade de que tais elementos atendam os requisitos normativos atualmente vigentes. Tal constatação tem atraído o interesse de pesquisadores e profissionais da cadeia produtiva, a fim de identificar-se os fatores responsáveis por tal situação e com isso apresentarem-se soluções que possam melhor atender às demandas do mercado.

Várias hipóteses têm sido levantadas, dentre as quais podem ser listadas: (i) limitação dos equipamentos de vibro-prensagem, (ii) características dos cimentos utilizados no processo, (iii) cura das peças, (iv) granulometria dos agregados etc.

Uma possível solução para esta problemática pode estar relacionada à tecnologia de utilização de adições minerais em matrizes cimentícias, particularmente em relação a possibilidade de utilização de sílica ativa nas misturas que darão origem aos pavers.

Sistemas binários com cimento portland e adições minerais têm sido amplamente discutidos e estudados pela comunidade científica de todo mundo nos últimos anos. Esse fato ocorre graças aos diversos benefícios que são promovidos em matrizes cimentícias em decorrência do incremento destes materiais. As adições minerais, por apresentarem elevada superfície específica, propiciam o preenchimento de pequenos espaços (refinamento dos poros), melhorando as propriedades mecânicas e a durabilidade das argamassas e concretos.

Assim, a porosidade é reduzida conduzindo a maior capacidade de resistir a agentes agressivos, como a carbonatação, lixiviação, eflorescência, salinidade, dentre outros (ROCHA, 2005).

Quando as adições minerais podem ser caracterizadas como materiais pozolânicos, o ganho nas matrizes cimentícias é ainda maior, haja visto que haverá um resultado combinado entre o refinamento dos poros proporcionado pela granulometria do material empregado, decorrente do efeito filler (fenômeno físico) e um efeito químico decorrente da reação da sílica da pozolana com o hidróxido de cálcio (portlandita) das matrizes cimentícias, produzindo, por conseguinte, C-S-H [silicato de cálcio hidratado (Figura 2)], responsável pelo desempenho mecânico destas matrizes (NEVILLE, 1997).

A este respeito, a NBR 12653/2014 define o material pozolânico como sendo um material silicoso ou silicoaluminoso que possui pouca atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos, calcinado e na presença da água, reage com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, formando compostos com ricas propriedades aglomerantes. Portanto, a vida útil das argamassas e concretos deriva da estrutura dos poros, já que são eles que controlam a entrada de umidade, oxigênio, CO<sub>2</sub>, sulfatos, cloretos, dentre outros (CERVO; GASTALDINI; ISAIA, 2001).

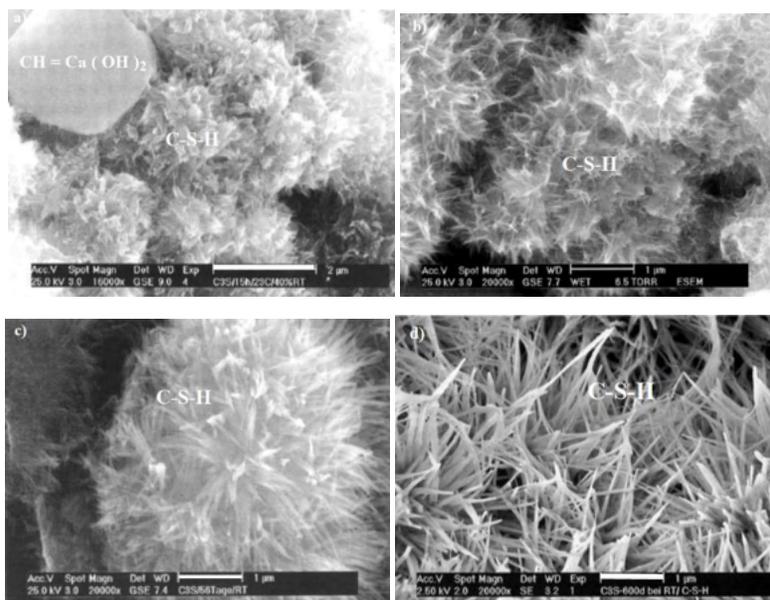


Figura 2 – C-S-H após: a) 15 horas, b) 7 dias, c) 56 dias, d) 600 dias

A utilização de pozolanas em compósitos cimentícios não se converte em ineditismo, tendo em vista que existem registros muito antigos desse uso, como é o caso das escavações arqueológicas realizadas na Grécia, durante os anos 70, que revelaram a existência de um reservatório de água com capacidade para 600 metros cúbicos construído com argamassa de cal e pozolana natural. Este reservatório de 600 a.C. esteve em uso até os anos 300 a.C., evidenciando o favorecimento das pozolanas, que mesmo diante de elevada condição de intemperismo, manteve-se estável ao longo dos anos (ACI, 1994 *apud* MONTANHEIRO *et al.*, 2002).

Diante de tantos benefícios, comprovados inclusive por meio do desempenho de elementos efetivamente em serviço, diversos pesquisadores vêm se dedicando ao estudo dos efeitos de diferentes elementos que possam ser caracterizados como pozolanas artificiais, a fim de determinar seu potencial efeito benéfico nas matrizes cimentícias.

Seguindo esta linha de pensamento, Gruber *et al.* (2001) realizou estudos em

concretos contendo adições minerais, particularmente metacaulim de alta reatividade (MCAR). Seus estudos consideraram variações nas relações água/aglomerante (0,3 e 0,4) e ainda a substituição parcial da massa de cimento portland por metacaulim nos teores de 0%, 8% e 12%, objetivando avaliar a influência desta adição nas condições de difusibilidade de cloretos. Apresentou como conclusão o fato de que a utilização do procedimento de substituição parcial da massa de cimento por metacaulim nos teores de 8% e 12% contribuíram para uma redução no coeficiente de difusão em 50% e 60%, respectivamente.

Outro exemplo desta linha de pesquisa pode ser observado no trabalho de Sabir *et al.* (2001) *apud* Medina (2011). Estes pesquisadores verificaram que concretos produzidos com 5% e 10% de substituição parcial da massa de cimento por MCAR apresentaram os maiores resultados de resistência à compressão aos 365 dias.

Também merece destaque a pesquisa realizada por Caldarone *et al.* (1994) *apud* Souza (2003). Os pesquisadores estudaram cinco tipos de mistura, considerando diferentes teores de substituição da massa de cimento por dois diferentes tipos de adições minerais: (i) sem adição; (ii) uso de MCAR nos teores de 5% e 10% e (iii) uso de sílica ativa nos teores de 5% e 10%. Neste estudo, todas as misturas foram produzidas com a mesma relação água/(cimento+adição), que foi de 0,40. A Figura 3 apresenta os resultados obtidos e permite observar os acréscimos significativos evidenciados nas amostras contendo adições.

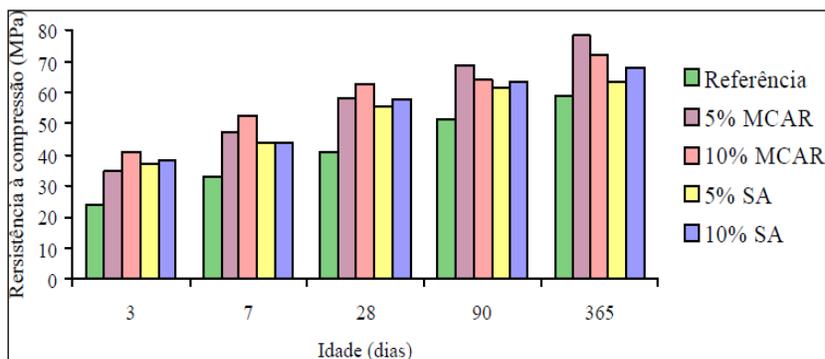


Figura 3: Comportamento da resistência à compressão de concretos com adições

Importante acrescentar que diversos pesquisadores acreditam que a variação do comportamento mecânico em amostras de concretos e argamassas contendo adições, encontra-se diretamente relacionada às características físicas, químicas e morfológicas da matéria prima de onde a adição mineral tenha sido originada.

A partir deste raciocínio, observa-se que os melhores resultados estarão atrelados a teores ótimos de utilização das adições minerais; contudo, tais teores irão variar não apenas com o tipo de adição e seu mecanismo de atuação (efeito filler ou pozolânico), mas

também em decorrência das características das matérias primas.

Encontrar o teor ideal de utilização das adições nas matrizes representa ação de elevado interesse para todos aqueles que se dedicam à utilização de matrizes cimentícias, particularmente quando se deseja obter propriedades particulares em relação à durabilidade.

A este respeito, Rocha (2005) explana que, no caso de utilização da adição mineral metacaulim, a sua dosagem ideal visando obter-se máximo desempenho em relação à resistência mecânica, situa-se entre 6% e 15% em relação a massa de cimento, entretanto, destaca que este percentual pode chegar até 50% em casos especiais, dependendo da aplicação e os demais materiais utilizados na mistura.

Mota *et al.*, (2011) também realizaram estudos buscando avaliar o teor ideal de adição de metacaulim em matrizes cimentícias para a produção de concretos e concluíram que as amostras com o teor de 8% de metacaulim apresentaram os melhores resultados em relação à resistência à compressão, à resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade.

Partindo-se dos resultados observados na literatura e da necessidade de melhoria de desempenho das peças de pavimento intertravado, decidiu-se promover estudos para a utilização de sílica ativa como adição mineral na produção de pavers, tomando-se como premissa a adoção do percentual ótimo de 8% em relação à massa de cimento.

Sílica, fumo de sílica condensada, sílica volatilizada, microsílica e fumo de sílica são alguns nomes que esta adição mineral recebe, mas o nome mais comum na literatura brasileira é sílica ativa. Este material possui partículas variando de 0,1 a 2 $\mu$ m de diâmetro, sendo que a esfera média é 100 vezes menor que a média do cimento.

Destaque-se ainda, que a sílica ativa será utilizada tanto na condição de adição à massa de cimento nas matrizes, como também na condição de substituição parcial da massa de cimento portland; e que as misturas produzidas serão avaliadas em relação à sua resistência à compressão e absorção.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODO

### 2.1 Materiais

O concreto utilizado nas peças foi constituído por cimento portland CP V ARI, agregados miúdo (areia natural de origem quartzosa e pó de pedra) e gráudo (origem granítica), sílica ativa, aditivo tensoativo e água. Tanto o cimento, quanto os agregados se constituem materiais que são amplamente usados na Região Metropolitana do Recife.

A água utilizada foi proveniente da rede de abastecimento da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa), tendo pH no ato de sua utilização próximo de 6,7.

A sílica ativa empregada na produção das misturas, segundo dados fornecido pelo

fabricante, possui finura blaine de 20.000m<sup>2</sup>/kg e massa específica 2,22kg/dm<sup>3</sup>.

## 2.2 Método

Para as análises objeto deste estudo foram produzidas 3 (três) famílias de concretos, conforme descrição da Tabela 2.

Família	Nomenclatura	Características
1	Ref.	Amostras de referência, sem qualquer adição de sílica ativa. Produzidas com T.U.M.* 1:1,88:1,13:1,3.
2	Sub.	Substituição de 8% da massa de cimento por massa equivalente de sílica ativa a partir do T.U.M.* das amostras de referência.
3	Ad.	Adição do equivalente a 8% da massa de cimento portland em sílica ativa para ser incorporada ao T.U.M.* das amostras de referência.

\*T.U.M – traço unitário em massa (cimento : agregado miúdo : agregado graúdo : relação água/cimento)

Tabela 2 – Características e nomenclatura das famílias de concreto produzidas

O concreto para a produção das peças foi confeccionado numa máquina de fabricação nacional modelo T-Prex (VP- 600).

Buscou-se prospectar a relação a/c (água/cimento) e traço ideal, formatando uma matriz possível diante de consultas a diversos trabalhos na literatura, concomitante com verificação visual concernente ao mais adequado empacotamento da mistura. O teor de argamassa variou entre 52% e 58%, no entanto, essa variação não influenciou significativamente a coesão das misturas.

Os insumos granulares e adições foram adicionados em massa pelo próprio equipamento. O aditivo plastificante foi diluído na água de amassamento. A homogeneização do compósito teve como tempo adotado 120 segundos, através de misturador com paletas horizontais, onde todos os insumos eram liberados para correia transportadora.

O tempo de mistura foi o mesmo para as 3 famílias de concretos produzidas. Esse tempo em comum foi necessário para que todos os traços tivessem o mesmo nível de homogeneidade. Assim, todos os compósitos das famílias estudadas tiveram consistência seca e vibro-prensada.

A cura das peças foi realizada em câmara úmida, sendo capeadas, imersas em água (Figura 4a) e ensaiadas aos 7 e 28 dias (Figura 4b). A Figura 4c apresenta parte das peças moldadas e prontas para serem transportadas para câmara úmida.



Figura 4a – Pavers imersos para posterior ruptura



Figura 4b – Ensaio de resistência à compressão



Figura 4c – Peças de concreto

A Tabela 3 mostra as proporcionalidades de cada família, sendo 6 (seis) exemplares

para verificação da resistência à compressão e 3 (três) para absorção.

Materiais	Unidades	Traço de referência	Adição pura (8%)	Substituição de cimento (8%)
Cimento CP V	kg	240	240	220
Areia Natural	kg	200	200	200
Brita 9,5	kg	270	270	270
Pó de Pedra	kg	250	250	250
Água	kg	72	72	72
Sílica Ativa	kg	-	20	20

Tabela 3 – Composição dos traços dos concretos

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 5 apresenta os resultados médios obtidos para o ensaio de resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias para cada uma das famílias analisadas, após o devido tratamento estatístico.

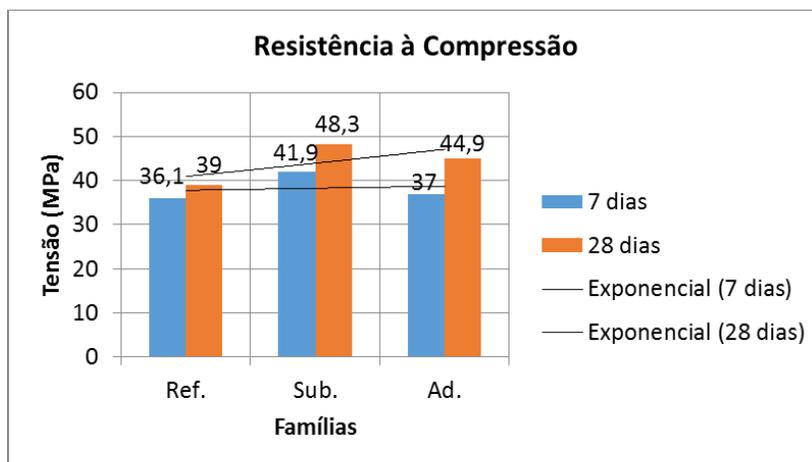


Figura 5 – Gráfico da resistência à compressão

Verifica-se ascendência na linha de tendência exponencial da resistência à compressão, devido a sílica, isso da família 1 (sem adição) para as famílias com sílica, aos 28 dias.

Aos 7 dias não se verificou efeito considerável entre a família de referência e as com adições, muito provavelmente pelas reações pozolânicas serem lentas, necessitando de maior tempo para se proceder. Tal situação é corroborada por diversos autores. Não obstante, rupturas em idades mais avançadas (90, 180, 360 dias por exemplo), poderiam

apresentar influência mais significativa da pozolana.

Sabendo que, possíveis não conformidades operacionais durante o processo de ensaio ocorrem, em que pese não terem sido detectadas, é possível refletir que, a amostra com adição pura (família 3) teve resistência inferior a de substituição parcial de cimento (família 2), devido relação a/c baixa (0,3), de tal forma que faltou água para hidratar parte do cimento, resultando, por conseguinte, em cimento anidro na mistura. Essa conclusão se embasa na necessidade de relação a/c para hidratar somente o cimento em aproximada 0,27 (hidratação dos grãos mais o gel que se precipita), donde o aumento significativo da superfície específica da família 3, provoca severa adsorção de água pelos grãos da pozolana, faltando água, provavelmente, para hidratar todo cimento, mitigando o potencial de resistência (MOTA, 2015).

Os resultados da absorção total por imersão aos 28 dias, estão mostrados na Figura 6.

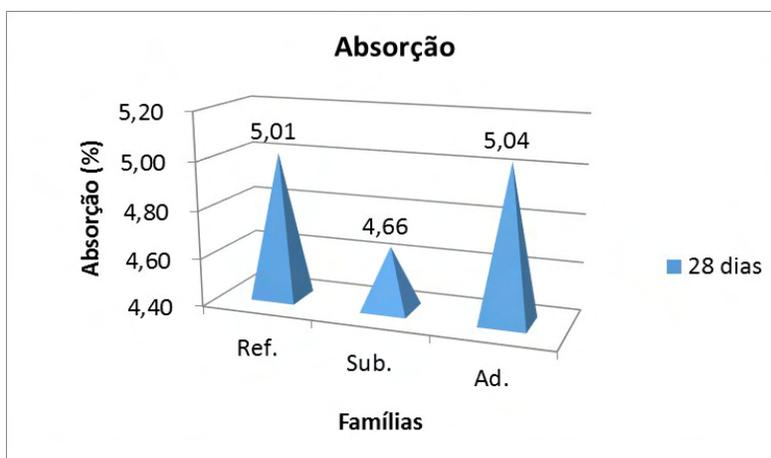


Figura 6 – Resultados médios de absorção aos 28 dias

Verifica-se que a média da absorção total por imersão aos 28 dias, corrobora com a tendência da resistência à compressão (melhor resultado da família por substituição), função do nível de porosidade nas devidas amostras. Assim, a família 2 mostra que a sílica influenciou, mesmo que timidamente, na redução da absorção (aproximadamente 7,5%), o que em idades mais elevadas, poderia se apresentar números mais significativos, e, fundamentalmente, da família com adição pura.

## 4 | CONCLUSÕES

Os dados apresentados neste trabalho permitem estabelecer conclusões delineadas e restritas aos materiais utilizados na presente pesquisa, não sendo cabível extrapolar-se

para uma generalização, pois o comportamento pode variar com a mudança na origem dos materiais que compõem o concreto e/ou, com o equipamento de vibro-prensagem.

Em que pesem tais condicionantes, pode-se relatar que a adição de sílica influenciou positivamente na resistência à compressão aos 28 dias das amostras ensaiadas. Este efeito foi observado de forma mais significativa na família 2, onde houve um incremento em quase 24% quando comparado com a família 1, sem adição.

Ademais, ainda foi possível verificar-se que a adição de sílica permitiu à família 2 reduzir os teores de absorção, quando comparados aos resultados observados para a família sem adição, mesmo que de forma tênue.

Dentre as famílias que foram produzidas com adição de sílica ativa, a com adição pura de sílica (família 3) apresentou menor desempenho nas duas propriedades analisadas. Portanto, é possível inferir que a maior superfície específica desta família, conduza à maior adsorção de água, propiciando que parte do cimento, fique sem se hidratar (cimento anidro), devido original reduzida relação a/c, adequada para o sistema deste material, contudo, aquém para satisfazer a adsorção dos agregados e hidratação de todos os grãos do aglomerante.

Não se pode deixar de sublinhar a importância em buscar realizar ensaios com idades maiores, uma vez que, as reações pozolânicas lentas, provavelmente ainda não se desenvolveram significativamente aos 28 dias.

Ademais, foi estabelecido teor para verificação da influência da sílica com 8% em relação à massa do cimento, devido à tendência deste número se apresentar próximo ao ideal pela literatura. Todavia, vale estudar outros teores objetivando conferir, com mais acurácia, maiores incrementos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a PRENORTE - Pré-fabricados do Nordeste Ltda pela contribuição com essa pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781/13: Peças de concreto para pavimentação-Especificação e métodos de ensaio**, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653: Materiais pozolânicos. Especificação**, 2014.

CERVO, T. C. **Influência da finura e do teor de pozolana na penetração de cloretos e na solução aquosa dos poros do concreto**. Santa Maria, Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2001.

HALLACK, ABDO. **Dimensionamento de Pavimentos com Revestimento de Peças Pré-Moldadas de Concreto para Áreas Portuárias e Industriais**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo – Escola Politécnica. São Paulo, 1998.

GRUBER, K.A.; RAMLOCHAN, T.; BODDY, A.; HOOTON, R.D; THOMAS, M.D.A. **Increasing concrete durability with high-reactivity metakaolim**, 2001.

GODINHO, D.P. **Pavimento intertravado: uma reflexão na ótica da durabilidade e sustentabilidade**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais - Escola de Arquitetura. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2009.

MEDINA, Engler Apaza. **Pozolanicidade do metacaulim em sistemas binário com cimento Portland e hidróxido de cálcio**. São Paulo. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.

MOTA, J. M. F. **Reforço de alvenaria resistente com argamassa armada e adição de metacaulim**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

MOTA, J.M.F.; DOURADO, K.C.; BARBOSA, F.R.; COSTA e SILVA, A.J.; SILVA, E.J.; CARVALHO, J.R. **Concretos Adicionados com Metacaulim como agente de mitigação da RAA**. IBRACON. Florianópolis, 2011.

MONTANHEIRO, T. J.; YAMAMOTO, J. K.; SANT' AGOSTINO, L. M.; KIHARA, Y.; SAITO, M. M. **Terras diatomáceas: uma pozolana natural na Bacia do Paraná, estado de São Paulo**. Revista do Instituto Geológico. São Paulo, 2002.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. editora PINI. São Paulo, 1997.

ROCHA, G. G. N. Caracterização microestrutural do metacaulim de alta reatividade. Belo Horizonte, 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais.

SOUZA, P. S. L. **Verificação da influência do uso de metacaulim de alta reatividade nas propriedades mecânicas do concreto de alta resistência**. Porto Alegre, 2003. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

## 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