

FORÇA, CRESCIMENTO E QUALIDADE DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL 2



HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
(ORGANIZADORES)

Atena
Editora
Ano 2021

FORÇA, CRESCIMENTO E QUALIDADE DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL 2



**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
(ORGANIZADORES)**

Atena
Editora
Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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 Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^ª Dr^ª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Dr^ª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfnas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

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

Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^ª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremona
Correção: Vanessa Mottin de Oliveira Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F697 Força, crescimento e qualidade da engenharia civil no Brasil
2 / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João
Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-789-5

DOI 10.22533/at.ed.895210802

1 Engenharia Civil. I. Holzmann, Henrique Ajuz
(Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.
CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

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.

APRESENTAÇÃO

No atual cenário mundial, realizar estudos nas mais diversas áreas do conhecimento é cada vez mais importante. Buscar aliar conceitos multidisciplinares é um dos grandes desafios aos profissionais, dentre os quais pode-se destacar os do nicho da engenharia civil. Estes profissionais necessitam correlacionar conhecimentos de projetos, à reutilização de resíduos e a prevenção e falhas.

Este livro traz artigos nas áreas de projetos, prevenção e melhoria de edificações; reciclagem e desenvolvimento de novos materiais e melhorias urbanas. Sendo esses temas de fundamental importância, pois englobam desde o planejamento ao ponto final de obras, a redução de custos e melhoria dos materiais empregados.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

PATOLOGIAS EM INSTALAÇÕES PREDIAIS HIDRÁULICAS E SANITÁRIAS

Vanuza Lorenzet Bonetti

Kéthlyn Scheguschewski

DOI 10.22533/at.ed.8952108021

CAPÍTULO 2..... 10

DEFORMAÇÃO LENTA DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO E SUAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Talita de Souza Oliveira

Ana Carolina Saraiva Cardoso

DOI 10.22533/at.ed.8952108022

CAPÍTULO 3..... 23

ANÁLISE DOS ESFORÇOS SOLICITANTES EM EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO DEVIDO AOS EFEITOS CONSTRUTIVOS

Meridiane Ferreira Barbosa

Hildo Augusto Santiago Filho

Fernando Artur Nogueira Silva

Renato Guilherme da Silva Pereira

Giane Maria Vieira de Lira

DOI 10.22533/at.ed.8952108023

CAPÍTULO 4..... 37

ANÁLISE COMPUTACIONAL DE VIGAS RETANGULARES DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS AO CISALHAMENTO COM PRFC

Maicon de Freitas Arcine

Nara Villanova Menon

Luiz Fernando Colusso

DOI 10.22533/at.ed.8952108024

CAPÍTULO 5..... 52

APLICAÇÃO DE REFORÇO TRANSVERSAL CONTÍNUO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO: COMPARAÇÃO COM ESTRIBOS CONVENCIONAIS

Andrei Lucas Müller

Abrahão Bernardo Rohden

Lúcio Flávio da Silveira Matos

DOI 10.22533/at.ed.8952108025

CAPÍTULO 6..... 77

ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: COLABORAÇÃO DO CONCRETO ENTRE FISSURAS

Isabela Cristina Ferreira Faria

Valquíria Claret dos Santos

Mirian de Lourdes Noronha Motta Melo

Valesca Donizeti de Oliveira

Paulo Cesar Gonçalves

DOI 10.22533/at.ed.8952108026

CAPÍTULO 7..... 94

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA ENTRE OS CONCRETOS AUTO-ADENSÁVEL E CONVENCIONAL

Anderson Renato Vobornik Wolenski

João Paulo Boff Almeida

André Luís Christoforo

Wallace Cavalcante Ferrão

DOI 10.22533/at.ed.8952108027

CAPÍTULO 8..... 106

ESTUDO EXPERIMENTAL DE SISTEMA DE ANCORAGEM POR CORDÃO DE FIBRAS DE CARBONO EM VIGAS REFORÇADAS À FLEXÃO COM PRFC

Adriano Vieira Risson

Nara Villanova Menon

Maicon de Freitas Arcine

Luiz Fernando Colusso

DOI 10.22533/at.ed.8952108028

CAPÍTULO 9..... 120

INFLUÊNCIA DE DIFERENTES TIPOS DE METACAU LIM APLICADOS EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO CIMENTO PORTLAND EM PASTA CIMENTÍCIA

André Valmir Saugo Ribeiro

Jéssyca Mendes da Silva

Alex Taira de Vasconcellos

Philippe Jean Paul Gleize

DOI 10.22533/at.ed.8952108029

CAPÍTULO 10..... 134

THERMAL DIFFUSION OVER A PORTLAND CEMENT CONCRETE GRAVITY DAM

Gabriel de Bessa Spínola

Edmilson Lira Madureira

Eduardo Morais de Medeiros

DOI 10.22533/at.ed.89521080210

CAPÍTULO 11..... 145

ESTABILIDADE GLOBAL DE PÓRTICOS PREENCHIDOS COM ALVENARIA

Luciano Carneiro Reis

Yuri Leandro Abbas Frazão

Ricardo Alberto Barros Aguado

Silas Pacheco Rodrigues Junior

Gabriel Meneses Souza

DOI 10.22533/at.ed.89521080211

CAPÍTULO 12..... 161

CONTRIBUIÇÃO A ANÁLISE DE PÓRTICOS METÁLICOS PREENCHIDOS COM

ALVENARIA

Luciano Carneiro Reis
Ana Caroline Braga Aquino
Ricardo Alberto Barros Aguado
Gabriel Meneses Souza
Silas Pacheco Rodrigues Junior
Yuri Leandro Abas Frazão

DOI 10.22533/at.ed.89521080212

CAPÍTULO 13..... 173

ELIMINADORES E BLOQUEADORES DE AR NAS INSTALAÇÕES PREDIAIS

Elenilton Santos Rocha
Manoel Camilo Moleiro Cabrera

DOI 10.22533/at.ed.89521080213

CAPÍTULO 14..... 182

ESTUDO DE CASO DE UMA VISTORIA EM UM VIADUTO

Andresa Luzia Corona Ancajima
Bruna Ventura Botoni
Maria Fernanda Quintana Ytza

DOI 10.22533/at.ed.89521080214

CAPÍTULO 15..... 197

ANÁLISE DO FLUXO DE TRÁFEGO DA INTERSEÇÃO ENTRE A AVENIDA DAS TORRES E A RUA BARÃO DO RIO BRANCO NA CIDADE DE MANAUS – AMAZONAS

Luiz Mauro Duarte Brandolt
Irauna Maiconi Rodrigues de Carvalho
Cristhian Vasconcelos Costa
Juliana Christine da Silva Granja

DOI 10.22533/at.ed.89521080215

CAPÍTULO 16..... 214

ESTUDO DE CAPACIDADE DO CANAL DA GALHETA (PORTO DE PARANAGUÁ)

Samuel Sembalista Haurelhuk
Amir Mattar Valente

DOI 10.22533/at.ed.89521080216

CAPÍTULO 17..... 235

OS PROCESSOS ENVOLVIDOS NA CONCEPÇÃO E EXECUÇÃO DE UM BARRACÃO PRÉ-MOLDADO DE CONCRETO ARMADO PARA ARMAZENAMENTO DE FERTILIZANTES

Vanessa da Silva das Flores Maltezo
Wallysson Machado Dias

DOI 10.22533/at.ed.89521080217

CAPÍTULO 18..... 247

AS TÉCNICAS DA SUSTENTABILIDADE AGINDO NO DESENVOLVIMENTO DE

PROJETO ARQUITETÔNICO

Ana Rita Kawauche Rodrigues da Silva

DOI 10.22533/at.ed.89521080218

CAPÍTULO 19.....271

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DO FILLER DA ESCÓRIA DE ACIARIA BSSF COMO ADIÇÃO EM CONCRETOS

Alisson Rodrigues de Oliveira Dias

Felipe Alves Amancio

Sarah Oliveira Lucas

Isa Lauren Ximenes de Sousa

Douglas Alexandre Lima

Helano Wilson Pimentel

Antônio Eduardo Bezerra Cabral

DOI 10.22533/at.ed.89521080219

CAPÍTULO 20.....284

CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DE CINZAS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR: ANÁLISE DE SUA EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE ALVENARIA

Paula Fernanda Guedes

Leandro Vanalli

Frank Kiyoshi Hasse

Guilherme Perosso Alves

Talita Cristina Rezende

DOI 10.22533/at.ed.89521080220

CAPÍTULO 21.....309

AVALIAÇÃO DE IMPLICAÇÕES QUÍMICAS DO USO DE LODO DE ETA (ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA) EM OBRAS DE ENGENHARIA

Felipe Fernandes Santana

Kenia Parente Lopes Mendonça

Rafael Rocha da Silva

Pedro Ignácio Meneghetti Scheid

DOI 10.22533/at.ed.89521080221

CAPÍTULO 22.....317

ANÁLISE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO E SUA ADEQUAÇÃO AO MERCADO DE TRABALHO

Carolina Souza Orro Freitas

Chrystian Cleiderson Ventura

Gabriela Rosa Oliveira

Gustavo Augusto Froes Cardoso

Karina Marques Maciel Silva

DOI 10.22533/at.ed.89521080222

SOBRE OS ORGANIZADORES329

ÍNDICE REMISSIVO.....330

CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DE CINZAS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR: ANÁLISE DE SUA EFICIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE ALVENARIA

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 16/11/2020

Paula Fernanda Guedes

Universidade Estadual de Maringá, Centro de
Tecnologia
Umuarama – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/3006852413156257>

Leandro Vanalli

Universidade Estadual de Maringá, Centro de
Tecnologia
Umuarama – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/7914246286490927>

Frank Kiyoshi Hasse

Universidade Estadual de Maringá, Centro de
Tecnologia
Umuarama – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/9718767420703380>

Guilherme Perosso Alves

Universidade Estadual de Maringá, Centro de
Tecnologia
Umuarama – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/4988164021159066>

Talita Cristina Rezende

Universidade Estadual de Maringá, Centro de
Tecnologia
Umuarama – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/1129748442793159>

RESUMO: A necessidade de economia e inovação no mercado da construção civil conduz à atenção no desenvolvimento de novas

metodologias construtivas e de novos materiais, sobretudo buscando-se eficiência e a redução da geração de resíduos para o meio ambiente. Assim, considerando que o concreto é um dos materiais mais empregados no mundo, o estudo da incorporação de resíduos em sua massa vem ganhando destaque em muitos centros de pesquisa, buscando-se a constituição de novos tipos de concreto que tenham suficiente desempenho mecânico e que sejam também sustentáveis. Nesse contexto, a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) é um material abundante oriundo da agroindústria, disponível em várias regiões, rico em sílica e com possibilidade de emprego em artefatos de cimento. Para tanto, o presente artigo apresenta uma investigação da viabilidade da incorporação da CBCA no concreto utilizado na produção de blocos de alvenaria em substituição parcial da areia natural e/ou do cimento. Realizou-se ensaios de caracterização da CBCA, como os de granulometria e de determinação do índice de atividade pozolânica, que indica sua capacidade de atuar como aglomerante e, também, como aspectos mais importantes da pesquisa, ensaios de resistência do concreto com diversas proporções de CBCA e de blocos de alvenaria produzidos com um dos traços. Os resultados mostram que é possível ocorrer ganho de resistência no concreto com a incorporação parcial de cinzas, evidenciando-se uma alternativa econômica e sustentável para a produção de blocos de concreto utilizados na Construção Civil.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade, Concreto com CBCA, Resíduo agroindustrial.

CONCRETE WITH INCORPORATION OF ASH FROM SUGARCANE BAGASSE: ANALYSIS OF ITS EFFICIENCY IN THE PRODUCTION OF MASONRY BLOCKS

ABSTRACT: The need for economy and innovation in the civil construction market leads to attention in the development of new construction methodologies and new materials, especially seeking efficiency and the reduction of waste generation for the environment. Thus, considering that concrete is one of the most used materials in the world, the study of the incorporation of waste in its mass has gained prominence in many research centers, seeking the constitution of new types of concrete that have sufficient mechanical performance and that are also sustainable. In this context, sugarcane bagasse ash (CBCA) is an abundant material from the agribusiness, available in several regions, rich in silica and with the possibility of being used in cement artifacts. To this end, this article presents an investigation of the feasibility of incorporating CBCA into the concrete used in the production of masonry blocks in partial replacement of natural sand and / or cement. Characterization tests of the CBCA were carried out, such as those of granulometry and determination of the pozzolanic activity index, which indicates its capacity to act as a binder, and also, as the most important aspects of the research, concrete strength tests with different proportions of CBCA and masonry blocks produced with one of the lines. The results show that it is possible to gain strength in the concrete with the partial incorporation of ash, showing an economical and sustainable alternative for the production of concrete blocks used in Civil Construction.

KEYWORDS: Sustainability, Concrete sugarcane bagasse ash; Agroindustrial waste.

1 | INTRODUÇÃO

A necessidade de economia e inovação no mercado da construção civil conduz à atenção no desenvolvimento de novas metodologias construtivas e de novos materiais, sobretudo buscando-se eficiência e redução da geração de resíduos para o meio ambiente. Assim, considerando que o concreto é um dos materiais mais empregados no mundo, o estudo da incorporação de resíduos em sua massa vem ganhando destaque em muitos centros de pesquisa, buscando-se a constituição de novos tipos de concreto que tenham suficiente desempenho mecânico e que sejam mais sustentáveis.

No entanto, para a sua produção, fundamental para a indústria da construção civil, é ambientalmente preocupante o elevado consumo de agregados, dentre eles, a areia, que é um recurso natural muito explorado e utilizado como agregado miúdo para dar volume para a massa cimentícia. A extração desse material aluvionar em rios vem sendo fortemente condenada por diversos setores da sociedade, pois promove alterações da profundidade e do curso dos rios, podendo causar mudanças de velocidade de escoamento das águas (Oliveira & Mello, 2007). Além disso, como consequência indireta, leva também à destruição da mata ciliar e afugento de animais (Annibelli & Souza, 2007).

Nesse contexto da sustentabilidade, impulsionado pela produção do combustível etanol, o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, seguido pela Índia (Bahurudeen, Vaisakh, & Santhanam, 2015), sendo que, na safra de 2019/2020, segundo

a Companhia Nacional de Abastecimento [CONAB] (2019), foram geradas 642.718,8 mil toneladas de cana moída. O maior estado brasileiro produtor de cana-de-açúcar é o de São Paulo com 52,30% da área plantada nacional (CONAB, 2016). Nessa forte indústria sucroalcooleira, um dos subprodutos gerados a partir da produção de açúcar, álcool e outros produtos, é o bagaço da cana-de-açúcar (BCA). Depois da cogeração de energia nas usinas sucroalcooleiras, processo em que o BCA é utilizado como combustível para as caldeiras na geração de energia, origina-se um resíduo denominado Cinza do Bagaço de Cana-de-açúcar (CBCA), que representa cerca de 0,62% do total de cana moída (Souto, 2010), que até o momento não possui valor econômico para a indústria. Conforme dados da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo [FIESP] e do Centro das Indústrias do Estado de São Paulo [CIESP] (2001), a cada tonelada de cana-de-açúcar processada são gerados 260 quilogramas de BCA e destes, após a queima, gera-se 6,20 quilogramas de CBCA.

No Brasil, segundo (Santos, Cândida, & Ferreira, 2010) pode-se dizer que a construção civil se evidencia por ser geradora de impactos ambientais (Tozzi, 2006), mesmo sofrendo uma desaceleração nos últimos anos, a quantidade de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) gerados a cada ano continua sendo significativa. Em 2017, foram coletados 45 milhões de toneladas de RCD no Brasil, sendo que na Região Sul foram coletadas 16.742 t/dia segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais [ABRELPE] (2018). Utilizando-se da afirmação de Souza, Paliari, Agopyan & Andrade (2004), entende-se que isso pode significar o desperdício de recursos naturais e a falta de áreas de disposição final ambientalmente adequada de rejeitos (Guerra, 2009).

Desse modo, visando-se contribuir com a diminuição dos impactos ambientais na indústria da construção e com a obtenção de um destino alternativo para um abundante resíduo agroindustrial, promissor no enriquecimento de matrizes de cimento (Athira, Bahurudeen, Sahu, Santhanam, & Lalu, 2020), o presente artigo aborda experimentalmente a incorporação de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA), material proveniente de fontes renováveis, em substituição parcial ao agregado miúdo (areia) e ao cimento, na produção de concretos utilizados na fabricação de blocos de alvenaria estrutural, avaliando a eficiência de seu emprego na construção de edificações mais sustentáveis.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Considerações gerais sobre a CBCA

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar é o resíduo inorgânico que permanece após a queima da matéria orgânica, transformada em dióxido de carbono (CO_2), água e dióxido de nitrogênio (NO_2). Sua composição não é necessariamente a mesma que a matéria mineral presente no bagaço, pois ocorrem perdas por volatilização e interações entre

os seus elementos constituintes (Aragão, 2009). De acordo com Souto (2010), a cinza residual apresenta poucos nutrientes minerais e de difícil degradação, não apresentando características favoráveis à utilização como adubo. Tal fato motiva a busca por aplicações que possam agregar valor ao subproduto que, devido a sua constituição predominante com dióxido de silício (SiO_2) e trióxido de alumínio (AlO_3), possui características físicas e químicas favoráveis a sua utilização como aditivo mineral ao concreto (Cordeiro, 2006). A cinza pode ainda, devido à sua granulometria, promover o efeito *filler* na matriz (Figura 1), aumentando a resistência devido a uma maior compactação da mistura (Santos, Vanderlei, Moraes, Rosina, & Balbino 2019).

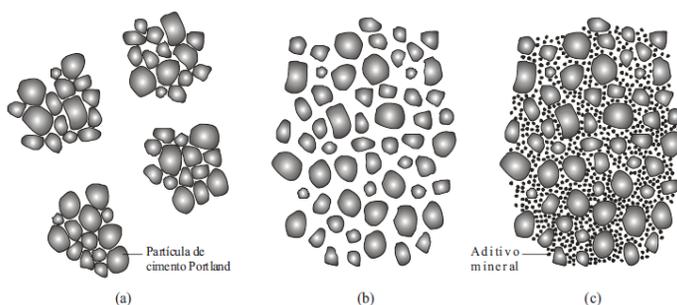


Figura 1 - Representação esquemática de partículas de cimento Portland em pastas sem aditivos (a), com aditivos superplastificante (b) e com superplastificante e aditivo mineral de elevada finura (c)

Fonte: Cordeiro (2006).

Na Figura 1 (a) tem-se uma pasta somente de água e cimento, cujas partículas encontram-se aglomeradas em função de forças atrativas de origem eletrostática. Desta forma, há grande probabilidade de se formarem vazios capilares e quantidades significativas de grãos de cimento não hidratados. Com o emprego do superplastificante, ocorre a defloculação e dispersão das partículas de cimento, contribuindo para a hidratação por completo, como mostrado na Figura 1 (b). Com a incorporação do aditivo mineral (como a CBCA) à pasta, Figura 1 (c), pode ocorrer o preenchimento dos vazios entre partículas de cimento disperso, conduzindo ao aumento da compactidade da mistura e consequente refinamento da rede porosa (Cordeiro, 2006).

A utilização de adições minerais como *filler* significa uma maior quantidade de finos presentes na mistura, o que conduz ao aumento do consumo de água para a manutenção da trabalhabilidade, levando ao aumento da relação água-cimento, a qual pode ser corrigida por meio da utilização de aditivos químicos plastificantes. Pode-se dizer que as adições são materiais de origem mineral utilizados em conjunto ao cimento, com o objetivo de

proporcionar um desempenho tecnológico diferenciado ao concreto, gerando efeitos de ordem física ou química. Eventualmente, com essa adição, pode ocorrer a redução nos custos de produção do concreto em função da substituição de uma parcela de clínquer, que é a matéria prima do cimento (Ganesan, Rajagopal, & Thangavel, 2007).

Um outro efeito químico importante que ocorre nas adições minerais é a reação pozolânica e consiste na reação entre os compostos quimicamente ativos do material, que em geral são a sílica (SiO_2) e a alumina (Al_2O_3), com o hidróxido de cálcio (cal hidratada - CH), produzido pela hidratação dos silicatos do cimento, para formar novos produtos hidratados (Cordeiro, 2006). Desta forma, durante as reações pozolânicas são formados silicatos de cálcio hidratados (CSH) que acabam preenchendo os vazios capilares com material de baixa densidade ou acabam por substituir os grandes cristais de CH orientados por numerosos pequenos cristais com aspecto fractal (Mehta e Monteiro, 2008). Para Gobbi (2010), o silicato de cálcio hidratado (CSH) formado é o responsável pela resistência da pasta, de modo a formar um gel contendo as partículas da sílica ativa que preenchem os vazios da mistura cimentícia, resultando em uma estrutura mecanicamente mais resistente.

O silício é absorvido do solo pelas raízes na forma de ácido monossilício (H_4SiO_4). Com a saída da água das plantas por transpiração, o composto deposita-se nas paredes externas das células da epiderme como sílica gel. Outra possível fonte de sílica para a cinza é a areia (quartzo), oriunda da lavoura, que não é totalmente removida durante a etapa de lavagem e processamento da cana-de-açúcar, permanecendo no bagaço que entra em combustão (Cordeiro, 2006). No entanto, o potencial pozolânico pode variar conforme a granulometria da cinza, o método e a temperatura de queima, uma vez que a falta de controle deste processo nas usinas sucroalcooleiras pode levar à produção de cinza com granulometria variável, contaminada por areias, e ainda obter sílica com estrutura atômica cristalina, incapaz de reagir com o CH e apresentar comportamento pozolânico (Bahurudeen, Vaisakh, & Santhanam, 2015).

Dessa forma, observa-se que o material pode apresentar pozolanicidade em função de algumas características inerentes ao seu processo de queima e granulometria. Cordeiro (2006) estudou o índice de atividade pozolânica (IAP) da cinza em função de sua granulometria utilizando a metodologia da NBR12653 (2012), que estabelece o valor mínimo de 75% para o IAP, para que a cinza seja classificada como pozolânica. O autor utilizou diferentes tipos de moinhos com vários tempos de moagem para diminuir a granulometria da cinza, obtendo grãos superfinos e com elevadas superfícies específicas. Concluiu que para a obtenção de cinzas com o índice de atividade mínimo de 75% é necessário que o material apresente superfícies específicas entre $350 \text{ m}^2/\text{kg}$ e $400 \text{ m}^2/\text{kg}$, independente da condição de moagem. Com o aumento da superfície específica, aumenta-se a reatividade. No entanto, com o maior tempo de moagem, ocorre também o maior gasto energético para a obtenção de cinzas reativas, elevando o custo inerente ao material.

De acordo com Paula (2006), as propriedades das cinzas estão relacionadas às

condições de queima do bagaço, sendo que em temperaturas de queima ente 500°C e 680°C resultam em cinzas com sílica amorfa, temperaturas acima de 700°C podem levar à formação de quartzo ou outras formas cristalinas da sílica. Para temperaturas de queima acima de 800°C a sílica presente nas cinzas é essencialmente cristalina. Em temperaturas entre 450°C e 500°C as cinzas apresentam grande quantidade de carbono, cor escura e com sílica amorfa. Segundo Cordeiro (2006), a coloração da cinza é um indicativo do grau de calcinação (queima) que o bagaço foi submetido e, conseqüentemente, do seu teor de carbono. Na figura 2 são apresentadas cinzas com cores diferenciadas, produzidas nas fornalhas, além do bagaço da cana em condições naturais.

De acordo com Chusilp, Jaturapitakkul e Kiattikomol (2009), cinzas obtidas por queima à 600° C e beneficiadas em processos de moagem podem substituir até 20% do cimento em concretos, apresentando excelentes resultados nas primeiras idades. Esta propriedade está ligada ao fato das pequenas partículas da CBC preencherem os vazios e espaços anteriormente ocupados por ar, produzindo assim, um concreto mais denso.



Figura 2 – (a) Bagaço da cana-de-açúcar; (b) Cinza escura com alto teor de carbono; (c) Cinza com menor teor de carbono; (d) cinza gerada após a combustão completa, teor de carbono inexistente ou muito baixo.

Fonte: Cordeiro (2006).

2.2 Processo de obtenção da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA)

Como principal produtor e exportador de açúcar e etanol do mundo, o Brasil lidera o conhecimento da biotecnologia da cana, com o menor custo de produção entre os principais competidores internacionais (Vieira, Lima e Braga, 2007), com lavouras em diferentes Estados (Figura 3), e ótimos números de produtividade (Figura 4).

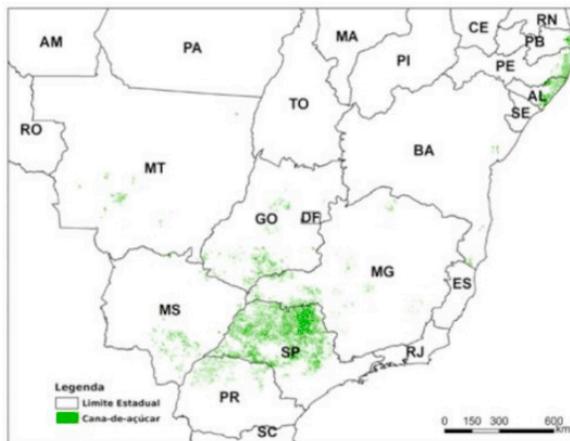


Figura 3 - Área de cultivo de cana de açúcar mapeadas por imagens de satélite.

Fonte: CONAB (2019).

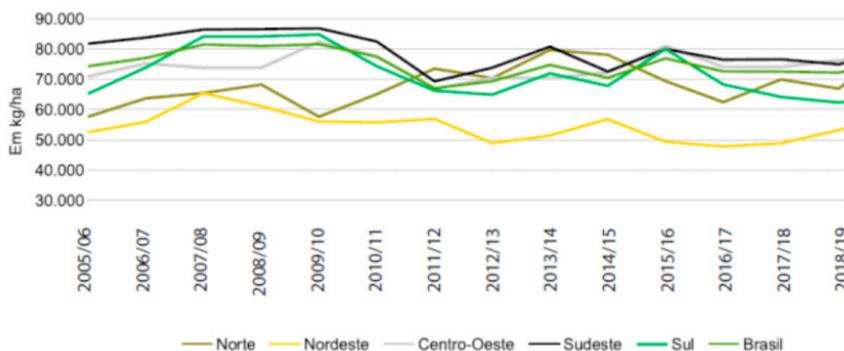


Figura 4 - Evolução da área plantada, produção e produtividade da cana-de-açúcar no Brasil.

Fonte: CONAB (2019).

Atualmente, a maior parte das usinas sucroalcooleiras do Brasil utiliza o bagaço para a cogeração de energia, tornando a maioria delas autossustentáveis energeticamente e, em alguns casos, com produção excedente de energia que pode ser vendida (Bernardo, 2013). Como exemplo, segundo a CONAB (2013), uma usina que processa 2 milhões de toneladas de cana por ano pode gerar cerca de 24 GWH/ano para atender as suas necessidades, podendo ainda vender ao sistema de energia elétrica até 300 GWH/ano. No entanto, Segundo Souto (2010), devido às complicações burocráticas e necessidade de investimentos altos em equipamentos para viabilizar a atividade de comercialização de energia, as usinas ainda não utilizam ao máximo seus restos de bagaço. Segundo o mesmo autor, aproximadamente 0,62% do total de cana-de-açúcar produzido é convertido

em cinzas, o que, a título de exemplo, apenas como um parâmetro, se uma produção como a do Estado do Paraná de 34,35 mil toneladas de cana (em 2019) fossem convertidas em bagaço e depois queimadas para a produção de cinzas, seriam obtidos 212,97 toneladas de cinzas apenas nesse Estado, quantidade expressiva e que permitiria o emprego usual do material na Construção Civil.

2.3 Alvenaria estrutural como solução sustentável para a construção de habitações populares

A avaliação da incorporação da CBCA em artefatos de cimento, como os blocos de concreto para alvenaria estrutural, possui grande relevância pois pode provocar a diminuição da utilização de agregados extraídos da natureza, amenizando impactos ambientais e promovendo uma destinação econômica a um resíduo que atualmente é descartado em lavouras (Lopes, Altoé, Rudnick, Martins, & Sales, 2016).

Porém, além de possibilidades de adições de resíduos aos blocos de concreto, é oportuno salientar que a alvenaria estrutural (Figura 5) tem vantagens inerentes em relação a alvenaria tradicional de tijolos de barro com elementos estruturais em concreto armado, para determinadas construções, como habitações populares, pois promove economia, melhor isolamento térmico e acústico, resistência ao fogo, maior produtividade, diminuição da produção de resíduos, entre outros (Kato, 2002).

Tomando como referência a alvenaria convencional, a alvenaria estrutural pode gerar uma economia entre 4% e 30% do custo total de uma obra (Wendler, 2005), pois o seu uso implica na eliminação de vigas e pilares da estrutura (Ramalho e Correa, 2003). Desse modo, a alvenaria estrutural torna-se uma vantajosa opção para se diminuir o déficit habitacional no Brasil, com edificações de qualidade, proporcionando ainda o emprego de materiais alternativos agregados a sua composição, de forma a aprimorar seu desempenho, e proporcionar novas possibilidades econômicas, de desenvolvimento sustentável e de inovação (Izquierdo, 2011).



Figura 5 – Empreendimento em alvenaria estrutural.

Fonte: Elaboração própria.

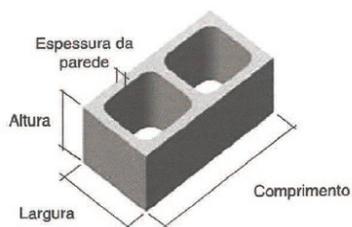


Figura 6 – Determinação das dimensões de um bloco de concreto.

Fonte: NBR 6136 (2014).

A resistência à compressão do bloco de alvenaria estrutural, segundo a norma NBR 6136 (2014), deve ser de acordo com a sua aplicação, como mostrado na Tabela 1.

Classificação	Classe	Resistência característica à compressão axial aos 28 dias (f_{bk}) (MPa)
Com função estrutural	A	f_{bk} 8,0
	B	4,0 f_{bk} 8,0
Com ou sem função estrutural	C	f_{bk} 3,0

Tabela 1 - Classificação dos blocos estruturais quanto a sua resistência à compressão.

Fonte: NBR 6136 (2014).

A padronização das medidas (Figura 6) dos blocos de concreto e o seu controle por parte dos fabricantes é também essencial para o aperfeiçoamento dos projetos de alvenaria, pois possibilita a coordenação modular, visando à compatibilidade com outros sistemas e a redução de desperdícios (Kato, 2002). A norma NBR 15.873 (2010) estabelece o módulo padrão de 10 cm, o que facilita dimensões múltiplas para instalação de esquadrias.

3 I METODOLOGIA

Neste item é apresentada a metodologia experimental da pesquisa, bem como, algumas informações de caracterização física das cinzas, as quais, para o desenvolvimento dos experimentos, foram coletadas de uma usina sucroalcooleira da região de Umuarama-PR, provenientes do fundo da fornalha de queima do bagaço, aqui denominada de CBCA1, e da lavagem da chaminé, denominada de CBCA2 (Figura 7). Inicialmente os ensaios realizados para a caracterização das cinzas foram o de granulometria (NBR NM 248, 2003), ensaio de massa específica (NBR 9776, 1987) e de massa unitária de acordo com a NM 45 (2006), cujos valores são apresentados na Tabela 2.

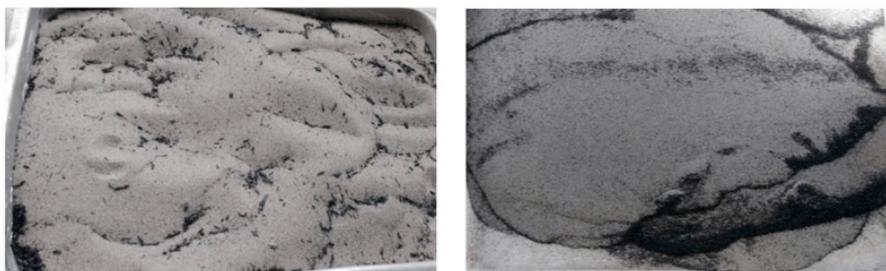


Figura 7 – CBCA1 à esquerda e CBCA2 à direita.

Fonte: Elaboração própria.

Característica	Norma	CBC ₁	CBC ₂	Unidade
Módulo de finura	NBR NM 248 (2003)	1,42	0,91	-
Dimensão máxima característica	NBR NM 248 (2003)	0,6	0,3	mm
Massa específica	NBR 9776 (1987)	2,604	2,618	g/cm ³
Massa unitária no estado solto	NM 45 (2006)	1,444	1,425	g/cm ³

Tabela 2 – Valores de caracterização das cinzas.

Para se determinar a quantidade de matéria orgânica e água de cristalização contidas nas cinzas, realizou-se também o ensaio de perda de umidade ao fogo segundo a NM 18 (2004), por meio da queima de aproximadamente 1,000g de CBCA2 em forno do tipo mufla por um período de 50 minutos à temperatura de 950°C. O aspecto da cinza, antes e após a calcinação, é apresentado na Figura 8, no interior recipiente utilizado para o ensaio.



Figura 8 – CBCA2 antes (a) e após (b) o ensaio de perda ao fogo.

Fonte: Elaboração própria.

O ensaio da queima em mufla realizado com a CBCA2 resultou na perda ao fogo de 0,98%, o que indicou a presença de pouco material orgânico na cinza. De acordo com a NBR 12653 (2012) a perda ao fogo máxima para materiais pozolânicos originários de cinzas é de 6%. Desta forma, é possível inferir que as cinzas coletadas podem ser utilizadas no concreto sem que materiais orgânicos ou impurezas prejudiquem o desempenho do mesmo.

A determinação do índice de atividade pozolânica (IAP) das cinzas foi realizada de acordo com a NBR 5752 (2014), com ensaio consistindo na moldagem de 10 corpos de prova cilíndricos de dimensões (5 x 10) cm, em dois traços de concretos denominados de A e B, apresentados na Tabela 3, constituídos pela proporção em massa de 1:3 (cimento e agregados). O traço B possui 25% do cimento substituído pela cinza CBC1, enquanto o traço

A, sem substituição de cimento por cinzas, serviu como referência para a comparação. Foram ensaiados 5 corpos de prova de cada traço aos 7 e aos 28 dias a fim de se obter a resistência média à compressão axial. Foi utilizada a relação água cimento (a/c) de 0,48, cimento CP II E-32, brita 0 como agregado graúdo e areia média como miúdo. O uso da brita 0 e da relação (a/c) de 0,48 foi adotado pelo seu emprego usual em traços destinados à produção de artefatos de concreto (blocos e *pavers*) em vibro-prensas nas indústrias.

	Traço A		Traço B	
	Porcentagem	Massa (Kg)	Porcentagem	Massa (Kg)
Cimento	100%	0,624	75%	0,468
Areia	100%	1,872	100%	1,872
CBCA1	0%	-	25%	0,156
a/c	0,48	0,300	0,48	0,300

Tabela 3 – Traços A e B utilizados para a determinação do IAP de acordo com a NBR 5752 (2014).

A NBR 5752 (2014) determina que para o material ensaiado ser considerado pozolânico, a relação entre a resistência do traço B e a do traço A aos 28 dias deve ser maior do que 75%, conforme Equação 1, para o cálculo do Índice de Atividade Pozolânica (IAP).

$$IAP = \frac{f_{cB}}{f_{cA}} \cdot 100 > 75\% \quad (\text{Equação 1})$$

O ensaio de resistência à compressão, realizado com os corpos de prova cilíndricos, moldados segundo a NBR 5752 (2014), resultou nos valores apresentados na Tabela 4, para o traço “A” (de referência) e Tabela 5, para o traço “B” (com 25% do cimento substituído por cinzas) com as resistências médias obtidas aos 7 e aos 28 dias:

NBR 5752 “A”	7 dias	28 dias
CP 1	13,73	20,3
CP 2	12,46	16,83
CP 3	15,22	19,51
CP 4	13,70	14,1
CP 5	-	18,08
Média	13,78	17,76
Desvio padrão	1,126	2,445
Coef. De variação	8,17%	13,76%

Tabela 4 – Resistências dos corpos de prova “A” moldados segundo a NBR 5752.

NBR 5752 “B”	Resistência (MPa)	
	7 dias	28 dias
CP 1	7,85	10,42
CP 2	7,32	10,94
CP 3	7,80	10,46
CP 4	8,03	10,02
CP 5	7,94	12,17
Média	7,78	10,80
Desvio padrão	0,2757	0,8312
Coef. De variação	3,54%	7,694%

Tabela 5 – Resistências dos corpos de prova “B” moldados segundo a NBR 5752.

Para o traço “A” de referência, aos 28 dias foi obtida a resistência média de 17,76 MPa. Já para o traço “B”, com a substituição de 25% do cimento por cinzas, foi alcançado 10,80 MPa de resistência para a mesma idade. Dessa forma, a relação entre a resistência do CP – B (25% do cimento substituído por cinzas) e a do CP – A (referência) foi igual a 61%, índice de atividade pozolânica muito abaixo dos 75% exigidos pela norma NBR 12653 (2012) para caracterizar a cinza como um composto pozolânico. Aos 7 dias, o índice de atividade pozolânica foi de 56%, mostrando que houve uma melhora da resistência relativa dos CP – B aos 28 dias, mas não o suficiente para chegar aos 75% característicos de um composto pozolânico.

É importante salientar que a cinza pesada, utilizada para o ensaio da NBR 5752 (2014), não apresentou granulometria adequada para ser caracterizada como pozolânica, uma vez que a NBR 12653 estabelece que para um composto ser pozolânico, deve possuir no máximo 34% do seu material retido na peneira com abertura de 45 μ m. Tal granulometria é semelhante a do cimento e necessária para que ocorra a reação pozolânica, uma vez que o composto terá maior superfície específica, aumentando sua reatividade.

A cinza pesada, no entanto, apresentou 44,6% do material retido na peneira de 300 μ m, ou seja, uma granulometria muito mais grosseira do que o exigido para um composto pozolânico, o que explicaria a sua falta de reatividade e o baixo índice de atividade pozolânica. Como sua procedência é do fundo da fornalha, pode apresentar quantidades significativas de areias vindas da lavoura e que não foram totalmente removidas do bagaço durante o processamento da cana. Deste modo, a presença de areia pode comprometer a reatividade, apresentando sílica em forma cristalina, não reativa, além de influenciar no maior diâmetro das partículas. Autores como Cordeiro (2006) e Paula (2006) mostraram que o emprego da moagem da CBCA e o aumento de sua superfície específica resultou em cinzas reativas, capazes de apresentarem pozolanicidade. Cordeiro (2006) constatou que quanto menor a dimensão das partículas de CBCA, maior era o IAP obtido, apresentando

até o aumento da resistência do concreto mesmo com a substituição de parte do cimento por CBCA. No presente trabalho foram utilizadas apenas cinzas “*in natura*”, visto que a utilização da moagem levaria ao gasto energético que implicaria no aumento do custo do material.

3.1 Determinação do traço para blocos de concreto com a incorporação das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar

A fim de se obter um traço adequado para utilização nos blocos de concreto com a adição de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar, foram moldados para ensaio corpos de prova de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura com areia, o pedrisco e as cinzas. O cimento utilizado foi o CP-II E-32, com resistência característica de 32 MPa aos 28 dias.

A proporção entre aglomerante (cimento) e agregados escolhida foi de 1:5 em massa, a fim de se avaliar o comportamento da incorporação das cinzas em blocos de maiores resistências (Frasson, 2000), que podem chegar a 16 MPa e serem utilizados para a construções de edificações de vários pavimentos. A proporção entre agregados utilizada como referência foi de 60% de agregados miúdos (areia) e 40% de agregados graúdos (pedrisco), a fim de se obter menor volume de vazios, melhor compacidade, boa textura externa e resistência adequada. Assim, o traço final utilizado foi 1:3:2 (cimento: areia: pedrisco). A mistura dos agregados, aglomerantes e água ocorreu manualmente. A moldagem ocorreu com a inserção de quatro camadas de material no molde, com a aplicação de 30 golpes por camada com o soquete de compactação de argamassa, como mostrado na Figura 9.



Figura 9 – Moldagem dos corpos de prova cilíndricos.

Fonte: Elaboração própria.



Figura 10 - Ensaio de resistência à compressão axial dos copos de prova.

Fonte: Elaboração própria

Os traços utilizados, com suas respectivas substituições por cinza, estão mostrados na Tabela 6. Após a cura (com borrifação de água), os corpos de prova foram pesados, de modo a se obter sua densidade e capeados com enxofre para a regularização da superfície. Assim, foram rompidos aos 7 e aos 28 dias, utilizando-se a prensa Emic DL30000N (Figura 10), de forma a se obter a resistência à compressão axial correspondente a cada corpo de prova.

TRAÇO DE REFERÊNCIA E COM ADIÇÃO DE CINZAS				
Traços	Material	Porcentagem	MF ¹	Massa (Kg)
CP-I	Areia	60%	1,83	2,250
	Pedrisco	40%	4,81	1,500
	Cinza	0%	-	-
	Cimento	100%	-	0,750
	MF de todos os agregados			3,02
CP-II	Areia	60%	1,83	2,250
	Pedrisco	40%	4,81	1,500
	Cinza	25%	-	0,188
	Cimento	75%	-	0,563
	MF de todos os agregados			3,02
CP-III	Areia	45%	1,83	1,688
	Cinza	15%	1,42	0,563
	Pedrisco	40%	4,81	1,500
	Cimento	100%	-	0,750
	MF de todos os agregados			2,96
CP-IV	Areia	30%	1,83	1,125
	Cinza	30%	1,42	1,125
	Pedrisco	40%	4,81	1,500
	Cimento	100%	-	0,750
	MF de todos os agregados			2,90
CP-V	Areia	60%	1,83	2,250
	Pedrisco	40%	4,81	1,500
	Cinza fina ²	10%	-	0,750
	Cimento	90%	-	0,675
	MF de todos os agregados			3,02

1 Módulo de finura.

2 Cinza proveniente da lavagem da chaminé, passante na peneira 0,15 mm ou #100.

CP-VI	Areia	30%	1,83	1,125
	Cinza fina	30%	0,91	1,125
	Pedrisco	40%	4,81	1,500
	Cimento	100%	-	0,750
	MF de todos os agregados		2,75	
CP-VII	Areia	50%	1,83	1,875
	Cinza fina	10%	0,91	0,375
	Pedrisco	40%	4,81	1,500
	Cimento	100%	-	0,750
	MF de todos os agregados		2,93	
CP-VIII	Areia	40%	1,83	1,500
	Cinza fina	20%	0,91	0,750
	Pedrisco	40%	4,81	1,500
	Cimento	100%	-	0,750
	MF de todos os agregados		2,84	
	a/c ³	0,48	-	0,360
	Umidade ⁴	8%	-	-

Tabela 6 – Traços dos concretos avaliados. De referência e com incorporação de cinzas.

3.2 Fabricação dos blocos de concreto com a substituição obtida em laboratório

Após a verificação das resistências à compressão dos corpos de prova, foi escolhida a proporção de cinzas de um dos traços, em substituição parcial de agregado miúdo, a fim de ser reproduzido na fabricação do bloco de alvenaria utilizado nas análises. Para tanto, foi necessário realizar-se uma parceria com uma empresa fabricante de blocos da cidade de Umuarama-PR, para uso do equipamento de moldagem dos blocos. Percebeu-se também, que a empresa não utilizava o pedrisco, mas sim o pó de pedra como agregado graúdo, tendo sido necessária uma adaptação no traço escolhido para uso do equipamento de moldagem.

Na empresa são realizadas medidas em volume para o traço dos blocos, sendo utilizada uma carriola de 90 litros para tanto. O traço adotado pela fábrica para a fabricação de seus blocos, disponíveis no mercado na região de Umuarama-PR, para uma quantidade de 32 blocos, é apresentado na Tabela 7.

3 Relação água/cimento.

4 Relação entre a água e a massa de todos os outros compostos secos.

	Quantidade de material por mistura	Volume (carricola de 90 litros)	Traço
Areia	1+1/2 carricolas	135,00	4,20
Pó de pedra	1+1/2 carricolas	135,00	4,20
Cimento	25 kg + 7,2 litros	32,20	1

Tabela 7 – Traço dos blocos de concreto produzidos pela empresa fabricante de blocos.

Dessa forma, o traço em volume utilizado pela empresa é de 1:4,2:4,2 (cimento : areia : pó de pedra). A quantidade de água empregada na mistura varia de acordo com a condição de umidade dos agregados empregados, mas, geralmente ficando em torno de 10 a 15 litros, de modo que o ponto ideal de umidade é controlado essencialmente pelo operador do misturador. O cimento utilizado pela empresa é o CP V-ARI, de alta resistência inicial, a fim de permitir o transporte e estocagem dos blocos de concreto logo nas primeiras idades. Após a adição dos materiais no misturador, a mistura sobe por uma esteira e cai no funil da prensa hidráulica, a qual molda os blocos de concreto por meio da vibração e compressão.

Para a produção dos blocos da pesquisa, com as cinzas (Figura 11), foi utilizado o traço da empresa, apresentado na Tabela 7, com a substituição de 50% da areia pela cinza volante (CBCA1), obtida por meio da lavagem da chaminé da fornalha da Usina. A umidade da mistura utilizada para a fabricação dos blocos de concreto do presente trabalho foi cerca de 7%, relacionando a massa de água com a massa de todos os outros componentes secos. Foi adicionado ainda na mistura o plastificante TecnoMor AQUIPLAST – 1400-13158, na proporção de 1 mililitro por quilograma de cimento.



Figura 11 – Blocos de concreto moldados com a adição da CBCA1

Fonte: Elaboração própria.

	CP-IX – Traço do bloco de referência	CP-X – Traço do bloco com adição de cinzas
	Proporção em volume	Proporção em volume
Cimento	1	1
Areia	4,2	2,1
Pó de pedra	4,2	4,2
Cinza fina ⁵	-	2,1
Traço	1 : 4,2 : 4,2	1 : 2,1 : 4,2 : 2,1
MF ⁶ agregados	2,545	2,295

Tabela 8 – Traços utilizados nos blocos de concreto e reproduzidos nos corpos de prova cilíndricos.

3.3 Ensaios de resistência à compressão dos blocos de concreto com a adição das cinzas

O ensaio de resistência à compressão, seguindo o prescrito pela norma NBR 12118 (2013), foi realizado por meio da utilização da prensa Emic DL30000N (Figura 12), com o rompimento de 6 blocos com adição de cinzas em cada uma das idades de 7 e 28 dias. Para a avaliação da influência das cinzas sobre a resistência dos blocos, foram rompidos 3 blocos de referência, sem adição de cinzas, aos 7 e aos 28 dias. As superfícies dos blocos foram retificadas para a execução dos ensaios à compressão.



Figura 12 – Ensaio de resistência à compressão dos blocos de concreto.

Fonte: Elaboração própria.

⁵ Cinza volante proveniente da lavagem da chaminé da fornalha da Usina Costa Bioenergia.

⁶ Módulo de finura dos agregados da mistura.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resistência do concreto com adição de CBCA

Os resultados referentes às resistências médias obtidas para os corpos de prova ensaiados aos 7 e 28 dias são apresentados o Tabela 9. É possível verificar o ganho de resistência dos 7 aos 28 dias, sendo que alguns traços com adição de CBCA apresentaram uma maior resistência aos 7 dias quando comparados ao traço de referência, porém menor aos 28 dias. Na substituição de 25% do cimento pela CBCA1, a relação entre a resistência obtida e a do traço de referência foi de 69% aos 7 dias e 65% aos 28 dias, contra os 56% e 61% obtidos pelos corpos de prova moldados segundo o ensaio da NBR 5752 (2014). Desta forma, com a utilização da brita 0 no traço estudado, observou-se um aumento da resistência relativa dos corpos de prova, mostrando a contribuição do agregado graúdo para o aumento da resistência, mesmo com a utilização de um traço mais pobre em cimento.

Observando os resultados dos testes é possível constatar que a maioria das substituições apresentou resistência média maior na idade de ruptura de 7 dias. O traço que apresentou a maior resistência, tanto aos 7 quanto aos 28 dias foi o que continha 50% do agregado miúdo substituído por CBCA2, seguido pelo corpo de prova com 50% do agregado miúdo substituído por CBCA1.

Sugere-se que a maior resistência obtida foi devido ao aumento da compacidade da mistura, uma vez que os finos preencheram os interstícios e diminuíram os vazios, aumentando assim a resistência à compressão. Frasson (2000) destaca que para elementos de concreto produzidos por meio do concreto “seco” e da vibro-compressão, a compactação é um fator determinante para a resistência da peça, sendo que quanto maior a compactação proporcionada pela proporção entre agregados e preenchimento de vazios, maior a resistência alcançada.

CP	DETALHE SOBRE O TRAÇO	Resistência Média (MPa)				Resistência relativa ao corpo de prova de referência	
		7 dias	Desvio Padrão	28 dias	Desvio Padrão	7 dias	28 dias
I	Referência	14,05	1,007	24,35	2,94	-	-
II	25% CBCA1 aglomerante	9,72	0,53	15,82	1,548	69%	65%
III	25% CBCA1 areia	15,56	0,2965	23,41	1,661	111%	96%
IV	50% CBCA1 areia	13,56	0,4868	24,52	1,694	97%	101%
V	10% CBCA2 aglomerante	14,94	1,082	19,49	1,123	106%	80%
VI	20% CBCA2 areia	17,25	0,4868	20,33	2,621	123%	83%
VII	33,3% CBCA2 areia	15,78	0,4868	22,82	1,993	112%	94%
VIII	50% CBCA2 areia	17,82	1,873	24,67	1,571	127%	101%

Tabela 9 – Valores médios de resistência para amostras com CBCA.

Lima, Sales, Almeida, Moretti, & Portella (2011) obtiveram sucesso quanto à substituição de 50% de areia por cinzas em artefatos de concreto, sendo que foram alcançados melhores resultados quanto à resistência à compressão e abrasão. Os concretos produzidos pelos autores com 30% e 50% de cinzas apresentaram o menor valor de índice de vazios e, também, o menor valor de absorção entre todos os traços avaliados.

Para o traço com 10% do aglomerante substituído por CBCA2 foi constatado o aumento da resistência em relação ao traço de referência na idade de ruptura de 7 dias. No entanto, não é possível afirmar que ocorreram reações pozolânicas, uma vez que a CBC2, mesmo sendo mais fina do que a CBCA1, ainda não apresentou granulometria adequada para ser classificada como pozolânica segundo a NBR 12653 (2012). A CBCA2 teve 89% do material retido na peneira de abertura de 150 μ m, longe do máximo de 34% retido na peneira de 45 μ m, que é o estabelecido pela norma.

O principal fator que contribuiu para a falta de reatividade pozolânica da CBCA foi a alta temperatura de queima na fornalha da usina, cerca de 800°C, na qual não há mais a presença de sílica amorfa, mas apenas em estado cristalino, que não reage na presença de água com o CH (Cordeiro, 2006). Ainda em relação à substituição de 10% do aglomerante pela parcela fina da CBCA2, foi observada uma maior resistência aos 7 dias, porém o ganho de resistência aos 28 dias foi menor do que o obtido pelo traço de referência, fazendo com que o corpo de prova apresentasse apenas 80% da resistência de referência nesta idade.

Neste caso, entende-se que a granulometria fina da cinza preencheu os interstícios da massa e promoveu uma melhor compactação, o que explica o notável aumento da resistência aos 7 dias. No entanto, aos 28 dias o cimento atingiu sua resistência característica, diminuindo-se a influência da compactação na resistência do concreto.

Este fato pode também ser observado nos traços com 20%, 25% e 33,3% de agregado miúdo substituído por CBCA, que apresentaram resistências maiores aos 7 dias, devido à maior compactação, mas que não obtiveram ganho de resistência satisfatório aos 28 dias.

4.2 Resistência obtida para os blocos de concreto

Na Tabela 10 é apresentada a resistência à compressão dos blocos fabricados pela empresa visitada durante a realização do presente trabalho, se tratando, portanto, do traço de referência sem a adição de cinzas. A Tabela 11, por sua vez, traz os valores de resistência à compressão dos blocos, fabricados por meio da substituição de 50% da areia pela cinza volante no traço usualmente utilizado pela empresa em questão. Nas tabelas são apresentados os valores de resistência aos 7 e 28 dias, além das respectivas massas dos blocos em tais idades de ruptura.

BLOCO DE CONCRETO - Referência	Resistência (MPa)		Massa (Kg) 7 dias	Massa (Kg) 28 dias
	7 dias	28 dias		
CP 1	3,53	5,55	10,650	10,995
CP 2	3,77	5,41	10,950	11,590
CP 3	3,25	5,86	10,400	11,510
Média	3,517	5,607	10,667	11,365
Desvio padrão	0,2613	0,2314	-	-
Coef. De variação	7,43%	4,13%	-	-
Densidade média (g/cm ³)			2,009	2,141

Tabela 10 – Resistência dos blocos de concreto produzidos pela fábrica (traço de referência, sem adição de cinzas).

BLOCO DE CONCRETO – 50% cinzas	Resistência (MPa)		Massa (Kg) 7 dias	Massa (Kg) 28 dias
	7 dias	28 dias		
CP 1	3,85	4,40	10,850	10,575
CP 2	3,70	5,16	11,100	11,080
CP 3	3,20	4,45	10,400	10,970
CP 4	3,75	4,00	11,600	10,655
CP 5	2,98	3,60	10,800	10,588
CP 6	3,57	3,16	10,700	10,800
Média	3,508	4,128	10,908	10,778
Desvio padrão	0,3424	0,706	-	-
Coef. De variação	9,76%	17,10%	-	-
Densidade média (g/cm ³)			2,055	2,030

Tabela 11 – Resistência dos blocos de concreto com a adição de cinzas (50% da areia substituída por cinzas).

É possível constatar que a resistência obtida para os blocos de referência e para os blocos com a adição das cinzas foi aproximadamente a mesma aos 7 dias, de 3,5 MPa. No entanto, os blocos de referência apresentaram um maior ganho de resistência à compressão aos 28 dias, obtendo o valor de 5,6 MPa, contra 4,1 MPa dos blocos com a adição das cinzas.

Todavia, tal resultado pode ter sido influenciado por algumas fissuras apresentadas pelos mesmos. Durante a moldagem dos blocos com adição de cinzas, percebeu-se que a quantidade de água adicionada na mistura não foi suficiente, uma vez que os blocos se desfizeram ao saírem do molde da prensa, acusando a necessidade de uma maior umidade

para garantir a integridade dos mesmos.

Tal fato ocorreu devido ao aumento de partículas finas na mistura com a adição das cinzas, que demandou uma quantidade maior de água para cobrir a superfície de todos os agregados presentes. Mesmo com o aumento da quantidade de água na mistura durante a segunda tentativa de moldagem, constatou-se que a umidade obtida fora suficiente para preservar a integridade dos blocos, mas não impedira a formação de fissuras nos mesmos, as quais aumentaram com a idade dos blocos, devido aos processos de secagem e consequente retração da peça de concreto.

5 | CONCLUSÕES

Este artigo tratou da análise do comportamento de resistência do concreto constituído com inserção parcial de cinzas do bagaço da cana de açúcar em substituição parcial ao cimento e à areia para a produção de blocos de concreto de alvenaria, mostrando sua viabilidade para determinadas proporções e situações, contribuindo para uma destinação sustentável para esse abundante resíduo agroindustrial.

Dessa forma, os estudos desenvolvidos com os corpos de prova cilíndricos mostraram que é viável a incorporação da cinza “*in natura*” na mistura cimentícia para blocos de concreto estruturais, atuando em substituição ao agregado miúdo. Os resultados obtidos demonstram que o traço com a adição das cinzas mais favorável à utilização em blocos de concreto foi a proporção de 1:1,5:1,5:2 (cimento, cinzas, areia e pedrisco), o qual proporcionou um ganho de resistência à compressão axial, tanto aos 7 quanto aos 28 dias.

Em relação aos blocos de concreto com 50% da areia substituída por cinzas, os resultados podem ter sido influenciados pelo aparecimento de fissuras, mostrando a necessidade de maiores experimentos para a correção do fenômeno. No entanto, tais blocos ainda apresentaram resistência média adequada para se enquadrar na classe B da NBR 6136 (2014), com função estrutural, assim como os blocos de referência.

Analisando os corpos de prova cilíndricos produzidos em laboratório com o traço dos blocos de concreto, percebeu-se que o traço com a adição das cinzas apresentou maior resistência à compressão em relação ao de referência. No entanto, estudos mais aprofundados a respeito da diminuição da resistência aos 28 dias dos corpos de prova cilíndricos de referência, devem ser realizados para a obtenção de resultados mais conclusivos.

Como as cinzas não apresentaram reatividade, conclui-se que as mesmas podem ser utilizadas como material de carga inerte, em substituição aos agregados finos em traços para blocos de concreto. A cinza apresentou características do efeito fíler, preenchendo os vazios existentes, elevando a compacidade da mistura cimentícia, e, conseqüentemente, a sua resistência à compressão. Provavelmente o emprego da moagem aumentaria potencialmente a reatividade da cinza, levando à ocorrência de reações pozolânicas.

No entanto, com a moagem ocorreria o gasto energético, que agregaria maior custo ao material, o que poderia inviabilizar financeiramente o emprego da cinza como substituinte ao cimento. Contudo, a utilização da cinza “*in natura*” como substituinte ao agregado miúdo apresenta-se como uma opção igualmente vantajosa.

A substituição da areia pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar se justifica pelo crescente aumento no custo da areia natural, que viabiliza a utilização do resíduo agroindustrial em estudo, que possui custo muito inferior. Caso houvesse o interesse da empresa que fabrica os blocos de concreto em utilizar a cinza como parte do agregado miúdo, esta teria apenas o custo de transporte para a coleta do material na usina, a uma distância de cerca de 30 km. Além do custo inferior, a utilização da cinza como agregado diminuiria os impactos ambientais, causados pela extração de areia em jazidas de mineração.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Usina Costa Bioenergia pela doação das CBCA e à Fábrica de blocos Ferrarin pelo apoio à confecção dos blocos de concreto desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

A. Bahurudeen, Deepak Kanraj, V. Gokul Dev, Manu Santhanam. Performance evaluation of sugarcane bagasse ash blended cement in concrete, **Cement and Concrete Composites**, Volume 59, May 2015, Pages 77-88.

Annibelli, M. B., & Souza, C. F. M. de, F. (2007, novembro). Mineração de areia e seus impactos sócio-econômico-ambiental. **Anais do Congresso Nacional do CONPEDI**, Belo Horizonte, MG, Brasil, 16.

Aragão, K. S. **Cinzas** [Aula da Disciplina de Bromatologia do Curso de Nutrição]. Centro Universitário Estácio. Ceará: FIC, 2009.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2018). **Panorama dos resíduos sólidos do Brasil, 2017**. São Paulo: ABRELPE.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10837 - Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto**. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653 - Materiais Pozolânicos**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653 - Materiais Pozolânicos**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752 - Materiais Pozolânicos - Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136 - Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria Estrutural**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502 - Rochas e solos**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215 – Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776 - Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776 - Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

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

ASTM C618-15. (2015). **Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete**. ASTM International, West Conshohocken, PA.

Athira, G., Bahurudeen, A., Prasanta, K., Sahu, M., Santhanam, P. N., & Lalu, S. (2020). Utilização eficaz de resíduos da indústria açucareira. **Springer-Journal of Cycles Material and Management Waste**, 22 (2), 724-763.

Bahurudeen, A., Vaisakh, K. S., & Santhanam, M. Availability of sugarcane bagasse ash and potential for use as a supplementary cementitious material in concrete. **Indian Concrete Journal**, 89 (6), 41-50, 2015.

Bernardo, A. (2013). Participação de usinas de cana na geração de energia do país poderia ser seis vezes maior. **Revista Galileu**. Recuperado em 08 novembro, 2016 de <http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,ERT326727-18537,00.html>.

Chusilp, N., Jaturapitakkul, C., & Kiattikomol, K. Use of bagasse ash as pozzolanic material in concrete. **Building Materials and Construction**, 23, 3352-3358, 2009.

Companhia Nacional de Abastecimento. (2013). **Perfil do setor do açúcar e do álcool no Brasil**. (Safrá 2011/12, Vol. 5). Brasília: CONAB.

Companhia Nacional de Abastecimento. (2016). **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. (Safrá 2016/17, Vol. 3). Brasília: CONAB.

Companhia Nacional de Abastecimento. (2019). **Perspectivas para a agropecuária**. (Safrá 2019/20, Vol. 7). Brasília: CONAB.

Cordeiro, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto.** Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; Centro das Indústrias do Estado de São Paulo. (2001). **Ampliação da oferta de energia através da biomassa.** São Paulo: FIESP/CIESP.

Frasson, A., Jr. **Proposta de metodologia de dosagem e controle do processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural.** Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, 2000.

Ganesan, K., Rajagopal, K., & Thangavel, K. Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. **Cement & Concrete Composites**, 29, 515-524, 2007.

Gobbi, A. **Cinza do bagaço de cana-de-açúcar para concreto: investigação sobre a atividade pozolânica.** Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil, 2010.

GUERRA, J. S. **Gestão de resíduos da construção civil em obras de edificações.** Dissertação de mestrado, Universidade de Pernambuco, Recife, PE, Brasil, 2009.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Avançada. **O deficit habitacional intrametropolitano e a localização de empreendimentos do programa minha casa minha vida: mensurando possibilidades de atendimento.** Rio de Janeiro: IPEA, 2015.

Izquierdo, I. **Memória** (2a ed.). Porto Alegre: Artmed, 2011.

Kato, R. B. **Comparação entre o sistema construtivo convencional e o sistema construtivo em alvenaria estrutural segundo a teoria da construção enxuta.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, 2002.

Lima, S. A., Sales, A., Almeida, F. D., Moretti, J. P., & Portella, K. F. **Concretos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar: avaliação da durabilidade por meio de ensaios de carbonatação e abrasão.** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 11 (2), 201-212, 2011

Lopes, J. P., Altoé, S. P., Rudnick, T., Martins, C. H., & Sales, A. (2016, agosto/setembro). **Utilização da cinza pesada da cana-de-açúcar para confecção de artefatos de cimento para pavimentação.** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 1.

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** (3a ed.). São Paulo: IBRACON, 2008.

NORMA MERCOSUR. **NM 18 - Cimento Portland - Análise química - Determinação de perda ao fogo.** [S.l.]. 2004.

Oliveira, F. L., & Mello, E. F. A mineração de areia e os impactos ambientais na bacia do rio São João, RJ. **Brazilian Journal of Geosciences**, 37 (2), 374-389, 2007.

Ramalho, M. A., & Correa, M. R. **Projetos de Edifícios de Alvenaria Estrutural** (1a ed.). São Paulo: PINI, 2003.

Santos, H. N. dos, Cândida, A. C., & Ferreira, T. K. S. (2010, julho). Ações referentes a gestão de resíduos da construção civil em Araguari-MG. **Anais do Encontro Nacional dos Geógrafos**, Porto Alegre, RS, Brasil, 16.

Santos, V. C., Vanderlei, R. D., Moraes, K. K., Rosina, E. T. D. F., & Balbino, G. M. Estudo do comportamento da argamassa autoadensável com cinza do bagaço de cana-de-açúcar no estado fresco e endurecido. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, 12 (1), 179-198, 2019.

Souto, J. M. F. **Avaliação do desempenho da cinza do bagaço da cana-de-açúcar na produção de concretos**. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Brasil, 2010.

Souto, J. M. F. **Avaliação do desempenho da cinza do bagaço de cana-de-açúcar na produção de concretos**. Dissertação de mestrado em engenharia urbana, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Brasil, 2010.

Souza, U. E. L. de, Paliari, J. C., Agopyan, V., & Andrade, A. C. de. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 4 (4), 33-46, 2004.

Tozzi, R. F. **Estudo da influência do gerenciamento na geração dos resíduos da construção civil (RCC): estudo de caso de duas obras em Curitiba/PR**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil, 2006.

Vieira, M. C., Lima, J. F., & Braga, N. M. (2007). **Setor Sucroalcooleiro Brasileiro: Evolução e Perspectivas**. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES.

Wendler Projetos e Sistemas Estruturais. **Relatório sobre alvenaria estrutural-considerações econômicas**. Recuperado em 14 setembro, 2016, de www.wendlerprojetos.com.br/alvenaria.php, 2005.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Abastecimento 3, 6, 7, 8, 173, 174, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 221, 286, 306

Agroindustrial 284, 285, 286, 304, 305

Água 181

Alumínio 287, 309, 312, 314, 315

Alvenaria 2, 6, 7, 12, 13, 145, 149, 150, 151, 152, 154, 155, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 166, 167, 168, 169, 171, 172, 259, 260, 261, 284, 286, 291, 292, 298, 304, 305, 306, 307, 308

Análise estrutural 23, 160, 182, 187

Ancoragem 5, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 117, 118, 229

Armado 10, 11, 13, 22, 23, 24, 25, 26, 35, 36, 37, 38, 44, 50, 51, 52, 53, 54, 57, 59, 76, 77, 80, 87, 88, 91, 92, 106, 107, 108, 114, 118, 119, 145, 146, 147, 150, 160, 162, 172, 235, 236, 237, 239, 240, 242, 244, 245, 246, 291

C

Canal de acesso 214, 216, 219, 224, 225, 226, 228, 232, 233

Capacidade 12, 25, 38, 39, 47, 58, 63, 78, 95, 100, 106, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 121, 125, 145, 147, 162, 163, 201, 214, 216, 217, 219, 232, 247, 250, 251, 258, 284, 309, 314

Carbono 13, 37, 38, 39, 44, 48, 50, 51, 106, 107, 108, 110, 113, 114, 117, 118, 119, 121, 286, 289

Cimento 11, 14, 16, 17, 20, 21, 24, 28, 63, 79, 82, 93, 95, 96, 97, 98, 103, 104, 105, 120, 121, 122, 123, 124, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 134, 271, 273, 275, 276, 280, 281, 282, 284, 286, 287, 288, 289, 291, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 304, 305, 306, 307, 315

Cisalhamento 12, 13, 37, 38, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 107, 108, 119, 259, 261

Concreto 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 62, 66, 72, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 112, 114, 117, 118, 119, 124, 130, 132, 133, 134, 144, 145, 146, 147, 150, 159, 160, 162, 172, 183, 184, 189, 190, 191, 196, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 259, 271, 272, 273, 274, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 284, 285, 287, 288, 289, 291, 292, 293, 294, 296, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 309, 311

Construção 1, 2, 6, 9, 11, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 32, 35, 38, 39, 51, 53, 62, 78, 94, 95, 96, 104, 121, 146, 160, 162, 166, 172, 183, 187, 196, 201, 236, 237, 240, 241, 244, 245, 246,

248, 249, 251, 252, 253, 255, 260, 261, 264, 265, 269, 270, 271, 272, 281, 284, 285, 286, 291, 307, 308, 310, 314, 315, 318, 326

Custos 94, 96, 103, 104, 105, 146, 162, 166, 176, 215, 251, 288

D

Deformação 4, 5, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 19, 20, 21, 24, 25, 30, 39, 40, 41, 43, 44, 48, 49, 50, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 71, 72, 77, 84, 87, 106, 115, 116, 117, 118, 149, 165, 167, 239, 260

Discentes 317, 318, 319, 320, 324, 325, 327

Durabilidade 17, 22, 24, 77, 78, 79, 91, 96, 99, 120, 121, 133, 183, 184, 238, 239, 251, 270, 272, 273, 276, 307

E

Efeito construtivo 23

Egressos 317, 318, 319, 320, 322, 323, 324, 325, 326, 327

Elástica 10, 14, 15, 43, 156

Elementos finitos 23, 27, 37, 39, 50, 144

Engenharia civil 1, 9, 22, 23, 36, 37, 51, 52, 94, 106, 118, 119, 120, 133, 134, 160, 161, 181, 182, 235, 236, 237, 240, 245, 246, 271, 281, 309, 315, 317, 318, 320, 323, 324, 325, 326, 327, 328

Enrijecido 145

Ensino 269, 317, 318, 320, 321, 325, 328

Escória 96, 239, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280

Estabilidade 98, 145, 147, 149, 150, 155, 159, 160, 161, 163, 165, 167, 171, 172, 238, 260, 261, 314

Estabilização 145, 150, 151, 282, 309, 314, 315, 316

Estribo 52, 54, 60, 68

Estrutura 11, 12, 14, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 34, 35, 38, 39, 43, 86, 87, 133, 144, 145, 146, 147, 148, 150, 161, 162, 163, 164, 165, 168, 171, 172, 177, 183, 184, 195, 196, 213, 224, 237, 238, 239, 240, 244, 245, 248, 251, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 266, 269, 274, 282, 288, 291, 318, 319, 322, 323, 324, 327, 328

F

Fabricação 2, 98, 146, 147, 149, 166, 235, 237, 240, 243, 244, 245, 249, 261, 273, 286, 298, 299, 329

Fibras 37, 39, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 106, 107, 108, 110, 113, 118, 119

Fissuras 12, 13, 20, 24, 25, 26, 38, 49, 55, 56, 58, 59, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 80, 83, 84, 87, 88, 89, 90, 91, 111, 112, 145, 163, 192, 193, 194, 303, 304

Flexão 50, 54, 55, 57, 66, 77, 79, 80, 81, 82, 84, 87, 88, 89, 91, 92, 106, 108, 109, 111, 112,

113, 115, 118, 119, 156, 164, 258, 259

Fluência 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 25, 27, 77, 134

Fluxo 123, 175, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 206, 223, 254, 258

Fundeio 214, 216, 221, 225, 228, 229, 230, 232, 233

H

Hidrômetro 173, 174, 175, 176, 177, 178, 180, 181

L

Lenta 10, 11, 12, 13, 14, 15, 20, 21

Ligação 5, 7, 8, 107, 158, 159, 161, 163, 170, 171, 261

Lodo 309, 310, 311, 314, 315, 316

M

Manutenção 4, 94, 131, 174, 182, 183, 195, 196, 198, 251, 255, 287

Mercado de trabalho 317, 318, 319, 320, 322, 324, 325, 326, 327, 328

Metacaulim 94, 96, 97, 98, 104, 105, 120, 121, 124, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 245

Metálica 161, 162, 194, 195

P

Pasta cimentícia 79, 120, 126, 128

Patologia 3, 4, 5, 6, 7, 8, 13, 22, 51, 182

Patológica 20, 21

Perda de carga 173, 177, 179, 180

Pico 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 107, 197, 198, 200, 201, 202, 203, 208

Pontes 95, 182, 183, 184, 187, 196

Pórtico 145, 147, 149, 150, 151, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 161, 162, 163, 164, 165, 167, 168, 169, 170, 171, 261

Portos 214, 216, 219, 220, 221, 231, 232, 233, 310

Projeto 1, 2, 3, 4, 9, 22, 24, 25, 26, 27, 35, 38, 39, 52, 58, 60, 76, 91, 92, 104, 118, 146, 147, 160, 161, 163, 166, 167, 168, 172, 180, 182, 187, 196, 199, 200, 201, 202, 212, 215, 216, 217, 218, 220, 224, 231, 232, 237, 244, 245, 247, 248, 249, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 260, 263, 264, 266, 268, 269, 310, 315, 327

Propriedades mecânicas 120, 167, 272, 273, 276, 278, 280

Q

Qualidade 1, 2, 3, 9, 17, 35, 91, 96, 98, 100, 146, 162, 167, 175, 180, 198, 235, 238, 240, 243, 244, 245, 247, 250, 251, 252, 255, 256, 291, 317, 318, 320, 321, 322, 327, 328

R

Redução 13, 25, 38, 52, 79, 91, 94, 97, 98, 115, 116, 121, 131, 146, 147, 149, 150, 158, 159, 166, 174, 215, 237, 255, 261, 271, 279, 280, 284, 285, 288, 292, 310

Reforço 37, 38, 39, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 72, 106, 107, 108, 109, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 166, 183, 196

S

Sinal 22, 197, 198, 203, 204, 205, 207, 210, 211, 212

Sustentabilidade 79, 121, 236, 247, 248, 250, 251, 253, 269, 270, 272, 282, 284, 285

T

Transito 211, 212

V

Veículos 38, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 205, 206, 208, 209, 210, 211

Viadutos 182, 183, 184, 187, 191, 195, 196

Vigas 12, 13, 22, 25, 26, 27, 28, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 39, 44, 45, 47, 48, 50, 51, 52, 53, 54, 57, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 83, 85, 88, 91, 92, 106, 107, 108, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 152, 156, 159, 164, 188, 189, 190, 238, 260, 261, 291

FORÇA, CRESCIMENTO E QUALIDADE DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL 2



www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021

FORÇA, CRESCIMENTO E QUALIDADE DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL 2



www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Atena
Editora

Ano 2021