

FORÇA, CRESCIMENTO E QUALIDADE DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL 3



**FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO
(ORGANIZADORA)**

Atena
Editora
Ano 2021

FORÇA, CRESCIMENTO E QUALIDADE DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL 3



**FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO
(ORGANIZADORA)**

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 Cremona

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 Alfenas

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. Alexsandro 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. Lilians 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

Força, crescimento e qualidade da engenharia civil no Brasil 3

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadora: Franciele Braga Machado Tullio

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F697 Força, crescimento e qualidade da engenharia civil no Brasil 3 / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-980-6

DOI 10.22533/at.ed.806211204

1. Engenharia civil. I. Tullio, Franciele Braga Machado (Organizadora). II. Título.

CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

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

A obra “Força, Crescimento e Qualidade na Engenharia Civil no Brasil 3” contempla trinta e um capítulos com pesquisas sobre temas gerais da engenharia civil.

A engenharia civil é uma importante ferramenta social, pois através dela é possível apresentar propostas de edificações com fins sociais, bem como levar saneamento básico para comunidades vulneráveis.

Muitos estudos buscam trazer soluções sustentáveis através da engenharia civil. A aplicação de diversos tipos de resíduos pode gerar novos produtos aplicados na construção civil e pavimentação.

Conhecer o comportamento de materiais de construção, bem como o desenvolvimento de novos produtos, bem como a análise do comportamento de estruturas em diversos métodos construtivos auxilia os profissionais e estudantes a avaliar suas escolhas.

Por fim, apresentamos um estudo sobre o, ainda presente, preconceito que a mulher sofre na área de engenharia civil.

Desejo que esta obra proporcione uma agradável leitura e fomenta novas pesquisas, contribuindo para a força, o crescimento e a qualidade da engenharia civil no Brasil.

Franciele Braga Machado Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

A INFLUÊNCIA DO USO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE PEDRAS ORNAMENTAIS NAS PROPRIEDADES DE CONCRETOS E ARGAMASSAS

Ana Flávia Ramos Cruz
Cláudia Valéria Gávio Coura
Arthur Ferreira de Paiva
Lucas Machado Rocha
Matheus Pereira Mendes

DOI 10.22533/at.ed.8062112041

CAPÍTULO 2..... 17

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM SUBSTITUIÇÃO PACIAL DO AGREGADO MIÚDO PELO RCD

Lara Guizi Anoni
Ana Paula Moreno Trigo

DOI 10.22533/at.ed.8062112042

CAPÍTULO 3..... 25

APROVEITAMENTO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO COMO ADIÇÃO MINERAL ÀS COMPOSTOS CIMENTÍCIOS

Bruna Silva Almada
Alex Sovat Cancio
Marlo Souza Duarte
Fernanda Galvão de Paula
Nara Linhares Borges de Castro
Abner Araújo Fajardo
White José dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.8062112043

CAPÍTULO 4..... 39

AVALIAÇÃO DE MICROESTRUTURA DE PASTAS CIMENTÍCIAS COM ADIÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO DEPOSITADOS EM BARRAGEM DE LAMAS

Nara Linhares Borges de Castro
Laura Guimarães Lage
Carlos Augusto de Souza Oliveira
White José dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.8062112044

CAPÍTULO 5..... 52

ESTUDO DA VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DE AGLOMERANTE POR RESÍDUOS VÍTREOS NA PRODUÇÃO DE PAVIMENTO INTERTRAVADO DE CONCRETO

Isabelle Aparecida Costa
Ricardo Schneider

DOI 10.22533/at.ed.8062112045

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 6..... | 59 |
| LOGÍSTICA REVERSA COMO INSTRUMENTO SUSTENTÁVEL POTENCIALIZADOR PARA DIMINUIR O DESCARTE RESIDUAL | |
| Fernanda Francine Miranda Braz Maria Clara Pestana Calsa Adriane Mendes Vieira Mota | |
| DOI 10.22533/at.ed.8062112046 | |
| CAPÍTULO 7..... | 73 |
| FABRICAÇÃO DE CONCRETO LEVE ESTRUTURAL UTILIZANDO FIBRAS DE CURAUÁ (ANANASERECTIFOLIUS) E RESÍDUOS DE ARGILA CALCINADA COMO AGREGADO | |
| Isnailson Feitosa Pinheiro Hilderson da Silva Freitas Samuel Cameli Fernandes Laerte Melo Barros | |
| DOI 10.22533/at.ed.8062112047 | |
| CAPÍTULO 8..... | 85 |
| INTERFERÊNCIA DA CURA TÉRMICA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM FORMULAÇÕES A BASE DE EGAF E FGD | |
| Eduarda Pyro Magesk Desilvia Machado Louzada Alessandra Savazzini dos Reis Viviana Possamai Della Sagrillo | |
| DOI 10.22533/at.ed.8062112048 | |
| CAPÍTULO 9..... | 92 |
| PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE EUCALIPTO | |
| Rebeca Fernandes Balsalobre Marcos Rafael Radaelli Fernando Nunes Cavalheiro Gustavo Savaris | |
| DOI 10.22533/at.ed.8062112049 | |
| CAPÍTULO 10..... | 102 |
| REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE MADEIRA NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS APLICADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL | |
| Lidianne do Nascimento Farias | |
| DOI 10.22533/at.ed.80621120410 | |
| CAPÍTULO 11..... | 112 |
| ANÁLISE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE CONCRETO ESTRUTURAL COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE CARBONO | |
| Luiz Fernando Pereira | |
| DOI 10.22533/at.ed.80621120411 | |

CAPÍTULO 12..... 118

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA MADEIRA TRATADA COM IGNIFUGANTES EM SITUAÇÕES DE INCÊNDIO

Gustavo Souza Silva
Ismael Francisco Dias Junior
Mayra Kethlyn da Silva Nascimento
Victor dos Santos Carneiro
Maria Fernanda Quintana Ytza

DOI 10.22533/at.ed.80621120412

CAPÍTULO 13..... 128

ESTUDO DE DOSAGEM DE CONCRETO LEVE COM RESISTÊNCIA PARA FINS ESTRUTURAIS

Lucas Antônio Morais Oliveira
Ingride Escaño
Ana Lúcia Homce de Cresce El Debs

DOI 10.22533/at.ed.80621120413

CAPÍTULO 14..... 142

INVESTIGAÇÃO DE REQUISITOS PARA ALVENARIA ESTRUTURAL

Rayza Beatriz Rosa Araújo
Walter Ladislau de Barros Ribeiro

DOI 10.22533/at.ed.80621120414

CAPÍTULO 15..... 155

PRODUÇÃO DE COMPOSTOS COM ÓXIDO DE EURÓPIO (EU₂O₃): DOPAGEM POR ALUMÍNIO (Al), FERRO (Fe), CARBONO (C), COBRE (Cu) E TITÂNIO (Ti) POR DEPOSIÇÃO DE VAPOR IÔNICO (ARC-PVD)

Felipe Corrêa Ribeiro
Célio Marques
Daniel Rodrigues de Oliveira Novaes
Gilmar de Souza Dias
Isabelle Pereira Souza Dias
Isac Rossi Sylvestre
João Paulo Tailor de Matos Salvador
Júllia Sttefane de Oliveira
Lorena Silva Castello
Maykon Elias Batista
Rodrigo Vieira Rodrigues
Tales Costa de Freitas

DOI 10.22533/at.ed.80621120415

CAPÍTULO 16..... 165

A INFLUÊNCIA DAS PONTES TÉRMICAS NO DESEMPENHO TÉRMICO, ENERGÉTICO E NAS ESTRUTURAS DAS EDIFICAÇÕES DA BAIXADA SANTISTA

Edmar Nascimento Lopes
Rodrigo Onofre de Oliveira
Itamar Gonçalves da Silva

Rodrigo Coelho Roberto

DOI 10.22533/at.ed.80621120416

| | |
|----------------------------------|------------|
| SOBRE A ORGANIZADORA..... | 175 |
| ÍNDICE REMISSIVO..... | 176 |

APROVEITAMENTO DE REJEITO DE MINÉRIO DE FERRO COMO ADIÇÃO MINERAL À COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 01/02/2021

Bruna Silva Almada

Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte-Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/2146833673047554>

Alex Sovat Cancio

Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte-Minas Gerais

Marlo Souza Duarte

Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte-Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/8837929820742513>

Fernanda Galvão de Paula

Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte-Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/7468935481135714>

Nara Linhares Borges de Castro

Universidade Federal de Ouro Preto - PROPEC
Ouro Preto -Minas Gerais.
<http://lattes.cnpq.br/7017354511764029>

Abner Araújo Fajardo

Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte-Minas Gerais.
<http://lattes.cnpq.br/8825949313525657>

White José dos Santos

Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte-Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/6929801431620076>

RESUMO: O mercado de minério de ferro é um dos maiores responsáveis pela demanda de ferro na siderurgia e representa grande importância na economia brasileira. O crescente desenvolvimento do setor levou a um aumento da geração de resíduo de minério de ferro (RMF). Nesse contexto, este estudo visa avaliar as perspectivas para reaproveitamento do RMF como adição à matriz de compósitos cimentícios, no teor de 40%. Foram avaliadas propriedades no estado fresco e endurecido, estudando-se pastas e argamassas. Os resultados indicam um aumento na demanda de água e do coeficiente de capilaridade devido à finura do material, causando refinamento dos poros na estrutura. Apesar do aumento da permeabilidade de fluidos a resistividade elétrica foi reduzida. Constatou-se um aumento na resistência à compressão e no módulo de elasticidade dinâmico, influenciada pela elevada massa específica do resíduo e densificação na matriz. De forma geral, o desempenho mecânico de pastas e argamassas utilizando 40% de adição de RMF se mostrou superior à composição de referência. Pode ser uma solução técnica e eficiente para produção de materiais destinados à construção civil, contribuindo para a diminuição do volume do rejeito e fomentando uma destinação ecoeficiente dos rejeitos armazenados em barragens.

PALAVRAS-CHAVE: Rejeito de mineração de ferro, adição mineral ao cimento, Cimentos com adições, Aproveitamento de resíduos.

USE OF IRON ORE TAILINGS AS MINERAL ADDITION TO CEMENT COMPOSITES

ABSTRACT: The iron ore market is one of the most responsible for the iron demand in the steel industry and represents great importance in the Brazilian economy. The growing development of sector has led to an increase in the generation of iron ore tailings (IOT). In this context, this study aims to evaluate the prospects for reusing IOT as an addition to the matrix of cementitious composites, in the content of 40%. Properties in fresh and hardened state were evaluated, studying pastes and mortars. The results indicate an increase in demand for water and the capillarity coefficient due to the fineness of the material, causing pore refinement in the structure. Despite the increase in fluid permeability, electrical resistivity was reduced. There was an increase in compressive strength and in dynamic elastic modulus, influenced by the high specific mass of the residue and densification in matrix. In general, the mechanical performance of pastes and mortars using 40% IOT addition proved to be superior to the reference composition. It can be a technical and efficient solution to produce materials intended for civil construction, contributing to the reduction of the volume of tailings and promoting an eco-efficient destination of tailings stored in dams.

KEYWORDS: Iron ore tailings, mineral addition to cement, Cements with additions, Waste recovery.

1 | INTRODUÇÃO

No Brasil, o setor da mineração representa um significativo papel na economia, contribuindo com cerca de 16% do Produto Interno Bruto (PIB) industrial (IBRAM, 2018). Esta atividade faz com que o país ocupe posição de destaque como o segundo maior produtor mundial de minério de ferro (USGS, 2020). Apesar dos benefícios econômicos, a mineração de ferro também está associada a impactos ambientais, devido à extensão de áreas alteradas nas minas e ao grande volume de resíduos gerados no processo de extração e beneficiamento do minério. Calcula-se que cada tonelada de minério extraído gere 400 kg de resíduos no processo de beneficiamento (DAUCE *et al.*, 2018).

Os rejeitos de minério de ferro (RMF), em geral, apresentam elevada superfície específica e composição química com altos teores de dióxido de silício, óxido de alumínio e óxido de ferro (CARRASCO *et al.*, 2017). Em razão das suas características, apresentam potencial como matéria prima para produtos destinados à construção civil (SILVA *et al.*, 2014). Assim, o RMF vem sendo alvo de estudos para aproveitamento com finalidades distintas, para confecção de argamassas (CARRASCO *et al.*, 2017; FONTES *et al.*, 2016), materiais cerâmicos (SILVA *et al.*, 2014; WEISHI *et al.*, 2018), concreto (SHETTIMA *et al.*, 2016; COSTA, 2016; KURANCHIE *et al.*, 2015; MAGALHÃES *et al.*, 2017) e concreto de ultra-alto desempenho (ZHAO *et al.*, 2014).

Embora já existam pesquisas com a utilização do RMF, a maioria dos pesquisadores utiliza o RMF como substituição ao agregado, sendo a aplicação como adição ainda pouco explorada. Portanto, este trabalho busca avaliar o comportamento de pastas e argamassas

contendo 40% de RMF como adição à matriz, sob os aspectos de resistência e durabilidade.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O RMF estudado nesta pesquisa foi coletado de uma barragem de rejeito pertencente ao Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais. Para a utilização como adição mineral o RMF foi cominuído em moinho de barras até que suas partículas possuíssem dimensões próximas às do cimento (inferiores a 75 μm).

O resíduo foi caracterizado quanto a composição granulométrica, por granulometria à laser, massa específica por picnômetro à hélio, composição química por fluorescência de raios-X (FRX) e mineralógica por difração de raios-X (DRX). A FRX foi realizada, com limite de detecção de 0,01% e método de referência analítica CLA70C, para determinação de óxido de ferro (II) – FeO (silicato) volumétrico. A perda ao fogo foi realizada por calcinação da amostra a 405° C e/ou 1000° C, utilizando o método PHY01E: LOI (*Loss on ignition*) e, na quantificação por RFX, utilizou-se o método XRF79C: fusão com tetraborato de lítio. Para a DRX o equipamento utilizado foi o Difrátômetro de raios-X, para amostra em pó, PHILIPS (PANALYTICAL), sistema X'Pert-APD, controlador PW 3710/31, gerador PW 1830/40, goniômetro PW 3020/00.

Após a caracterização, foram moldadas pastas e argamassas, contendo somente cimento (REF), e contendo a adição de 40% do resíduo (RMF). Além do RMF, foi utilizado cimento Portland CPI, por não conter adições; areia tratada, que atendem à NBR 7214 (ABNT, 2015), fornecida pelo Instituto de Pesquisa e Tecnologia de São Paulo, composta por quatro frações de areia quartzosa (n° 16, n° 30, n° 50 e n° 100) e água potável. Para o estudo com as pastas, foi realizado, inicialmente, o ensaio de consistência normal com a pasta de referência, e com a pasta contendo RMF, buscando verificar a demanda de água dos materiais secos. Como esse resultado foi diferente, foram moldadas pastas nos dois fatores água/cimento obtidos. O índice de consistência das pastas foi realizado em molde de tronco de cone, com dimensões 49,15 x 30,80 x 18,15 mm (Bxbxh) e das argamassas, utilizou-se o molde padrão da norma NBR 13276 (ABNT, 2016). A Tabela 1 apresenta as dosagens utilizadas para as pastas e argamassa.

| | | Cimento | Resíduo | Areia | Água | a/f | r/c | a/c |
|-------------------|---------------|----------|---------|----------|--------|-------|------|-------|
| Pastas | REF a/c 0,345 | 1.525,64 | 0,00 | - | 526,35 | 0,345 | 0,40 | 0,345 |
| | RMF a/c 0,345 | 1.338,28 | 535,31 | - | 461,71 | 0,246 | | |
| | REF a/c 0,416 | 1.376,53 | - | - | 572,64 | 0,416 | 0,40 | 0,416 |
| | RMF a/c 0,416 | 1.222,16 | 488,862 | - | 508,42 | 0,297 | | |
| Argamassas | REF | 509,08 | - | 1.527,25 | 254,54 | 0,500 | 0,40 | 0,500 |
| | RMF | 486,36 | 194,55 | 1.459,09 | 243,18 | 0,357 | | |

Nota: a/f – relação água finos; r/c – relação resíduo cimento; a/c – relação água cimento

Tabela 1 - Consumo de materiais das pastas e argamassas (kg/m³)

Para a avaliação das propriedades mecânicas e de durabilidade foram moldados corpos de prova conforme NBR 7215 (ABNT, 2018), sendo o adensamento realizado em mesa vibratória, até exsudação de cada camada. A cura foi realizada em câmara úmida por 28 dias, sendo realizados os experimentos conforme Figura 1.

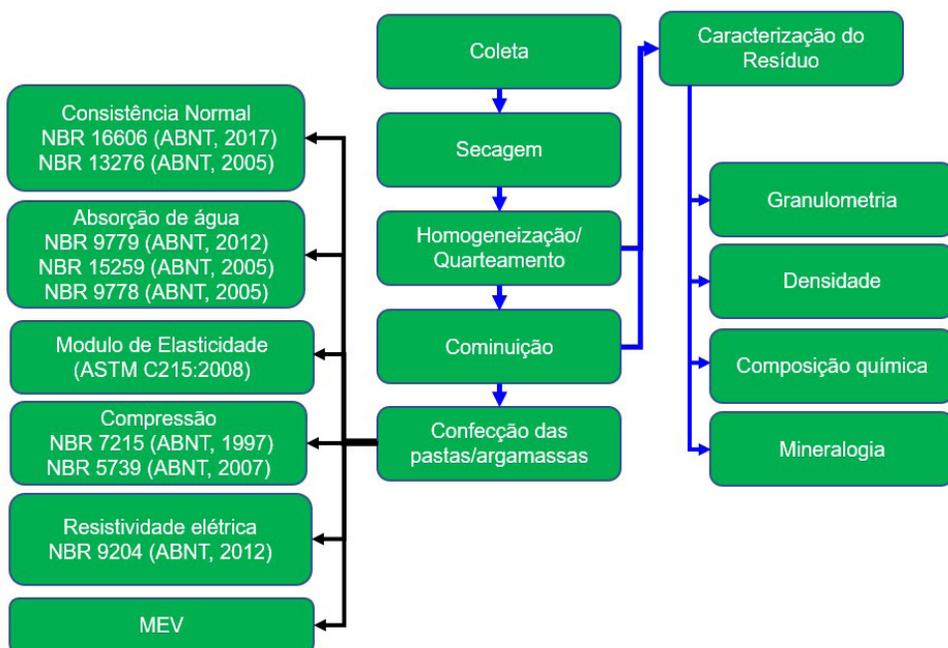


Figura 1- Programa experimental

A resistência à compressão das pastas foi determinada a partir do rompimento de corpos de prova prismáticos (5x5x5) cm, em máquina de ensaios universal, modelo

Instron 5582, de carga máxima de 100 kN e velocidade de carregamento de 0,5 mm/min. Já para as argamassas, foram utilizados corpos de prova cilíndricos (5x10) cm, rompidos em prensa automatizada EMIC, modelo DL2000, de carga máxima de 200t e velocidade de carregamento de (0,45 ±0,15) MPa/s. A absorção de água por capilaridade e por imersão foram realizadas seguindo os procedimentos normativos. A porosidade teórica foi calculada, considerando o Teorema de Arquimedes, utilizando os dados obtidos no ensaio de absorção por imersão e considerando somente os materiais secos para a massa específica da argamassa.

O módulo de elasticidade dinâmico foi determinado pelo método de frequência ressonante forçada no modo longitudinal em corpos de prova cilíndricos (10x20) cm, seguindo as recomendações da norma (ASTM, 2008) e as adaptações na equação de NBR 9204 (ABNT, 2012). Foi utilizado o equipamento Erudite MKII Ressonante Frequency Test System para aferição da frequência ressonante. Estas amostras ficaram em imersão completa por 24 horas para saturação, realizando-se leituras de corrente elétrica contínua, aplicada através de diferença de potencial entre dois eletrodos localizados nas superfícies de base e topo dos corpos de prova. Para isso, utilizou-se o equipamento Gerador de Função Digital FG -8102 da Politerm, considerando a geometria do material e a Lei de Ohm.

3 | RESULTADOS

3.1 Caracterização do RMF

O RMF apresentou massa específica de 4,359 kg/dm³ enquanto o cimento obteve o valor de 3,221 kg/dm³, logo percebe-se que se trata de um material 35% mais pesado que cimento. Deste modo, o uso deste material como agregado ou cimento convergiria para redução de possíveis utilização, devido ao aumento de peso do material. Espera-se que, ao ser adicionado à matriz de argamassas, permita um uso maximizado para fins estruturais. Aliado a isto, tem-se os valores da composição química (Tabela 3) e mineralógica (Figura 2), que demonstram não possui elementos contaminantes.

| | FeO | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | TiO ₂ | P ₂ O ₅ | Na ₂ O | K ₂ O | MnO | LOI |
|------------|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|-------------------------------|-------------------|------------------|------|------|
| RMF | 0,49 | 25,6 | 3,13 | 59,1 | 3,85 | 0,23 | 0,14 | 0,16 | <0,1 | 0,38 | 0,23 | 6,12 |
| CPI | - | 19,9 | 4,34 | 2,38 | 63,3 | 2,68 | 0,23 | 0,18 | 0,17 | 0,98 | 0,05 | 2,29 |

Tabela 3 - Composição química do RMF e do cimento

Para o resíduo utilizado neste trabalho, percebe-se ainda alto teor de ferro, o que se justifica devido ao processo simplificado de beneficiamento pelo qual o minério extraído da lavra foi submetido. Observa-se uma maior quantidade de Ferro (Fe) e Oxigênio (O),

média quantidade de Sílica (Si), baixa quantidade de Alumínio (Al) e Fósforo (P) e traços de Manganês (Mn), Tântalo (Ti), Cloro (Cl), Enxofre (S), Magnésio (Mg) e Sódio (Na) na amostra de RMF analisada, semelhante ao resultado de Fluorescência de Raios-X.

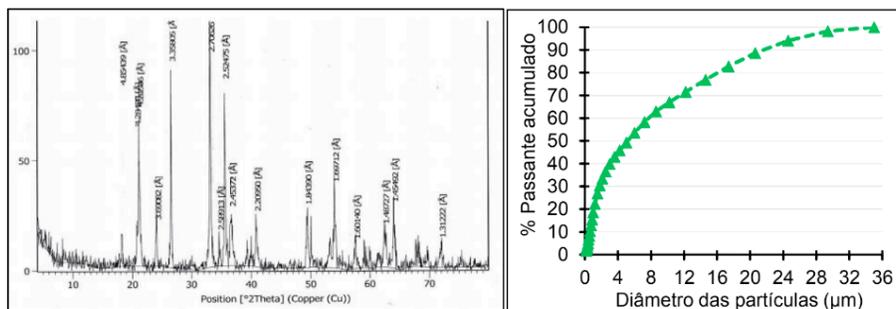


Figura 2 - Difratoograma de raios-X do RMF e curva granulométrica do cimento e do RMF

Percebe-se (Figura 2) a presença predominante de Quartzo - SiO_2 , Hematita - Fe_2O_3 , Goethita - FeO(OH) e Gibbsita - Al(OH)_3 . Constata-se vários picos demonstrando a elevada cristalinidade do resíduo de mineração e possivelmente, pouca probabilidade de uma eventual reação deste material com os materiais presentes nos compósitos cimentícios. Quanto à composição química do cimento CPI utilizado, o ensaio de Fluorescência de raios-X demonstra que o material se encontra dentro da norma referência NBR 16697 (ABNT, 2018), apresentando mais de 95% de clínquer e sulfatos de cálcio, com óxido de magnésio inferior a 2% em massa. A perda ao fogo, com a presença do RMF tende a não gerar grandes comprometimentos ao comportamento do microconcreto em situações de incêndio.

O resultado da granulometria, apresentado na Figura 2, mostra que o resíduo tem partículas de dimensões inferiores à 33, com $D_{90} = 13,240$, $D_{50} = 2,980$ e $D_{10} = 0,530$. Verifica-se que o resíduo apresenta uma finura intermediária a do cimento, com cerca de 70% das partículas com maior finura, o que indica que este material pode trabalhar com uma boa propensão a filler, melhorando o preenchimento dos vazios deixados pelo cimento.

3.2 Avaliação das pastas e argamassas no estado fresco

Os resultados para a consistência normal (Figura 3) mostraram que a pasta de referência demandou um fator água/cimento (a/c) de 0,345, enquanto a pasta contendo RMF demandou 0,416. Observa-se, portanto, um aumento de 20,5% na quantidade de água da pasta, que é resultado do aumento da área superficial das partículas, devido à inserção do resíduo na mistura.

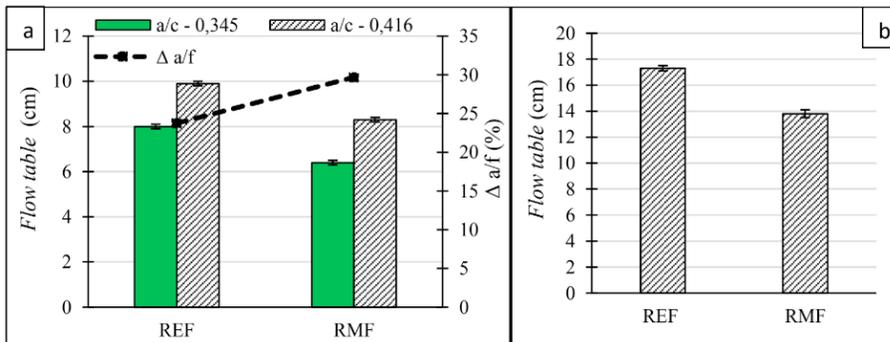


Figura 3 - Resultado do índice de consistência (*flow table*) das (a) pastas e das (b) argamassas

Constata-se que o incremento na quantidade de água promoveu um maior espalhamento das pastas, como já era esperado. Entretanto, esse espalhamento não seguiu a mesma proporção do aumento de água, variando 23,7% na pasta de referência e 29,6% na pasta contendo RMF, o que indica que a diferença granulométrica e área superficial específica dos resíduos influenciou esta propriedade conforme observado por (ZHAO; FAN; SUN, 2014). Destaca-se que, a forma dos grãos do resíduo também influencia as propriedades de argamassas no estado fresco. Conforme visto em (ZHAO; FAN; SUN, 2014; YU; ZHANG; MU, 2012), as partículas do RMF geralmente possuem formas angulares e superfície rugosas. As pastas contendo RMF obtiveram índices de consistência inferiores às pastas de referência, sendo 20,00% para o fator a/c 0,345 e 16,16% para a/c 0,416. Esse resultado pode ser atribuído à finura do material e à maior densidade do RMF em relação ao cimento, conforme visto nos estudos de (FONTES *et al.*, 2014; FONTES *et al.*, 2016). De forma semelhante, houve uma redução de 20,23% no espalhamento das argamassas.

3.3 Avaliação no estado endurecido

Percebe-se (Figura 4) que houve um aumento do coeficiente de capilaridade em 15,47% com a adição de RMF, que está associado à absorção de água por capilaridade nos minutos iniciais, conforme variação da taxa.

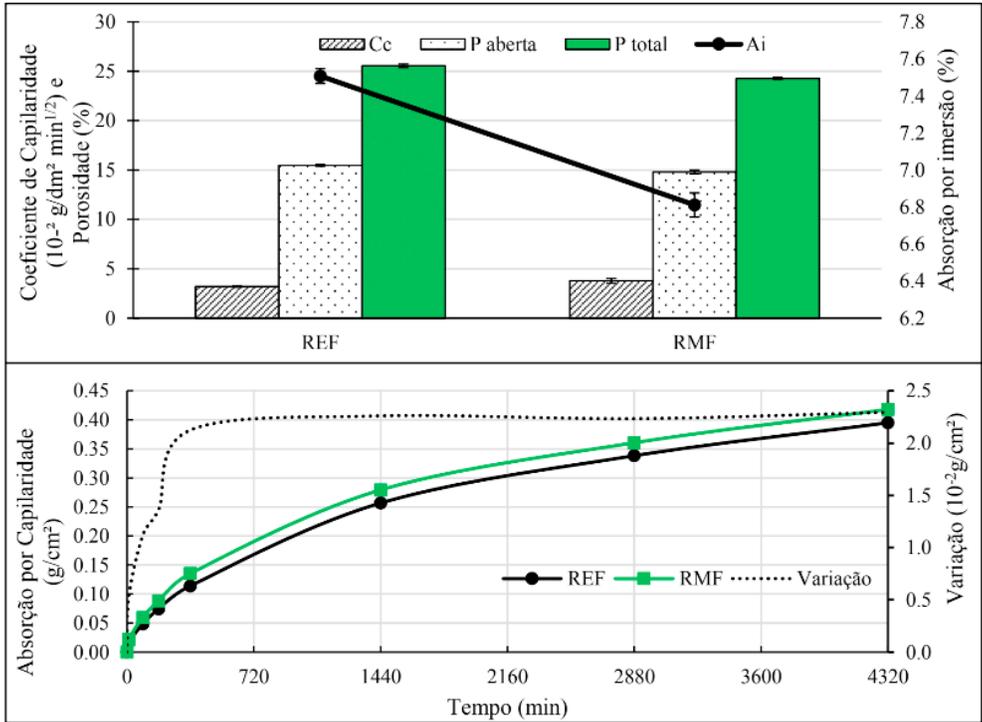


Figura 4 - Resultado do coeficiente de capilaridade, porosidade e absorção de água por imersão e por capilaridade das argamassas

Correlacionando esse resultado com as porosidades aberta e fechada, percebe-se que reduziram 4,59 e 5,25%, respectivamente, que houve um refinamento da estrutura dos poros, promovendo um melhor empacotamento dos grãos. Resultado compatível com estudo de (YU; ZHANG; MU, 2012), o que pode garantir maior durabilidade das argamassas (SANT'ANA FILHO *et al.*, 2017). Já a variação entre as porosidades aberta e fechada, tanto na argamassa de referência como na argamassa contendo RMF, fica em torno de 39%, indicando pouca diferença na quantidade de poros abertos, sendo mais significativa a dimensão destes gerando o refinamento dos poros (Figura 5).

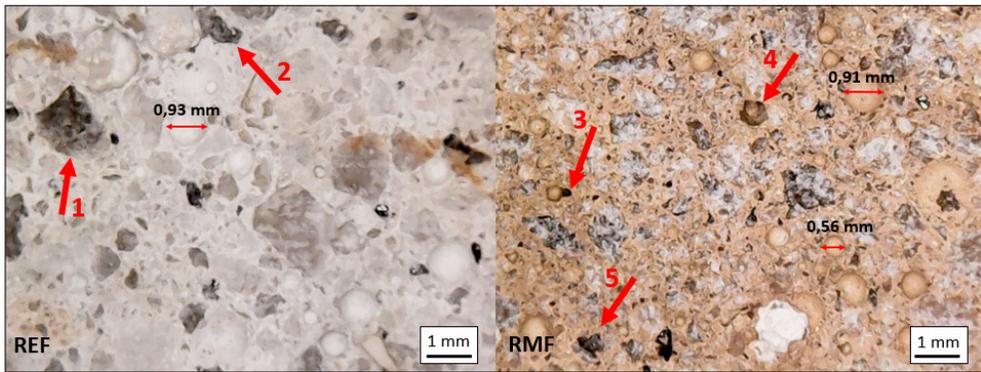


Figura 5 - Imagem de microscópio digital (1000x) das argamassas

Nos pontos 1 e 2, da argamassa de referência, são identificados poros de maior profundidade, ou seja, uma interconexão, que contribui para a permeabilidade de fluidos. Entretanto, esses vazios são maiores e mais irregulares, o que dificulta a absorção por capilaridade, tornando-a também mais lenta. Há também uma distribuição não uniforme de poros, de forma circular e de dimensões médias de 0,90 mm, além da presença de poucos poros menores. Já para a argamassa contendo resíduo, os pontos 3, 4 e 5, indicam os poros conectados, mas que tem menores dimensões, facilitando a absorção por capilaridade, assim como observado no resultado do ensaio. É possível constatar ainda que a distribuição dos poros é mais homogênea e os estes têm tamanho aproximado de 0,55 mm.

Santos (2006) afirma que a resistividade está fundamentalmente relacionada à permeabilidade de fluidos e à difusividade de íons através dos poros do material. Como houve aumento do coeficiente de capilaridade e refinamento da estrutura dos poros, a permeabilidade do material foi aumentada, observando uma redução da resistividade elétrica no valor similar (15,47%), conforme Figura 6. Destaca-se ainda o elevado teor de óxido de ferro (59,1%) do resíduo, que contribui elevando a condutividade e, conseqüentemente, reduzindo a resistividade elétrica.

Observa-se na Figura 7 que a pasta de referência no teor a/f de 0,416 resultou em uma resistência à compressão superior (39,06%) à do teor a/f de 0,345, o que não era esperado. Esse resultado pode estar atribuído a falhas na moldagem, gerando corpos de prova com faces não paralelas e superfícies irregulares, acarretando concentração de tensão durante a execução do ensaio. Isso corrobora com as rupturas, ocorridas próximas às faces laterais das amostras, ocorrendo sobretudo a pasta de referência.

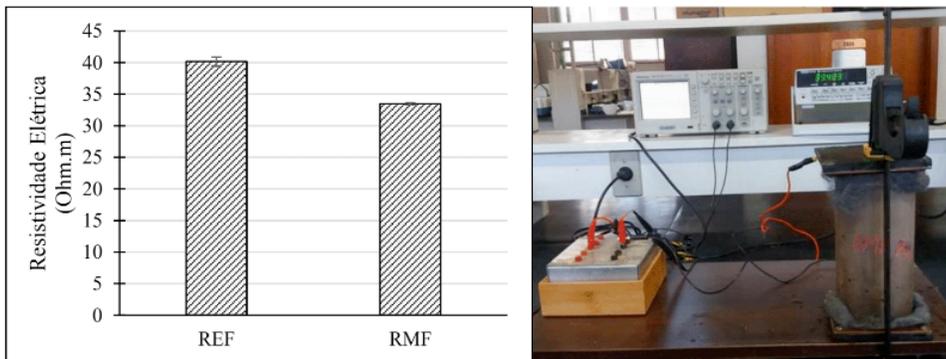


Figura 6 – (a) Resultado da resistividade elétrica das argamassas

Avaliando-se a presença do resíduo, houve um aumento de 80,06% na resistência à compressão no fator a/c de 0,345. Contudo, no fator água/cimento maior, observa-se uma queda de 5,78%. Considerando o erro do ensaio, esses últimos resultados são considerados estatisticamente iguais. Diante disto, pode-se afirmar que a adição de 40% de RMF não altera significativamente esta propriedade.

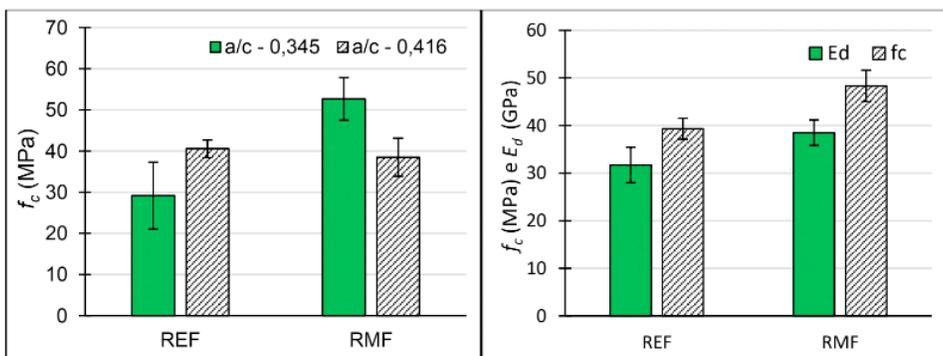


Figura 7 - Resultado da resistência à compressão (f_c) e módulo de elasticidade dinâmico (E_d) das (Esquerda) pastas e das (Direita) argamassas

Já na resistência à compressão (Figura 7) da argamassa contendo RMF, constatou-se um aumento de 22,88%, devido ao efeito fíler e melhor empacotamento promovido pela adição mineral, confirmando os resultados observados na porosidade aberta e fechada, em conformidade com os estudos realizados por (YU; ZHANG; MU, 2012). Resultado semelhante foi encontrado no módulo de elasticidade dinâmico, sendo observado um aumento de 21,41% com a dição do RMF. Sendo esta propriedade também influenciada pela massa específica do resíduo (CARRASCO *et al.*, 2017). Destaca-se ainda a influência do tipo de cimento na composição da argamassa (CASTRO, 2018), utilizando

o cimento CPV ARI, obteve, para a mesma composição, uma resistência à compressão de aproximadamente 44 MPa, sendo, portanto, 8,90% menor que o resultado obtido neste trabalho com o cimento do tipo CPI.

Na Figura 8, observa-se a microestrutura da pasta contendo RMF, onde percebe-se uma região de “afastamento” de uma partícula da pasta que pode estar atribuída a absorção de água pelo RMF ocasionando um aumento no volume da mesma e contribuindo com a formação da portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Uma outra hipótese levantada seria a da presença de algum componente no resíduo de minério de ferro que possa reagir de forma expansiva nas primeiras idades, afastando a matriz e gerando a formação da portlandita na zona de transição. Ambas as hipóteses necessitariam de estudos mais aprofundados para conclusões mais elucidativas.

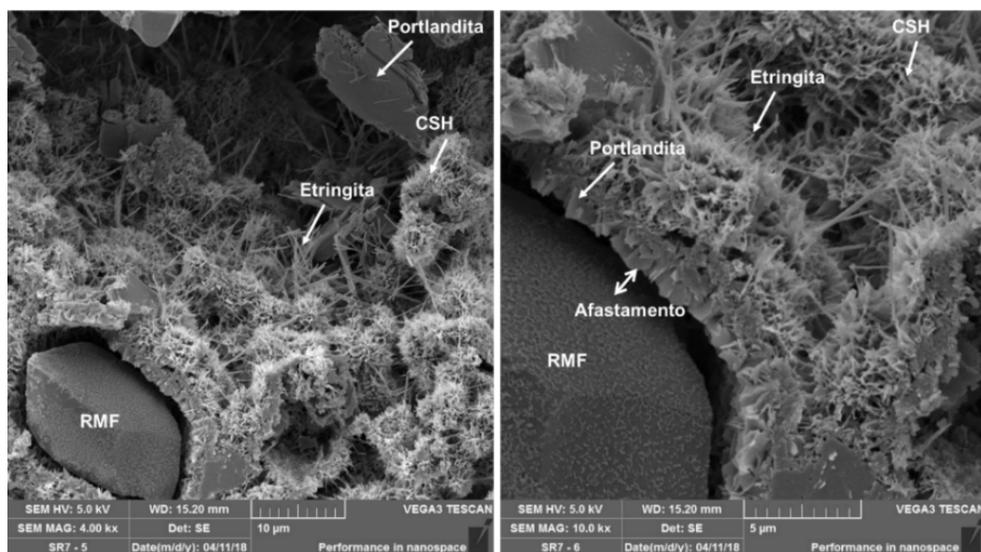


Figura 8 - Microestrutura das pastas próximo às partículas de RMF.

A composição química, referente a área demarcada em vermelho, através da análise do RMF pelo método de EDS, sendo composta principalmente por 42,7% de Ca (cálcio), 29,5% de Fe (ferro), 12,2% de Si (silício), dentre outros, e que difere do EDS realizado em outros pontos da pasta com adição de RMF, que não apresentou concentração elevada de Ferro. Acredita-se que este seja uma partícula de resíduo recoberta pela pasta de cimento o que causaria o elevado valor de cálcio, contudo não se identifica qualquer estrutura que corrobora com o cimento recobrindo.

4 | CONCLUSÕES

A avaliação do comportamento de pastas e argamassas contendo adição de 40% de resíduo de minério de ferro permite concluir que, de forma geral, o resíduo melhora o desempenho das argamassas no que diz respeito às propriedades mecânicas e de durabilidade, embora reduza a trabalhabilidade. Essa redução, está associada à sua elevada da área de molhagem, demandando mais água para atingir a mesma consistência. Constatou-se que o RMF atuou como fíler, proporcionando um melhor empacotamento dos grãos, o que refinou a estrutura dos poros. Esse resultado indica um melhor desempenho em relação à durabilidade do material, podendo ser um indicativo de maior resistência a penetração de agentes agressivos. Embora tenha sido observado um aumento no coeficiente de capilaridade, a longo prazo, pode-se concluir que a taxa de absorção é semelhante à da argamassa de referência. Além disso, a inserção do resíduo também leva a uma menor absorção final. Devido à essa menor porosidade e ao teor de ferro do resíduo, houve um ganho de resistência e elevação do módulo de elasticidade. Entretanto, mesmo com menor porosidade, houve uma queda na resistividade elétrica, pois essa propriedade é muito sensível à diversos fatores, incluindo a presença de materiais condutores, como é o caso do ferro. Este trabalho mostra a viabilidade técnica para o uso do RMF como adição em matrizes cimentícias, podendo ser uma solução eficiente para produção de materiais destinados à construção civil, contribuindo para a diminuição do volume do rejeito e fomentando uma destinação e coeficiente dos rejeitos armazenados em barragens.

REFERÊNCIAS

CARRASCO, E. V. M., MAGALHÃES, M. D. C., SANTOS, W. J. D., ALVES, R. C., MANTILLA, J. N. **Characterization of mortars with iron ore tailings using destructive and nondestructive tests.** Construction and Building Materials, v. 131, p. 31–38, 2017.

CASTRO, N. L. **Estudo de argamassa estrutural com adição de resíduo da mineração de ferro depositado em barragem de lama no estado de Minas Gerais – Brasil.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.

COSTA, A. V. **Concreto com rejeito de sinter feed: Estudo comparativo de desempenho e caracterização microestrutural.** Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, 2016.

DAUCE, P.D.; CASTRO, G.B.; LIMA, M.M.F.; LIMA, R.M.F. **Characterisation and magnetic concentration of an iron ore tailings.** Journal of Materials Research and Technology, 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Anuário Mineral Brasileiro – Principais substâncias Metálicas 2017.** Disponível em: http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/analisis-mineral/analisis-mineral-brasileiro/amb_metalicos2017, acessado em 27 de outubro de 2018.

FEAM. **Inventário de barragens do estado de Minas Gerais ano 2017**. http://www.ief.mg.gov.br/images/FEAM/Barragens/Invent%C3%A1rio_de_Barragens_2017.pdf, acessado em 27 de outubro de 2018.

FONTES, W. C.; MENDES, J. C.; SILVA, S. N.; PEIXOTO, R. A. F. **Mortars for laying and coating produced with iron ore tailings from tailing dams**. *Construction and Building Materials*, v. 112, p. 988–995, 2016.

GALVÃO, J. L. B.; ANDRADE, H. D.; BRIGOLINI, G. J.; PEIXOTO, R. A. F.; MENDES, J. C., **Reuse of iron ore tailings from tailings dams as pigment for sustainable paints**. *Journal of Cleaner Production*, v. 200, p. 412–422, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Relatório Anual de Atividades, julho de 2017 - Junho de 2018**. Disponível em: http://portaldamineracao.com.br/ibram/wpcontent/uploads/2018/07/Diagrama%C3%A7%C3%A3o_Relat%C3%B3rioAnual_vers%C3%A3oweb.pdf. Acessado em 27 de outubro de 2018.

KURANCHIE, F. A.; SHUKLA, S. K.; HABIBI, D.; MOHYEDDIN, A. **Utilisation of iron ore tailings as aggregates in concrete**. *Cogent Engineering*, v. 2, n. 1, 2015.

LEE, B. J.; KEE, S.-H.; OH, T.; KIM, Y.-Y. **Effect of Cylinder Size on the Modulus of Elasticity and Compressive Strength of Concrete from Static and Dynamic Tests**. *Advances in Materials Science and Engineering*, p. 1-12, 2015.

MAGALHÃES, L. F.; MORAIS, I. S.; ESTEVES JUNIOR, M. A.; MELO, A. C.; MAIA, A. L. F.; BEZERRA, A. C. S. **Resistência ao ataque ácido de cimento Portland com adição de rejeito de minério de ferro**, IBRACON, 59º Congresso Brasileiro de Concreto, Anais, out/nov, 2017.

PEIXOTO, R. F.; MENDES, J. C.; FONTES, W. C.; BASTOS, L. A. C.; SANT'ANNA, J. N.; SANTOS, D. H. **Utilização de rejeito de barragem de minério de ferro na construção civil. Relatório Técnico Reciclos**, UFOP, p. 56, 2016.

SANT'ANA FILHO, Joaquim *et al.* **Technical and Environmental Feasibility of Interlockin Concrete Pavers with Iron Ore Tailings from Tailings Dams**. *Construction and Building Materials*, v. 29, p. 1-7, jan. 2017.

SANTOS, L. **Evaluation of the electrical resistivity of concrete as a parameter to calculation of initiation period of corrosion induced by chlorids in concrete structures**. Master's Dissertation University of Brasília; Brasília, 2006. (Portuguese)

SHETTIMA, A. U., HUSSIN, M. W., AHMAD, Y., MIRZA, J. **Evaluation of iron ore tailings as replacement for fine aggregate in concrete**. *Construction and Building Materials*, v. 120, p. 72–79, 2016.

SILVA, F.L.; ARAÚJO, F.G.S.; TEIXEIRA, M.P.; GOMES, R.C.; VON KRUGER, F.L. **Study of the recovery and recycling of tailings from the concentration of iron ore for the production of ceramic**. *Ceramics International*, v. 40, n. PB, p. 16085–16089, 2014.

UNITED STATE GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **National Minerals Information Center – Mineral Commodity Summaries, 2020**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/iron-ore-statistics-and-information>. Acesso em: 10/01/2021.

WEISHI, L., GUOYUAN, L., YA, X., QIFEI, H. **The properties and formation mechanisms of eco-friendly brick building materials fabricated from low-silicon iron ore tailings.** Journal of Cleaner Production, v. 204, p. 685–692, 2018.

YU, L.; ZHANG, J.; MU, K. **Relationships between Compressive Strength and Microstructure in Mortars with Iron Ore Tailings as Fine Aggregate.** Applied Mechanics and Materials, v. 188, p. 211-218, 2012.

ZHAO, S.; FAN, J.; SUN, W. **Utilization of iron ore tailings as fine aggregate in ultra-high performance concrete.** Construction and Building Materials, v. 50, p. 540–548, 2014.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adição mineral ao cimento 25

Agregado leve 73, 75, 83, 128, 131, 133, 136, 138, 140

Agregados reciclados 17, 21, 23, 24

Alvenaria estrutural 51, 142, 143, 144, 145, 146, 149, 153, 154

Aproveitamento de resíduos 1, 25, 42, 108

Argila calcinada 73, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 81, 83, 84, 140

Argila expandida 73, 75, 76, 79, 80, 81, 84, 128, 130, 131, 132, 133, 134, 137, 138, 139, 140

C

Cedrinho 118, 119, 120, 122, 125, 126

Cimentos com adições 25

Concreto estrutural 17, 112, 113, 128, 129, 138, 140

Concreto leve 73, 75, 76, 83, 84, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140

Concretos especiais 74, 112, 117

Construção civil 1, 2, 3, 4, 15, 17, 22, 23, 25, 26, 36, 37, 39, 41, 43, 52, 53, 58, 73, 74, 75, 76, 84, 86, 93, 94, 102, 103, 104, 105, 106, 108, 110, 113, 118, 119, 120, 125, 126, 129, 139, 142, 143, 167

Cura térmica 85, 87, 88, 89

Custo 14, 52, 57, 61, 73, 93, 105, 109, 112, 117, 129, 143, 157

D

Demolição 17, 23, 24

Dosagem de concreto 128, 133, 134

E

Educação ambiental 59, 61, 63, 64, 65, 68, 70, 71, 72

Erros 142, 143, 146, 147, 153

Execução 33, 142, 143, 144, 145, 154

F

Fibra de carbono 112, 113, 114, 117

Fibras de curauá 73, 78, 83

G

Gerenciamento de resíduos 59, 104

Gesso FGD 85, 86, 87

I

Ignífugo 118, 123, 125

Incêndio 30, 118, 120, 121, 122, 125, 126, 127

M

Madeira-cimento 92, 96, 104

Materiais de construção 1, 15, 22, 43, 87

Meio ambiente 2, 50, 52, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 66, 68, 74, 75, 77, 90, 93, 101, 102, 103, 120, 127

Microestrutura 35, 39, 41, 42, 44, 45, 46, 50, 84, 132, 140

O

Óleo vegetal usado 59, 66

P

Painéis 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113

Painéis aglomerados 102, 105, 106, 107, 109, 110, 111

Painéis de partículas 102, 106

Painéis OSB 102, 106, 107, 109, 110, 111

Pasta 10, 27, 30, 31, 33, 35, 39, 41, 42, 44, 47, 48, 49, 75, 76, 83, 85, 88, 89, 91, 137, 138, 140

Paver 52, 53, 55, 56, 57

Pinus pinaster 118, 119, 124, 125, 126

Propriedades mecânicas 17, 23, 28, 36, 49, 57, 73, 80, 84, 87, 112, 113, 122, 133

R

Reaproveitamento de resíduos 59, 85, 92, 102, 103, 104

Rejeito de mineração de ferro 25, 43, 49

Rejeito de minério de ferro 25, 37, 39

Requisitos 16, 90, 106, 109, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 153, 166

Resíduos de construção 17, 23, 24

Resíduos de madeira 92, 93, 94, 95, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110

Resíduos industriais 1, 2, 58, 85, 86, 87, 105, 111

Resíduos vítreos 52, 53, 58

Resistência 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 33, 34, 35, 36, 37, 41, 44, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 73, 75, 76, 77, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 99, 100, 105, 109, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 131, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 168

Resistência mecânica à compressão 81, 128

Rochas 1, 2, 3, 4, 5, 15, 16, 113, 130

S

Substituição de aglomerante 52

Sustentabilidade 17, 39, 52, 59, 60, 72, 119, 127, 130

FORÇA, CRESCIMENTO E QUALIDADE DA ENGENHARIA CIVIL NO BRASIL 3



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 3



www.arenaeditora.com.br



contato@arenaeditora.com.br



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



www.facebook.com/arenaeditora.com.br

Atena
Editora

Ano 2021