

ARMANDO DIAS DUARTE
(ORGANIZADOR)

Collection:

APPLIED CIVIL ENGINEERING

Atena
Editora
Ano 2022

ARMANDO DIAS DUARTE
(ORGANIZADOR)

Collection:

APPLIED CIVIL ENGINEERING

Atena
Editora
Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

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

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



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



Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Armando Dias Duarte

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C697 Collection: applied civil engineering / Organizador Armando Dias Duarte. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-855-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.554222501>

1. Civil engineering. I. Duarte, Armando Dias. 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; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

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

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

Armando Dias Duarte

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

METODOLOGIA PBL COMO ALTERNATIVA PARA VIABILIDADE DO ENSINO NO CONTEXTO DE PANDEMIA DA COVID-19

Luamim Sales Tapajós
Valquíria Santana da Silva
Fabiano Hector Lira Muller
Ronne Clayton de Castro Gonçalves
Andryo Henrique Freitas da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5542225011>

CAPÍTULO 2..... 12

PATOLOGIAS EM IMÓVEL POR AUSÊNCIA DE IMPERMEABILIZAÇÃO - ESTUDO DE CASO: EDIFÍCIO NA CIDADE DE MANAUS

Rosalina Siqueira Moraes
Anna Isabell Esteves Oliveira
Kassem Assi
Fátima Mendes Teixeira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5542225012>

CAPÍTULO 3..... 20

PERMEABILIDADE MÍNIMA DE ESPÉCIES DE MADEIRA PARA A PRODUÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE MADEIRA LAMINADA COLADA (MLC)

Kelly Dayane Nadaleti de Souza
Bárbara Branquinho Duarte
Francisco Antonio Rocco Lahr

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5542225013>

CAPÍTULO 4..... 32

UTILIZAÇÃO DA INJEÇÃO DE RESINA EPÓXI COMO MÉTODO DE CORREÇÃO DO SOMCAVO EM FACHADAS COM REVESTIMENTO CERÂMICO

Guilherme Alves Correa
Marcus Daniel Friederich dos Santos
Yuri Dos Santos Tatim Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5542225014>

CAPÍTULO 5..... 46

ANÁLISE COMPARATIVA TERMOACÚSTICA ENTRE O SISTEMA MONOLÍTICO COM PAINEL DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) E A ALVENARIA CONVENCIONAL

Pedro Afonso de Araújo Costa
Felipe Daniel Bastos Lopes
Marco Antônio de Moura Fortes
Tiago de Macêdo Lima Moura Fé
Renan Maycon Mendes Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5542225015>

CAPÍTULO 6..... 64

A IMPORTÂNCIA DA CALDA DE CIMENTO PARA INJEÇÃO NA PROTENSÃO DE PONTES:
UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE NORMATIVOS NACIONAIS E INTERNACIONAIS
DE CONTROLE DE QUALIDADE

Paulo André Valadares

Fabio Albino de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5542225016>

CAPÍTULO 7..... 79

ESTADO DEL ARTE DE LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES DE HORMIGÓN CON
CIMBRA AUTOLANZABLE – UN CASO PRÁCTICO

Pedro Pacheco

Diogo Carvalho

Hugo Coelho

Pedro Borges

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5542225017>

CAPÍTULO 8..... 92

MODELAGEM NUMÉRICA DE VIGAS DE EQUILÍBRIO VIA MÉTODO DE BIELAS E
TIRANTES

Philippe Queiroz Rodrigues

João da Costa Pantoja

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5542225018>

CAPÍTULO 9..... 106

MATRIZES DE CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DE EVA

Diana Santos de Jesus

Joabson Lima Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5542225019>

CAPÍTULO 10..... 119

REALCALINIZAÇÃO ELETROQUÍMICA DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
CARBONATADAS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Guilherme Alves Correa

Yuri dos Santos Tatim Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.55422250110>

CAPÍTULO 11..... 140

ESTUDO DA ATIVIDADE POZOLÂNICA DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS ATRAVÉS
DE MEDIDAS DE pH E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM SUSPENSÕES CAL:RESÍDUO

Lucas Gil Duarte

Letícia Freitas Assis

Gean Pereira da Silva Junior

Alan Henrique Vicentini

Mauro Mitsuchi Tashima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.55422250111>

CAPÍTULO 12.....	153
DESEMPENHO NA REMOÇÃO DA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO) EM UM SISTEMA SIMULADOR DE VALA DE FILTRAÇÃO	
Ariston da Silva Melo Júnior	
Kleber Aristides Ribeiro	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.55422250112	
CAPÍTULO 13.....	166
POLÍTICA INTEGRADA DE ESG APLICADA À MINERAÇÃO E SUAS RELAÇÕES COM A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA	
Rafaela Baldi Fernandes	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.55422250113	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	177
ÍNDICE REMISSIVO.....	178

ESTUDO DA ATIVIDADE POZOLÂNICA DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS ATRAVÉS DE MEDIDAS DE PH E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM SUSPENSÕES CAL:RESÍDUO

Data de aceite: 01/01/2022

Data de Submissão: 19/11/2021

Lucas Gil Duarte

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira,
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho” campus de Ilha Solteira
Ilha Solteira, SP
<http://lattes.cnpq.br/9883048268970275>

Letícia Freitas Assis

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira,
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, campus de Ilha Solteira.
Ilha Solteira, SP
<http://lattes.cnpq.br/1370885928845413>

Gean Pereira da Silva Junior

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira,
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, campus de Ilha Solteira
Ilha Solteira, SP
<http://lattes.cnpq.br/1741116304139425>

Alan Henrique Vicentini

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira,
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, campus de Ilha Solteira
Ilha Solteira, SP
<http://lattes.cnpq.br/7637591593814961>

Mauro Mitsuuchi Tashima

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira,
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, campus de Ilha Solteira
Ilha Solteira, SP
<http://lattes.cnpq.br/2644132857349338>

RESUMO: Estudos mostram que a indústria da construção civil se caracteriza como um dos maiores consumidores de recursos naturais e de energias não renováveis. Com o aumento populacional, espera-se que aumente, também, a demanda por estes recursos, fazendo com que a emissão de CO₂ na atmosfera, conseqüentemente, sofra o mesmo destino. Assim como na construção civil, a agroindústria também é responsável pela geração de resíduos que, na maioria das vezes, são descartados erroneamente e inapropriadamente, causando prejuízos ecológicos. Dessa maneira, surge, então, a necessidade de buscar alternativas sustentáveis visando, ao menos, mitigar esses prejuízos. Uma dessas alternativas consiste na substituição do clínquer por materiais cimentícios suplementares. No caso de estes apresentarem características pozolânicas, os mesmos podem ser utilizados como adições ativas ao cimento Portland, uma vez que apresentam capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio, CH, produzido durante a hidratação do cimento Portland. Nesse projeto, busca-se avaliar a eficácia de três resíduos agroindustriais (cinza da casca de banana, cinza da casca de soja e cinza da casca de café), caracterizando, então, a reatividade pozolânica de cada um destes. Para isto, serão realizadas medidas de pH e de condutividade elétrica de suspensões cal:pozolana.

PALAVRAS-CHAVE: Materiais Pozolânicos; Resíduos Agroindustriais; Materiais Cimentícios Suplementares.

ASSESSMENT OF POZZOLANIC ACTIVITY OF AGROINDUSTRIAL WASTE MATERIALS BY MEANS OF PH AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY MEASUREMENTS OF LIME: WASTE SUSPENSIONS

ABSTRACT: Studies show that the construction industry is characterized as one of the largest consumers of natural resources and non-renewable energy. With the population increase, it is expected that the demand for these resources will also increase, causing the CO₂ emission in the atmosphere, consequently, to suffer the same fate. As in civil construction, the agribusiness is also responsible for the generation of waste that, in most cases, is erroneously and inappropriately discarded, causing ecological damage. Thus, the need arises to seek sustainable alternatives, aiming at least to mitigate these losses. One of these alternatives is the replacement of clinker by supplementary cementitious materials. If they have pozzolanic characteristics, they can be used as active additions to Portland cement, since they have the ability to react with calcium hydroxide, CH, produced during the hydration of Portland cement. In this project, it seeks to evaluate the effectiveness of three agro-industrial residues (ash from banana peel, ash from soybean peel and ash from coffee peel), characterizing, then, the pozzolanic reactivity of each of these. For this, pH and electrical conductivity measurements of lime:pozzolan suspensions will be performed.

KEYWORDS: Pozzolanic Materials; Agro-industrial Waste; Supplementary Cementitious Materials.

1 | INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento das sociedades, houve o aumento da dependência de recursos naturais e não renováveis para atender às demandas dos consumidores (EL-DIEB; KANAAN, 2018). A expansão da indústria da construção, uma das principais consumidoras desses recursos, ocasiona o aumento das emissões de dióxido de carbono (CO₂), devido à produção de cimento, elevando a temperatura da superfície da Terra, e causando um aumento significativo na quantidade de resíduos. (BASTO; JUNIOR; NETO, 2019; MISTRI *et al.*, 2020).

O cimento é, em massa, o produto mais manufaturado do planeta. Ao ser combinado com água e agregados minerais, forma-se o concreto, caracterizado como o material antrópico mais consumido no mundo. (EL-DIEB; KANAAN, 2018; SCRIVENER; JOHN; GARTNER, 2018). Todavia, o processo de descarbonatação do calcário para a formação do clínquer e a combustão de combustíveis fósseis para o consumo de energia são os responsáveis pelas emissões de CO₂, contribuindo entre 5% e 8% das emissões globais anuais de gases do efeito, sendo uma quantidade substancial maior que as emissões anuais de CO₂ da maioria dos países, e um pouco menor que as emissões dos EUA e da China (EL-DIEB; KANAAN, 2018; BASTO; JUNIOR; NETO, 2019; ABRÃO, 2020).

Dentre os estudos relacionados quanto à mitigação dessas emissões prejudiciais, tem-se a substituição parcial do cimento Portland por materiais reciclados, como é o caso do material cimentante suplementar (MCS) (MORAES *et al.*, 2019).

Caso esse MCS apresente características pozolônicas (ou seja, capacidade de ser combinado com o hidróxido de cálcio (CH), liberado na hidratação do cimento Portland, resultando na formação de silicatos de cálcio hidratado (C-S-H), à temperatura ambiente), este pode apresentar soluções tecnicamente viáveis para melhorar o desempenho, durabilidade e diminuir os custos de produção (RAASK; BHASKAR, 1975; CORDEIRO *et al.*, 2019). A maioria das pozolonas consistem em derivados de indústria e da agroindústria; por exemplo, a sílica ativa, a cinza volante, cinza da casca de arroz e cinza da folha do bambu (MORAES *et al.*, 2019; ISAIA *et al.*, 2017).

Quando os excedentes desses derivados não são destinados adequadamente, podem provocar problemas ambientais relacionados com a poluição do solo e do ar (ISMAIL *et al.*, 2020; MOTA *et al.*, 2020). Uma vez que esses resíduos possuam potenciais em uso, como biomassa para geração de energia, o produto final, que seria a cinza, pode ser aproveitado no campo da construção civil, por exemplo, como fonte pozolônica, promovendo um benefício mútuo do progresso da construção em harmonia com o meio ambiente (MOTA *et al.*, 2020).

Estudos feitos com resíduos agroindustriais têm obtidos resultados satisfatórios, como é o caso da utilização da cinza da casca do arroz (ISAIA *et al.*, 2017), cinza da folha do bambu (MORAES *et al.*, 2019) e cinza da folha de bananeira (MOTA *et al.*, 2020).

A banana é a fruta mais consumida no Brasil e a segunda no mundo, atrás apenas da laranja (MOTA *et al.*, 2020). A primeira apresenta uma produção anual equivalente a 144 milhões de toneladas, sendo responsável pela geração de grandes quantidades de resíduos de material vegetal, como folhas, pseudocaules e cascas (MOTA *et al.*, 2020; LAPO *et al.*, 2020). Cada tonelada de banana gera, aproximadamente, 300 kg de casca de banana (LAPO *et al.*, 2020).

A soja apresenta uma safra mundial de 362,5 milhões de toneladas, sendo o Brasil o segundo maior produtor do grão. Para cada tonelada dessa produção, são geradas aproximadamente 50 kg de casca de soja (DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DOS ESTADOS UNIDOS, 2020b; ROCHA; ROESLER; BURKERT, 2018). A reatividade pozolônica desta cinza ainda não foi tema de um estudo proposto, sendo, portanto, algo inédito.

O café é uma das *commodities* mais importantes do mundo (BLINOVÁ *et al.*, 2017). A produção total de café, em 2018, foi de aproximadamente 10,1 milhões de toneladas; sendo que o processo industrial de conversão da fruta crua da planta do café no café acabado acarreta uma considerável quantidade de resíduos sólidos e águas residuais (BLINOVÁ *et al.*, 2017; NUNES *et al.* 2020). Para cada quilograma da produção desse grão, 1 kg de casca de café é gerada (DEMISSEW; FUFA; ASSEFA, 2019).

Devido à elevada complexidade do termo “pozolanicidade”, para a determinação da atividade pozolônica de um determinado material, várias técnicas foram realizadas ao longo do tempo (LUXÁN; MADRUGA; SAAVEDRA, 1989). A primeira técnica foi realizada

por Raask e Bhaskar (1975), que propuseram um método visando avaliar a atividade pozolânica através de aferições de condutividade elétrica (TASHIMA *et al.*, 2014).

Outras técnicas, por exemplo, foram as realizadas por Luxán; Madruga; Saavedra (1989) e por Payá *et al.* (2001). No primeiro exemplo, tendo como base a medição da condutividade elétrica em uma solução saturada de cal hidratada, foi proposto um método simples e rápido para a determinação indireta da atividade pozolânica de pozolanas naturais: analisar a redução da condutividade elétrica de uma suspensão de cal hidratada/pozolana, através da interação dos íons Ca^{2+} e OH^- . O método, porém, só é válido para produtos naturais e, além disso, apresenta dificuldade na preparação da solução saturada de hidróxido de cálcio (TASHIMA *et al.*, 2014; PAYÁ *et al.*, 2001).

Payá *et al.* (2001), por outro lado, visando simplificar o método de Luxán; Madruga; Saavedra (1989), propuseram um método com o objetivo de analisar as cinzas volantes através da utilização de soluções insaturadas de cal hidratada. Foi considerada, também, a contribuição, nas medidas de condutividade elétrica e de pH, dos íons liberados no meio aquoso (TASHIMA *et al.*, 2014; PAYÁ *et al.*, 2001).

No caso deste trabalho, tem-se como objetivo a caracterização da reatividade pozolânica de três resíduos agroindustriais, que consistem na cinza da casca de banana (CCB), na cinza da casca de soja (CCS) e na cinza da casca de café (CCC). Isto será feito através de medições de pH e de condutividade elétrica em suspensões CH/pozolana. Para cada resíduo foram preparadas diferentes proporções dessa suspensão (2,0:8,0; 2,5:7,5; 3,0:7,0; 3,5:6,5; 4,0:6,0; 4,5:5,5).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

2.1 Materiais

Os resíduos agroindustriais estudados nesta pesquisa foram obtidos na região da cidade de Ilha Solteira, SP. As cinzas desses resíduos (casca de banana, casca de soja e casca de café), entretanto, foram produzidas em laboratório, buscando um melhor controle de temperatura e tempo de calcinação (600°C durante 1 h), uma vez que se desejava a queima total de cada cinza, a decomposição da matéria orgânica e elevar a proporção de material no estado amorfo.

Os materiais utilizados para a realização desta pesquisa foram o CH de elevada pureza (>95%), frascos Erlenmeyer de 125 mL (seis para cada resíduo estudado), filme plástico e água deionizada. Para a aceleração da reação entre o hidróxido de cálcio e as cinzas estudadas, houve o auxílio de um banho termostático com agitação da marca Julabo SW22. Para a caracterização da reatividade pozolânica de cada cinza, os equipamentos manuseados foram o pHmetro PG2000 GEHAKA (para as aferições de pH) e do Condutivímetro CG2000 GEHAKA (para as aferições de condutividade elétrica).

2.2 Metodologia

Buscando um beneficiamento dos resíduos, estes foram expostos à luz solar em um intervalo de tempo mínimo de duas horas diárias, ao longo de uma semana. A casca da banana, contudo, teve de ser inserida na estufa com temperatura de 60 °C por doze horas, uma vez que apresentou maior umidade em relação aos demais resíduos. Em seguida, esta foi fracionada, a fim de obter um aumento na área superficial e melhor homogeneidade na fase de calcinação do material. Quanto à casca de café e a casa de soja, estas foram diretamente submetidas à calcinação na mufla, por apresentarem tamanhos relativamente pequenos.

Realizado o processo de calcinação, cujos objetivos foram as perdas da matéria orgânica e de cristalinidade, as cinzas foram submetidas a uma moagem manual, fazendo uso do almofariz de ágata com pistilo, visando atingir um aumento da superfície específica das mesmas. Assim, as cinzas foram passadas na peneira 200 (abertura 75 μm), e apenas o material passante foi utilizado.

Foram, então, realizadas caracterizações química e mineralógica das cinzas. A técnica de espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) foi utilizada para a caracterização química das amostras. Para a caracterização mineralógica, foi realizada a difratometria de raios X (DRX), com o objetivo de identificar os minerais presentes e verificar a presença de material amorfo.

Diferentes proporções de CH/pozolana foram utilizadas (2,0:8,0; 2,5:7,5; 3,0:7,0; 3,5:6,5; 4,0:6,0; 4,5:5,5), sendo que, para essas proporções, considerou-se um valor de massa total de sólido (CH + PZ) equivalente a 1,0 g; a temperatura de 60 °C. Essas suspensões foram monitoradas através de medidas de pH e condutividade elétrica durante 7 dias; sendo essas medidas aferidas a cada 24 h. Desta maneira, pretende-se observar uma redução nos valores de pH e condutividade elétrica, observando o ponto de instauração da suspensão e, conseqüentemente, verificar a redução na concentração dos íons Ca^{2+} e OH^- devido à reação pozolânica.

Embora a reação pozolânica provoque uma queda na concentração desses íons, a presença de CH sólido e não dissolvido faz com que a concentração dos íons cálcio e hidroxila se mantenham aproximadamente constantes. Entretanto, uma vez consumido esse sólido, nota-se a redução nos valores de pH e condutividade elétrica. Assim, saber-se-á até que proporções CH/pozolana as cinzas são capazes de reagir, consumindo todo o CH em fase sólida.

As diferentes proporções de CH/pozolana foram preparadas com 50 mL de água deionizada, de modo que todas as suspensões sempre estivessem saturadas de hidróxido de cálcio. Adicionada a água deionizada nos frascos, estes foram selados com um filme plástico, sendo colocados, então, no banho termostático por 30 min, para que fosse atingida a temperatura do teste (60 °C). Feito isto, o CH foi adicionado, buscando saturar

a suspensão. Os frascos Erlenmeyers foram, então, mais uma vez selados e colocados no banho termostático por mais 15 min. Na sequência, as aferições de pH e condutividade elétrica foram tomadas para cada uma das suspensões.

Por fim, as cinzas foram adicionados à suspensão e, à partir deste instante, as suspensões de CH/pozolana passaram a ser monitorados durante 7 dias. Quando as aferições não estavam sendo feitas, as suspensões permaneciam fechadas em constante agitação para facilitar a reação pozolânica e, também, para evitar evaporação de água e carbonatação das amostras.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 FRX e DRX

Devido ao imprevisto da quarentena em decorrência do vírus COVID-19, as caracterizações química e mineralógica foram realizadas em duas das três cinzas estudadas, que foram as cinzas das cascas de banana e de café. a paralização das atividades impediu a realização dessas caracterizações para a cinza da casca de soja (todavia, ainda é esperado concluir esses ensaios para futuras publicações).

A Tabela 01 fornece os resultados obtidos pela técnica FRX para as cinzas das cascas de banana e de café, sendo “PF” uma sigla relacionada à perda ao fogo, que se refere à presença de compostos degradáveis, como os orgânicos.

Material	K ₂ O	CaO	SiO ₂	SO ₃	Cl	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Outros	PF
CCB [%]	28,74	2,36	2,12	0,13	4,20	1,24	0,05	0,11	61,05
CCC [%]	30,85	21,92	1,48	2,67	-	1,79	0,74	1,21	39,34

Tabela 01 - FRX das CCB e CCC.

Fonte: Autoria própria.

Para que a cinza reaja com o CH (ou seja, para que a reação pozolânica aconteça), ocasionando na formação de C-S-H, é necessário que a cinza apresente certa concentração de silício em sua composição química. Quanto maior for essa concentração, mais reativa será a reação.

Analisando os dados da Tabela 01 quanto à cinza da casca de banana, percebe-se maior concentração de K₂O, equivalente a 28,74%, seguido pelo elemento Cl, equivalente a 4,20%. O composto SiO₂, entretanto, apresenta apenas 2,13% da composição química.

A cinza da casca de café, por sua vez, obteve elevados valores para os compostos químicos K₂O e CaO, equivalendo, juntos, a 52,77% da composição química da cinza. A concentração de SiO₂, contudo, é de apenas 1,48%.

Quanto ao ensaio de DRX para a composição mineralógica, a Figura 01 fornece as informações obtidas para a cinza da casca da banana. Observe que o mineral KCl,

representado pela sigla S, é o que se encontra em maior destaque, sendo representado no pico principal e na maioria dos demais.

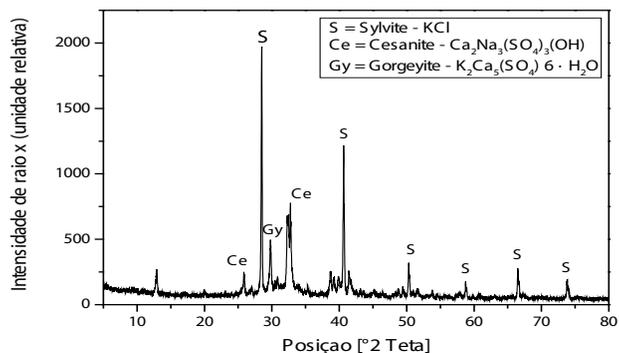


Figura 01 - DRX da CCB.

Fonte: Autoria própria.

Além disto, o mineral $\text{Ca}_2\text{Na}_3(\text{SO}_4)_3(\text{OH})$, representado pela sigla Ce, apresenta um elemento que não fora encontrado na análise de FRX, o Na. A provável explicação para isto é a de que o equipamento não fora capaz de detectar esse elemento. Todavia, pela equivalência de picos desse mineral com os da cinza, o mesmo fora considerado na análise de DRX. A mesma explicação é válida para casos semelhantes na cinza da casca de café.

A Figura 02 fornece as informações obtidas através do mesmo ensaio para a cinza da casca de café. Observe que os minerais $(\text{Mg}_{0,064}\text{Ca}_{0,936})(\text{CO}_3)$ e $\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$, representados, respectivamente, pelas siglas Cm e F, são os que se encontram em maior destaque.

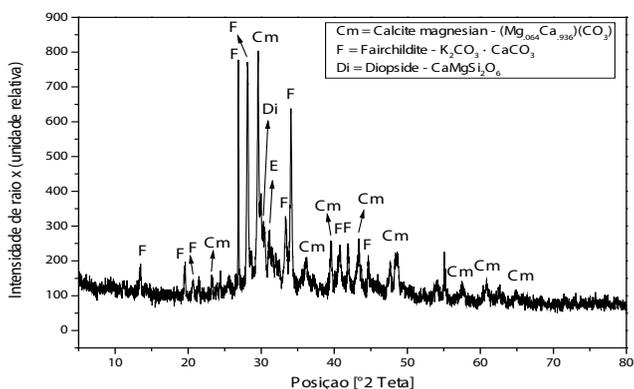


Figura 02 - DRX da CCC.

Fonte: Autoria própria.

3.2 pH e condutividade elétrica de suspensões

Após a realização do experimento, os dados obtidos quanto à condutividade elétrica foram anotados, contribuindo para a construção de um gráfico Condutividade Elétrica (mS/cm) x Tempo (horas). Quanto aos dados de pH, estes foram convertidos para valores de pOH, através da seguinte relação:

$$pH + pOH = 14 \quad [1]$$

Com isto, foi determinada a concentração de OH⁻ ([OH⁻]), operação feita através da seguinte expressão:

$$[OH^-] = 10^{-pOH} \quad [2]$$

Então, foi possível elaborar um gráfico [OH⁻] (mol/L) x Tempo (horas).

3.2.1 Cinza da Casca da Banana

A Figura 03 apresenta os dados obtidos quanto à condutividade elétrica para as cinco proporções estudadas para a cinza da casca de banana. A Figura 04, por sua vez, apresenta os dados obtidos quanto à concentração de íons hidroxilas para as mesmas proporções.

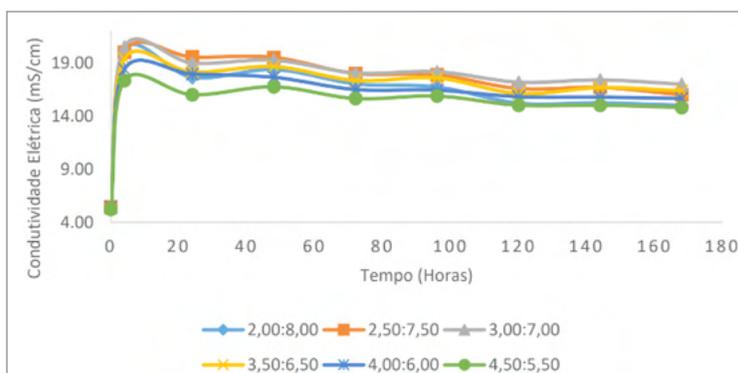


Figura 03 - Condutividade Elétrica da CCB.

Fonte: Autoria própria.

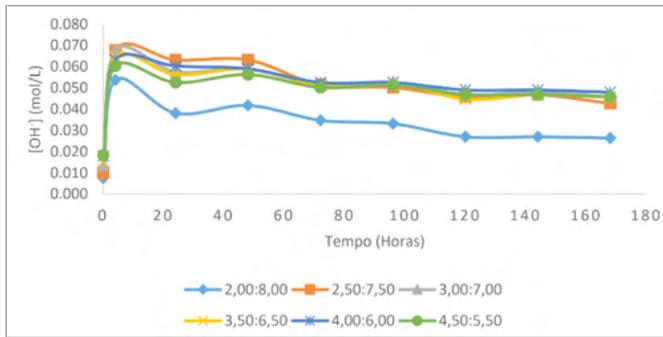


Figura 04 - [OH⁻] da CCB.

Fonte: Autoria própria.

Tanto os valores de condutividade, quanto de concentração de íons hidroxilas, aumentaram nas primeiras horas. Após certo tempo, esses valores começaram a decair, entretanto, permanecendo maiores que o valor inicial de cada proporção. Esse aumento significa que houve um aumento na quantidade de íons presentes na suspensão. Isto se deve à própria cinza que, uma vez adicionada à suspensão, acarretou a liberação das substâncias K_2O e CaO na forma de íons.

Portanto, baseando-se nos resultados apresentados, percebe-se que não houve a ocorrência da reação pozolânica.

3.2.2 Cinza da Casca da Soja

Embora as caracterizações ainda não foram realizadas, foi possível executar o método proposto nesta pesquisa para a cinza da casca de soja. A Figura 05 apresenta os dados obtidos quanto à condutividade elétrica para as cinco proporções estudadas. A Figura 06, por outro lado, apresenta os dados obtidos quanto à concentração de íons hidroxilas para as mesmas proporções.

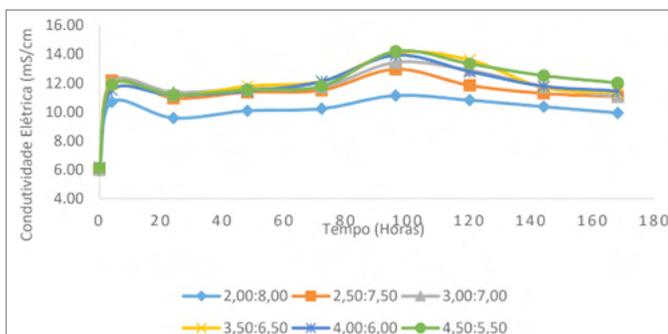


Figura 05 - Condutividade Elétrica da CCS.

Fonte: Autoria própria.

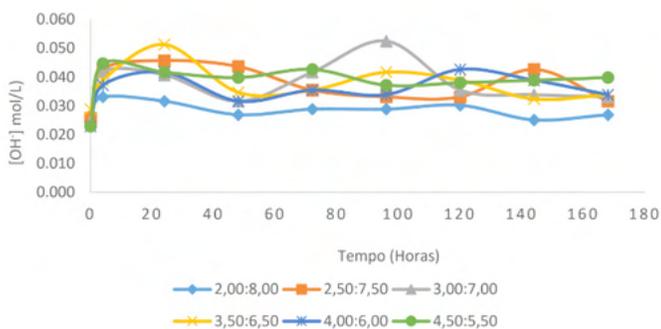


Figura 06 - [OH⁻] da CCS.

Fonte: Autoria própria.

Analisando os resultados obtidos, são percebidos comportamentos semelhantes aos apresentados para a cinza da casca de banana; com a diferença de que o aumento de valores foi bem menor neste caso e de que os valores, ao invés de apenas decair, foram variando entre queda e ascensão. As explicações para este ocorrido são as mesmas fornecidas no subtópico anterior.

Portanto, também não ocorreu reação pozolânica.

3.2.3 Cinza da Casca do Café

A Figura 07 apresenta os dados obtidos quanto à condutividade elétrica para as cinco proporções estudadas para a cinza da casca de café. A Figura 08, por fim, apresenta os dados obtidos quanto à concentração de íons hidroxilas para as mesmas proporções.

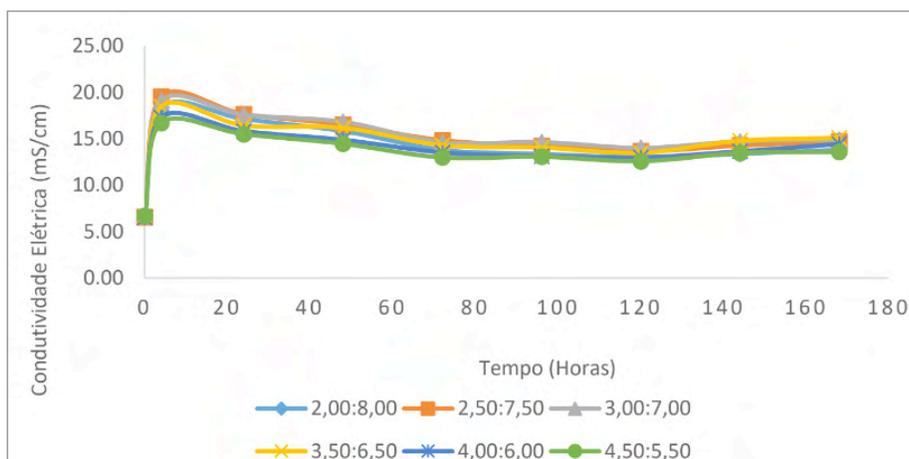


Figura 07 - Condutividade Elétrica da CCC.

Fonte: Autoria própria.

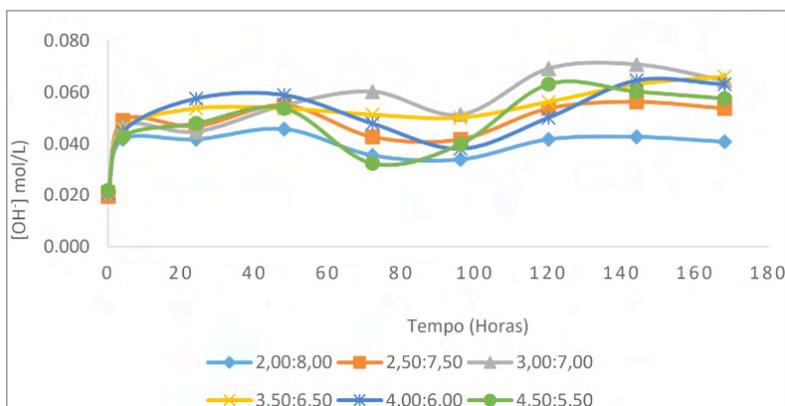


Figura 08 - [OH⁻] da CCC.

Fonte: Autoria própria.

Assim como as demais cinzas estudadas, a cinza da casca de café também apresentou um aumento tanto nos valores de condutividade, quanto nos de [OH⁻], devido às substâncias K₂O e CaO que, uma vez adicionada a cinza à suspensão, foram liberados na forma de íons, aumentando a quantidade destes na mesma. Percebe-se, também que, ao longo do tempo, os valores foram alternando entre ascensão e queda; assim como ocorreria com a cinza da casca de soja.

Logo, tem-se que a reação pozolânica também não ocorreu.

4 | CONCLUSÃO

Segundo a técnica de FRX, percebeu-se baixa quantidade de silício na composição química das mesmas, assim como elevada proporção quanto à perda ao fogo. A análise através do DRX apresentou, como destaque, minerais que não apresentam silício. Essas caracterizações não foram realizadas para a cinza da casca de soja devido à quarentena por causa do vírus COVID-19.

Concluída a metodologia proposta, percebeu-se que para as três cinzas estudadas tanto os valores referentes à condutividade elétrica, quanto os referentes à concentração dos íons hidroxilas, aumentaram; o que indica que não houve reação pozolânica para nenhum dos casos. Isto entrou de acordo com os ensaios de caracterizações realizados anteriormente.

Portanto, com os dados obtidos nesta pesquisa, conclui-se que nenhuma das cinzas estudadas (cinza da casca de banana, cinza da casca de soja e cinza da casca de café) podem ser classificadas como materiais pozolânicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico processo 310410/2018-5 e processo 421182/2018-0.

REFERÊNCIAS

ABRÃO, P. C. R. A.; CARDOSO, F. A.; JOHN, V. M. **Efficiency of Portland-pozzolana cements: Water demand, chemical reactivity and environmental impact.** *Construction And Building Materials*, [S. l.], v. 247, 2020.

BASTO, P. de A.; JUNIOR, H. S.; NETO, A. A. de M. **Characterization and pozzolanic properties of sewage sludge ashes (SSA) by electrical conductivity.** *Cement And Concrete Composites*, [S. l.], v. 104, 2019.

BLINOVÁ, L. *et al.* **Review: utilization of waste from coffee production.** *Research Papers Faculty Of Materials Science And Technology Slovak University Of Technology*, [S. l.], v. 25, n. 40, p. 91-101, 2017.

CORDEIRO, L. de N. P. *et al.* **Caracterização da cinza de caroço de açaí residual para adição ao concreto.** *Ambiente Construído*, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 45-55, 2019.

DEMISSEW, A.; FUFU, F.; ASSEFA, S. **Partial replacement of cement by coffee husk ash for c-25 concrete production.** *Journal Of Civil Engineering, Science And Technology*, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 12-21, 2019.

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DOS ESTADOS UNIDOS. **Safra Mundial de Soja 2020/21: 3º Levantamento do USDA.** São Paulo: FIESP, 2020b. Disponível em: <<https://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safra-mundial-de-soja/>>. Acesso em: 13 de jul. 2020.

EL-DIEB, A. S.; KANAAN, D. M.. **Ceramic waste powder an alternative cement replacement – Characterization and evaluation.** *Sustainable Materials And Technologies*, [S. l.], v. 17, 2018.

ISAIA, G. C. *et al.* **Viabilidade do emprego de cinza de casca de arroz natural em concreto estrutural (parte II): Durabilidade.** *Ambiente Construído*, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 233-252, 2017.

ISMAIL, A. H. *et al.* **Pozzolanic reactivity and strength activity index of mortar containing palm oil clinker pretreated with hydrochloric acid.** *Journal of Cleaner Production*, [S. l.], v. 242, 2020.

LAPO, B. *et al.* **A potential lignocellulosic biomass based on banana waste for critical rare earths recovery from aqueous solutions.** *Environmental Pollution*, [S. l.], v. 264, 2020.

LUXÁN, M. P.; MADRUGA, F.; SAAVEDRA, J. **Rapid evaluation of pozzolanic activity of natural products by conductivity measurement.** *Cement And Concrete Research*, [S. l.], v. 19, n. 1, p.63-68, 1989.

MISTRÌ, A. *et al.* **A review on different treatment methods for enhancing the properties of recycled aggregates for sustainable construction materials.** *Construction And Building Materials*, [S. l.], v.

233, 2020.

MORAES, M. J. B. *et al.* **Production of bamboo leaf ash by auto-combustion for pozzolanic and sustainable use in cementitious matrices.** *Construction And Building Materials*, [S. l.], v. 208, p.369-380, 2019.

MOTA, D. M. P. *et al.* **Adição da cinza da folha de bananeira na argamassa.** *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, [S. l.], v. 9, p. 55-69, 2020.

NUNES, C.L.C. *et al.* **Performance, carcass traits and meat quality of lambs fed coffee hulls treated with calcium oxide.** *Animal Feed Science And Technology*, [S. l.], v. 264, 2020.

PAYÁ, J. *et al.* **Enhanced conductivity measurement techniques for evaluation of fly ash pozzolanic activity.** *Cem. Concr. Res.*, [S. l.], vol. 31, p. 41 – 49, 2001.

RAASK, E.; BHASKAR, M. C. **Pozzolanic activity of pulverized fuel ash.** *Cement And Concrete Research*, [S. l.], v. 5, n. 4, p.363-375, 1975.

ROCHA, K. R.; ROESLER, B. C. S.; BURKERT, C. A. V. **Optimization of soybean (glycine max) hulls acid hydrolysis to produce sugars for microbial cultivation.** *Blucher, São Paulo*, p. 3414-3417, 2018.

SCRIVENER, K. L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. **Eco-efficient cements:** Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. *Cement And Concrete Research*, [S. l.], v. 114, p.2-26, 2018.

TASHIMA, M.M. *et al.* **New method to assess the pozzolanic reactivity of mineral admixtures by means of pH and electrical conductivity measurements in lime:pozzolan suspensions.** *Materiales de Construcción*, [S. l.], vol. 64, 2014.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agregado graúdo 106, 108

C

Calda de cimento 4, 64, 65, 66, 68, 69, 71, 73, 76, 77

Carbonatação 14, 15, 119, 120, 121, 122, 123, 127, 128, 129, 131, 133, 134, 135, 138, 145

Ciclo hidrológico 153

Cimbra autolanzable 4, 79, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 89, 90

Concreto 4, 14, 15, 17, 19, 34, 36, 44, 53, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 77, 78, 79, 92, 95, 96, 97, 98, 100, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 141, 151

Concreto armado 4, 34, 36, 64, 68, 92, 97, 104, 105, 119, 120, 121, 122, 123, 126, 127, 135, 138, 139

Concreto leve 106, 107, 118

Concreto protendido 64, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 77, 78

Conforto acústico 46, 52, 62

Conforto térmico 46, 48, 55, 56, 63

Construcción de puentes 4, 79, 91

D

Durabilidade 13, 18, 22, 65, 69, 108, 119, 130, 142, 151

E

Edificação 12, 13, 14, 17, 33, 34, 35, 36, 44, 127

Eletroquímica 4, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 128, 132, 134, 135, 137, 138, 139

Engenharia civil 2, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 31, 32, 44, 45, 63, 78, 118, 139, 153, 165, 177

Esgoto tratado 153, 158, 159

EVA 4, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118

G

Grandes luces 79

I

Injeções 32, 33, 35, 36, 38, 39, 44, 45

Intempéries 12, 17, 110

Itaituba 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10

M

Madeira 3, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 29, 30, 31, 35
Manifestações patológicas 12, 13, 14, 18, 32, 33, 35, 44
Materiais cimentícios suplementares 140
Materiais pozolânicos 140, 150
Método de alvenaria convencional 46, 49, 58
Método de bielas 4, 92, 93, 104
Metodologia PBL 3, 1, 3, 4
MLC 3, 20, 21, 22, 30, 31

N

Normatização 64, 65, 69

P

Pandemia 3, 1, 2, 6, 8, 9, 168, 169, 172
Patologia 15, 19, 32
Permeabilidade 3, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 28, 29, 30, 31, 137, 155, 157
Pinus 20, 21, 22, 23, 27, 28, 29, 30, 31
Poluição 47, 142, 153, 165, 168, 175
Propriedades mecânicas 106, 107
Protótipos 32, 35, 36, 39, 43, 46, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 57, 59, 60, 61, 62, 63

R

Recalibração 4, 119, 120, 121, 123, 124, 125, 126, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139
Região de descontinuidades 92
Resíduos Agroindustriais 4, 140, 142, 143
Resina epóxi 3, 32, 33, 35, 36, 38, 39, 43, 44, 45
Revestimento 3, 16, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 39, 44, 45

S

Som cavo 3, 32, 33, 34, 35, 36, 39, 43, 44, 45
Sustentabilidade 5, 106, 152, 154, 166, 168, 170, 171, 174, 175, 177

T

Tirantes 4, 92, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105
Topologia 92, 99, 100, 101, 102, 103, 104

V

Vigas de equilibrio 4, 92, 93, 97

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED CIVIL ENGINEERING


Ano 2022

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED CIVIL ENGINEERING


Ano 2022