

O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA CIVIL 2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2020

O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA CIVIL 2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2020

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

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 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.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de 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
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª 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
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto 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
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª 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 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^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. 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 Dr. 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
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. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª 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
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª 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. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
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. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª 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
Profª 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. 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
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
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 Alborno – 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
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª 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. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
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

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Profª 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

Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão

Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D451 O desenvolvimento sustentável na engenharia civil 2 /
Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João
Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-614-0

DOI 10.22533/at.ed.140202511

1. Engenharia civil. 2. Desenvolvimento sustentável. I.
Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João
(Organizador). III. Título.

CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos.

APRESENTAÇÃO

Um dos grandes desafios enfrentados atualmente pelos engenheiros nos mais diversos ramos do conhecimento, é de saber ser multidisciplinar, aliando conceitos de diversas áreas. Hoje exige-se que os profissionais saibam transitar entres os conceitos e práticas, tendo um viés humano e técnico.

Neste sentido este livro traz capítulos ligados a teoria e prática em um caráter multidisciplinar, apresentando de maneira clara e lógica conceitos pertinentes aos profissionais das mais diversas áreas do saber.

Para isso o mesmo traz temas correlacionados a engenharia civil, apresentando estudos sobre os solos e, bem como de construções e patologias, estando diretamente ligadas ao impacto ambiental causado e ao reaproveitamento dos resíduos da construção.

Destaca-se ainda a abordagem sob meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do estudo aprofundado sob eficiência energética em construções.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO AUTOMATIZADO EM INDÚSTRIA ESPECIALIZADA NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS E PISOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO

Andrezzo Julio Dantas Nascimento

Daniel de Jesus Lopes

João Luiz Cardeal Craveiro

Magno Santos Batista

DOI 10.22533/at.ed.1402025111

CAPÍTULO 2..... 14

AGREGADO MIÚDO PROVENIENTE DO RIO DOCE E SUA INFLUÊNCIA NA DURABILIDADE, RESISTÊNCIA E CARBONATAÇÃO DO CONCRETO

Luan Rangel dos Santos

Claudinei Antônio Montebeller

Lucas Soares Milanezi

Adriana Zamprogno

DOI 10.22533/at.ed.1402025112

CAPÍTULO 3..... 30

ANÁLISE DA ACELERAÇÃO DO RECALQUE DE UM ATERRO SOBRE SOLO MOLE

Talita Menegaz

Gisele Marilha Pereira Reginatto

Narayana Saniele Massocco

Rafael Augusto dos Reis Higashi

Thaís Ventura Chibiaqui

DOI 10.22533/at.ed.1402025113

CAPÍTULO 4..... 44

ANÁLISE DE RECALQUES EM ESTACAS ESCAVADAS EQUIPADAS COM O SISTEMA *EXPANDER BODY*

Fernando Feitosa Monteiro

Renato Pinto da Cunha

Carlos Medeiros Silva

Marcos Fábio Porto de Aguiar

DOI 10.22533/at.ed.1402025114

CAPÍTULO 5..... 55

ANÁLISE DE RISCO A ESCORREGAMENTO NA VILA COQUEIRAL REGIÃO NOROESTE DE BELO HORIZONTE

Charline Tarcilia Ferreira dos Santos

Lorrany Magescki Faria

Magno André de Oliveira

Eduarda Moreira Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.1402025115

CAPÍTULO 6.....	74
UTILIZAÇÃO DE BARREIRAS VERTICAIS NA REMEDIAÇÃO AMBIENTAL	
Luciana Regina Cajaseiras de Gusmão	
José Fernando Thomé Jucá	
Karla Salvagni Heineck	
DOI 10.22533/at.ed.1402025116	
CAPÍTULO 7.....	87
ESTUDO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO EM ALTAS TEMPERATURAS UTILIZANDO CINZA DA QUEIMA DE MADEIRA	
Marlon Hable	
Olaf Graupmann	
DOI 10.22533/at.ed.1402025117	
CAPÍTULO 8.....	106
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO COM USO DA VELOCIDADE DE PULSO ULTRASSÔNICO	
Kleber Marcelo Braz Carvalho	
José Renato de Castro Pessoa	
DOI 10.22533/at.ed.1402025118	
CAPÍTULO 9.....	121
ANÁLISE TENSÃO-DEFORMAÇÃO POR MEIO DO SOFTWARE PLAXIS 2D EM ESTACA HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA	
Arthur Duarte Dias	
Renato Pinto da Cunha	
Moises Antônio da Costa Lemos	
Gabriela de Athayde Duboc Bahia	
DOI 10.22533/at.ed.1402025119	
CAPÍTULO 10.....	133
UMA REVISÃO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ NA CONSTRUÇÃO CIVIL	
Alex Gomes Pereira	
Benício de Moraes Lacerda	
Cristiano da Silva Vieira	
Emerson Diniz Viriato	
DOI 10.22533/at.ed.14020251110	
CAPÍTULO 11.....	147
ESTUDO DA ÁREA DE DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL DE RIO VERDE, GO	
Marcel Sousa Marques	
Adriana Antunes Lopes	
Camila Ribeiro Rodrigues	
Katianne Lopes de Paiva	
Marcelo Mendes Pedroza	

Danielma Silva Maia
Enicléia Nunes de Sousa Barros
Daniel Rodrigues Campos
DOI 10.22533/at.ed.14020251111

CAPÍTULO 12..... 153

EVOLUÇÃO DA DIRETIVA EUROPEIA RELATIVA AO DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS, O SUCESSO DE APLICAÇÃO PORTUGUÊS E OS DESAFIOS DO PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM EM EDIFICAÇÕES

Jaime Francisco de Sousa Resende
Andrea Lucia Teixeira Charbel
Teresa Cristina Nogueira Bessa Assunção

DOI 10.22533/at.ed.14020251112

CAPÍTULO 13..... 164

DESEMPENHO COMERCIAL DE EDIFÍCIOS CORPORATIVOS COM SELO AMBIENTAL NA REGIÃO DO PORTO MARAVILHA – RJ

Gustavo Ezequiel Andrés

DOI 10.22533/at.ed.14020251113

SOBRE OS ORGANIZADORES 178

ÍNDICE REMISSIVO..... 179

CAPÍTULO 1

ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO AUTOMATIZADO EM INDÚSTRIA ESPECIALIZADA NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS E PISOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO

Data de aceite: 16/11/2020

Andrezza Julio Dantas Nascimento

Engenharia Civil da Faculdade de Ilhéus
(CESUPI)
Ilhéus-Bahia
<http://lattes.cnpq.br/383326122365911>

Daniel de Jesus Lopes

Engenharia Civil da Faculdade de Ilhéus
(CESUPI)
Ilhéus-Bahia

João Luiz Cardeal Craveiro

Engenharia Civil da Faculdade de Ilhéus
(CESUPI)
Ilhéus-Bahia

Magno Santos Batista

Professor Mestre da Faculdade de Ilhéus
Itabuna-Bahia
<http://lattes.cnpq.br/0712806297262651>
ORCID -0000-0002-6042-0846

RESUMO: A presente pesquisa foi elaborada com a finalidade de discutir como funciona o processo automatizado instalado em uma indústria que produz blocos e pisos intertravados de concreto. Do ponto de vista metodológico, o procedimento adotado apresenta traços de estudo de caso, ou seja, observou-se os mecanismos utilizados pelos donos da empresa para a produção do piso, bem como, realizou-se a análise documental do material e entrevista semi-estruturada com os donos da instituição. Assim, a implantação da automação na empresa pesquisada contribuiu

para uma produção mais rápida, eficiente, aumento na qualidade do produto e precisão da metragem do pisos, assim como, a diminuição de acidentes de trabalho, e conseqüentemente, maior segurança para os funcionários. Portanto, acredita-se que a principal contribuição seja que a pesquisa reitera as vozes que ecoam na área da Engenharia Civil acerca da importância da tecnologia e também a necessidade da utilização dos mecanismos automotivos na produção de pisos intertravados.

PALAVRAS CHAVE: Automação; Blocos de concreto; pisos intertravados; Segurança laboral.

ANALYSIS OF THE PRODUCTION PROCESS AUTOMATED IN INDUSTRY SPECIALIZED IN THE MANUFACTURE OF BLOCKS AND CONCRETE FLOORS

ABSTRACT: The present research was elaborated with the purpose of discussing how the automated process installed in an industry that produces interlocked concrete blocks and floors works. From the methodological point of view, the adopted procedure presents traits of case study, that is, it was observed the mechanisms used by the owners of the company for the production of the floor, as well as, the documentary analysis of the material and semi-structured with the owners of the institution. Thus, the implementation of the automation in the company surveyed contributed to a faster production, efficient, increased product quality and accuracy of flooring footage, as well as the reduction of work accidents, and consequently greater safety for employees. Therefore, it is believed that the main contribution is that the research reiterates the voices that

echo in the Civil Engineering area about the importance of the technology and also the need of the use of the automotive mechanisms in the production of insulated floors.

KEYWORDS: Automation. Concrete blocs. Interlocking floors. Job security.

1 | INTRODUÇÃO

As constantes oscilações de mercado, sobretudo no segmento da construção civil, exige do empresário investimento em vários setores da instituição. E dentre os investimentos está à automação industrial. Esta proporciona maior qualidade e padronização dos produtos oriundos do cimento. Assim, na presente pesquisa, investigou-se quais os benefícios e contribuições na implantação da automação industrial em uma indústria de blocos e pisos intertravados na região Sul do estado da Bahia.

Devido os inúmeros movimentos mercadológicos na construção civil, é fundamental que o empresário invista em inovações tecnológicas capazes de melhorar a qualidade dos produtos fabricados com custos reduzidos e aliados às melhorias nas condições de trabalho do setor produtivo da empresa. Dessa forma, as novas tecnologias automatizadas, reúnem condições específicas de padronização no universo das normas regulamentadoras, além de trazer em seu bojo condições que dará suporte a uma eventual crise que venha a surgir no mercado, que por sua vez nem sempre estará aquecido, diante de eventuais concorrências e competitividade presentes a cada dia.

Contudo, fatores como: melhoria na qualidade de condição laborativa dos colaboradores; redução dos custos empresariais e trabalhistas, e conseqüentemente aumento de qualidade e quantidade dos produtos fabricados, o que demonstra o quanto esse segmento da construção civil carece dessas inovações tecnológicas automatizadas, uma vez que, atenderiam principalmente os aspectos legais, jurídicos e normativos que permeiam o universo das normas regulamentadoras: NBR978; NBR6136; NR-10 e NR-12 que tratam respectivamente de termos ligados aos equipamentos de produção individual (EPI), Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO) e Máquinas e equipamentos.

E por fim, custos relacionados aos processos trabalhistas podem ser eliminados com redução de mão-de-obra e os parâmetros definidos e padronizados pelo MTE, podem ser implementados, com o objetivo de atender os preceitos legais, jurídicos normativos e acima de tudo, constitucionais em que os valores humanos possam ser preservados e a lucratividade empresarial e a dignidade do colaborador possam caminhar lado a lado.

Assim, nesta pesquisa, persegue-se a busca pela análise da implantação

da automação industrial em uma indústria de blocos de concretos na região Sul do Estado da Bahia. Para tal, segue-se as ferramentas metodológicas pertencentes ao estudo de caso, isto é, observação, análise documental e entrevista semiestruturada. Nesse sentido, o corpo do artigo divide-se em três partes: a primeira configura-se na origem e a implantação do sistema de automação. Na segunda a análise e os resultados da implantação do sistema de automação. E por fim, na terceira, as considerações finais e referências.

2 | CONCEITO E SURGIMENTO DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A palavra automação significa *automatus*, arte de tornar automático tudo aquilo que está ligado a um sistema, logo se percebe que o mundo tende a automatizar-se. Já na antiguidade, o homem automatizava processos e de modo mais intenso durante a industrialização no século XVIII, na Inglaterra, esse processo se intensificou. Verificou-se que com o procedimento de automatização, ganhava-se tempo, não perdia produção e tinha bem menos erros. Hoje, praticamente, tudo o que fazemos de um aspecto ou de outro tende a automatizar-se. Seria inimaginável pensar em voltar atrás o que dantes era artesanal, haja vista o modelo de produtividade que impacta toda nossa vida, como um vício inevitável, tende-se cada vez mais ao avanço da automação.

Portanto, pode-se marcar como início da Automação Industrial o século XVIII, com a criação inglesa da máquina a vapor, aumentando a produção de artigos manufaturados, e estas foram às décadas da Revolução Industrial. No século seguinte a indústria cresceu e tomou forma, novas fontes de energia e a substituição do ferro pelo aço impulsionaram o desenvolvimento das indústrias na Europa e EUA. (SILVEIRA; LIMA, 2003, p.1)

A automação pode ser definida também como um conjunto de técnicas destinadas a automatizar a realização das tarefas, substituindo o homem pela máquina, e conseqüentemente o gasto de bio-energia humana, com esforço muscular e mental. Percebe-se, portanto, que este amplo conceito se estende a diversos cenários, como, por exemplo, a máquina de lavar roupa para a lavadeira, a xerox para o escrivão, ou o robô para o operário industrial. Os benefícios para qualquer processo de automação são nítidos: eficiência, segurança, menor custo, maior produção, etc. Assim:

O processo de automatização das indústrias tem aumentado gradativamente, propiciando ganho da quantidade e qualidade da produção e, simultaneamente, oferecendo preços melhores para os consumidores. Seu avanço está ligado, em grande parte, ao avanço recente da microeletrônica, o qual invadiu os setores produtivos das indústrias. (JUNIOR, CHAGAS e FERNANDES, 2003, p.1).

A automação muda a maneira como as pessoas se relacionam com o mundo à sua volta, e toda essa evolução é perceptíveis diante dos avanços observados no modo de produção. No Brasil, as empresas estrangeiras contribuíram para os avanços da automação, pois trouxeram consigo experiências e práticas inovadoras na sua área de atuação. Porém, a automação apresenta algumas desvantagens, frente à situação de conforto, por exemplo: mais tempo e bem-estar no ambiente de produção; a necessidade de mão de obra mais especializada para desenvolver as novas funções criadas pelo sistema de automação que tornou as funções artesanais obsoletas.

A política atual de desenvolvimento no sistema produtivo, a qual exige adaptações e respostas mais flexíveis e a utilização cada vez maior de novas tecnologias nos processos de trabalho (DEITOS, 2006). Cabe destacar que o desenvolvimento do processo produtivo com a chegada da automação mudou muito os hábitos e os costumes no cotidiano da fábrica em análise. Além disso, surgiram novos acréscimos, dentre eles: novas funções, as quais permitiram na indústria a presença da mão de obra feminina e das pessoas com necessidades especiais para o chão da fábrica, pois a exigência da força física nas tarefas artesanais já não era mais necessária nos processos que já estavam automatizados.

A automação industrial também proporcionou um aumento na utilização da mão de obra feminina. As operações consideradas perigosas e que exigem um esforço físico do homem estão sendo executadas por robôs abrindo um espaço para que as mulheres possam ser integradas a este ambiente em melhores condições de trabalho. (JUNIOR, CHAGAS e FERNANDES, 2003, p.2)

Nessa crescente onda de desenvolvimento no setor produtivo surge a necessidade dos profissionais obterem capacitação contínua, além das necessárias para o desempenho de suas funções, pois as máquinas tendem a serem atualizadas de forma cotidiana e essa capacitação contínua se tornou importante para o desenvolvimento da automação nas organizações.

Para lidar com o avanço gradativo da tecnologia ligado ao processo de automação, é fundamental que o os profissionais dessa área não apenas tenham o conhecimento técnico, mas também estejam abertos a absorver o grande volume de informações exigido (JUNIOR, CHAGAS e FERNANDES, 2003, p.3).

Esse avanço gradativo também contribuiu para a implantação de máquinas na produção de blocos de concreto. O bloco de concreto é conhecido e utilizado em diversos países do mundo como nos Estados Unidos, Alemanha, Itália e Japão. Essas potencias mundiais empregam esta tecnologia já a algum tempo, e são os que mais investem em processos automatizados de máquinas e equipamentos

nesse setor da construção civil. A propósito é notório destacar que:

A primeira máquina para produção de blocos em escala foi patenteada pelos ingleses em 1904 e hoje a Europa e os Estados Unidos são também os que mais se desenvolveram na fabricação de equipamentos e instalações para produção dos blocos. Possuem alta tecnologia de fabricação representada por instalações automatizadas e ferramentas de promoção e divulgação eficientes como revistas, catálogos, feiras, congressos e outros meios que fazem com que este sistema construtivo ocupe lugar de destaque no cenário da construção civil naqueles países. (FERNANDES, 2012, p.11).

Como podemos observar, além de investimentos, os países supracitados, também investem em divulgação, o que contribuiu muito para o desenvolvimento e propagação desse setor da construção civil. Já nas décadas de 60 e 70, no Brasil, iniciou-se grande procura por blocos de alvenaria estrutural oriundos do concreto. No país, a alvenaria estrutural chegou na década de 60 e respondeu com sucesso ao desafio de construir com qualidade e a baixo custo casas e edifícios residenciais dos programas do extinto Banco Nacional da Habitação (BNH) (FERNANDES, 2012). Com isso, houve a necessidade do empresário investir em máquinas e equipamentos capazes de otimizar a produção e padronizar a qualidade daqueles produtos através da implantação de sistemas automatizados que serão capazes de atender à crescente demanda desse segmento da construção civil. Dessa maneira é importante destacar que:

No início dos anos 70, sobrados e prédios baixos já eram construídos com essa tecnologia e na década de 90, os construtores partiram para edifícios de 10 a 20 andares. Vê-se hoje, por exemplo, a construção de apartamentos com áreas de 200 m², construídos em bairros nobres, valendo-se da alvenaria estrutural com blocos de concreto. Um exemplo sempre recorrente é o edifício Solar dos Alcântara, em São Paulo, que possui 24 andares – o mais alto do Brasil – Construído em alvenaria estrutural. (FERNANDES, 2012, 15 p.)

É importante salientar a importância desses produtos serem fabricados em máquinas automatizadas já nessa época supracitada. Além disso, outro fator que contribuiu foi a padronização exigida pelas NBRs 6136 e 12118, da ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. No caso da empresa de concreto em análise, o processo automatizado possui uma máquina composta por pistões, estrutura mecânica, um depósito de massa e uma prensa na qual a mistura de concreto é compactada nos moldes. O sistema de automação proposto propiciará o acionamento dos atuadores hidráulicos para as ações de inserção, compactação e movimentação da mistura de concreto, enquanto que a movimentação da carga com os blocos resultante será através de uma esteira acionada via motor elétrico. Portanto, com a implementação do sistema de automação concebido, a máquina

operará em modo automático e caberá ao operador somente controlar e observar a reposição quando necessário de concreto no respectivo depósito, assim como, a supervisão de toda a operação.



Figura 1- Vista do misturador e esteira de transporte.

A fase de produção constitui um processo rotativo de reposição de matérias primas utilizadas na confecção daqueles produtos, que exige bastante atenção no funcionamento dos equipamentos e acessórios que integram parte do sistema automatizado, uma vez que, apesar de reduzir o número de colaboradores, é necessário investir em mão de obra especializada para coordenar, administrar, assistir com profissionais de capacidade técnica adequada e gerenciar toda cadeia produtiva da fase de produção desses artefatos.

O sistema automatizado observado, como na fotografia acima, é composto por máquinas e equipamentos indispensáveis tanto no que se refere a qualidade da produção propriamente dita, onde o consumidor adquirirá o produto final, assim como, elementos fundamentais para segurança do trabalho dos colaboradores que ali estejam inseridos, como destaca os princípios gerais da Norma Regulamentadora NR- 12, que versa sobre Máquinas e Equipamentos:

12.1 Esta Norma Regulamentadora e seus anexos definem referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos, e ainda à sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título, em todas as atividades econômicas, sem prejuízo da observância do disposto nas demais Normas Regulamentadoras - NR aprovadas pela Portaria n.º 3.214, de 8 de junho de 1978, nas normas técnicas oficiais e, na ausência ou omissão destas, nas normas internacionais aplicáveis. *(Redação dada pela Portaria SIT n.º 197, de 17/12/10).*

Portanto, dentre outras coisas, as instalações e áreas de trabalho, distâncias mínimas entre as máquinas, os equipamentos; dispositivos de acionamento, partida e parada das máquinas e equipamentos são alguns dos temas apresentados por essa Norma Regulamentadora. Em seus vários anexos, os equipamentos são mostrados de forma bem detalhada, sempre buscando a padronização das medidas de prevenção a serem adotadas, a fim de se obter um trabalho mais seguro em todas as operações com o maquinário. E o processo de automação não fugiu à regra, desde o princípio da humanidade a automação está presente, e na contemporaneidade, as NRs contribuíram para a padronização e regulamentação da implantação de itens industriais na produção.

3 | ANÁLISE E RESULTADOS

Com a explosão da construção civil no Brasil, nos últimos anos, surgiu a necessidade de criar maneiras de agilizar as construções, tornando-as mais práticas, precisas, ágeis e principalmente com uma maior qualidade. Outro ponto a ser destacado e de extrema importância é o quesito segurança, este, cada vez mais sendo acompanhado pelo Ministério do Trabalho e cobrado pelas leis como fator primordial dentro de uma indústria.

Para Rosário (2005 p.29)

Na economia globalizada, a criatividade e a flexibilidade contam mais do que o controle de ativos físicos. A capacidade de identificar novas necessidades e de lhes dar resposta é relevante. Uma indústria, ao atender as novas necessidades, terá com certeza de modificar seu método de produção, e sem dúvida, um dos caminhos para isso é a automação.

Com o avanço tecnológico, a construção civil, que antes era estritamente manual passou a usar a automação para fazer o trabalho que antes era braçal. As máquinas passaram a substituir o homem e estes foram obrigados a se aperfeiçoar para não mais usar a força física, mas controlar o equipamento que desempenhará a parte pesada, diminuindo o risco de lesões, acidentes e trazendo maior conforto para o dia a dia do colaborador.

Assim na indústria analisada, o processo não foi diferente. Segundo os donos, automatizar a indústria surgiu da necessidade de tornar o trabalho mais seguro e a produção mais precisa e eficiente. Além disso, produzir em larga escala com mais rapidez. Nesse sentido, com a implantação da máquina, o processo de fabricação dos artefatos de concreto passou a ser mais padronizado, o peso do produto produzido tornou-se padrão, o tamanho e encaixes mais precisos, deixando as obras mais rápidas, com menos imperfeições e conseqüentemente menos

retrabalho.

Rosário diz que: (2005 p.33)

As principais vantagens da automação são o aumento da eficiência dos processos, a diminuição dos custos, o aumento da competitividade e do nível de exigência, a melhoria da qualidade e, por fim, o maior controle e segurança da operação.

Com a padronização do produto produzido, a fábrica de artefatos de concreto passou a ter um controle de estoque mais preciso, e mais sustentável, pois a economia de material, água e energia faz com que sejam atendidas as necessidades do presente sem comprometer gerações futuras. Isto não seria possível sem o avanço da tecnologia, a implementação do sistema de automação nas indústrias.

Segundo Silveira e Lima (2003, p. 2), afirma que:

Automação, é um conjunto de técnicas destinadas a tornar automáticas a realização de tarefas, evitando o esforço e desgaste humano, sendo assim beneficiando todo o processo industrial, gerando eficiência, segurança, menores custos e maior produtividade.

Além disso, a redução da mão de obra é um dos principais fatores que beneficiam as indústrias que aderem ao sistema automatizado. Isto é possível porque com a adesão de mecanismos capazes de produzir mais e exigir menos esforços físicos. Em contrapartida reduzindo a mão de obra, reduz-se também o número de colaboradores, gerando assim, menos custos para a empresa. E uma das alternativas encontradas pelos donos, para não aumentar o índice de desemprego, foi a alocação dos seus colaboradores em outros setores da indústria. Além do investimento na qualificação dos funcionários, com isto, quanto mais especializado for, mais qualidade, saúde e segurança no trabalho, o trabalhador terá em sua jornada laborativa.

Assim, em atendimento a padronização exigida pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), a indústria em análise, segundo os empresários e os funcionários, ocorreram investimentos em equipamentos, tais como: *Misturador* com suas devidas proteções em atendimento as normas regulamentadoras de segurança do trabalho. Esses equipamentos tem a função de misturar o concreto e necessita de uma energia extra para promover a perfeita homogeneização dos materiais. O desempenho do misturador nesse caso é importantíssimo na obtenção de uma boa mistura. *Vibro prensas* entre os diversos tipos de equipamentos para extrusão de blocos e pavers, os mais eficientes são os hidráulicos que empregam bomba e pistões a óleo. Nestes, a prensagem, conciliada com a vibração sincronizada, permite a obtenção de peças bem compactadas resultando blocos de até 20 Mpa, com razoável economia de cimento.

Estes equipamentos possuem centrais programáveis que permitem o controle dos tempos de alimentação, prensagem, acomodação e extrusão das peças. O controle destes parâmetros permite obter peças de densidade constante, mesmo com variações nas características dos materiais empregados na fabricação de blocos e pavers; *Esteira rolante* para deslocamento da matéria prima do misturador ao silo. *Silo* constitui uma espécie de depósito funil que recebe o material proveniente do misturador; *Bomba hidráulica* equipamento indispensável, pois seu funcionamento é a óleo o que permite uma maior vibração e conseqüentemente, maior qualidade nos produtos fabricados; *Introdutor de tábuas*, equipamento que tem a função de substituir mão de obra, onde as tábuas são colocadas e armazenadas em um depósito localizado fora das gaiolas de proteção e transportadas através de uma esteira, até a vibro prensa, para compactação do produto fabricado.

Já os acessórios instalados foram: *Instalações elétricas* de acordo com a NR-10, identificação voltagem- Botoeira de emergência e Relê de proteção com sensores instalados para desligamento de todo sistema automatizado em caso, de abertura de porta, de acidentes ou pane nas máquinas; *Painel elétrico de Controle* a comando do operador de máquinas; *Gaiolas de proteção de Metalon* com o propósito de eliminar o contato do colaborador com os equipamentos; *Forma de modelagem ou moldes* representa o tipo ou espécie de artefato a ser produzido. São responsáveis pela formação da peça propriamente dita e definem as dimensões dos produtos tais como a largura, comprimento, altura, espessura de paredes, etc; *Carro garfo* é utilizado para transportar os blocos ou pavers da máquina para área de cura, quando não se dispõe de pinças ou prateleiras. Esta operação somente é possível quando se trabalha com a máquina enterrada, com a saída do bloco no nível do solo; *Bandejas* são placas nas quais os blocos ou pavers são extraídos. Quanto maior a rigidez desse acessório, maior será a transmissão da energia de vibração do conjunto vibratório para os blocos e pavers.

As bandejas mais aconselháveis são as de chapa metálicas; Empilhadeira veículo automotor de quarto rodas com suporte de carga de até 3 toneladas que pode ser utilizado para armazenamento e remoção dos mais diversos tipos de materiais na empresa, assim como, é capaz de acelerar e desenvolver o ritmo de produtividade com a fabricação de maior número de produtos no mesmo intervalo de tempo de uma produção convencional com o carro garfo. Conforme, o Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) publicou a portaria 15/2011 destacando, quanto ao objetivo e campo de aplicação que:

1.1-Este regulamento Técnico Metrológico estabelece as condições em que devem ser comercializados os blocos de concreto para alvenaria, bem como a metodologia para a determinação da dimensão efetiva dos mesmos.

1.2-este regulamento técnico metrológico aplica-se a indústria e ao comércio de blocos de concreto para alvenaria. (Portaria Inmetro nº15, de 05 Janeiro de 2011).



Figura 2 - Bandejas em chapas metálicas.

A implantação da portaria, é importante, porque estabelece parâmetros de como os blocos devem ser confeccionados, padronizando dimensões, além de definir critérios para a embalagem, como número de unidades e identificação do fabricante, ou seja, é um Regulamento Técnico Metrológico que visa estabelecer condições para a comercialização e uniformiza dimensões do produto para o uso na alvenaria. Além disso, o bloco de concreto para alvenaria, estrutural ou de vedação, é um produto normalizado pelas NBRs 6136 e 12118, da ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas enquanto o paver ou piso intertravado de concreto para pavimentação tem sua normalização prevista na NBR 9780 e são peças pré-moldadas utilizadas para a construção de calçamento, cuja camada superficial deve apresentar acabamento confortável para o trânsito de pessoas e sua estrutura deve suportar cargas de veículos leves ou pesados, conforme o caso.

Além disso, a implantação dessas normas reguladoras contribuíram significativamente para a formação de um programa de redução de risco. Este, ao longo do tempo, apresentou os resultados favoráveis, a saber: redução drástica do risco. Em síntese, uma indústria que possui o seu sistema totalmente automatizado,

certamente, os riscos de acidentes no trabalho são menores. No entanto, a empresa não automatizada, os funcionários são expostos à processos que exigem esforços físicos; manejo de objetos, que utilizados de forma incorreta, provocam inúmeros acidentes. As fotos abaixo demonstram o ganho organizacional, e conseqüentemente, financeiro da indústria pesquisada.



Figura 3- Revestimento de segurança da prensa hidráulica com telas de aço.

Assim, a partir da pesquisa percebe-se que a implantação da automação na produção industrializada de artefatos de cimento contribuíram, a princípio, para uma quebra de paradigma, isto é, a saída definitiva de um processo artesanal para um mais tecnológico. Segundo os empresários, se não acontecesse a mudança o setor continuaria atrelado a um passado de trabalhos penosos, com extremo esforço físico, aposentadorias precoces devido a lesões constantes. Além disso, perda da na produção, principalmente, porque os blocos não atingiam ao padrão estabelecido pelas NRs e atendia as exigências dos clientes.

Logo após a implantação do sistema, algumas vantagens foram evidentes, a saber: a qualidade do produto final foi outro ponto a ser notado, os artefatos de concreto feito em escala industrial são muito superiores aos feitos artesanalmente, isso gerou menos retrabalho, maior produtividade e o reconhecimento do cliente na fidelização do fornecedor dos produtos comprados, aumentando as vendas consideravelmente.

Não pode-se deixar de citar a questão do desemprego, infelizmente, a automatização proporciona a substituição da mão-de-obra de alguns colaboradores,

mas no caso da indústria aqui estudada, essa substituição não foi sentida, os colaboradores que deixaram as funções de base, que usavam força física extrema para realizar suas funções, foram deslocados para outras áreas com atividades de pouco impacto, com a ajuda de cursos, assumiram o controle de equipamentos automatizados. Em síntese, com a implantação do sistema de automação todos foram beneficiados, ou seja, empresários e funcionários. Enfim, as novas tecnologias nas indústrias, é indiscutivelmente, a tendência para as novas gerações de empresas e colaboradores, cabe a ambos, se adequarem a essa realidade, tanto a nível legal, quanto social.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O surgimento das máquinas contribuiu para aumentar a produção e reduzir custos, mas décadas a décadas, as necessidades exigiram dos homens a construção de novos artefatos. Assim, com o advento da tecnologia, e sobretudo, a produção de máquinas, e a conseqüente robotização, o mundo industrial percebeu que o caminho para atrelar segurança laboral e lucro é o investimento.

Chagas e Fernandes (2003) afirmam que o processo de automatização das indústrias tem aumentado gradativamente, propiciando ganho da quantidade e qualidade da produção, operações consideradas perigosas e que exigem um esforço físico do homem estão sendo executadas por robôs, além disso, abrindo um espaço também para as mulheres.

Para que haja essa interação entre homem e máquina é fundamental a capacitação, esta é que viabilizará o acesso a nova função, deixando bem claro que o nível de informação teórica é muito maior do que o oferecido pelo conhecimento manual, tornando essa interação mais demorada e mais custosa. A capacitação que será exigida envolve leis como as NBRs, ABNT que tratam de padronização no processo de fabricação e as NRs que irão cobrar a total adequação da empresa às regras, no que tange a segurança do trabalhador.

Portanto, o estudo de caso, possibilitou os pesquisadores entender melhor a história, o surgimento e as vantagens e desvantagens da implementação do sistema de automação em um uma indústria de artefatos de concreto. A pesquisa em lócus também contribuiu para compreender a necessidade da inserção das novas tecnologias na construção civil e da qualificação do profissional engenheiro civil, uma vez que esse necessita saber da qualidade dos blocos, porque estes produtos compõem uma parte importante na construção.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 9780**: peças de concreto para pavimentação: especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro-RJ, 2013.

_____, **NBR 6136**: Blocos Vazados de concreto simples para alvenaria: requisitos. Rio de Janeiro-RJ, 2013.

_____, **NBR12118**: Blocos Vazados de concreto simples para alvenaria: métodos e ensaios. Rio de Janeiro-RJ, 2013.

DEITOS, M.L.M. de S. **As políticas de qualificação de trabalhadores e suas relações com a inovação tecnológica na indústria brasileira**. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, SP, 2006, 253 p.

FERNANDES, I. **Blocos e pavers: produção e controle de qualidade**. 3ª ed. Jaraguá do Sul -SC: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda, 2012, 182 p.

JÚNIOR, A.P.de A.; CHAGAS, C.V.; FERNANDES, R.G. **Uma rápida análise sobre automação industrial**. Natal-RN: DCA-CT-UFRN. 2003, p.5. Artigo disponível em: professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/.../ARTIGO05.pdf. Acesso em 15.04.2018

NORMAS REGULADORAS, NR-10. **Segurança em instalações e serviços em eletricidade**. Distrito Federal: Ministério do Trabalho, 2016, 14 p.

_____. NR-12. **Segurança no Trabalho em máquinas e equipamentos**. Distrito Federal: Ministério do Trabalho, 2010, 115 p.

PORTARIA 15. **Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro)**. Distrito Federal: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. 2011, p.11

ROSÁRIO, J.M. **Princípios de Mecatrônica**. São Paulo-SP: Prentice Hall, 2005, 368 p.

SILVEIRA, L.; LIMA, W.Q. (2003) **Um breve histórico conceitual da automação industrial e Redes para Automação industrial**. Disponível no site: https://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/trabalho1/trabalho1_13.pdf. Acessado em: 16.04.2018

CAPÍTULO 2

AGREGADO MIÚDO PROVENIENTE DO RIO DOCE E SUA INFLUÊNCIA NA DURABILIDADE, RESISTÊNCIA E CARBONATAÇÃO DO CONCRETO

Data de aceite: 16/11/2020

Data de submissão: 11/09/2020

Luan Rangel dos Santos

Centro Universitário do Espírito Santo –
UNESC
Colatina - Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/6750980013574845>

Claudinei Antônio Montebeller

Centro Universitário do Espírito Santo –
UNESC
Colatina - Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/2547132665413519>

Lucas Soares Milanezi

Centro Universitário do Espírito Santo –
UNESC
Colatina - Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/7615578969927102>

Adriana Zamprogno

Centro Universitário do Espírito Santo –
UNESC
Colatina - Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/1071149366430504>

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência do agregado miúdo extraído do Rio Doce no possível aparecimento de patologias do concreto, uma vez que o rio possui um histórico de contaminação por substâncias provenientes de rejeitos de mineração. A probabilidade de surgimento de patologias no concreto pode ser elevada dependendo das características físicas

e químicas do agregado miúdo utilizado, como a corrosão do concreto e da armadura, colocando em risco a sua durabilidade. Como o Rio Doce é a maior fonte granulométrica da construção civil no município de Colatina, torna-se imprescindível uma melhor análise das características do concreto utilizado nas construções locais. Para a análise, selecionou-se três rios, além do Rio Doce, sendo eles o rio Pancas, Santa Maria e Santa Joana, a fim de levantar parâmetros comparativos e qualitativos entre si. As amostras de concreto foram submetidas aos ensaios de resistência a compressão axial, ensaio de carbonatação e ensaio de potencial de corrosão através de método eletroquímico, sendo possível evidenciar que, entre os rios mencionados, o Rio Doce apresentou valores baixos de velocidade de carbonatação e resultados inferiores no ensaio de potencial de corrosão da armadura. Os resultados obtidos indicam que não existe influência do histórico de contaminação do Rio Doce com os valores apresentados nos ensaios.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto, carbonatação, patologia, Rio Doce, agregado miúdo.

THE FINE AGGREGATE FROM RIO DOCE AND ITS' INFLUENCE ON DURABILITY, RESISTANCE AND CARBONATATION OF THE CONCRETE

ABSTRACT: This work aims to evaluate the influence of the fine aggregate extracted from Rio Doce on the possible appearance of concrete pathologies, since the river has a history of contamination by substances with mining tailings. The probability of the occurrence of pathologies in concrete may be high depending on the physical

and chemical characteristics of the fine aggregate used, such as corrosion of concrete and reinforcement, putting its' durability at risk. As Rio Doce is the largest granulometric source of construction in the city of Colatina, a better analysis of the characteristics of the concrete used in local constructions is essential. For the analysis, three rivers were chosen: Pancas, Santa Maria and Santa Joana in addition to the Rio Doce, in order to raise comparative and qualitative parameters among themselves. The concrete samples were submitted for an axial compression resistance test, carbonation test and corrosion potential test by electrochemical method, being possible to show that among other rivers, the Rio Doce presented low values of carbonation velocity and the most negative results in the corrosion potential test. Based on statistical analysis, it was possible to verify that there is no influence of the Rio Doce contamination history with the values found in the tests.

KEYWORDS: Concrete, carbonatation, pathology, Rio Doce, fine aggregate.

1 | INTRODUÇÃO

Após o rompimento das barragens da cidade de Mariana (MG), em 2015, reascendeu-se uma discussão a respeito dos impactos ambientais que afetam diretamente e indiretamente a população dependente dos recursos naturais oriundos das áreas contaminadas por rejeitos industriais.

O Rio Doce foi o rio mais afetado pelo desastre ambiental e, conseqüentemente, pelos rejeitos do beneficiamento de minério de ferro que foram depositados às margens e em sua calha principal, em quase toda sua extensão. Como o rio é a principal fonte granulométrica de agregado miúdo da cidade de Colatina, este trabalho pretende analisar a influência que as substâncias granulométricas do Rio Doce exercem sobre o concreto no que tange à carbonatação, corrosão e resistência à compressão, considerando seu histórico de contaminação.

A baixa qualidade do concreto pode provocar o aparecimento de patologias, geradas na etapa de concepção, execução e utilização da estrutura. Uma das principais causas de deterioração das estruturas em concreto são as de origem naturais, definidas por causas químicas, físicas e biológicas. As combinações químicas que ocorrem nos poros do material e as reações internas ao concreto são um dos principais motivos do surgimento de patologias. Considerando que a aderência do concreto é obtida pelas reações químicas resultante da mistura do cimento hidratado com os agregados, é de extrema importância estudar como tais reações ocorrem, bem como fatores que a influenciam (SOUZA e RIPPER, 1998).

Os resultados permitiram levantar parâmetros comparativos de agregados e aferir o potencial de corrosão do concreto comum e armado confeccionado com agregado miúdo do Rio Doce. Tais conclusões auxiliarão nas pesquisas de qualidade do concreto produzido com agregados provenientes de rios contaminados com as

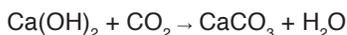
mesmas substâncias e o levantamento de possíveis problemas patológicos futuros das construções de concreto da cidade de Colatina (ES).

2 I RESISTÊNCIA, CARBONATAÇÃO E CORROSÃO DO CONCRETO

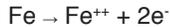
O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil atualmente e de acordo com Gentil (2012), se tratando de concreto armado, a armadura é susceptível a sofrer corrosão se houver contaminação e/ou deterioração do concreto. A presença de substâncias impuras pode elevar as chances de corrosão do concreto e do aço inserido nele, através de reações químicas, e conseqüentemente causar sua deterioração e comprometer a durabilidade de edificações. Essa corrosão é um problema patológico e pode ser definido, em maior parte, como um fenômeno espontâneo de natureza eletroquímica.

Considerando tais problemas patológicos, a carbonatação é uma das principais e mais comuns patologias do concreto. Pode ser definida como um processo físico-químico a partir da reação de gases ácidos, geralmente presentes no ambiente, com produtos alcalinos do concreto, originados da reação de hidratação do cimento que formam produtos com pH de precipitação inferior a 9. As condições em que o material se encontra e às características do concreto são os fatores que determinam a velocidade da ocorrência do processo de carbonatação (CADORE, 2008).

De acordo com Kulakowski (2002), o gás sulfídrico (H_2S), dióxido de enxofre (SO_2) e o gás carbônico (CO_2) são os principais gases ácidos que induzem o concreto a sofrer carbonatação. Neste processo é consumido, nas reações, os compostos alcalinos da pasta hidratada de cimento como o hidróxido de potássio (KOH) e o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), sendo a relação entre o gás carbônico e o hidróxido de cálcio a principal reação da carbonatação, como mostrado a seguir.



No processo de confecção do concreto ocorrem reações químicas que originam excesso de cálcio, no qual é liberado na forma de hidróxido ($Ca(OH)_2$). Após o endurecimento, o material passa a possuir um carácter alcalino no interior do concreto, com pH acima de 12,5. O gás carbônico (CO_2), proveniente do ar atmosférico, pode adentrar o concreto por difusão e chegar até os poros úmidos que contêm hidróxido dissolvido, iniciando assim uma série de reações que transformará o hidróxido em carbonato, diminuindo o pH interno. Se o pH atingir valores inferior a 9, o material fica susceptível a dissolução da película passivadora de óxido de ferro do revestimento das barras de aço presente dentro do concreto, no caso de concreto armado (FUSCO, 2012). Dessa forma, acarreta na reação anódina que origina a solubilização do ferro, representada a seguir.



Para verificar a carbonatação, é possível detectar a presença de cloretos livres sobre a superfície do concreto ou argamassa através de ensaios calorimétricos. Este método qualitativo se dá através da incidência de uma solução contendo indicadores químicos, como por exemplo a fenolftaleína e o nitrato de prata, aplicada sobre a superfície da área da secção perpendicular do interior do concreto. Tais soluções, na presença de cloretos livres, mudam de coloração através de uma reação fotoquímica catalisada pela luz (BOTELHO e SILVA, 2008).

Segundo Cadore (2008) as proporções utilizadas para o preparo da solução a base de fenolftaleína são: 30g de álcool etílico absoluto; 70g de água destilada; 1 grama de fenolftaleína em pó. Ao ser aplicada na superfície do concreto, esta substância permanece incolor em soluções ácidas, com pH inferior a 8,3, e torna-se cor “magenta” quando em contato com soluções básicas, pH superior a 9,5, quando o pH encontra-se entre 8 e 9,5 a cor resultante é variável entre rosa e vermelho. Podendo assim mensurar a área com pH baixo, o que indica provável região carbonatada e mais susceptível a patologias de origem químicas e eletroquímicas.

Segundo Vaghetti (2005), a profundidade dessa corrosão pode variar de acordo com as propriedades do concreto, como índice de porosidade, relação água/cimento utilizada, características do ambiente de cura, concentração de CO_2 , temperatura etc. O modelo de equação clássico para estimar a velocidade de carbonatação provém da integração da Lei de Fick, resultando na equação (1) (TASCA, 2012):

$$X_c = K_c \sqrt{t} \quad (1)$$

em que:

- X_c : profundidade da carbonatação em mm;
- K_c : coeficiente de carbonatação em $\text{mm} / \sqrt{\text{ano}}$;
- t : tempo de exposição ao CO_2 desde a moldagem, em anos.

O valor de K_c representa a velocidade em que o concreto, em condições específicas, sofre carbonatação do ambiente no qual está inserido. No que diz respeito a idade de realização do ensaio, segundo Pauletti (2004), há diversas pesquisas, no âmbito nacional, que utilizaram ensaios naturais e acelerados para verificar a carbonatação, possuindo os mais variados tipos de cura e exposição dos corpos de prova.

Em relação ao concreto armado, o processo de corrosão modifica a estrutura de materiais metálicos, alterando a formação de partículas com carga elétrica na presença de um eletrólito condutor. Dessa forma, uma pilha eletroquímica de corrosão pode ser formada, onde há a presença de um ânodo, um cátodo, uma diferença de

potencial, uma ligação metálica entre o ânodo e o cátodo e uma ligação externa caracterizada pela condução iônica através do eletrólito. O ânodo é caracterizado pela passagem do material do estado metálico para o estado iônico (oxidação) e o cátodo pelo consumo de elétrons gerados na região anódica (redução), sendo o ânodo com potencial mais eletronegativo na diferença de potencial entre ambos (GENTIL, 2012).

De acordo com a norma americana ASTM C876 (2009) é possível aferir a diferença de potencial elétrico através do método de teste para potenciais de corrosão de aço de reforço, não revestido, em concreto. O ensaio consiste na utilização de um eletrodo de referência, um dispositivo de junção elétrica, uma solução de contato elétrico, um voltímetro de alta impedância e fios elétricos. A norma indica que pode ser utilizado o eletrodo de prata/cloreto de prata (Ag/AgCl) para a realização do teste e nesse caso a probabilidade de corrosão encontra-se a 10% quando o valor medido é maior que -119 (mV), incerta quando o valor está entre -119 (mV) e -269 (mV), e probabilidade de 90% quando o valor medido é menor que -269 (mV).

Porém, para se obter resultados mais precisos em um curto período de tempo é necessário acelerar o processo de corrosão, uma vez que esta patologia ocorre de uma forma relativamente lenta. O método consiste em submeter os corpos de prova em ciclos de umectação em solução com 3,5% de NaCl e secagem em ambiente controlado de laboratório, induzindo assim a aceleração de corrosão por íons de cloreto, sendo o potencial de corrosão medido ao fim de cada semiciclo. Esse é um procedimento amplamente empregado no meio acadêmico quando se pretende obter valores do potencial de corrosão em concreto armado (CABRAL, 2000; CASCUDO e HELENE, 2001; DOTTO, 2006; SILVA, 2010).

Além dos ensaios de corrosão e carbonatação, um método largamente utilizado para o controle de qualidade do concreto é o ensaio de compressão axial, que consiste na utilização de corpos de prova cilíndricos padronizados em ensaios laboratoriais. A NBR 5738 (2016) e a NBR 5739 (2007) estabelece todos os procedimentos necessários para a confecção dos corpos de prova de concreto e requisitos necessários para a realização do ensaio de compressão axial. A apresentação dos resultados deve possuir informações como a identificação e idade do corpo de prova e resistência a compressão expressa com aproximação de 0,1 MPa.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Foram coletadas 5 amostras de sedimentos, sendo duas provenientes do Rio Doce, coletadas em pontos distintos, uma amostra do rio Pancas, uma do Santa Maria e uma do Santa Joana. Os locais de coleta foram escolhidos dando ênfase em

pontos onde há a extração legal de agregado miúdo para a construção civil. Levando em consideração que três rios (Pancas, Santa Maria e Santa Joana) escolhidos para o ensaio são afluentes do Rio Doce, coletou-se uma amostra extra de agregado do Rio Doce em um ponto estratégico no leito do rio que não possui contato com os efluentes dos demais rios.

Para a confecção dos corpos de prova, houve a realização de ensaios complementares para a caracterização dos agregados a serem utilizados e para a confecção do traço, segundo o método ABCP. Para padronização, utilizou-se cimento de alta resistência inicial (ARI) CP-V, fixando o abatimento de 80-100mm e o mesmo tipo de agregado graúdo para todos os corpos de provas, alterando, assim, apenas o agregado miúdo. Todos os corpos de prova foram curados por 28 dias submersos em água em tanque de cura. A tabela 1 especifica a quantidade de corpos de prova utilizada para cada ensaio realizado.

Tipo de ensaio	Dimensão do corpo de prova (cm)	Quantidade de Corpo de Prova					Total
		Rio Doce A1	Rio Doce A2	Pancas	Santa Maria	Santa Joana	
Potencial a corrosão	(15x15x15)	1	1	1	1	1	5
Carbonatação	(10x15x30)	1	1	1	1	1	5
Resistência à compressão	(10x20)	2	2	2	2	2	10

Tabela 1 - Especificação dos tipos de ensaios realizados, dimensões e quantidade dos corpos de prova confeccionado para cada ensaio.

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

Na confecção dos corpos de prova para o ensaio de carbonatação foram utilizados moldes de madeira fixados através de parafusos roscáveis para auxiliar no desmolde. O ensaio foi realizado 91 dias após a confecção dos corpos de prova, baseando-se na metodologia utilizada por Cadore (2008), caracterizada pela aplicação de solução contendo fenolftaleína na superfície perpendicular no interior do corpo de prova logo após ser rompido.

Na confecção dos corpos de prova cilíndricos, para o ensaio de compressão axial, foram utilizadas fôrmas de aço, sendo o concreto adensado manualmente de acordo com os procedimentos especificado na NBR 5738 (2016). Sendo o ensaio de compressão do concreto realizado em equipamento laboratorial padrão, EMIC, 28 dias após a confecção dos corpos de prova, de acordo com as especificações da NBR 5739 (2007).

Para a confecção dos corpos de prova para o ensio de potencial de corrosão por técnica eletroquímica, foi utilizado molde de madeira, fixados por meio de parafusos roscáveis para facilitar a desmoldagem e barras CA-50 obtidas por laminação à quente corrugadas, com 10mm de diâmetro nominal e comprimento de 100mm. Foram colocadas quatro barras em cada corpo de prova de forma que deixasse exposta 20mm das mesmas. Antes da confecção do concreto armado, as barras foram limpas através de um processo de abrasão utilizando esponja, escova de aço e lixa a fim de retirar a camada de óxido de ferro (ferrugem) das barras (BOTELHO E SILVA, 2008).

Os cobrimentos de concreto das barras de aço nos corpos de prova seguiram as recomendações prescritas na tabela 7.2 da NBR 6118 (2014), onde especificam-se cobrimentos mínimos para várias classes de agressividade. Dessa forma, foi utilizado 30mm de cobrimento de concreto nas laterais dos corpos de prova e cobrimento de 70mm de espessura na parte inferior do corpo de prova, baseando-se na metodologia utilizada por Silva (2010).

Na extremidade superior das barras, na parte exposta, foram conectados fios flexíveis para propiciar a conexão elétrica durante o ensaio. Foi usado fita isolante para proteger a conexão entre os fios flexíveis e as barras, e sobre a fita foi aplicada resina epóxi. As faces superior e inferior dos corpos de provas também foram impermeabilizadas com resina epóxi, impedindo a entrada de agentes agressivos e induzindo o processo corrosivo apenas pela parte lateral do mesmo (DOTTO, 2006; SILVA, 2010). Nas barras de cada corpo de prova foram colocados adesivos coloridos para facilitar a medição (Figura 1).

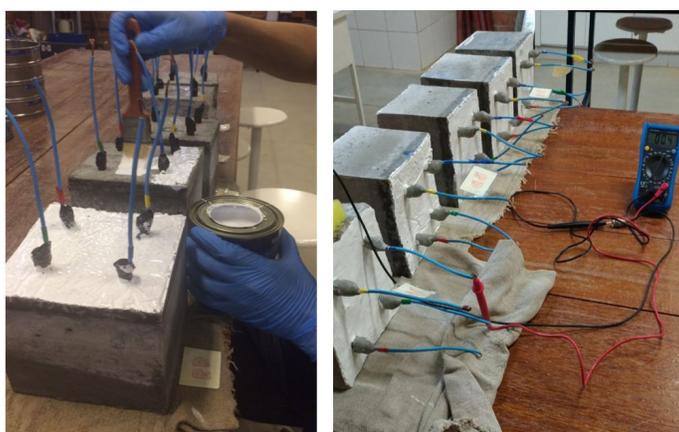


Figura 1 – Impermeabilização com resina epóxi nos corpos de prova cúbicos e medição do ensaio de potencial corrosivo, respectivamente.

Fonte: acervo do autor (2017).

Após a cura, os corpos de prova cúbicos foram induzidos a corrosão através de ciclos de umedecimento por imersão parcial em solução de 3,5% de NaCl durante 2 dias e ciclos de secagem caracterizados pelo armazenamento em estufa a 50°C por 5 dias, sendo os potenciais medidos após cada semiciclo (SILVA, 2010; PEREIRA, 2012). As medições foram realizadas em todas as barras em apenas duas faces do corpo de prova com o auxílio de água destilada, uma esponja, um eletrodo de prata/cloreto de prata e um multímetro. Logo após, obteve-se a média aritmética dos valores de potencial medidos nas 4 barras de cada amostra, com intuito de realizar uma análise global por amostra e não por barras. Devido a uma falha com o eletrodo de prata/cloreto de prata, não foi possível a realização das medições nos primeiros ciclos, sendo a medição iniciada no oitavo ciclo e finalizada 70 dias após o início do ensaio de indução a corrosão.

Em relação às propriedades do agregado miúdo, há uma carência de materiais e pesquisas no meio acadêmico sobre análises químicas dos sedimentos para confecção de concreto, sendo comumente adotadas apenas análises físicas. Diante disto, decidiu-se realizar análise química das substâncias presentes nos sedimentos das amostras, a fim de levantar parâmetros quantitativos de comparação entre os exemplares de cada rio, com a finalidade de estabelecer relações da influência de elementos químicos nas reações patológicas que venham a ocorrer no concreto.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 exibe as imagens dos cinco corpos de prova prismáticos rompidos e submetidos ao ensaio de carbonatação, onde foram coletadas cinco medidas de profundidade com paquímetro digital na superfície de cada corpo de prova.



Figura 2 - Fotografia do ensaio de carbonatação das amostras do Rio Doce A1, Rio Doce A2, Pancas, Santa Maria e Santa Joana, da esquerda para direita, respectivamente.

Fonte: acervo do Autor (2017).

Através dos dados da profundidade de carbonatação, foi possível realizar o cálculo do coeficiente de Kc, que representa a velocidade de carbonatação dos concretos estudados. Os valores das profundidades de carbonatação, juntamente com os respectivos coeficientes Kc e os valores de resistência média do concreto à compressão, em MPa, estão exibidos na Tabela 2.

Amostra	Compressão Axial (Mpa)	Ensaio de carbonatação	
		Valores medidos (cm)	Coefficiente Kc
Rio Doce A1	42,55	0,486	0,973
Rio Doce A2	33,48	0,380	0,761
Pancas	31,24	0,554	1,110
Santa Maria	34,82	0,440	0,881
Santa Joana	32,62	0,760	1,522

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de compressão axial, carbonatação e coeficiente Kc.

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

As amostras do Rio Doce A1 e Santa Maria apontam os maiores valores médios de resistência do concreto a compressão (MPa), enquanto as amostras dos rios Pancas e Santa Joana apresentam os menores valores. As amostras provenientes dos rios Santa Joana e Pancas apresentaram valores maiores de profundidade de carbonatação, enquanto Rio Doce A2 e Santa Maria apresentaram os menores valores.

Já para o ensaio de potencial de corrosão, nota-se que a amostra Pancas e Rio Doce A1 foram as que apresentaram valores mais negativos localizados na zona de alta probabilidade de corrosão (>90%). As amostras do rio Santa Maria e Santa Joana exibiram os valores mais positivos e mais padrões no que diz respeito a descontinuidade provocada pelos ciclos de umectação e secagem (Gráfico 1).

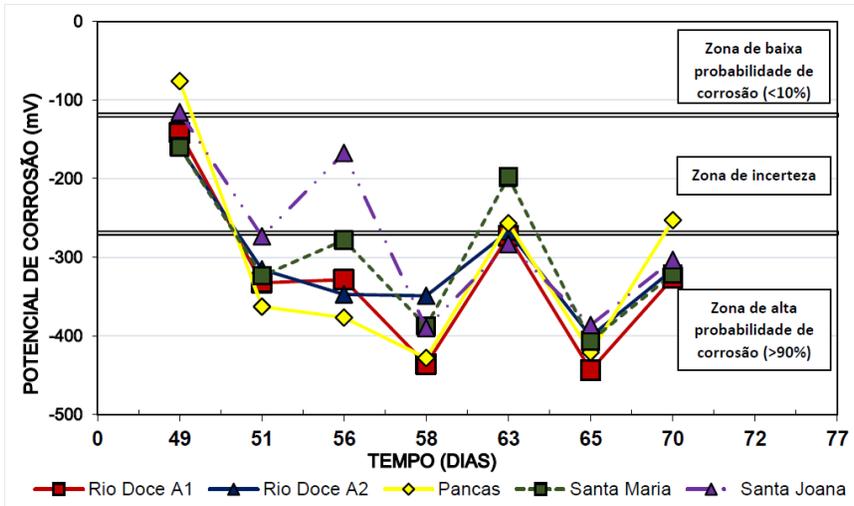


Gráfico 1 – Valores médios de potencial de corrosão de acordo com o número de dias após o início dos ciclos de indução a corrosão das diferentes amostras.

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

Para a análise química, deu-se prioridade aos parâmetros gerais de análises de sedimentos disponível no mercado, a fim de levantar uma forma quantitativa de comparação entre as amostras. Os resultados das análises são apresentados na Tabela 3.

PARÂMETRO	UNIDADE	RIO DOCE A1	RIO DOCE A2	PANCAS	SANTA JOANA	SANTA MARIA
SULFATO TOTAL	L.Q.: 20,0 mg/Kg (SO ₄)	93,0	35,0	66,0	55,0	72,0
FÓSFORO (P) - MEHLICH-1	L.Q.: - mg/DM3	6,0	6,0	10,0	5,0	4,0
SATURAÇÃO DE SÓDIO (NA)	L.Q.: - %	1,0	1,6	0,6	1,3	1,0
SATURAÇÃO DE BASES	L.Q.: - %	58,5	39,6	21,1	40,4	45,7
SATURAÇÃO POR AL (M)	L.Q.: - %	0,0	0,0	48,0	0,0	0,0
CTC (EFETIVA)	L.Q.: - cmolc/dm3	1,3	0,7	1,3	0,5	0,8
SOMA DAS BASES	L.Q.: - cmolc/dm3	1,3	0,7	0,7	0,5	0,8
MATÉRIA ORGÂNICA TOTAL	L.Q.: - dag/dm3	0,80	0,40	0,70	0,30	0,40
PH EM ÁGUA	L.Q.: -	7,3	6,7	4,9	7,1	5,9

MANGANÊS (MN) - MEHLICH-1	L.Q.: - mg/dm ³	34,0	38,0	18,0	29,0	20,0
COBRE (CU) - MEHLICH-1	L.Q.: - mg/dm ³	0,2	0,3	0,2	0,1	0,5
ZINCO (ZN) - MEHLICH-1	L.Q.: - mg/dm ³	2,2	1,4	2,5	0,6	0,9
H + AL	L.Q.: - cmolc/dm ³	0,9	1,0	2,5	0,8	1,0
ALUMÍNIO (AL)	L.Q.: - cmolc/dm ³	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0
MAGNÉSIO (MG)	L.Q.: - cmolc/dm ³	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
CÁLCIO (CA)	L.Q.: - cmolc/dm ³	1,1	0,5	0,5	0,4	0,6
SÓDIO (NA) - MEHLICH-1	L.Q.: - mg/dm ³	5,0	6,0	5,0	4,0	4,0
FERRO (FE) - MEHLICH-1	L.Q.: - mg/dm ³	117,0	128,0	132,0	144,0	139,0
POTÁSSIO (K) - MEHLICH-1	L.Q.: - mg/dm ³	18,0	12,0	18,0	10,0	10,0
RELAÇÃO MAGNÉSIO/POTÁSSIO (MG/K)	L.Q.: -	2,2	3,3	2,2	3,9	7,8
RELAÇÃO CÁLCIO/POTÁSSIO (CA/K)	L.Q.: -	23,8	16,3	10,8	15,6	23,4
RELAÇÃO CÁLCIO/MAGNÉSIO (CA/MG)	L.Q.: -	11,0	5,0	5,0	4,0	3,0
BORO (B)	L.Q.: - mg/dm ³	0,57	0,39	0,61	0,39	0,33
ENXOFRE (S)	L.Q.: - mg/dm ³	19,0	18,0	16,0	16,0	19,0
CTC (PH7)	L.Q.: - cmolc/dm ³	2,2	1,7	3,2	1,3	1,8
SATURAÇÃO DE POTÁSSIO (K)	L.Q.: - %	2,2	1,9	1,5	1,9	1,4
SATURAÇÃO DE MAGNÉSIO (MG)	L.Q.: - %	4,7	6,1	3,2	7,5	11,0
SATURAÇÃO DE CÁLCIO (CA)	L.Q.: - %	51,3	30,7	15,9	30,2	32,9
ACIDEZ TOTAL	L.Q.: 25 mg/Kg	<25	<25	97,50	<25	<25
TEOR DE CARBONATO DE CÁLCIO	L.Q.: 6.000 mg/kg	<6000	<6000	<6000	<6000	<6000

Tabela 3 – Relatório analítico da análise química realizada nos sedimentos provenientes de cada amostra coletada.

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

Os fatores determinantes para se iniciar o processo de carbonatação do concreto ou corrosão da armadura estão relacionados às condições de exposição no qual está inserido e às características do material. Como todos os corpos de provas foram submetidos às mesmas condições ambientais pela mesma quantidade de tempo, pode-se afirmar que os valores mensurados se relacionam apenas com

as características do material estudado.

Ao analisar a Tabela 3, nota-se que as amostras que apresentaram menores valores médios de resistências à compressão (Pancas e Santa Joana) tiveram as maiores velocidades de carbonatação. Entretanto, apenas através da análise estatística é que, de fato, terá a comprovação desses resultados. Dessa forma, aplicou-se o teste de correlação de Pearson entre os valores médios dos ensaios realizados, como mostrado na tabela 4.

		Resistência a Compressão	Velocidade de carbonatação	Potencial de Corrosão
Resistência a Compressão	Correlação de Pearson	1	-0,584	-0,603
	Sig. (2 extremidades)		0,301	0,282
	N	5	5	5
Velocidade de carbonatação	Correlação de Pearson	-0,584	1	0,627
	Sig. (2 extremidades)	0,301		0,258
	N	5	5	5
Potencial de Corrosão	Correlação de Pearson	-0,603	0,627	1
	Sig. (2 extremidades)	0,282	0,258	
	N	5	5	5

Tabela 4 - Resultados do teste de correlação de Pearson de acordo os ensaios realizados.

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

Ao analisar a tabela 4, nota-se que o teste apresentou correlação moderada entre o potencial de corrosão e resistência à compressão, sendo o valor com efeito negativo. Dessa forma, quanto maior a resistência a compressão axil do concreto, maior o potencial de corrosão do material (valores mais negativos), o que vai contra a literatura pelo fato de que materiais que tendem a ter melhor resistência a compressão possuem características como um bom fator água/cimento e menores índices de porosidade, variáveis que vão auxiliar a impedir o aparecimento de corrosão do concreto. Tais características se opõe também na correlação entre potencial de corrosão e velocidade de carbonatação, ou seja, quanto menor o potencial de corrosão (valores mais positivos), maior será a velocidade de carbonatação.

Todavia, ao analisar os valores-p obtidos através do teste de correlação de Pearson não se pode, estatisticamente, afirmar que esse resultado se aplica na sua totalidade, ou seja, numa população. Assim, entre as variáveis estudadas, o teste apresentou que não há correlação entre elas, o que mostra que os resultados apresentados na tabela 4, não podem ser estatisticamente generalizados.

Considerando os resultados de potencial de corrosão, gráfico 1, realizou-se a análise de variâncias (ANOVA) para verificar se existe diferença estatisticamente significativa entre as amostras frente valores mensurados do potencial de corrosão. Dessa forma, de acordo com a tabela 5, através das análises de variância por amostra e considerando que os dados exercem uma característica de distribuição normal, verifica-se que ao nível de confiança de 95% não há diferença estatisticamente significativa entre as amostras de sedimentos frente aos valores mensurados de potenciais de corrosão das barras de aço.

RESULTADOS ANALISE DE VARIÂNCIAS ANOVA							
Amostra	Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-p	F crítico
Rio Doce (A1)	Entre grupos	5359,02	3	1786,34	0,139613	0,935301	3,008787
	Dentro dos grupos	307078,9	24	12794,96			
	Total	312438	27				
Rio Doce (A2)	Entre grupos	75840,54	3	25280,18	2,136965	0,12197	3,008787
	Dentro dos grupos	283918,6	24	11829,94			
	Total	359759,2	27				
Pancas	Entre grupos	9175,42	3	3058,47	0,182431	0,907281	3,008787
	Dentro dos grupos	402361,6	24	16765,07			
	Total	411537	27				
Santa Maria	Entre grupos	16657,51	3	5552,50	0,447866	0,721079	3,008787
	Dentro dos grupos	297544,6	24	12397,69			
	Total	314202,1	27				
Santa Joana	Entre grupos	21397,9	3	7132,63	0,558675	0,647415	3,008787
	Dentro dos grupos	306409,4	24	12767,06			
	Total	327807,3	27				

Tabela 5 - Dados da análise de variâncias (ANOVA) de acordo com as amostras estudadas.

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

Em complementação às análises por corpo de prova, sucedeu-se a análise de correlação entre o histórico dos rios e os valores dos ensaios realizados pelo método de Pearson. Considerando que as amostras Rio Doce A1 e Rio Doce A2 foram coletadas em um rio onde possui um histórico de contaminação por rejeitos de mineração e as amostras Pancas, Santa Maria e Santa Joana não apresentam

histórico de contaminação, verificou-se a relação entre os resultados dos ensaios e o histórico do rio, como mostra a Tabela 6.

		Histórico da fonte	Resistência de Compressão	Velocidade de carbonatação	Potencial de Corrosão
Histórico da fonte	Correlação de Pearson	1	0,631	-0,653	-0,660
	Sig. (2 extremidades)		0,254	0,232	0,225
	N	5	5	5	5

Tabela 6 - Resultados do teste de correlação de Pearson de acordo os ensaios realizado e do histórico de contaminação do rio.

Fonte: elaborado pelo autor (2017).

Ao analisar os dados apresentados pela tabela 6, verifica-se que há correlação moderada entre o histórico de contaminação do rio e os valores mensurados nos ensaios realizados. Contudo, os valores-p calculados deram resultados menores que 5%, ou seja, constata-se que a medida de grau de associação entre o histórico de contaminação do rio com os resultados medidos de resistência à compressão, velocidade de carbonatação e potencial de corrosão no interior do concreto não se aplicam generalizadamente.

5 | CONCLUSÃO

Ao considerar todos os ensaios realizados e as condições utilizadas para a verificação da influência do agregado miúdo proveniente do Rio Doce nos possíveis casos de patologias do concreto, pode-se concluir que não há uma relação, estatisticamente comprovada, entre a velocidade de carbonatação do concreto, sua resistência à compressão axial e o potencial de corrosão da barra no interior do mesmo.

O histórico do Rio Doce, contaminado por rejeitos de mineração, não possui associação com a velocidade de carbonatação do concreto, bem como a resistência à compressão e o potencial de corrosão do aço do concreto, quando são utilizados como fonte granulométrica de agregado miúdo. Dessa forma a influência da contaminação do Rio Doce nos resultados de carbonatação, corrosão das barras e resistência do concreto à compressão são desprezíveis.

No que tange às análises químicas dos sedimentos, foi possível verificar que as amostras coletadas possuem valores similares das substância analisadas, mostrando que, quimicamente, não uma diferença relevante da composição dos agregados coletados. E devido a escassez de análises químicas de sedimentos

mais abrangentes e de referências acadêmicas, não é possível realizar conclusões definitivas sobre a influência de tais substâncias no aparecimento de patologias do concreto.

Com base no estudo realizado, pode-se apresentar como sugestão de pesquisas futuras, realizar análises químicas mais detalhadas e abrangentes do agregado miúdo proveniente do Rio Doce para verificar pontualmente as substâncias que afetariam diretamente nas reações química que ocorrem nas principais patologias do concreto, bem como avaliar a microestrutura do material.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpo de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 48 p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpo de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 9 p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT, NBR 6118**: Projetos de estruturas de concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 238 p.
- ASTM – American Society for Testing and Materials. **ASTM C876-09**: Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in concrete. West Conshohocken: ASTM International, 2009. 7 p.
- BOTELHO, Abílio Pinheiro; SILVA, David da Silva. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado**. 2008. 85 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Universidade da Amazônia, Belém, 2008.
- CABRAL, Antônio Eduardo Bezerra. **Avaliação da eficiência de sistemas de reparo no combate à iniciação e a propagação da corrosão do aço induzida por cloretos**. 2000. 189 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.
- CADORE, William Widmar. **Estudo da carbonatação da camada de revestimento de protótipos de concreto com altos teores de adições minerais e cal hidratada**. 2008. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- CASCUDO, Oswaldo; HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Resistência à corrosão no concreto dos tipos de armaduras brasileiras para concreto armado**. São Paulo, 2001. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00272.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2017.
- DOTTO, Joseanne Maria Rosarola. **Corrosão do aço induzida por íons cloreto – uma análise crítica das técnicas eletroquímicas aplicadas ao sistema aço-concreto com ou sem pozolana**. 2006. 357 p. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2012. 200 p.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6. ed. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 360 p.

KULAKOWSKI, Marlova Piva. **Contribuição ao estudo da carbonatação em concretos e argamassas compostos com adição de sílica ativa**. 2002. 199 p. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

PAULETTI, Cristiane. **Análise comparativa de procedimentos para ensaios acelerados de carbonatação**. 2009. 285 p. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PEREIRA, Victor Correia de Oliveira et al. **Avaliação da corrosão em argamassas de cimento Portland utilizando a técnica de potencial de corrosão**. Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <file:///C:/Users/1586998/Downloads/1692-3408-1-PB.pdf>. Acesso em: 12 jan 2017.

SILVA, Edvaldo Pereira. **Avaliação do potencial de corrosão de concretos estruturais produzidos segundo as prescrições da NBR 6118, submetido a ensaio de corrosão acelerado**. 2010. 54 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998. 250 p.

TASCA, Maisson. **Estudo da carbonatação natural de concretos com pozolanas: monitoramento em longo prazo e análise da microestrutura**. 2012. 179 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

VAGHETTI, Marcos Alberto Oss. **Estudo da corrosão do aço, induzida por carbonatação, em concretos com adições minerais**. 2005. 286 p. Tese (Doutorado em Engenharia). Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGEM), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ANÁLISE DA ACELERAÇÃO DO RECALQUE DE UM ATERRO SOBRE SOLO MOLE

Data de aceite: 16/11/2020

Data de submissão: 03/09/2020

Talita Menegaz

UDESC

Joinville – Santa Catarina

<http://lattes.cnpq.br/1855006036303145>

Gisele Marilha Pereira Reginatto

UFSC

Florianópolis – Santa Catarina

<http://lattes.cnpq.br/6559887237353368>

Narayana Saniele Massocco

UFSC

Florianópolis – Santa Catarina

<http://lattes.cnpq.br/5085259208565217>

Rafael Augusto dos Reis Higashi

UFSC

Florianópolis – Santa Catarina

<http://lattes.cnpq.br/8799595216218651>

Thais Ventura Chibiaqui

UFSC

Florianópolis – Santa Catarina

<http://lattes.cnpq.br/3835218095151531>

RESUMO: Diversos trechos da BR-470, no município de Ilhota/SC, se desenvolvem sobre solos moles, um dos quais é objeto de estudo deste trabalho. Dessa forma, faz-se necessária a adoção de métodos construtivos para aumentar a resistência do solo de fundação e torná-lo apto para receber as cargas dos aterros projetados na duplicação dessa rodovia. Uma das soluções

empregadas foi a instalação de geodrenos para acelerar o tempo de ocorrência do recalque por adensamento primário, possibilitando a construção mais rápida do aterro. O trabalho objetivou dimensionar geodrenos para um trecho problemático, utilizando dados de ensaio de adensamento, sondagem a Percussão e Piezocone, a partir dos quais foi evidenciada a presença de espessas camadas de argila mole a muito mole. Estimado o recalque e o tempo para a sua ocorrência em 90%, foi possível acelerar o recalque que levaria 37 anos para um tempo de 3 anos com o uso de geodrenos.

PALAVRAS-CHAVE: Adensamento, Recalque, Drenos verticais, Argilas moles.

ANALYSIS OF THE ACCELERATION OF REPRESSION OF A LANDFILL ABOVE SOFT SOIL

ABSTRACT: Several sections of BR-470, in the municipality of Ilhota / SC, are developed on soft soils, one of which is the object of study of this work. In this way, it is necessary to adopt constructive methods to increase the strength of the foundation soil and make it suitable for loads of landfills designed to duplicate this highway. One of the solutions employed was the installation of geodrains to accelerate the time of occurrence of the repression by primary consolidation, making it easier to build the landfill. The objective of this work was to scale geodrains to a problematic section, using density test data, Percussion drilling, and Piezocone, from which it was evidenced the presence of thick layers of soft clay to very soft. Estimated the repression and the time to its occurrence in 90%, it was possible

to accelerate the repression which would take 37 years for a time of 3 years with the use of geodrains.

KEYWORDS: Primary consolidation, Settlements, Vertical drains, Soft soils.

1 | INTRODUÇÃO

Na elaboração de um projeto de geotecnia adequado e seguro é imprescindível uma análise criteriosa sobre o comportamento do solo sob o qual será construído, o que apenas é possível a partir do reconhecimento do subsolo. Neste contexto, a descoberta dos prováveis problemas que poderão ocorrer, em decorrência da obra e do tipo de solo, e a definição da melhor solução geotécnica para solucioná-los, apenas conduzem a uma confiabilidade a partir da maior utilização de dados de investigações geotécnicas, em campo e laboratório (SCHNAID E ODEBRECHT, 2000).

Em obras projetadas sobre solos moles (solos com baixa resistência e alta compressibilidade), garantir a sua viabilidade envolve análises de estabilidade e de recalque, especialmente recalque por adensamento primário. Estes recalques, quando não controlados podem ocasionar danos à estrutura, levando até o seu colapso. Isso implica em gastos, muitas vezes exorbitantes, que podem vir a comprometer o empreendimento.

O recalque por adensamento primário ocorre lentamente, com consequente variação de poropressão, em solos cuja granulometria é predominantemente argilosa, em locais onde o nível da água geralmente é muito próximo à superfície, e se dá pela saída de água do sistema quando o solo é solicitado, por exemplo, pela construção de um aterro (PINTO, 2002).

Diversos trechos da rodovia BR-470, localizados no lote 02, se desenvolvem sobre solos moles, o que torna necessária a adoção de soluções geotécnicas que visam solucionar problemas de ruptura e de recalque para a implantação da rodovia. Em relação a ocorrência de recalques por adensamento primário, acelerar o tempo da sua ocorrência através da utilização de geodrenos tem se mostrado adequado.

A utilização dos geodrenos como solução adotada, traz diversos benefícios, dentre eles o aumento da resistência da camada de fundação ainda no período de construção do aterro (ALMEIDA, 2010). Desta forma, a partir de um depósito constituído por solo de baixa capacidade de suporte, este trabalho visa analisar a aceleração dos recalques primários com base na utilização de geodrenos dimensionados para um trecho da rodovia BR-470, localizado no município de Ilhota no estado de Santa Catarina.

2 I PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A área de estudo compreende um trecho da rodovia BR-470, cuja a construção do aterro rodoviário se desenvolve sobre solos moles. Esse trecho pertence ao contorno rodoviário da cidade de Ilhota/SC e corresponde ao km 21+660 do lote 02 do projeto de duplicação da BR 470, como apresentado na Figura 1.



Figura 01. Localização da área de estudo na BR 470

Fonte: Autor (2019)

Foram coletados junto ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2012) de Santa Catarina dados de sondagens SPT (*Standard Penetration Test*) e CPTu (Piezocone) e de ensaios de adensamento e dissipação, os quais possibilitaram a realização das seguintes etapas:

- determinação do perfil geotécnico do terreno;
- estimativa do recalque por adensamento primário e seu tempo de ocorrência;
- dimensionamento de geodrenos para a aceleração do recalque;
- análise do tempo de ocorrência do recalque com e sem o uso de geodrenos.

2.1 Determinação do perfil estratigráfico

O perfil estratigráfico do solo de fundação do trecho em análise foi elaborado com o auxílio do SPT e do CPTu. Com dados do SPT foram definidas as diferentes camadas que compõem o subsolo, as quais foram comparadas com o perfil do Ic (índice de classificação numérica) de Robertson (2009), com o intuito de melhor delimitar a camada de solo compressível. O Ic foi calculado a partir de dados de piezocone, conforme apresentado na equação 01 e a classificação do solo, ao longo

da profundidade foi definida a partir do ábaco apresentado na Figura 2 e na Tabela 1.

$$I_c = [(3 - \log(Q_t(1 - B_q)))^2 + (1,5 + 1,31 \log Fr)^2]^{0,5} \quad (1)$$

Onde:

Q_t é a normalização da resistência de ponta corrigida (q_c);

B_q é um índice de acréscimo da poropressão;

Fr é a normalização do atrito lateral (f_s).

Os parâmetros Q_t , B_q e Fr foram determinados, respectivamente pelas equações 2, 3 e 4.

$$Q_t = \frac{q_t - \sigma_{v_0}}{\sigma_{v_0} - u_0} \quad (2)$$

$$Fr = \frac{f_s}{q_t - \sigma_{v_0}} \cdot 100\% \quad (3)$$

$$B_q = \frac{u_2 - u_0}{q_t - \sigma_{v_0}} \cdot 100 \quad (4)$$

Onde:

q_t , f_s e u_2 são parâmetros medidos no piezocone, representam respectivamente a resistência de ponta corrigida em kPa, o atrito lateral em kPa e a poropressão medida na base do cone em kPa;

σ_{v_0} é a tensão vertical total em kPa, determinada pela multiplicação do peso específico do solo e sua profundidade;

u_0 é a pressão hidrostática em kPa.

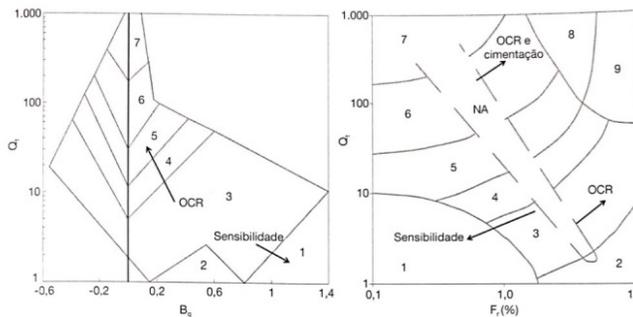


Figura 02. Ábaco do comportamento típico de solos

Fonte: Robertson (1990)

Zona	Tipos de Solos
1	Solo fino sensível
2	Solo orgânico e turfas
3	Argilas – argilas siltosas
4	Argila siltosa – silte argiloso
5	Siltos arenosos – areias siltosas
6	Areias limpas – areias siltosas
7	Areias com pedregulhos – areias
8	Areias – areias limpas
9	Areias finas rígidas

Tabela 1. Classificação de solos pelo comportamento

Fonte: Adaptado de Robertson (1990)

2.2 Parâmetros geotécnicos dos solos

Após a definição da estratigrafia do subsolo, foram determinados os dados necessários para o cálculo do recalque por adensamento primário, ocasionado em função da sobrecarga de um aterro de dois metros de altura, conforme dados do projeto geométrico da rodovia, para posterior análise da sua aceleração através da instalação de geodrenos. Para tanto, foram determinados os seguintes parâmetros:

- peso específico dos solos presentes na fundação e no aterro;
- tensões efetivas na profundidade de análise, antes e após o carregamento (dado pela construção do aterro);
- tensão de pré-adensamento (σ'_{pa});
- razão de sobreadensamento (OCR);
- índice de compressão (C_c);
- índice de recompressão (C_r).

2.2.1 *Peso específico do solo*

Nesta pesquisa, para a camada de argila compressível foi adotado o peso específico determinado no ensaio de adensamento e para as demais camadas foi determinado com base no N_{spt} (índice de resistência à penetração) a partir da proposta de Godoy (1972), conforme apresentado na Tabela 2.

N _{spt}	Consistência	γ (kN/m ³)
< e igual a 2	Muito mole	13
3 – 5	Mole	15
6 – 10	Média	17
11 -19	Rija	19
> e igual a 20	Dura	21

Tabela 2. Pesos específicos dos solos

Fonte: Adaptado de Godoy (1972)

O peso específico do aterro compactado foi adotado igual a 18 kN/m³, conforme sugerido no projeto geotécnico da rodovia.

2.2.2 Parâmetros obtidos pela curva de compressibilidade do solo

Com base na curva de compressibilidade da argila coletada a 5,8m, elaborada com base nos dados do ensaio de adensamento unidimensional, foram definidos: o índice de compressão (C_c) do solo, o índice de recompressão (C_r) e a tensão de pré-adensamento (σ'_{pa}). A σ'_{pa} foi definida pelo método de Pacheco e Silva seguindo os procedimentos descritos na ABNT NBR 12007:1990.

2.2.3 Tensão efetiva vertical inicial e final

A tensão efetiva vertical inicial (σ'_{vo}) representa a tensão a qual o solo está submetido antes da construção do aterro e é obtida pela diferença entre a tensão vertical total (σ_v) do solo e a poropressão (μ), na profundidade de análise (equação 5) em kPa.

$$\sigma'_{vo} = \sigma_v - \mu \quad (5)$$

A tensão efetiva vertical final (σ'_{vf}) representa a tensão gerada no solo após a construção do aterro e é determinada pela equação (6) em kPa.

$$\sigma'_{vf} = \sigma'_{vo} + (\gamma_a \times z_a) \quad (6)$$

Onde:

- γ_a é o peso específico do aterro em kN/m³;
- z_a é a altura do aterro em m.

2.2.4 Razão de sobreadensamento (OCR)

Com σ'_{pa} e σ'_{vf} determinados, pode-se classificar a argila coletada em função

do seu histórico de tensões, a partir do valor do OCR (equação 7).

$$OCR = \frac{\sigma'_{pa}}{\sigma'_v} \quad (7)$$

De acordo com o valor de OCR a argila foi classificada e comparada aquela de Grando (2018), determinada para o mesmo depósito de argila a partir de dados do CPTu, com o intuito de aumentar a confiabilidade dos resultados.

2.3 Recalque por adensamento primário

A equação para o cálculo do recalque por adensamento primário (Δh) depende do histórico de tensões da argila. Para argilas sobreadensadas (SA) o Δh é determinado pela equação (8).

$$\Delta h_p = H \cdot Cr(1+e_0) \cdot \log \frac{\sigma'_f}{\sigma'_i} \quad (8)$$

Onde:

- H é a espessura da camada de solo compressível [m];
- e_0 é o índice de vazios inicial do solo, ou seja, antes da aplicação da carga [adimensional];
- σ'_i é a tensão efetiva antes da aplicação da carga externa [kpa];
- σ'_f é a tensão efetiva depois da aplicação da carga externa [kpa];
- Cr é o coeficiente de recompressão [adimensional].

2.4 Tempo de ocorrência do recalque por adensamento primário

Foi determinado o tempo (t), em anos, para que ocorra 90% do recalque por adensamento primário pelo método de Taylor (equação 9).

$$t = (-0,9332 \log(1 - U_m) - 0,0851) \times \frac{Hd^2}{C_v} \quad (9)$$

Onde:

- U_m é o grau de adensamento médio, igual 0,90 nesse estudo;
- Hd é a distância de drenagem vertical em cm;
- C_v é o coeficiente de adensamento do solo em cm^2/s , obtido no ensaio de adensamento.

2.5 Dimensionamento dos geodrenos

O cálculo referente a quantidade de drenos verticais foi realizado empregando a teoria de Nabor Carillo (1942), descrita por Richart (1957) e apresentada em DNER (1990).

Determinou-se o grau de adensamento vertical (U_v) pelo ábaco apresentado na Figura 03, com o valor do coeficiente vertical (c_v) definido no ensaio de adensamento e a distância de drenagem vertical (H_d) obtida no perfil geotécnico.

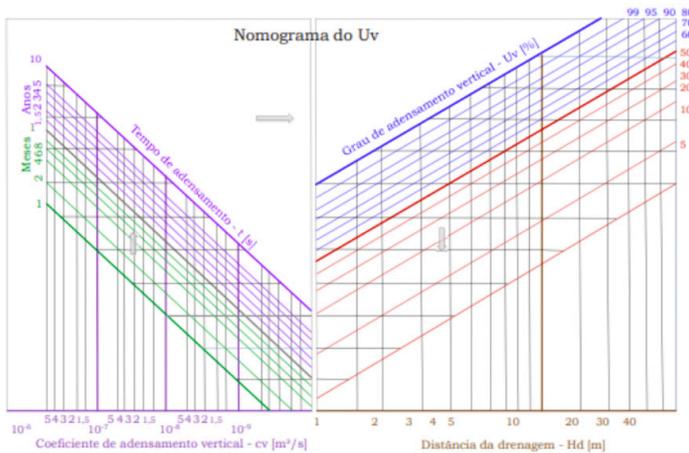


Figura 03. Ábaco para cálculo do grau de adensamento vertical U_v

Fonte: Adaptado de DNER (1990, *apud* Grando 2018)

Após determinado o U_v e adotando U igual a 0,90, conforme mencionado anteriormente, definiu-se o grau de adensamento horizontal (U_h) a partir da equação (10) de Carrillo.

$$1-U=(1-U_v)-(1-U_h) \quad (10)$$

A partir do valor do U_h e do coeficiente horizontal (c_h), foi empregado o ábaco de Baron (Figura 04) para obter os diâmetros d (diâmetro dos drenos em cm) e D_g (diâmetro de influência em m). O valor de c_h foi adotado igual $0,90 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$, conforme determinado por Grando (2018).

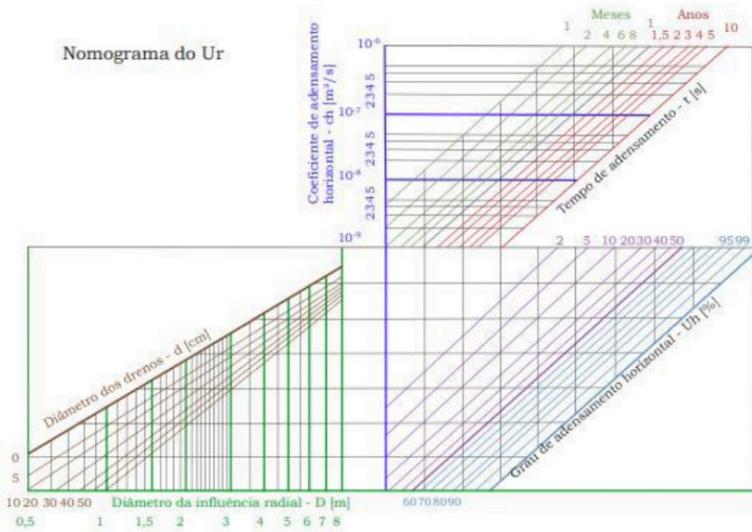


Figura 04. Ábaco para determinação dos diâmetros d e D dos drenos

Fonte: Adaptado de DNER (1990, *apud* Grandó 2018)

Na sequência, foi calculado o espaçamento entre os drenos (L) em metros, observando que, segundo o DNER (1990) o espaçamento mínimo permitido deve estar entre 1,5 e 3,0 m. O S foi determinado a partir da equação (11), visto que a malha é do tipo triangular, após a definição do diâmetro equivalente (Dg).

$$S = \frac{Dg}{1.05} \quad (11)$$

O comprimento dos geodrenos (C) foi determinado a partir da equação (12).

$$C = \left(\frac{ba \cdot x \cdot l}{A} \right) \cdot p \quad (12)$$

Onde:

- ba é a base da rodovia somada às distâncias de talude nas duas laterais em metros;
- l é o valor do trecho onde será inserido o geodreno em metros;
- A é a área de abrangência do geodreno em metros quadrados;
- P é a profundidade da camada do geodreno em metros, determinado no perfil estratigráfico.

3 | RESULTADOS

Com base nos dados relacionados ao recalque por adensamento primário, foi

possível comparar o seu tempo de ocorrência com e sem o uso de geodrenos para a obra em análise.

3.1 Perfil estratigráfico do subsolo e peso específico

Na Tabela 4 está apresentado o tipo de solo presente no local do estudo, a sua consistência e o seu peso específico, a cada metro investigado no ensaio de SPT realizado no km 21+660 da BR-470. A consistência da argila foi determinada a partir do N_{spt} , em acordo com a ABNT NBR 7250:1982, e o peso específico do solo pela proposta de Godoy (1972). Destaca-se em relação ao peso específico que, para argilas de consistência muito mole foi adotado o valor obtido no ensaio de adensamento ($15,36 \text{ kN/m}^3$).

Profundidade (m)	Classificação do solo	γ (kN/m^3)
1	Argila muito mole	13,00
2	Argila muito mole	13,00
3	Argila muito mole	13,00
4	Argila muito mole	13,00
5	Argila muito mole	13,00
6	Argila mole	15,00
7	Argila mole	15,00
8	Argila mole	15,00
9	Argila muito mole	13,00
10	Argila muito mole	13,00
11	Argila muito mole	13,00
12	Argila muito mole	13,00
13	silte	
14	silte	

Tabela 4. Perfil do subsolo definido pelo SPT

Como pode ser observado, o perfil em análise apresentou uma espessa camada de argila de baixa resistência, cuja consistência variou de muito mole a mole. Sua ocorrência inicia a partir de 0,60m desenvolvendo-se até a profundidade de 12,0m. Esse perfil, correspondente ao solo de fundação de um aterro rodoviário de 2,0 m de altura que, ao receber carga, dentre outros, apresentará problemas de recalque por adensamento primário.

Ao comparar o perfil definido pelo SPT com o do CPTu percebeu-se uma diminuição da camada de argila compressível. No CPTu foram identificadas em diferentes profundidades lentes de materiais classificados como misturas de areias, misturas de silte e areia, as quais não foram identificadas no SPT, visto que o solo

é investigado de metro em metro. Grando (2018) identificou no perfil de Ic apenas 20% de material drenante. Dessa forma, o perfil analisado apresentou uma camada de aproximadamente 11,4m de argila cuja consistência variou de muito mole a mole.

3.2 Estimativa do recalque por adensamento primário

A argila em análise foi classificada como sobreadensada (SA), visto que o seu OCR resultou em um valor menor do que um, relacionando o valor da tensão de pré-adensamento (σ_{pa}) de 53 kPa com a tensão efetiva vertical final (σ'_v) de 89,08 kPa. A σ'_{v0} foi obtida pela subtração da tensão efetiva vertical total (σ'_v) de 89,08 kPa com a poropressão de 54,50 kPa.

O recalque por adensamento primário (Δh) foi estimado empregando a equação específica para argilas sobreadensadas. Para tanto, foram empregados os parâmetros apresentados na Tabela 5.

Parâmetro	Valor	Unidade
H	11,40	m
Cr	0,04	adimensional
Cc	0,9855053	adimensional
ei	1,932	adimensional
σ_{pa}	53,00	kPa
σ_{v0}	34,58	kPa
σ_v	89,08	kPa

Tabela 5. Parâmetros do solo

Para as características do perfil em análise foi estimado um recalque por adensamento primário igual a 0,52m.

3.3 Tempo de ocorrência do recalque

O tempo (t) para que ocorra 90% do recalque por adensamento primário, estimado para o perfil em análise, foi determinado pelo método de Taylor empregando os parâmetros apresentados na Tabela 6.

Parâmetro	Valor	Unidade
cv	$2,34 \times 10^{-4}$	cm ² /s
Hd	5,70	m
Um	0,9855053	adimensional

Tabela 6. Parâmetros empregados na estimativa do t

O tempo (t) foi calculado considerando dupla drenagem, tendo em vista as características granulométricas dos solos presentes no perfil. Logo, na determinação do Hd a espessura da camada de argila foi dividida ao meio.

Em relação ao cv, foi definido no ensaio de adensamento a partir da interpolação dos valores correspondentes aos estágios cuja tensão foi de 50kPa e 100kPa, uma vez que a σ'_v (89,08 kPa) encontra-se dentro desse intervalo de carregamento. Dessa forma, foi determinado um tempo (t) de aproximadamente 37,34 anos para que ocorra 90% do recalque estimado.

3.4 Dimensionamento de geodrenos

Com o tempo estimado de recalque para 90% de ocorrência, possibilitou definir os valores de U_v e U_h pelos ábacos inseridos nas Figuras 6 e 7. Obteve para U_v , o valor de 12% e U_h o valor de 89%. Com estes resultados, o diâmetro dos drenos é definido em 1,9 metros e o espaçamento necessário entre eles também de 1,8 metros. Ressalta-se que o espaçamento (S) mínimo deve ser de 1,5 a 3,0, segundo DNER (1990), estando, portanto, conforme a esta norma.

A seção analisada deste trecho tem 32,2 metros e no valor de (p), onde utiliza-se a profundidade do geodreno, é a altura total da camada definida como sendo de 12 metros e (l), o comprimento do segmento que é dado pelo comprimento total do trecho, considerado de 400 metros de comprimento. A área (A) que o geodreno abrange, definiu-se, portanto de 2,84 m². Dessa forma com os dados obtidos tivemos um comprimento estimado de 54512,99 metros.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através das sondagens SPT e CPTu foi constada no km 21+660 do projeto de duplicação da BR-470, na cidade de Ilhota/SC, uma espessa camada de argila cuja consistência varia de muito mole a mole, que, para receber as cargas provenientes do aterro rodoviário deve ter a sua resistência melhorada e ser analisada, principalmente em função da ocorrência de recalques por adensamento primário.

Em função das características dos solos presentes no local e da obra a ser executada, definiu-se a instalação de geodrenos para a aceleração do recalque por

adensamento primário com o intuito de viabilizar a sua implantação, visto que foi estimado um recalque por adensamento primário de 0,52m, cuja ocorrência de 90% desse valor, demoraria aproximadamente 37 anos.

Dessa forma, para reduzir o tempo de ocorrência do recalque para aproximadamente 3 anos, foram dimensionados drenos com diâmetro de 1,9 metros e espaçamento entre eles de 1,8 metros, atendendo ao espaçamento mínimo exigido pelo DNER (1990), estando em acordo com a norma. O comprimento total do dreno para o segmento analisado, com 400 metros de comprimento, resultou em 54512,99 metros, tendo em vista a situação crítica do solo de fundação do trecho analisado.

Apesar da situação do solo de fundação encontrado no local não ser favorável, em termos de engenharia, ressalta-se a importância da duplicação desse trecho da BR-470 para a população em geral, o que justifica a adoção de métodos construtivos para viabilizar essa obra de infraestrutura. Destaca-se no presente estudo a utilização dos drenos verticais como alternativa de aceleração do recalque por adensamento primário, entretanto, observa-se que o tempo de 3 anos obtido no dimensionamento deve ser analisado em termos de compatibilidade com o projeto de duplicação proposto.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR12007. Associação Brasileira de Normas Técnicas, **Solo - Ensaio de Adensamento Unidimensional**. p, 13, 1990, Rio de Janeiro.

ABNT NBR7250:1982. Associação Brasileira de Normas Técnicas, **Identificação e descrição de amostras de solo obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos**. p, 3, 1982, Rio de Janeiro.

ALMEIDA, Marcio de Souza S.; MARQUES, Maria Esther Soares. **Aterro sobre solos moles: projeto e desempenho**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

DNER. **Manual de projeto e execução de aterros sobre solos moles**. Rio de Janeiro: Geomecânica s/a, 1990. 227p.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Projeto Básico e Executivo para Duplicação e Restauração da Pista da Rodovia BR-470/SC**, 2012.

GODOY, N.S. **Fundações: Notas de Aula, Curso de Graduação**. São Carlos (SP): Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 1972.

GRANDO, Ângela. **Propriedades e parâmetros geotécnicos de depósitos com argilas moles de Santa Catarina**. 808 p. 2018. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC), UFSC, Florianópolis, 2018.

PINTO, C.S. **Curso básico de mecânica dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

ROBERTSON, P. K. **Soil Classification Using the Cone Penetration Test**. Canadian Geotechnical Journal, v. 27, p. 151–158, 1990.

ROBERTSON, P.K. **CPT interpretation – a unified approach**. Canadian Geotechnical Journal, v.46, pp. 1-19, 2009.

SCHNAID, F. **Ensaio de Campo e suas aplicações na engenharia de fundações**. Sao Paulo: oficina de textos, 2000.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DE RECALQUES EM ESTACAS ESCAVADAS EQUIPADAS COM O SISTEMA *EXPANDER BODY*

Data de aceite: 16/11/2020

Data de submissão: 04/09/2020

Fernando Feitosa Monteiro

Universidade de Brasília
Fortaleza – Ceará
<http://lattes.cnpq.br/3204932197766528>

Renato Pinto da Cunha

Universidade de Brasília
Brasília – Distrito Federal
<http://lattes.cnpq.br/9013693430617718>

Carlos Medeiros Silva

EMBRE Engenharia e Fundações Ltda
Brasília – Distrito Federal
<http://lattes.cnpq.br/1222667089273854>

Marcos Fábio Porto de Aguiar

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Ceará
Fortaleza – Ceará
<http://lattes.cnpq.br/5139177251248997>

RESUMO: O presente trabalho tem o objetivo de analisar estimativas de recalque para duas estacas escavadas equipadas com a tecnologia *Expander Body* assente no solo do Distrito Federal. A tecnologia *Expander Body* consiste na instalação de um tubo de aço dobrado que é expandido a partir da injeção de calda de cimento pressurizada por um tubo instalado na ponta da estaca. Diversos ensaios de campo (SPT, CPT e PMT) foram empregados para estimar os recalques que foram comparados com os valores

medidos em provas de carga. Os resultados tendem a indicar que os ensaios de PMT fornecem as melhores estimativas de recalque.

PALAVRAS-CHAVE: *Expander Body*, Recalque, Estaca escavada, Prova de carga.

SETTLEMENT ANALYSIS OF BORED PILES EQUIPPED WITH EXPANDER BODY SYSTEM

ABSTRACT: This work aims to analyze settlement estimates for two bored piles equipped with *Expander Body* technology seated on the Federal District soil. The *Expander Body* technology consists in the installation of a bent steel tube that is expanded from pressurized cement grout injection installed at the pile tip. Several field tests (SPT, CPT and PMT) were used to estimate pile settlement that were compared with measured values in pile load tests. The results tend to indicate that the PMT tests provide the best settlement estimates.

KEYWORDS: *Expander Body*, Settlement, Bored pile, Pile load test.

1 | INTRODUÇÃO

A estimativa do recalque do topo de uma estaca é de grande relevância para a análise de qualquer projeto de fundações, sendo o mesmo associado a carga de trabalho, buscando atender ao estado limite de serviço da estrutura. Na literatura, diversos métodos de previsão de recalques são apresentados (Butterfield e Banerjee, 1971; Banerjee e Davis, 1978;

Poulos e Davis, 1980). O método de Poulos e Davis (1980) é um dos métodos mais difundidos em análise de comportamento de estacas. O desenvolvimento desta metodologia de previsão de recalques pode ser avaliado com mais detalhes em Poulos (1979).

Albuquerque (2001) descreve que alguns dos métodos de previsão de recalques consideram as estacas instaladas em um meio elástico ou elastoplástico, ocupando um espaço semi-infinito; outros admitem um mecanismo simples de transferência de carga, através de funções de transferência, definidas de alguma forma. A maioria dos métodos existentes têm como base a teoria da elasticidade, como se o solo tivesse predominância da fase elástica, enquanto o que de fato ocorre é justamente o contrário, havendo a predominância do comportamento elastoplástico (Carneiro, 1999). De modo geral, as metodologias de previsão de recalque necessitam de parâmetros obtidos em ensaios de laboratório ou em ensaios de campo que não são de uso corrente a engenharia de fundações brasileira. Nos últimos anos, verifica-se um grande avanço na disponibilidade de ferramentas com grande precisão, como por exemplo o método dos elementos finitos (MEF) para a estimativa de recalques (Monteiro *et al.*, 2018). Contudo, a qualidade da análise destes métodos está diretamente relacionada com a representatividade dos parâmetros utilizados nas mesmas. Reincidindo na mesma deficiência de metodologias analíticas mais sofisticadas para estimativa de recalque: a obtenção de parâmetros a partir de ensaios de laboratório como ensaios triaxiais e a necessidade de execução de ensaios de campo pouco usuais no meio técnico.

Poulos (1994) relata que uma escolha apropriada dos valores de módulos de deformabilidade pode desempenhar, no problema da determinação de recalques de uma estaca, um papel mais importante do que o método em si. Para determinação dos módulos de deformabilidade, vários procedimentos podem ser utilizados baseados em ensaios de campo ou laboratório, correlações empíricas ou retroanálise de provas de carga. Segundo Rocha Filho *et al.*, (1998), a retroanálise é a forma mais adequada para determinação dos módulos de deformabilidade dos solos, estes são comparados com os obtidos através de vários tipos de ensaios de campo e laboratório, com o objetivo de indicar quais os mais adequados para determinação das características de compressibilidade do solo visando ao projeto. Para argila porosa de Brasília, destacam-se os trabalhos de Cunha e Perez (1998), Cunha *et al.* (2001) e Stewart *et al.* (2011).

O presente trabalho tem o objetivo de analisar a estimativa de recalques a partir de diversos ensaios de campo (SPT, CPT e PMT) para estacas escavadas equipadas com o sistema Expand Body assentes na argila porosa de Brasília.

2 | SISTEMA EXPANDER BODY

O sistema *Expander Body* (EB) é produzido a partir de chapas de aço dobrados, sanfonadas, em forma de um corpo cilíndrico, sendo estes instalados na ponta da estaca ou dos tirantes no solo. O conceito *Expander Body* (EB) foi desenvolvido pelo engenheiro sueco Bo Skogberg durante a década de 80 na Suécia e aperfeiçoado na Bolívia durante a última década (Terceros Herrera e Terceros Arce, 2016). A tecnologia *Expander Body* consiste de tubos de aço dobrado com uma seção transversal cilíndrica. Por injeção de calda de cimento, o EB pode ser inflado, gerando um balão de aço de alta resistência (Figura 1).



Figura 1. *Expander Body*.

No caso de estacas escavadas, o EB é instalado em conjunto com a armadura da estaca até que o EB atinja a cota de projeto na base da estaca. Após à instalação, o EB é expandido por injeção de calda de cimento através de uma tubulação de pequeno diâmetro, criando um bulbo hermético de alta resistência. Durante esta etapa, valores de pressão e volume são registrados manualmente ou automaticamente, obtendo dados que guardam grande semelhança com o ensaio pressiométrico. A calda de cimento utilizada na injeção dos EB possui uma relação água-cimento que varia entre 0,4 e 0,5.

A expansão do EB acarreta em um acréscimo do diâmetro da estaca (principalmente em sua base), bem como a redução do comprimento do EB. O encurtamento do EB desenvolve uma zona não comprimida abaixo da ponta. A segunda fase de injeção da calda de cimento é convencionalmente executada através de um tubo de menor diâmetro que se encontra dentro do tubo utilizado durante a primeira fase de injeção do EB (passando pelo EB). Esta segunda injeção de calda de cimento também consolida ou adensa o solo na ponta da estaca, aprimorando a sua capacidade de carga e a sua rigidez. Consequentemente, reduzindo os deslocamentos necessários para se atingir a capacidade de carga de projeto da estaca. O sistema é disponibilizado em diferentes dimensões em função dos requisitos de projeto. A Tabela 1 apresenta as diferentes geometrias dos EB.

Os modelos de EB apresentam comprimentos entre 1 e 2 m, largura de 0,12 m (dobrado).

Modelo	L_i (m)	L_f (m)	ϕ_{EB} (m)	A_p (m ²)	A_L (m ²)	V (m ³)
EB 310	1,0	0,91	0,3	0,07	0,86	0,07
EB 410	1,0	0,86	0,4	0,13	1,08	0,12
EB 610	1,0	0,76	0,6	0,28	1,43	0,21
EB 612	1,2	0,96	0,6	0,28	1,83	0,27
EB 615	1,5	1,26	0,6	0,28	2,38	0,36
EB 815	1,5	1,26	0,6	0,50	3,17	0,63
EB 820	2,0	1,76	0,8	0,50	4,42	0,88

Onde: L_i é comprimento do EB antes da expansão; L_f é o comprimento do EB após a expansão; ϕ_{EB} é o diâmetro efetivo do EB após a expansão; A_p é área da base do EB após a expansão; A_L é a área lateral do EB após a expansão; V é o volume do EB após a expansão.

Tabela 1. Modelos de EB (Silva *et al.* 2018).

3 | ESTUDO DE CASO

O antigo Campo Experimental de Fundações e Ensaio de Campo do Programa de PósGraduação em Geotecnia da Universidade de Brasília, situa-se no Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte – Brasília – DF. A posição geográfica é determinada pelas coordenadas 15°45'56" de latitude sul e 47°52'20" de longitude oeste (Figura 2), em uma área de aproximadamente 1000 m². As estacas mencionadas neste estudo, estão localizadas em um anexo do antigo Campo Experimental de Fundações e Ensaio de Campo localizado a aproximadamente 20 m de distância do campo experimental supracitado. Detalhes relativos ao campo experimental podem ser encontrados em Cunha (2011).

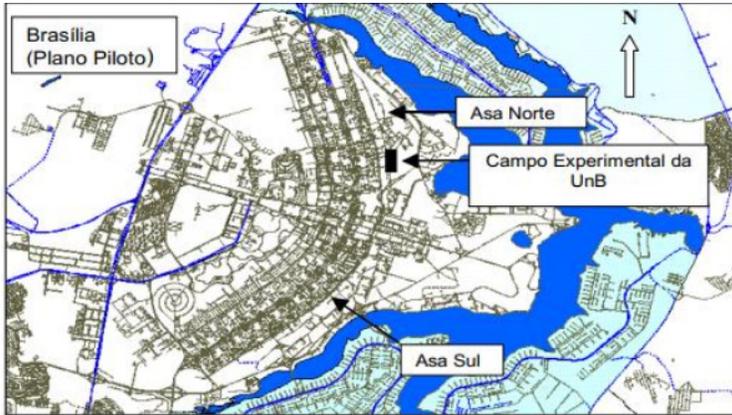


Figura 2. Localização do antigo Campo Experimental da UnB.

A Figura 3 apresenta um perfil simplificado da estratigrafia do antigo campo experimental da UnB. O subsolo é caracterizado por uma camada laterítica superficial, zona de transição e um saprólito formado pela rocha nativa da região. Adicionalmente, exibe-se os resultados médios de índice de resistência a penetração (NSPT), resistência de ponta (q_c) e resistência lateral (f_s) para cada profundidade do campo experimental. A Figura 4 apresenta as curvas pressiométricas obtidas a partir do ensaio PMT realizados no campo experimental. As curvas foram corrigidas (correção de volume e pressão) e ajustadas de acordo com a metodologia proposta por Fontaine *et al.*, (2005). Dessa forma, as curvas são apresentadas a partir do P_o (pressão inicial do tramo pseudo-elástico), removendo assim o trecho de recompressão.

Profundidade (m)	Estratigrafia do solo	N_{SPT}	q_c (MPa)	f_s (MPa)
0.0		2	0.66	0.02
		2	0.47	0.02
	Areia Siltosa	3	0.65	0.04
	Solo laterítico	3	0.86	0.05
		6	1.13	0.07
6.0		5	1.46	0.09
		10	2.42	0.14
8.0	Silte Arenoso	22	3.69	0.21
		23	3.89	0.21
10.0	Camada de transição	28	4.54	0.23
		25	4.64	0.23
12.0	Argila Siltosa	33	4.40	0.23
	Saprólito			

Figura 3. Perfil geotécnico do campo experimental.

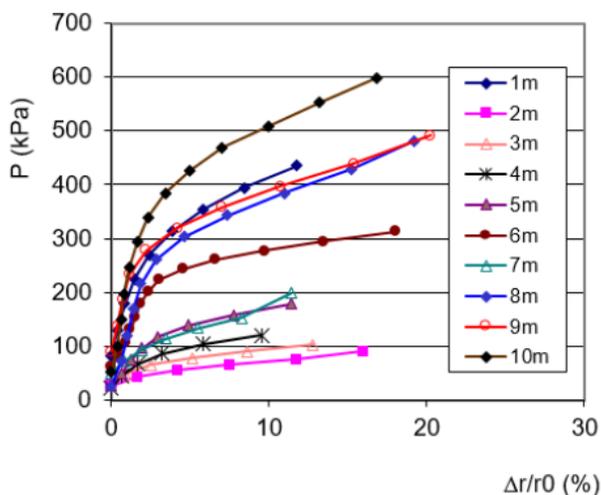


Figura 4. Ensaios pressiométricos corrigidos.

Para a realização da pesquisa foram executadas duas estacas testes com diâmetro de 0,30 m e comprimentos variando de 8,8 e 10 m equipadas com a tecnologia *Expander Body*. O modelo EB 612 ($\varnothing_{EB} = 0,6$ m) foi empregado nesta pesquisa. A armadura longitudinal das estacas constituiu-se de 6 \varnothing 16,0 mm, com 3 m de comprimento e estribos de \varnothing 6,4 mm, a cada 20 cm (Aço CA-50). Além disso, uma monobarra DW 47 mm foi anexada ao centro do EB, bem como tubulações para a injeção do EB (1ª injeção) e para a injeção de fundo do EB (2ª injeção).

O processo de injeção foi realizado mediante uma bomba de argamassa de cimento com capacidade de 8 MPa (Figura 5), onde esta recebia a argamassa de um misturador que também foi utilizado para medir a quantidade de volume que era injetado. A bomba de argamassa enviava a mistura para um cavalete de pressão onde era possível controlar a pressão por meio da utilização de manômetro com capacidade máxima de 30 MPa. O volume de injeção foi controlado por meio de medidor de vazão instalado no misturador de alta turbulência. A segunda etapa de injeção foi realizada após 48 h da execução da primeira etapa de injeção. A Figura 6 apresenta as curvas pressão x volume obtidas a partir da expansão do EB.



Figura 5. Sistema de bomba para injeção dos EB.

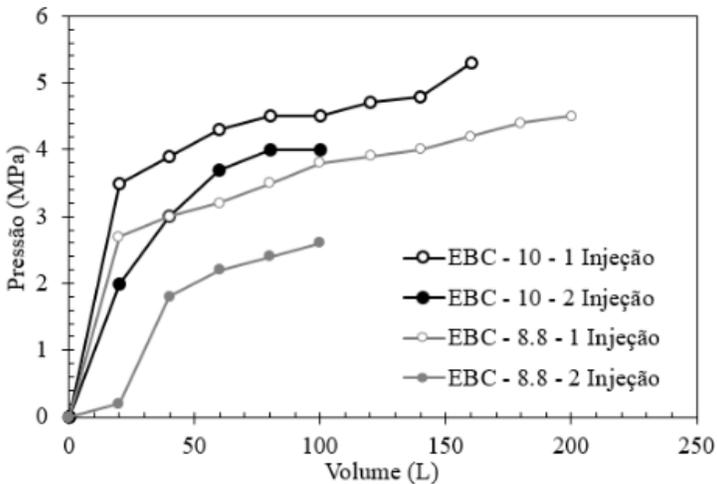


Figura 6. Curvas pressão x volume dos EB.

As estacas teste foram submetidas a provas de carga lenta, de acordo com a ABNT (2006). O carregamento das estacas ensaiadas foi realizado em 10 estágios de carga correspondente, cada um, a 20% da carga de trabalho das mesmas. Nas provas de carga realizadas, observou-se que o deslocamento das estacas variou entre 52,2 e 66,5 mm, atingindo recalques próximos ao limite do deflectômetro (70 mm). Outra característica digna de menção refere-se aos deslocamentos desenvolvidos durante os ensaios, onde é possível observar que os mesmos, em todos os casos, são superiores a 10% do diâmetro do fuste das estacas. A Figura 7 exhibe as curvas carga – deslocamento das estacas EBC 8,8 e EBC – 10. Observa-se que a estaca EBC – 10 foi carregada até 1200 kN, ao passo que a EBC – 8 foi sujeita a um carregamento de 1000 kN. O sistema *Expander Body* confere um

ganho significativo em termos de capacidade de carga e de deslocamento, como observado por Silva *et al.* (2018).

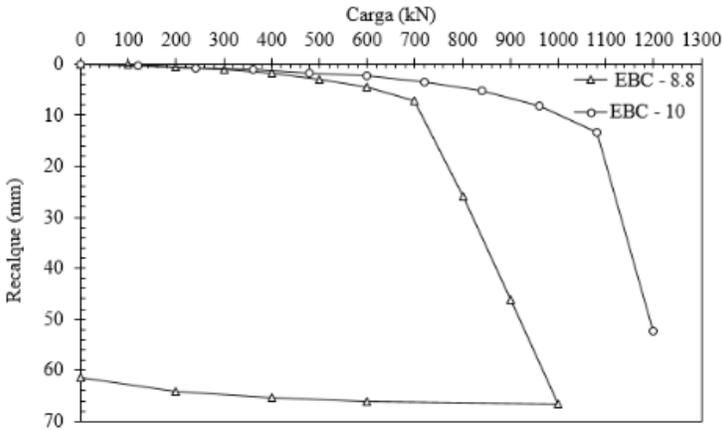


Figura 7. Curvas carga-deslocamento.

O método de Poulos e Davis (1980) foi empregado para realizar a estimativa de recalques. Diferentes módulos de deformabilidade foram selecionados para cada tipo de ensaio de campo (SPT, CPT, PMT, Curvas pressão x volume de injeção do EB). Robertson e Campanella (1988) sugerem valores de $E = 6$ entre 10 qc. Um valor de 8 qc foi adotado neste trabalho. Poulos (1998) relaciona valores de N_{SPT} a valores de módulo de deformabilidade, sendo a relação descrita por $E = 3 N_{SPT}$. Após as correções padronizadas, os dados do PMT foram plotados e a curva pressão x deformação circunferencial foi retroanalizada por meio da metodologia de expansão de cavidade proposta por Fontaine *et al.*, (2005).

A partir das curvas pressão x volume de injeção do EB, determinou-se valores de módulo de deformabilidade para as estacas equipadas com EB (Sadud *et al.* 2014). A previsão do módulo de deformabilidade de cada camada é realizada a partir do valor médio para cada tipo de ensaio, de acordo com a Tabela 2. Os valores obtidos em campo variaram com a profundidade, assim, valores médios ponderados de acordo com a equação a seguir foram adotados:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot H_i}{\sum_{i=1}^n H_i}$$

Onde:

E_i = módulo de deformabilidade da enésima camada;

H_i = espessura da enésima camada.

Ensaio	Referência	Formulação
SPT	Poulos (1998)	$E = 3 N_{SPT}$
CPT	Robertson e Campanella (1988)	$E = 8 q_c$
PMT	Fontaine <i>et al.</i> , (2005)	Retroanálise
EB	Sadud <i>et al.</i> (2014)	$E = 2 (1+\nu) \cdot (v_0 + v_m) \cdot (\Delta p / \Delta v)$

Tabela 2. Correlações utilizadas para avaliação de módulos.

Onde:

ν = coeficiente de Poisson;

v_0 = volume inicial da curva pressão x volume;

v_m = volume médio da curva pressão x volume;

Δp = variação de pressão;

Δv = variação do volume.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

O valor da carga limite foi extrapolado pelo método de Van der Veen (1953). Valores de carga limite de 1020 e 1220 kN foram obtidos para as estacas EBC – 8,8 e EBC – 10, respectivamente. Os valores previstos foram então comparados com os valores medidos. A razão dos valores previstos sobre os valores medidos são apresentados na Tabela 3. A carga utilizada nas análises foi a metade da obtida em ensaio de prova de carga ($Q_{ult}/2$), ou seja, a carga de trabalho.

Estaca	$Q_{ult/2}$ (kN)	δ_{med} (mm)	$\delta_{calc} / \delta_{med}$			
			SPT	CPT	PMT	EB
EBC - 8,8	510	2,9	1	1,9	1,4	3
EBC - 10	610	2,2	1,5	3	2	7,4

Tabela 3. Recalques medidos e previstos.

O modelo elástico empregado por Poulos e Davis (1980) permitiu uma comparação direta das previsões de recalque das estacas analisadas. Na Tabela 3, pode-se observar que os valores do módulo de deformabilidade obtido a partir do SPT e do PMT fornecem as melhores estimativas dos recalques de estacas, seguidos pelo CPT. As razões de recalque ($\delta_{calc} / \delta_{med}$) a partir das curvas de pressão x volume de injeção do EB obtidos a partir da equação apresentada por Sadud *et al.*, (2014) superestimam consideravelmente os recalques das estacas, pois os módulos de deformabilidade estimados são significativamente inferiores aos obtidos do SPT, CPT e PMT. Esta análise comprova a importância da estimativa de um

módulo de deformabilidade “adequado” para se obter resultados satisfatórios quanto à estimativa de deslocamentos de estacas.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Partindo das análises realizadas, verifica-se que modelos elásticos simples podem ser rotineiramente empregados na prática para a estimativa de recalque de estacas escavadas equipadas com a inovadora tecnologia *Expander Body* em solos laterizados, colapsíveis e não saturados. Embora os dados analisados sejam limitados, os resultados tendem a indicar que os ensaios de SPT e PMT fornecem as melhores razões de recalque ($\delta_{calc}/\delta_{med}$). Vale ressaltar ainda a importância da estimativa de um módulo de deformabilidade “adequado” para se obter resultados satisfatórios quanto à estimativa de deslocamentos de estacas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é fruto de parceria entre várias entidades nacionais e internacionais em que cada uma teve um papel específico, seja este econômico, científico ou tecnológico. Agradecemos a Universidade de Brasília, Sistemas DYWIDAG, EMBRE Engenharia e INCOTEC Ingeniería.

REFERÊNCIAS

Albuquerque, P.J.R. (2001). **Estacas escavadas, hélice contínua e ômega: estudo do comportamento à compressão em solo residual de diabásio, através de provas de cargas instrumentadas em profundidade**. Tese de Doutorado em Engenharia, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 263p.

Banerjee, P.D., Davis, T.G. (1978). The behavior of axially and laterally single piles embedded in nonhomogeneous soils. **Geotechnique**, 28, v. 3, pp. 309-326.

Butterfield, R., Banerjee, P.K. (1971). The elastic analysis of compressible piles and pile groups. **Geotechnique**, 21, v. 1, pp. 43-60.

Carneiro, B.J.I. (1999). **Comportamento de tubulões a céu aberto, instrumentadas, em solo não saturado, colapsível**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 322p.

Cunha R.P., Perez, E.N.P. (1998). **Backanalyses of Elastic Parameters from Piles Executed in a Tropical Porous Clay**. *3rd International Geotechnical Seminar Deep Foundations on Bored and Auger Piles*, Ghent, Bélgica, v. 1, pp. 377-383.

Cunha, R.P., Pereira, J.H.F., Soares, J.M., Mota, N.M.B., Poulos, H.G. (2001). **Backanalyses of Field Loading Tests on Deep Foundations in a Tropical Clay**, *XV International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, ISSMGE, Istanbul, Turquia, v.2, pp. 869-872.

Cunha, R. P. (2011). Acquired knowledge on the behavior of deep foundations vertically and horizontally loaded in the soil of Brasília. **Soils and Rocks**, v. 34(3), pp. 177-194.

Fontaine, E., Cunha, R.P., David, C. (2005) **A simplified analytical manner to obtain soil parameters from Ménard pressuremeter tests on unsaturated soils**. *50 Years of Pressuremeters International Symposium – ISP5*, Paris, v. 1, pp. 289-295.

Monteiro, F.M., Moura, A.S., Aguiar, M.F.P., Cunha, R.P., Matos, Y.M.P. (2018). **Avaliação do Método de Van Der Veen (1953) para estimativa das cargas de ruptura em estacas raiz da cidade de Fortaleza**. *XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Geotecnia e Desenvolvimento Urbano*, v. 2, p. 22-28.

Poulos, H.G., DAVIS, E.H. (1980). **Pile Foundation Analysis and Design**. New York, John Wiley & Sons, 397p.

Poulos, H.G. (1979). Settlement of single piles in nonhomogeneous soil. **Journal of Geotechnical Engineering Division**, ASCE 105, v. 5, pp. 627-641.

Poulos, H.G. (1994). An approximate numerical analysis of pile-raft interaction. **Int. Journal for Num. & Anal. Meth. in Geomechanics**, v. 18, p. 73-92.

Poulos, H.G. (1998). **The pile-enhanced raft – An economical foundation system**. *Anais do XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, Brasília, v. 5, p. 27-43.

Rocha Filho, P., Romanel, C., Alcantara, I.M. (1998). **Estimativa de Módulos de Elasticidade de Solos através da Retroanálise de Provas de Carga em Estaca**. *XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, Brasília, DF, v.1, p. 1567- 1574.

Robertson P.K., Campanella, R.G. (1988). **Guidelines for Geotechnical Design Using CPT and CPTU Data**, report FHWA, 340 p.

Sadud, O. A. R., Pinto, F., Terceros Herrera, M. A. (2014). **Comportamiento a carga axial de pilotes con sistema de expansión y desplazamiento total**. *Congreso UPADI, UPADI*, Santa Cruz de la Sierra, Bolívia, pp. 1-31.

Silva, C.M., Terceros H.M.A., Terceros M., Esposito, C., Fernández, D.H., Cunha, R.P. (2018). **Uso da Tecnologia Expander Body em estacas solicitadas a tração e a compressão assentes em solo tropical do Brasil**. *XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Geotecnia e Desenvolvimento Urbano*, v. 3, 16-28 p.

Stewart, W.P., Cunha, R.P., Mota, N.M.B. (2011). Settlement of Floating Bored Piles in Brasília Porous Clay. **Soils and Rocks**, São Paulo, v. 34(2), pp. 153-159.

Terceros Herrera, M.A., Terceros Arce, M. (2016). **Recent Advances In The Expander Body Technology**. *XVIII Brazilian Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, v. 2, p 31-38.

Van Der Veen, C. (1953). **The Bearing Capacity of a Pile**. *3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Zurich, v.2, pp. 84-90.

ANÁLISE DE RISCO A ESCORREGAMENTO NA VILA COQUEIRAL REGIÃO NOROESTE DE BELO HORIZONTE

Data de aceite: 16/11/2020

Data de submissão: 04/09/2020

Charline Tarcilia Ferreira dos Santos

Graduando em Geologia pelo Centro Universitário de Belo Horizonte – UniBH
Belo Horizonte, MG. Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3442504695130722>

Lorrany Magescki Faria

Graduanda em Geologia pelo Centro Universitário de Belo Horizonte – UniBH
Santa Luzia, MG. Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5942504755130750>

Magno André de Oliveira

Doutorando em Engenharia Geotécnica pela Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Belo Horizonte, MG. Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0732848021487033>

Eduarda Moreira Nascimento

Mestrado em engenharia ambiental, Szent Istvan University
<http://lattes.cnpq.br/2539305662359642>

RESUMO: O presente trabalho trata-se do mapeamento de risco a escorregamentos da Vila Coqueiral região noroeste de Belo Horizonte, MG. Para isso foi aplicado o método heurístico, por meio de análise qualitativa que identificou a suscetibilidade a escorregamentos em função das características do relevo, do substrato geológico e do uso e ocupação do terreno. A caracterização geológica-geotécnica

se deu pela classificação do grau de risco considerando aspectos geomorfológicos de declividade e identificação do solo. Os resultados demonstram que a intensidade de risco é de “alto a médio”, e está interligado aos vários fatores da ocupação do meio físico, visto que a área de estudo é suscetível a eventos geotécnicos. Nesse contexto, foi produzido uma carta de risco a escorregamento na escala de 1:1000, possibilitando melhor compreensão sobre a Vila. **PALAVRAS-CHAVE:** Vila Coqueiral. Risco. Geológica-Geotécnica. Método Heurístico. URBEL.

LANDSLIDE RISK ANALYSIS AT COQUEIRAL VILLAGE, NORTHWESTERN REGION OF BELO HORIZONTE

ABSTRACT: The present work deals with the mapping of risk to landslides of the Coqueiral Village northwest region of Belo Horizonte, MG. For this, the heuristic method was applied through the qualitative analysis that identified the susceptibility to landslides as a function of the characteristics of the relief, the geological substrate and the use and occupation of the terrain. The geological-geotechnical characterization was based on the classification of the degree of risk considering geomorphological, slope and soil identification. The results show that the intensity of risk is “high to medium”, and is interconnected to the various factors of the occupation of the physical environment, since the study area is susceptible geotechnical events. In this context, a risk letter to the scale of 1: 1000 was produced, allowing a better understanding of the village.

KEYWORDS: Vila Coqueiral. Risk. Geotechnical

1 | INTRODUÇÃO

Com a expansão urbana observa-se que algumas ocupações ocorrem de forma irregular, devido às condições naturais do terreno e a aplicação de obras de forma incorreta (SALLES *et al.*, 2013).

Essas situações estão presentes em encostas urbanas caracteristicamente associadas a fenômenos destrutivos. Estes fenômenos são induzidos pela ocupação inadequada de áreas vulneráveis em virtude de condições geológico-geotécnicas geradoras de perigo, cujas restrições ao uso são muitas vezes definidas na Lei Federal 12.608/2012. A lei institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, a PNPDEC, que introduziu alterações no Estatuto da Cidade (Lei Federal 10.257/2011), e estabelece a obrigatoriedade de elaboração do plano diretor nos municípios, vilas e favelas que possuem áreas suscetíveis a processos geológicos ou hidrológicos. Ela também implica que o plano diretor desses municípios deve conter o mapeamento das áreas suscetíveis, além de requerer que nele conste as cartas geotécnicas (BITAR, 2015).

O município de Belo Horizonte apresenta predisposição à ocorrência de processos geodinâmicos como escorregamento, erosão, solapamento, queda e rolamento de blocos de rocha, além de eventos de inundação (CAMPOS, 2011). O PEAR - Programa Estrutural em Áreas de Risco que é gerido pela Diretoria de Áreas de Risco da Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte (URBEL) é um programa de atendimento contínuo baseado na realização de vistorias individualizadas, ações preventivas durante o ano e monitoramento de ações emergenciais no período chuvoso em Vila e Favelas (URBEL, 2015).

O programa tem como premissa a convivência com risco, onde o morador é co-responsável pelo monitoramento e a remoção da família em risco geológico-geotécnico ocorre apenas em casos extremos (FURTADO, 2014).

A área de estudo fica na Região Noroeste de Belo Horizonte MG, Vila Coqueiral, a qual vem carecendo de atualização de diagnósticos que apontam diretrizes para um gerenciamento racional do uso e ocupação do solo. Problemas de ordem ambiental e de planejamento estão em desenvolvimento nesta região.

Os problemas geológicos são originados basicamente pelo total desconhecimento das características dos componentes do meio físico (rochas, águas, relevo e materiais inconsolidados) a que estão relacionados e das condições climáticas, que influenciam nestas características (DINIZ, 2012).

Este estudo tem como objetivo caracterizar o uso e ocupação do solo relacionados aos processos de movimento de massa baseando na análise heurística, resultando na carta de risco a escorregamento na escala de 1:1000 a fim de facilitar a identificação de possíveis riscos.

2 | METODOLOGIA

O trabalho foi realizado em uma área considerada de risco alto pelas análises e estudos realizados pela Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte (URBEL). A área de estudo possui conteúdo geológico e geotécnico consideráveis para avaliação e caracterização dos processos geodinâmicos atuantes através da avaliação do grau de risco por meio do método heurístico.

Inicialmente foram levantados dados bibliográficos de cunho geológico, geotécnico e cartográfico de Belo Horizonte. Elaboração de fichas de cadastro de riscos baseados no método proposto pelo Ministério das Cidades (2007), considerando indicadores naturais, antrópicos e evidências de movimentação do terreno. Para obtenção de dados locais foram levantados dados em campo relacionados a litologia, geomorfologia e pedologia realizados nos meses de setembro, outubro e novembro de 2018.

Por meio do método heurístico foi realizado o mapeamento da área de estudo para determinação do grau de risco em campo e pós campo, que perdurou por 60 dias de análise devido ao histórico da região e pela complexibilidade dos dados obtidos. Para auxílio foram utilizados mapas topográficos, de declividade, geológicos. Na determinação de risco baixo ou inexistente, médio ou alto foi utilizado o método de análise relativa (ou qualitativa) para a classificação, que peristiu na comparação entre as situações de risco identificados (CAMPOS, 2011).

Foi realizado o reconhecimento da área com base no diagnóstico repassado pela Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte (URBEL) analisando a estrutura e situação de risco das moradias e obras realizadas no momento de elaboração deste trabalho. Sequencialmente foram correlacionados os dados coletados com os dados existentes (geológicos, geotécnicos, pedológicos, geomorfológicos, topográficos), definindo o grau de risco da Vila Coqueiral.

No mapeamento direto, o grau de risco é verificado diretamente no campo ou é determinado após o trabalho de campo, com base em um mapa geomorfológico detalhado (LEÃO, 2016).

Para melhor entendimento e detalhamento dos dados da área de estudo, foi realizado um perfil geológico de sondagem com dados da campanha de sondagem disponibilizados pela Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte (URBEL). O perfil de sondagem foi realizado em 2015 na rua Delson Renault próximo ao número

126, pela técnica de simples reconhecimento de solo (SPT) para o projeto de estabilidade do talude em obra de contenção direcionado pelo Programa Estrutural de Áreas de Risco (PEAR) em 2015. Foram analisados e selecionado os furos (SPT – 02 (N – 601.926 / E – 7797483), SPT – 02A (N – 601938 / E – 7797492) e SPT - 02B (N - 601939 / E – 7797494).

A carta geotécnica de risco foi elaborada evidenciando os diferentes graus de risco na escala de 1:1000 baseado nas definições proposto por Santos (2010) e Souza e Sobreira (2015). Para sua execução foram utilizadas informações da área de estudo disponibilizada pela URBEL no último diagnóstico de vilas e favelas de Belo Horizonte (2015), e do projeto de estabilização e contenção de encostas realizada na rua Delson Renault 126.

Foram confeccionados também mapas geológico, pedológico, de declividade e hipsométrico da Vila Coqueiral, utilizando a base de dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2009), Forestgis (2018), Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) respectivamente, produzidos no software ArcGis 10.5 licenciado e disponibilizado pelo Centro Universitário de Belo Horizonte UniBH (2018).

3 | ÁREA DE ESTUDO

A Vila Coqueiral está localizada na Região Noroeste no Município de Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais, possui coordenadas (N) 601953 (E) 7797468 (Figura 1).

Sua extensão é de aproximadamente 391 metros, dispendo-se em forma alongada segundo a direção Norte-Sul com cerca de 257 metros de largura máxima na direção Leste-Oeste.

É limitada ao sul com o bairro Jardim Filadélfia, a leste com o bairro Pindorama, a norte com a rua Rio Petrópolis, a oeste com rua Morada Nova. A rodovia federal Juscelino Kubitschek (BR–135) faz acesso a Vila Coqueiral.

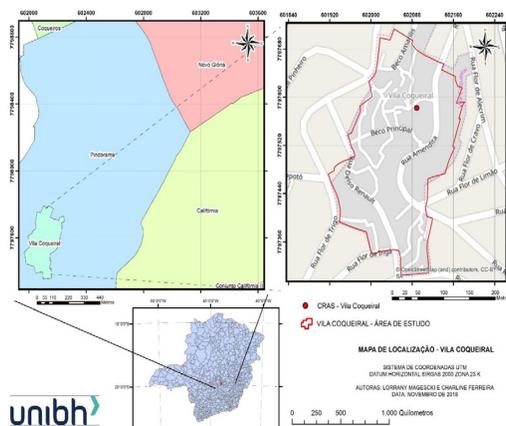


Figura 1. Mapa de localização.

De acordo com Campos (2011) Belo Horizonte está regionalmente inserida na unidade geológica conhecida como Cráton do São Francisco ou Província geotectônica São Francisco, referindo ao núcleo crustal denominado Quadrilátero Ferrífero.

A Vila Coqueiral está inserida no Complexo Belo Horizonte que de acordo com Parizzi (2004) é constituído de rochas gnáissicas arqueanas, parcialmente remobilizadas e migmatizadas no Paleoproterozóico, constituindo cerca de 70% do território municipal. Tendo sua área de maior expressão a norte da calha do ribeirão Arrudas (Figura 2).

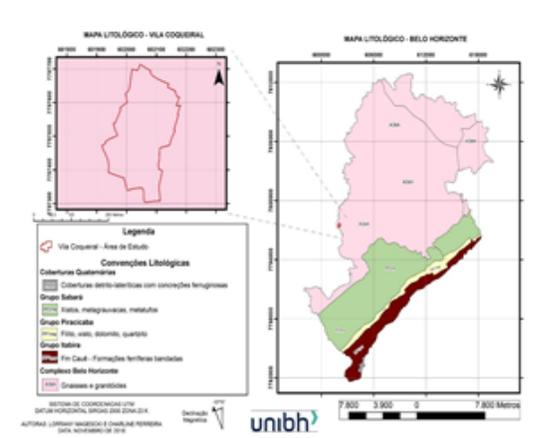


Figura 2. Mapa geológico de Belo Horizonte.

Geomorfologicamente está inserida na Depressão de Belo Horizonte. De acordo com Vieira (2018) predominam colinas de topos de plano a arqueados, encostas côncavo-convexas com altitudes variando entre 800 a 900m constituídas pela dissecação fluvial das áreas gnáissicas, causadas pela rede de drenagem dos Rio das Velhas e Paraopeba.

A região noroeste de Belo Horizonte é caracterizada pela cobertura pedológica composta de latossolos e argissolos vermelho – amarelo. De acordo com Reis Junior (2016), o argissolo se caracteriza por intenso desenvolvimento pedogenético, ocorrendo perda de argilas em sua porção superficial, resultando em um acúmulo de porções mais profundas. São solos mais coesos e plásticos, podendo ocorrer pegajosidade em profundidade. Caracteriza ocorrência em relevos acidentados e dissecados. Apresenta elevada susceptibilidade a processos erosivos, sobretudo quando o gradiente textural e acentuado indicam predomínio de textura arenoso. Geralmente estão saprolitizado ou recoberto pelo manto de intemperismo silto-argiloso de tonalidades avermelhadas.

4 | RESULTADOS

O gnaise é a litologia principal da área de estudo (Figura 3). Foram identificados também rochas intrusivas básicas caracterizadas como blocos rolados observados em toda vila.



Figura 3. Afloramento de gnaise do Complexo Belo Horizonte na Vila Coqueiral.

Localmente o gnaise apresenta cor bege com poções negras. A mineralogia principal é composta principalmente por álcali-feldspato (branco, maciço), plagioclásio (ocre, hábito tabular) e quartzo (incolor), em suas porções centimétricas leucocráticas, já nas porções centimétricas melanocráticas apresenta anfibólio

(preto, prismático) e biotita (preto, lamelar) vistas macroscopicamente. Apresenta em geral textura granolepidoblástica com mineral acessório clorita que indica fácies metamórfica xisto verde, indicando metamorfismo de baixo a médio grau, de origem ortoderivado (Figura 4).



Figura 4. Gnaiss encontrado na área de estudo.

Segundo os autores, do ponto de vista geotécnico local, os gnaisses apresentam como rocha pouco alterada, coerente, pouco fraturado, aferindo a baixa favorabilidade à ocorrência de processos geodinâmicos.

As rochas intrusivas básicas na área de estudo estão representadas em forma de blocos rolados de tamanhos variando de centimétricos a métricos, apresentando cor verde escuro, com protólito proveniente de rochas ígneas básicas. Macroscopicamente apresenta textura afanítica impossibilitando a caracterização mineralógica em detalhe, percebe-se que não apresenta quartzo, e constitui-se de clorita (verde), plagioclásio (branco), anfibólio/piroxênio (preto) e biotita (preto). Apresenta camada de alteração, de cor avermelhada que possivelmente deriva-se da alteração da clorita enriquecida em ferro (Figuras 5).



Figura 5. Rocha Ígnea Básica encontrada na área de estudo.

Foi observado que na Vila Coqueiral ocorrem solos do tipo residuais maduros, solos residuais jovens, rochas alteradas provenientes do gnaiss e solos residuais maduros originados possivelmente das alterações de rochas intrusivas básica.

Os solos residuais maduros provenientes dos gnaisses possuem coloração alaranjada a avermelhada, textura silto-arenoso próximo à superfície, à medida que aumenta a profundidade passa a ter textura silto-argilosa caracterizado pela sedosidade (Figura 6).



Figura 6. Solo Residual maduro de Gnaiss.

Já os solos residuais jovens possuem coloração amarelada, textura silto-arenosa, identificado leve sedosidade (Figura 7).



Figura 7. Solo Residual Jovem de Gnaiss.

A porção vista de rocha alterada situa-se em um ponto específico não observada em outros pontos da Vila Coqueiral. Possui coloração amarelada de textura silto - arenosa (Figura 8).



Figura 8. Rocha alterada de Gnaisse.

O solo residual proveniente de rocha básica possui cor marrom avermelhada, textura argilosa. Foi observado principalmente na porção superficial da área de estudo, na Rua Delson Renault número 126, em contato com o solo residual de gnaisse (Figura 9).



Figura 9. Encosta com contato de solos residuais maduros de gnaisse e rocha básica.

A análise do perfil de sondagem (Apêndice A) revelou que a base da área de estudo é constituída de gnaisse, principal conteúdo litológico. Ademais, o solo é de silto arenoso gradando para silto argiloso, à medida do aumento de profundidade, é característico no local da sondagem o solo residual proveniente de rochas básicas, encontrados em pontos específicos como nas proximidades da Rua Delson Renault número 126.

Analisando as descrições realizadas no processo de sondagem percebeu-se que a descrição se mostra incompleta, faltando características como a plasticidade das amostras, fator importante se tratando de descrição geotécnica dos solos.

Na avaliação dos resultados observou-se que o furo SPT-02 alcançou 6,31 metros e caracterizado como impenetrável. A partir deste fato e da caracterização da Vila de possuir muitos blocos de rocha básica, foi inferido como intrusão de rocha básica na porção abaixo de 6,31m pela ocorrência de blocos encontrados em toda Vila e pela caracterização pedológica que seria possivelmente proveniente da alteração de rochas básicas.

A Vila Coqueiral apresentou características que foram descritas através dos graus de riscos apresentados evidenciando os processos geodinâmicos predispostos e relacionados principalmente com a declividade, corroborando com Gaberti e Robaina (2017) que diz que a declividade é a principal condicionante considerada em todos os estudos realizados.

A característica geral do relevo da Vila Coqueiral apresenta o plano de curvatura côncavo em caráter convergente. Suas encostas de forma geral apresentam perfil de curvatura côncavo – convexo de topos planos com vales encaixados no final de suas vertentes. Foram aplicados os atributos indicados por Fernandes e Amaral (2003), analisados nos dados obtidos que o relevo favorece os processos de movimentos de massa locais.

Além disso possui variações dinâmicas em sua declividade observado principalmente com a análise da topografia. Regiões que variam entre 0 a 15% são apontadas como declividades baixas caracterizado pela coloração esverdeada a amarelado e são áreas desfavoráveis a processos geodinâmicos, mesmo que em algumas porções (exceções) devido a característica do terreno apresentando propensas a escorregamentos. Declividades médias a altas variam de 21 a 45% caracterizado pelas colorações alaranjadas a avermelhadas cobrindo a maior parte da Vila Coqueiral, verificado em campo pelo relevo acidentado.

Na porção centro sudoeste da Vila entre as cotas 940 a 920m. Foi constatada a alta declividade das encostas côncavo – convexas, apresentando declividades entre 20 a 45%, suscetível a processos de escorregamento (Figura 10).



Figura 10. Encosta com alta declividade.

A vila possui moradias na qual foram construídas e/ou ocupadas de forma inadequada, relacionadas principalmente às áreas caracterizadas com vulnerabilidade alta á escorregamentos (Figura 11).

Notou-se o descarte incorreto de resíduos orgânicos e domésticos em lotes vagos, lançamentos de água servida com ausência de esgotamento sanitário adequado, e em suas proximidades o cultivo de bananeiras e ocupações em situações vulneráveis, observados principalmente nas áreas propensas a escorregamentos um dos fatores que potencializam os processos geodinâmicos locais.



Figura 11 – Cultivo de Bananeiras.

As áreas consideradas com risco alto têm potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos (CERRI, 2006). A Vila Coqueiral apresenta características predominantes em relevo de encosta côncavo – convexa, declividades acima de 20%. Foram observados blocos rolados e ocorrência de solos residuais maduros de gnaiss e solos residuais provenientes de rochas básicas.

As áreas classificadas como risco alto apresentam características como edificações irregulares (Figura 12 A) e solos residuais com presença de resíduos domésticos e orgânicos (Figura 12 B). Foram detectados indicativos de movimentação (Figura 12 C) e algumas edificações apresentavam o aplainamento por meio de aterros mal compactados (Figura 12 D).



Figura 12. Características evidentes na área de risco alto.

Na rua Rainha das Flores nº 98 ((N) 602120 – (E) 7797646), foi observado a instabilidade de uma encosta que por relatos verbais da moradora já ocorreu escorregamentos. A encosta possui declividade em média de 25%, apresentando solo residual, degraus de abatimento, presença de vegetação rasteira. Foram constatados moradores bem próximos à encosta (Figura 13 A e B) e percebeu-se que o local está propenso a escorregamentos. Durante a realização deste trabalho ocorreu eventos de movimentação devido às chuvas intensas durante os dias 08, 09 e 10, de novembro de 2018 (Figura 13 C e D).



Figura 13. Vista da encosta localizado na Rua Rainha das Flores, caracterizado como risco alto.

A Rua Delson Renault próximo ao nº 126 ((N) 601951 – (E) 7797486) possui um histórico de remoções em 2003 e 2012 devido aos fatores relacionados à deslizamentos. Neste ponto ocorre a intervenção do PEAR programa gerido pela URBEL em obras de contenção de estabilização do talude, constituído de solo coluvionar e solo residual maduro e declividade acima de 25%. Observou o cultivo de bambu em torno, blocos centimétricos a métricos, passível de processos de escorregamentos (Figura 14).



Figura 14. Encosta com intervenção do PEAR na Rua Delson Renault.

O risco médio é caracterizado pelos fatores geológicos-geotécnicos de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observou-se a presença de alguma(s) evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente (CERRI, 2006).

Nas áreas denominadas risco médio na Vila Coqueiral observou-se presença de blocos rolados, relevo de meia vertente, encosta convexa, com declividades maiores que 15% e com predomínio de solos residuais jovens provenientes de gnaiss.

Ao longo da Rua Rainha das Flores nas proximidades do Centro de Referência de Assistência Social (CRAS Coqueiral) notou-se edificações fundadas sobre a camada saprolítica observando exposição da rocha (Figura 15 A e B). Os processos predisponentes são rolamento de blocos que dependendo da intensidade do período chuvoso e a evolução pedogenética local possivelmente pode estar causando instabilidades nas moradias locais e próximas.



Figura 15. Caracterização da área classificada como risco médio.

O risco baixo é descrito pelos fatores geológicos-geotécnicos caracterizados de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Não há indícios de desenvolvimentos de processos destrutivos em encostas e margens de drenagens. Mantidas as condições existentes, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período de um ciclo chuvoso (CERRI, 2006).

As áreas caracterizadas como risco baixo ou inexistente compreendem as extremidades noroeste, nordeste e sul da área de estudo, na qual ocorreu a

complexidade de identificação do solo predominante. Em análise com os mapas de declividade e topográfico notou-se que na porção noroeste e nordeste compreende a áreas que possuem espaçamento consideráveis entre as curvas de nível caracterizadas pelo relevo suavemente retilíneo observando edificações adensadas (Figura 16 A, B e C).

Em relação às edificações no extremo sul da área de estudo foi observado espaçamento adensado entre as curvas de níveis e declividade acima de 25%, relevo acidentado e caracteristicamente obras aplicadas de forma correta ao tipo de terreno (Figura 16 D).



Figura 16. Caracterização da área classificada como risco baixo ou inexistente.

Após todas considerações levantadas para caracterização da Vila Coqueiral, foi classificada em domínios de risco baixo ou inexistente, médio e alto (Figura 17).

Para cada classificação presente no mapa de risco a escorregamentos, foram considerados detalhadamente cada evidência vista em campo, avaliados em caso de longos e intensos períodos chuvosos, gerando além do mapa de risco a carta de risco a escorregamentos representados no Apêndice B.

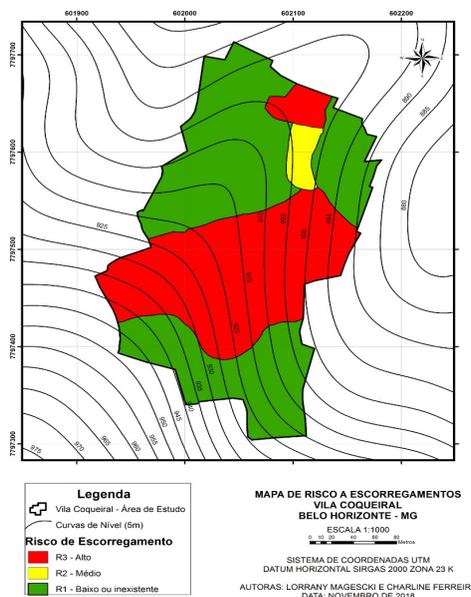


Figura 17. Mapa de risco a escorregamentos da Vila Coqueiral.

5 | CONCLUSÃO

Conclui-se que a área de estudo está predisposta a processos de escorregamento e rolamento de blocos, e que as principais características locais estão relacionadas com a declividade, os solos em seu uso e ocupação, voltados principalmente às ações antrópicas locais. Observou-se nitidamente descarte de resíduos de forma incorreta, acúmulo de entulhos, ocupações irregulares e cultivos favorecem a evolução dos processos geodinâmicos no local, evoluindo cada vez mais em áreas vulneráveis.

Na avaliação e classificação do risco observou-se que cada feição apresentada estava diretamente relacionada com a características do solo local, forma e declividade das encostas. Neste contexto, foram compreendidos os principais processos do meio, frisando que além dos aspectos geológicos-geotécnicos, há problemas ambientais, sociais e econômicos que também influenciam no cenário da ocupação da Vila Coqueiral.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a URBEL, ao Nathan Mac Laren, ao Magno André de Oliveira e a UFOP.

REFERÊNCIAS

BITAR, O. Y. **Guia Cartas geotécnicas: orientações básicas aos municípios - São Paulo**: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 2015.

CAMPOS, L. C. **Proposta de reanálise do risco geológico-geotécnico de escorregamentos em Belo Horizonte – Minas Gerais**. 2011. 143 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte 2011.

CERRI, L. E. S. **Mapeamento de riscos nos municípios**. In: Ministérios das Cidades/Cities Alliance. Prevenção de riscos de deslizamento em encostas; Guia para elaboração de Políticas Municipais. Brasília, 2006.

DINIZ, N. C. **Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão**. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 2, p. 29-77, 2012.

FURTADO, S. B. **Gerenciamento de riscos e redução de acidentes geológicos associados a escorregamentos**. 2014. 92 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto MG, 2014.

LEÃO, R. P. **Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa de Nova Lima – MG**. 2016. 131 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

NBR 6484/01 **Solos- Reconhecimento de simples reconhecimento com SPT – Método de Ensaio**. Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2014/11/sptmetodo_de_ensaio_nbr_6484.pdf> Acesso em: 15/10/2018.

PARIZZI, M. G. **Condicionantes e Mecanismos de Ruptura em Taludes da Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG**. 2004 233 p. Dissertação (Doutorado em Geodinâmica Ambiental e Conservação de Recursos Naturais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto 2004.

PORTALPBH. **Urbel Área de Atuação**. Belo Horizonte. 2015.
Disponível em: http://portalpbhbm.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pldPlc=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=urbel&tax=7491&lang=pt_BR&pg=5580&taxp=0& Acesso em: 05/11/2018.

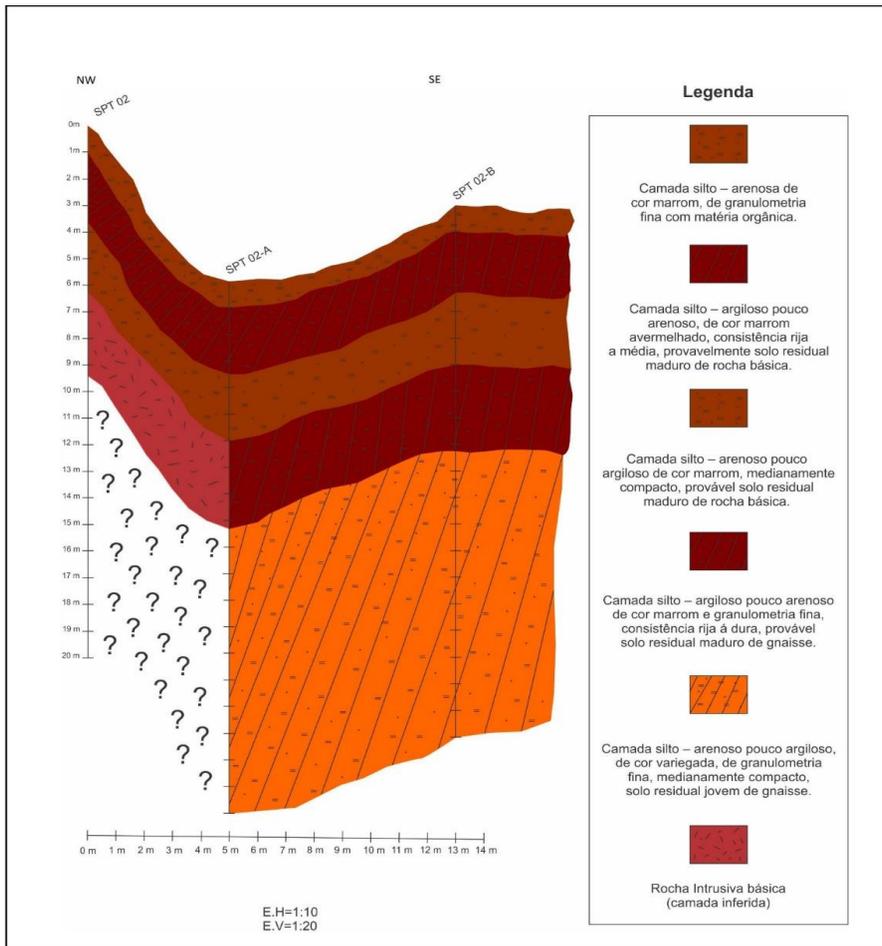
REIS JUNIOR, W. **Caracterização das Unidades Geotécnicas da Porção Leste da Região Metropolitana de Belo Horizonte, MG**. 2016 166 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Aplicada) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Belo Horizonte, Belo Horizonte, 2016.

SALLES, M. C. T; GRÍGIO, A. M; SILVA, M. R. F. **Expansão Urbana e Conflito Ambiental: Uma Descrição da Problemática do Município de Mossoró RN –BRASIL**. Sociedade & Natureza, vol. 25, nº2, 2013, p.281 – 290.

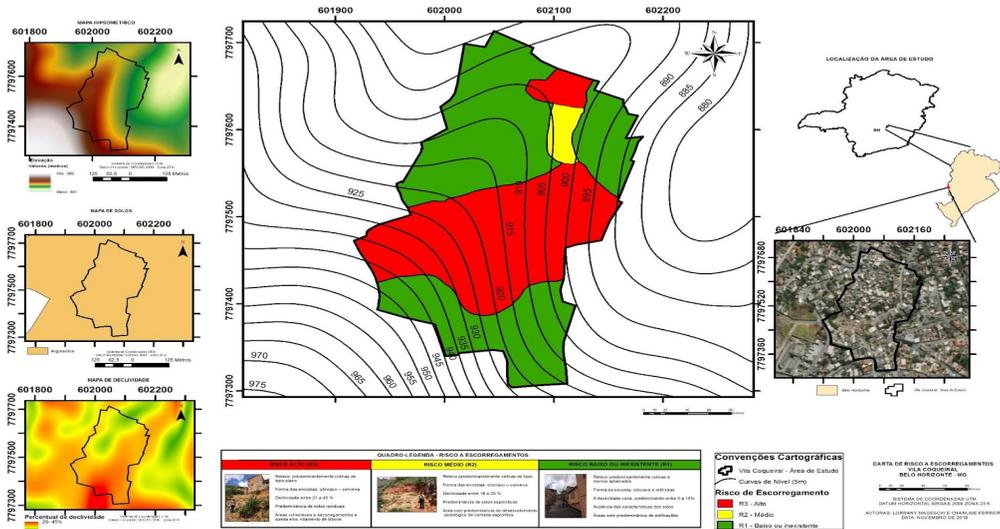
SANTOS, A. R. **Carta Geotécnica e Carta de Riscos: Distinções no Significado, na Elaboração e no Uso** In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica: Engenharia Geotécnica para o Desenvolvimento, Inovação e Sustentabilidade, ABMS, GRAMADO, 2010.

VIEIRA, T. C. M. **Efeito dos Extremos Pluviométricos na Cidade de Belo Horizonte no Período de 2006 a 2016**. 2018 156 p. Dissertação (Mestrado em Geografia em Tratamento da Informação Espacial) – Pontifícia Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2.

APÊNDICE A: PERFIL DE SONDAGEM



APÊNDICE B: CARTA DE RISCO Á ESCORREGAMENTO



UTILIZAÇÃO DE BARREIRAS VERTICAIS NA REMEDIAÇÃO AMBIENTAL

Data de aceite: 16/11/2020

Data de submissão: 07/09/2020

Luciana Regina Cajaseiras de Gusmão

Universidade Federal de Pernambuco,
Departamento de Engenharia Civil
Recife – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/4228865260590782>

José Fernando Thomé Jucá

Universidade Federal de Pernambuco,
Departamento de Engenharia Civil
Recife – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/9551646929257730>

Karla Salvagni Heineck

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Departamento de Engenharia Civil
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/2053839883513170>

RESUMO: O presente trabalho traz explanação teórica compilada sobre os principais métodos de contenção de contaminantes utilizados na atualidade, as barreiras verticais, a fim de divulgar e disseminar as práticas. A contenção da área-fonte de contaminação é um método de custo relativamente baixo que consegue evitar o alastramento da pluma de contaminantes; seu princípio básico é controlar o movimento horizontal de água e contaminantes, dificultando o fluxo. As barreiras de solo-bentonita, cimento-bentonita e solo-cimento-bentonita estão entre as mais frequentemente utilizadas. Em comparação, a primeira apresenta a vantagem de ser mais

competitiva e proporcionar menores coeficientes de condutividade hidráulica, enquanto garante menor capacidade de suporte, está mais sujeita a misturas heterogêneas e necessita de maiores áreas de trabalho. Por outro lado, o cimento das cortinas de cimento-bentonita pode provocar gradativas trocas catiônicas que comprometam a estabilidade e permeabilidade da barreira. As cortinas de solo-cimento-bentonita buscam equilibrar baixa condutividade hidráulica e alta resistência.

PALAVRAS-CHAVE: Barreiras verticais, remediação ambiental, solo-bentonita, cimento-bentonita, solo-cimento-bentonita.

USE OF SLURRY WALLS IN ENVIRONMENTAL REMEDIATION

ABSTRACT: The present work provides a compiled theoretical explanation about the main contaminant containment methods currently used, slurry walls, in order to disseminate and spread these practices. Containment of the contamination source area is a relatively low-cost method that manages to prevent the spread of the contaminant plume; its basic principle is to control the horizontal movement of water and contaminants, making the flow difficult. The soil-bentonite, cement-bentonite and soil-cement-bentonite barriers are among the most frequently used. In comparison, the former has the advantage of being more competitive and providing lower coefficients of hydraulic conductivity, while guaranteeing less carrying capacity, is more subject to heterogeneous mixtures and requires larger work areas. On the other hand, the cement of the cement-bentonite liners can cause gradual

cationic exchanges that compromise the stability and permeability of the barrier. Soil-cement-bentonite walls seek to balance low hydraulic conductivity and high strength.

KEYWORDS: Slurry walls, environmental remediation, soil-bentonite, cement-bentonite, soil-cement-bentonite.

1 | INTRODUÇÃO

A total remediação de áreas contaminadas de forma a possibilitar uso irrestrito do solo e da água tem se mostrado ser um objetivo ilusório, já que os processos são bastante desafiadores e dispendiosos. As limitações das tecnologias de remediação, a frequente realização de uma investigação incompleta e definição imprecisa da problemática contaminante, além de natureza complexa e heterogênea da subsuperfície são as principais causas de insucesso na remediação (SMYTH *et al.*, 2001).

A complexidade dos modelos de dispersão de contaminantes e a dificuldade associada da remediação crescem à medida que há mistura de fontes de contaminação, heterogeneidade da subsuperfície, configurações hidrogeológicas complicadas associadas com rochas fraturadas, ou mesmo interações entre diferentes contaminantes (SMYTH *et al.*, 2001). É interessante notar que embora a massa de contaminantes na fonte geralmente exceda bastante a presente nas plumas (MACKAY; CHERRY, 1989), os contaminantes móveis são comumente os que geram mais riscos imediatos ao meio ambiente. Assim, as características das zonas de fonte e dispersão (plumas) são distintas, quase sempre requerendo tecnologias diferentes para remediação.

É importante que várias possibilidades sejam levadas em consideração para a escolha do método mais interessante para cada caso de remediação ambiental, inclusive quanto à possibilidade de combinar soluções, sempre tendo em mente o potencial de degradação e o custo, o qual envolve as condições de execução.

O presente trabalho apresenta explanação teórica compilada comparativa sobre os principais métodos de isolamento da zona-fonte, as cortinas verticais, com a finalidade de divulgar e disseminar essa prática cada vez mais.

2 | REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS

A escolha e desenvolvimento de um programa de remediação para determinada área depende dos objetivos buscados em cada caso, podendo envolver a adoção de várias ações. Em alguns casos é possível fazer uso apenas de mecanismos físicos, químicos e biológicos naturais (atenuação natural) para reduzir a contaminação a níveis aceitáveis. No entanto, frequentemente é necessário fazer uso também de abordagens mais complexas, nas quais se deve almejar: a remoção/

destruição da massa contaminação na zona-fonte para evitar posterior propagação de pluma; o isolamento da zona-fonte através de barreiras hidráulicas ou físicas; ou controle e remediação da pluma através de sistema de bombeamento direto ou uso de barreiras reativas *in situ* (SMYTH *et al.*, 2001).

Uma medida quase essencial quando não há capacidade tecnológica e financeira para restauração total da zona-fonte é o seu isolamento e contenção. A contenção da contaminação é obtida a partir da construção de cortinas/barreiras/trincheiras verticais de baixa permeabilidade, contenções hidráulicas de longo-prazo com sistemas de bombeamento e tratamento dos contaminantes, ou intercepção e tratamento *in situ* da água subsuperficial contaminada através de barreiras reativas passivas (CHERRY; FEENSTRA; MACKAY, 1996).

Neste trabalho, serão abordados os principais tipos de contenções através de barreiras verticais de baixa condutividade hidráulica.

2.1 Remediação por barreiras verticais

A instalação de cortinas verticais geralmente se restringe a profundidades menores que 50 m e pode ter limitações em configurações geológicas difíceis, como terrenos rochosos com superfícies fraturadas (SMYTH *et al.*, 2001). Utilizadas na Engenharia Civil para controle hidráulico em escavações desde a década de 50, apenas a partir da década de 70 as barreiras foram adaptadas para uso ambiental, difundindo-se nos anos 80 como componente de sistema de remediação de contaminantes (LEMOS, 2006). A contenção deve ser estrategicamente posicionada de forma a conter, divergir ou encapsular o fluxo.

Seu princípio básico é controlar o movimento horizontal de água e contaminantes, dificultando o fluxo de água e/ou o transporte advectivo de contaminantes através da cortina (SMYTH *et al.*, 2001). Na definição dos objetivos da barreira, é essencial definir se ela vai atuar com baixa condutividade hidráulica, reduzindo o fluxo de água, ou impedindo o transporte de contaminantes, o qual se dá de forma mais complexa. Assim, a condutividade hidráulica é a principal preocupação desse tipo de projeto, assim como os parâmetros de resistência, custos e métodos executivos (LEMOS, 2006).

O projeto a ser elaborado depende dos objetivos da barreira. A maioria das intervenções de remediação com cortinas verticais, no entanto, utilizam técnicas combinadas para atingir seus objetivos de forma mais eficiente. Na geotecnia ambiental geralmente as barreiras verticais são dispostas em posicionamento circunferencial, ao redor da fonte de contaminação, frequentemente associadas a sistemas de drenagem subsuperficial e coberturas sobre a área contaminada para proteger a água subsuperficial *off-site*. No entanto, esse formato não é essencial, pois as barreiras podem ser dispostas de forma a isolar apenas parte do local. As

barreiras também podem ser utilizadas para reduzir a migração de água limpa não contaminada para pontos de alto gradiente de concentração – pelo princípio da osmose (EVANS, 1993).

Segundo, Mitchell e Van Court (1997) e Devlin e Parker (1996), o potencial contaminante acumulado e a movimentação através da cortina a partir da difusão podem ser considerações importantes do projeto de isolamento.

A eficiência de um isolamento pode ser otimizada quando sua base é engastada em um aquífero ou camada de baixa permeabilidade (SMYTH *et al.*, 2001). O engaste se torna desnecessário quando há retirada da água contaminada ou os contaminantes estão concentrados próximo à superfície ou flutuando no nível freático (EVANS, 1993).

Onde essas condições geológicas não permitem ou o aquífero é muito profundo, as cortinas podem ser limitadas dentro do aquífero, situação denominada por Cherry, Feenstra e Mackay (1996) de “cortina suspensa” (tradução nossa). Essa configuração é possível quando o gradiente for ascendente ou o contaminante for menos denso que a água, situações em que os contaminantes só são retidos se a barreira se estender em profundidade abaixo da base da área-fonte, e podem ser necessárias maiores taxas de bombeamento de água para manter a contenção hidráulica.

Recomenda-se maximizar o isolamento com o uso de sistema de cobertura acoplado às cortinas verticais. A cobertura tem função de reduzir a infiltração, controlar a eliminação de gases e vapores e garantir isolamento da subsuperfície contaminada com a biosfera (SMYTH *et al.*, 2001). A maioria dos sistemas de contenção vertical necessita da proteção proporcionada pela cobertura, já que os materiais estão sujeitos a ressecamento e ciclos de gelo-degelo. O projeto final deve considerar o carregamento do tráfego (paralelo e transversal, se for o caso) e alternativas de integração com a paisagem (EVANS, 1993). É muito comum a utilização de geossintéticos (geogrelhas, geotêxteis ou geomembranas) ou argila compactada para essa finalidade.

Pode-se ainda acrescentar base às cortinas verticais para aumentar o isolamento dos contaminantes. Embora tenha havido evolução das tecnologias de execução de base nas barreiras, seus custos são elevados e a verificação de sua disposição e desempenho são difíceis, razão pela qual sua utilização não é muito comum no controle de remediação, sendo mais frequente em aterros sanitários (PETERSON; LANDIS, 1995).

Após a identificação dos objetivos pretendidos com a barreira, é necessário avaliar quais tipos de barreira atendem ao pretendido, geralmente a partir de modelos de fluxo de água e contaminantes. É necessário avaliar a hidrogeologia e aspectos geotécnicos do local, além de desempenho a curto e longo prazo de cada

caso, especialmente do ponto de vista de condutividade hidráulica, resistência e compressibilidade (EVANS, 1993).

Interações físico-químicas entre materiais da cortina e contaminantes podem influenciar o desempenho hidráulico da contenção. Interações entre argila e componentes miscíveis na água como co-solventes ou surfactantes podem provocar retração de minerais argilosos, o que pode ocasionar aumento da condutividade hidráulica, efeito minimizado em profundidades com tensões confinantes maiores (SMYTH *et al.*, 2001).

Materiais poliméricos também estão sujeitos a reações degradantes com fluidos orgânicos como hidrocarbonetos aromáticos e solventes de petróleo ou solventes de cloro e petróleo, tendo sua eficiência na aplicação de cortinas de contaminantes questionável, a depender do caso (MITCHELL; VAN COURT, 1997). A eficiência de uma barreira hidráulica vertical está diretamente ligada às propriedades do material de preenchimento utilizado, o qual depende especialmente da graduação do solo e percentual de bentonita utilizados para cortinas de solo-bentonita e solo-cimento-bentonita (LEMOS, 2006; PAGANI, 2007).

Os principais tipos de barreiras utilizadas são: trincheiras de solo-bentonita (com ou sem geomembrana), cimento-bentonita ou solo-cimento-bentonita, cortinas de concreto vibrado, colunas *jet ground*, estacas-prancha de aço convencional e paredes-diafragma (SMYTH *et al.*, 2001). O desempenho de cada dependerá de características da contaminação e condições do projeto.

De forma geral, as barreiras de solo-bentonita estão entre as técnicas mais utilizadas devido à maior rapidez de execução e menor custo, seguidas das barreiras de cimento-bentonita ou solo-cimento-bentonita, de maior resistência (LEMOS, 2006). Tendo em vista que o custo é um critério decisivo na escolha da solução empregada, serão aprofundados esses três métodos.

2.1.1 Barreiras de solo-bentonita

Nesse método, trincheiras são escavadas e utiliza-se lama bentonítica (segundo Evans (1993), normalmente na proporção de 5% de bentonita para 95% de água, em peso) para manter a estabilidade geotécnica durante a escavação, a partir da pressão do fluido que excede o empuxo ativo do solo, e diminuir a condutividade hidráulica (BATISTA; LEITE, 2010). Para escavações até 20 m é possível utilizar retroescavadeira no processo, mas para profundidades maiores recomenda-se a utilização de *dragline* ou *clamshell*. O método de escavação utilizado não interfere diretamente na eficiência da barreira, mas é essencial que a camada impenetrável seja atingida continuamente (AZAMBUJA, 2004).

Segundo Azambuja (2004) e Lemos (2006), a escavação deve ser iniciada pela área de maior declividade do terreno. A largura da trincheira varia entre 0,6 e 1,5

m, sendo comum 0,9 m. Trincheiras muito estreitas são de difícil execução, enquanto que muito largas aumentam custos sem necessidade. Atingida a profundidade desejada, é feito reaterro na vala, quando parte da lama bentonítica é retirada e parte permanece recobrimo as paredes escavadas formando uma película fina (*filter cake*), a qual é a principal responsável pela redução da condutividade hidráulica da barreira (BATISTA; LEITE, 2010).

A lama consegue penetrar nos vazios do solo a partir de diferença de pressão existente, onde grupos de partículas sólidas, denominadas colóides, vão se acumulando até formação da do *filter cake*. Vale salientar que para evitar escorregamentos, as paredes devem estar na vertical durante a escavação, com um desvio máximo de 2% (XANTHAKOS, 1979).

Para garantia da estabilidade, a lama bentonítica deve permanecer próximo ao topo da trincheira (máximo de 90 cm abaixo) e pelo menos 60 cm acima do nível d'água (FILZ; HENRY; DAVIDSON, 1997). Caso contrário, a poropressão do solo adjacente exercerá uma força no *filter cake* que irá provocar sua desintegração, comprometendo, assim, o isolamento hidráulico e estabilidade do trecho, podendo ocorrer o colapso. Caso venha a ocorrer colapso, o trecho deve ser limpo antes da aplicação do material de preenchimento/reaterro (*backfill*) (XANTHAKOS, 1979).

O reaterro é feito a uma consistência de alto *slump* de concreto (100 – 150 mm), de preferência com mistura de areia, silte, argila e lama bentonítica. Para atingir essa consistência, o material deve ser “fluidificado” a partir da adição da lama ao solo, e assim permanece no local ao longo do tempo (EVANS, 1993). É importante manter o peso específico da lama presente na vala sempre menor que o peso específico da mistura de reaterro solo-bentonita a fim de garantir a gradativa expulsão da bentonita a partir da inserção do *backfill* no trecho.

Adicionalmente, deve ser feita a retirada de eventuais sedimentos granulares existentes nas trincheiras antes da execução do reaterro para evitar a existência de pontos com maior condutividade hidráulica do que a mistura aplicada (D'APPOLONIA, 1980). O reaterro deve ser executado no extremo oposto do trecho em escavação, depositando-se continuamente a mistura solo-bentonita do fundo até a superfície, formando uma rampa com inclinação de 6:1 para que posteriormente escoe progressivamente sem ocorrência de segregação e expulsando a lama existente no trecho (LEMOS, 2006).

O *slump* adequado para cada caso deve ser determinado em estudos de laboratório para avaliar a condutividade hidráulica e compatibilidade com a execução. Ressalta-se que é importante que as amostras de ensaio sejam sempre preparadas com o mesmo *slump* do campo ou os dados não serão representativos da situação real. A compatibilidade química com os contaminantes envolvidos tem extrema importância, pois pode provocar aumento de permeabilidade da mistura

(SMYTH *et al.*, 2001).

É interessante notar que embora no estudo de Batista e Leite (2010) a adição de bentonita ao solo ensaiado não tenha gerado redução da condutividade hidráulica (na verdade, houve leve aumento), trouxe significativo crescimento da capacidade de retenção de contaminantes, aspecto muito positivo para os projetos de geotecnia ambiental.

O solo presente no *backfill* pode ser proveniente do próprio trecho escavado ou de empréstimo. Embora a utilização de solo local represente grande economia e frequentemente resulte em uma lama mais grossa/densa e com mais materiais finos em suspensão – o que promove redução da condutividade hidráulica (D'APPOLONIA, 1980), ressalta-se que é importante controlar a distribuição granulométrica do solo utilizado para resultar em uma mistura mais uniforme. Diante da variabilidade natural que pode haver ao longo da escavação, o controle deve ser mais fácil a partir da utilização de empréstimo (EVANS, 1993). Devido às altas profundidades que podem ser necessárias a depender do caso, é importante avaliar também a capacidade de suporte das misturas de reaterro (BATISTA; LEITE, 2010).

Vale ressaltar que a eficiência desse tipo de intervenção depende de condições da subsuperfície independentes de previsão e material de preenchimento utilizado (LEMOS, 2006), então as especificações técnicas de projeto só podem estabelecer garantias e responsabilização sobre aquilo que é possível controlar, como graduação do solo utilizado e quantidade de bentonita na mistura.

Na execução construtiva, pode-se optar por fazer a mistura de reaterro ao longo da trincheira ou em área remota de mistura. O primeiro método tem a vantagem de ser mais barato, já que não necessita de equipamentos mais especializados, e desvantagem de requerer maior área disponível para fazer a mistura e dificuldade de adicionar finos à mistura retirada na escavação. Assim, com a utilização de área remota de mistura é possível garantir maior homogeneidade, uniformidade e controle à mistura (EVANS, 1993).

A principal preocupação executiva se relaciona com a possibilidade de aumento da condutividade hidráulica, como no caso de mistura solo-bentonita mal executada, que pode gerar bolsões de solo ou mesmo de lama bentonítica, resultando em zonas de condutividade hidráulica maiores que o desejado. Ciclos de congelamento-descongelamento ou molhagem-secagem, ou mesmo o ressecamento da mistura solo-bentonita também podem ser fatores de risco da contenção (EVANS, 1993). Um projeto adequado de sistema de cobertura das cortinas pode prevenir o congelamento da estrutura.

Quanto ao comportamento de longo-prazo, a incompatibilidade química entra como principal consideração, sendo necessário controlar os aumentos de condutividade hidráulica. Pode-se minimizar o efeito do ataque químico com a

utilização de solo bem-graduado com grande quantidade de finos, já que corresponde a um conjunto de grãos progressivamente menores relativamente inertes (EVANS, 1993). Vale salientar que os minerais argilosos possuem excesso de cargas elétricas em sua superfície e grande superfície específica, o que favorece fenômenos de interação elétrica e química.

2.1.2 Barreiras de cimento-bentonita

Também executada através de escavação, a principal diferença construtiva das trincheiras de solo-bentonita é que a lama utilizada na estabilização da escavação é comumente deixada para endurecer no local. Nesse caso, a lama contém bentonita, cimento e água, atingindo condutividade hidráulica na ordem de 1×10^{-5} e 1×10^{-6} cm/s, enquanto que as de solo-bentonita resultam em valores entre 1×10^{-7} e 1×10^{-8} cm/s (EVANS, 1993).

Como o solo escavado não é utilizado na mistura de reaterro, a destinação final desse material deve ser levada em consideração na análise das alternativas, já que envolve custos elevados de movimentação de terras e/ou bota-fora (EVANS, 1993). Em geral, esse método tem maior custo também devido à utilização de cimento (BATISTA; LEITE, 2010), entretanto, torna-se uma opção interessante quando não há na área solo adequado disponível para a mistura do *backfill* de solo-bentonita (PEARLMAN, 1999).

Esse tipo de barreira necessita de menos área de trabalho que a cortina de solo-bentonita, já que não realiza mistura com solo e o equipamento de mistura cimento-bentonita é bem compacto. O potencial para defeitos construtivos também é bem menor. A principal preocupação é a dosagem adequada de cimento, bentonita e água (EVANS, 1993). É recomendável quando a resistência é um requisito importante, já que o cimento proporciona aumento da capacidade de suporte com o tempo. Por outro lado, é uma barreira, em geral, mais permeável.

Millet e Perez (1981) apontam que o aumento de resistência possibilita execução de barreiras mais estreitas, geralmente variando entre 0,6 e 0,9 m para profundidades de até 30 m. No caso de escavação por painéis alternados ou para pequenas profundidades costuma-se utilizar a própria lama de cimento-bentonita para manter a estabilidade do talude, deixando-a endurecer no local. Profundidades maiores que 30 m talvez não possibilitem manter a mistura com cimento trabalhável durante todo o tempo necessário, situação em que será necessário utilizar lama bentonítica durante a escavação para posterior substituição por outra com cimento ao término, a qual deve ser mais densa para possibilitar a expulsão (JEFFERIS, 1981).

O cimento interfere nas propriedades químicas da bentonita reduzindo sua capacidade de inchamento e retenção de água. Embora a condutividade hidráulica

tenha pouca relação com a quantidade de cimento empregada, a mesma é função do tempo decorrido, já que o processo de hidratação do cimento proporciona redução da permeabilidade (LEMOS, 2006).

O contato entre o cimento e a lama bentonítica ocasiona floculação mútua, responsável pelo rápido enrijecimento da mistura. A agregação das partículas de argila provoca a progressiva quebra da estrutura em estado de gel da bentonita, retornando ao estado fluido após alguns minutos (JEFFERIS, 1981). A floculação que ocorre promove um *filter cake* mais poroso e permeável do que o da lama bentonítica apenas, permitindo maior escoamento por entre os poros do solo. Assim, além de criar barreiras mais permeáveis, há perda considerável de lama para o solo (pode ser necessário utilizar o dobro do volume teórico de material) (XANTHAKOS, 1979).

Para que as juntas frias de execução durante o preenchimento interrompido não se tornem pontos fracos do sistema (com maior condutividade hidráulica), é necessário que seja feita a cuidadosa limpeza de toda a superfície, garantindo aderência entre as camadas bombeadas (EVANS, 1993).

A mistura é preparada em misturador coloidal de alta velocidade, inicialmente com a mistura bentonita-água e posteriormente com adição do cimento para ser bombeada na vala (EVANS, 1993). Jefferis (1981) chama a atenção que para evitar a ocorrência do fenômeno chamado de “*bleeding*”, em que há segregação bastante considerável dos materiais, a lama bentonítica deve ser completamente hidratada antes da adição do cimento (por pelo menos quatro horas). Quanto maior a proporção de bentonita em relação ao cimento, menor será a segregação, já que a bentonita é a responsável por suportar as partículas do cimento. Adicionalmente, Li *et al.* (1989) afirmam que a segregação ocorre mais rapidamente a depender de quanto menor for o fator água-cimento da mistura.

Alterações de propriedades ao longo do tempo são mais difíceis de ocorrer devido à hidratação do cimento e progressivo ganho de resistência com o tempo. No entanto, a possibilidade de incompatibilidade química, tanto global quanto local, deve ser considerada. Usualmente utiliza-se bentonita sódica na mistura, pois a cálcica produz lama mais instável e forma película mais permeável, por ser menos expansiva quando hidratada. No entanto, é possível que haja gradativa troca catiônica do sódio (Na^+) da bentonita com as grandes quantidades de íons de cálcio (Ca^{2+}) liberados pelo cimento, transformando a bentonita sódica em cálcica ao longo do tempo, o que implica maior permeabilidade e instabilidade (BATISTA; LEITE, 2010).

2.1.3 Barreiras de solo-cimento-bentonita

O aumento do custo proveniente do acréscimo de cimento e maiores volumes

de movimentação de terra, atrelado à maior permeabilidade e instabilidade química das cortinas de cimento-bentonita têm sido os principais aspectos motivacionais da utilização das barreiras de solo-cimento-bentonita, de desenvolvimento mais recente. A incorporação de solo na mistura provoca redução dos custos e maior estabilidade química, atrelada à maior resistência propiciada pelo cimento. É uma opção interessante em casos onde é possível utilizar o solo escavado na composição da mistura de preenchimento, reduzindo o volume de bota-fora (PEARLMAN, 1999).

Dessa forma, as barreiras de solo-cimento-bentonita tentam combinar a baixa condutividade hidráulica das barreiras de solo-bentonita com a maior resistência das barreiras de cimento-bentonita. Seu método construtivo é semelhante às barreiras tradicionais de solo-bentonita, porém geralmente com menores profundidades (até 15 m) (RYAN; DAY, 2002).

Assim como nas barreiras de solo-bentonita, a adição de finos pode melhorar a eficiência da contenção hidráulica, enquanto o excesso pode exigir maiores quantidades de água para atingir a trabalhabilidade necessária, reduzindo a densidade da mistura e, conseqüentemente, aumentando sua permeabilidade (PAGANI, 2007).

A condutividade hidráulica do material de preenchimento utilizado neste tipo de cortina é resultado de complexas interações entre os componentes da mistura. O cimento, além de alterar as propriedades bentoníticas mencionadas anteriormente, demanda mais água à mistura para que seja possível executar seu lançamento na vala, reduzindo, assim, a densidade do material de preenchimento – e aumentando a permeabilidade. É possível ainda fazer uso de aditivos, especialmente os retardadores de pega, na tentativa de reduzir a condutividade hidráulica, porém além de dificultar o processo executivo, aumenta os custos (LEMOS, 2006).

A avaliação de cada método deve levar em consideração também outros aspectos essenciais como resistência e durabilidade do *backfill*. Stavridakis (2005) mostrou que para misturas de solo granular, cimento (4%) e bentonita, houve tendência à redução da resistência à compressão não confinada com o aumento percentual de bentonita, sendo a maior resistência obtida com 5% de bentonita, muito superior àquelas referentes às demais porcentagens estudadas (10, 15, 20, 25 e 30%).

A resistência das barreiras é função do fator água-cimento e do tempo (de cura) (PAGANI, 2007). Segundo Azambuja (2004), quanto menor for o fator água-cimento da mistura solo-cimento-bentonita, maior a resistência à compressão não confinada e resistência de pico (ao cisalhamento), e menor a condutividade hidráulica. É importante ressaltar, no entanto, que o acréscimo do cimento provoca aumento do custo da contenção quase em proporção direta com a resistência; e que seu excesso pode aumentar as chances de fissuração da barreira devido ao

aumento de rigidez frente aos carregamentos sofridos (PAGANI, 2007).

Batista e Leite (2010), estudando misturas de solo-bentonita e solo-cimento-bentonita, constataram que a adição de cimento, embora tenha aumentado significativamente a resistência, também trouxe grandes aumentos de condutividade hidráulica, mesmo para pequenas porcentagens de cimento. Diante do objetivo principal das cortinas de conter a contaminação, o aumento de permeabilidade ocasionado deve ser bem estudado em cada caso, já que pode vir a comprometer a funcionalidade da obra.

Adicionalmente, Pagani (2007) verificou a viabilidade de adicionar fibras de polipropileno em barreiras de solo-cimento-bentonita. A adição proporcionou aumento significativo na resistência não-confinada, pequena redução de deformação na aplicação de cargas isotrópicas e redução a fragilidade da mistura, sem, entretanto, causar alterações na condutividade hidráulica. A adição em misturas de solo-bentonita também se mostrou viável, sem alterar significativamente o comportamento hidráulico da mistura.

3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de cortinas de contenção são opções de remediação ambiental com custo relativamente baixo que conseguem impedir o alastramento da contaminação. É possível utilizar essa técnica em conjunto com meios de tratamento dos contaminantes a fim de obter uma remediação mais rápida da área.

A cortina de solo-bentonita apresenta a vantagem de ser mais competitiva e proporcionar menores coeficientes de condutividade hidráulica, enquanto garante menor capacidade de suporte, está mais sujeita a misturas heterogêneas e necessita de maiores áreas de trabalho. Por outro lado, embora a utilização de contenções de cimento-bentonita promova estruturas mais resistentes, o isolamento da área pode ficar comprometido a partir do aumento da condutividade hidráulica ao longo do tempo (devido à instabilidade química do sistema). Mais recentemente, tem crescido a utilização das barreiras de solo-cimento-bentonita, na tentativa de equilibrar a baixa condutividade hidráulica promovida pelas barreiras de solo-bentonita, com a maior resistência das de cimento-bentonita.

Vale salientar que é de extrema importância considerar a compatibilidade química da contenção com o meio e os contaminantes existentes, de forma que não comprometa a funcionalidade do bloqueio. Cada caso de remediação deve ser analisado detalhadamente para escolha do(s) método(s) que melhor atende(m) às necessidades.

REFERÊNCIAS

AZAMBUJA, R. M. B. **Comportamento mecânico e hidráulico de misturas de solo-cimento-bentonita para aplicação em barreiras verticais de contenção de contaminantes.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil): Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004. 99p.

BATISTA, P.; LEITE, A. do L. Misturas de um solo laterítico com cimento e bentonita para uso em cortinas verticais. **R. Esc. Minas.** Ouro Preto, v. 63, n. 2, p. 255-263, abr./jun. 2010.

CHERRY, J. A.; FEENSTRA, S.; MACKAY, D. M. Concepts for remediation of sites contaminated with DNAPLS. In: PONKOW, J. F.; CHERRY, J. A. (Eds.). **Dense chlorinated solvents and other DNAPLs in groundwater.** Ontario, Canada: Waterloo Press, 1996. p. 475-506.

D'APPOLONIA, D. J. Soil-bentonite slurry trench cutoff. **Journal of the Geotechnical Engineering Division.** New York, v. 107, n. 4, p. 393-409, 1980.

DEVLIN, J. F.; PARKER, B. L. Optimun hydraulic conductivity to limit contaminant flux through cutoff walls. **Ground Water.** v. 34, n. 4, p. 719-726, 1996.

EVANS, J. C. Vertical cutoff walls. In: DANIEL, D. E. (Ed.). **Geotechnical practice for waste disposal.** London, England: Chapman & Hall, 1993. p. 430-454.

JEFFERIS, S.A. Bentonite-cement slurries for hydraulic cut-offs. **International Conference Soil Mechanics and Foundation Engineering.** Stockholm, v. 1, p. 435-440, Jun/1981.

FILZ, G. M.; HENRY, L. B.; DAVIDSON, R. R. Formation and properties of bentonita filter cakes. In: REDDI, L. N.; BONALA, M. S. **Filtration and drainage in geotechnical/geoenvironmental engineering** (Geotech. Spec. Publ. n. 78). New York: ASCE, 1998. p. 69-88.

LE MOS, R. G. **Estudo do comportamento hidráulico, mecânico e químico de barreiras hidráulicas verticais, compostas por solo residual, bentonita e cimento sob ação de substâncias agressivas.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil): Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. 310p.

LI, J. C.; HWANG, C. L.; YAO, H. L.; LEE, H. J.; LEE, R. J. A study of slag cement-bentonite slurry, In: **International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, 12^a edição (Rio de Janeiro). Rotterdam: A. A. Balkema, v. 3, p. 1499-1502, 1989.

MACKAY, D. M.; CHERRY, J. A. Groundwater contamination: limits of pump-and-treat remediation. **Environmental Science & Technology**, v. 23, n. 6, p. 630-636, 1989.

MILLET, R. A.; PEREZ, J. Current USA practice: slurry wall specification. **Journal of the Geotechnical Engineering Division.** ASCE, v. 107, n. 8, p. 1041-1052, 1981.

MITCHELL, J. K.; VAN COURT, W. A. N. Barrier design and installation: walls and covers. In: WARD, C. H.; CHERRY, J. A.; SCALF, M. R. (Eds.). **Subsurface restoration.** Michigan, EUA: Ann Arbor Press, 1997. p. 175-197.

PAGANI, B. R. **Estudo de misturas solo-cimento-bentonita-fibra para uso em barreiras verticais de contenção de contaminantes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil): Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. 116p.

PEARLMAN, L. **Subsurface containment and monitoring systems: barriers and beyond** (overview report). Washington: National Network of Environmental Management Studies Fellow, 1999. 61p.

PETERSON, M. E.; LANDIS, R. C. Artificially emplaced floors and bottom barriers. In: RUMER, R. R.; MITCHELL, J. K. (Eds.). **Assessment of barrier containment technologies: a comprehensive treatment for environmental remediation applications**. US Department of Energy/US Environmental Protection Agency: Dupont Company, 1995. p. 185-209.

RYAN, C. R.; DAY, S. R. Soil-cement-bentonite slurry walls. In: O'NEILL, M. W.; TOWNSEND, F. C. **Deep Foundations 2002: An international perspective on theory, design, construction and performance** (Geotechnical special publication n. 16). New York: ASCE, 2002. p. 713-727.

SMYTH, D. J. A.; GILHAM, R. W.; BLOWES, D. W.; CHERRY, J. A. In situ containment and treatment of contaminated soil and groundwater. In: ROWE, R. K. (Ed.). **Geotechnical and geoenvironmental engineering handbook**. Ontario, Canada: Kluwer Academic Publishers, 2001. p. 921-945.

STAVRIDAKIS, E. Presentation and assessment of clay influence on engineering parameters of cement-treated clayed mixtures. **EJGE**, v. 10, bundle A, 2005.

XANTHAKOS, P. P. **Slurry Walls**. New York: McGraw Hill, 1979. 622p.

ESTUDO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO EM ALTAS TEMPERATURAS UTILIZANDO CINZA DA QUEIMA DE MADEIRA

Data de aceite: 16/11/2020

Data de submissão: 07/09/2020

Marlon Hable

Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Contestado – UnC
Mafra, Santa Catarina, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-6865-0590>

Olaf Graupmann

Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Contestado – UnC
Mafra, Santa Catarina, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-2227-1437>

RESUMO: Este trabalho teve por objetivo estudar a resistência a compressão de corpos de prova com porcentagens da areia substituídos por cinza de madeira, em condições normais e em períodos de exposição a elevadas temperaturas. Pois atualmente a quantidade de resíduos depositados na natureza é elevada, e esses resíduos podem ser utilizados como aditivos para o concreto, reduzindo o descarte desses materiais na natureza, quando adicionados ao concreto podem diminuir a necessidade de areia sem afetar as propriedades mecânicas, também reduzir a demanda da extração de areia das jazidas naturais amenizando o impacto ambiental. Realizamos pesquisas bibliográficas relacionadas ao tema para criar um procedimento para ensaiar as amostras. Elaborados traços com substituição de 0, 2, 5, 8 e 10% da areia do concreto por cinza, submetidos a temperatura

ambiente e de 500, 821, 927 e 1029°C em tempos de 30 min, 1hr e 2hr. Posteriormente as amostras passaram pelo ensaio de compressão apontando que em condições ambiente de temperatura qualquer porcentagem de substituição de 2 a 10% da areia por cinza se torna vantajosa. Para altas temperaturas os traços que tiveram melhor e parecido desempenho na resistência a compressão foram os de 0 e 5% de substituição da areia por cinza.

PALAVRAS-CHAVE: Cinza de Madeira. Fogo. Resistência à compressão. Concreto.

STUDY OF THE RESISTANCE OF CONCRETE AT HIGH TEMPERATURES USING ASH FROM WOOD BURNING

ABSTRACT: The objective of this work was to study the compressive strength of test specimens with sand percentages substituted by wood ash under normal conditions and in periods of exposure to high temperatures. As currently the amount of waste deposited in nature is high, and these residues can be used as additives for concrete, reducing the disposal of these materials in nature, when added to the concrete can reduce the need for sand without affecting the mechanical properties, also reduce the demand for the extraction of sand from the natural deposits, thus reducing the environmental impact. We performed bibliographic research related to the subject to create a procedure to test the samples. Traces with replacement of 0, 2, 5, 8 and 10% of concrete sand by ash, submitted to ambient temperature and 500, 821, 927 and 1029 ° C in times of 30 min, 1hr and 2hr. Subsequently the samples passed the compression test indicating

that under ambient temperature conditions any substitution percentage of 2 to 10% of the sand per ash becomes advantageous. For high temperatures the traces that had better and similar performance in the compressive strength were those of 0 and 5% of substitution of sand by ash.

KEYWORDS: Wood Ash. Fire. Compressive strength. Concrete.

1 | INTRODUÇÃO

Para ASHLEY [1], a resistência ao fogo é definida como a capacidade do membro estrutural de suportar a exposição a um incêndio sem perda de função de carga ou a capacidade de agir como uma barreira para espalhar um incêndio. Também podemos caracterizar a resistência ao fogo como a resistência à compressão do concreto depois de um período de exposição a altas temperaturas, a NBR 15200 [5] trata essas definições como função corta-fogo onde a estrutura tem a capacidade de isolante térmico e de estanqueidade de passagem de chamas, e a função de suporte onde ela se mantém estável evitando o colapso parcial ou global da estrutura.

Segundo UMASABOR e OKOVIDO [33], podemos dividir a resistência ao fogo em duas zonas. A zona normal com até uma hora de exposição ao fogo e a zona de segurança com até duas horas de exposição ao fogo. Desta forma as obras precisam ser pensadas e projetadas de maneira que em uma ocorrência de incêndio a estrutura se mantenha segura tempo suficiente para saída de todos os usuários. Para a NBR 15200 [5] o objetivo da verificação ao fogo é que a estrutura deve limitar o risco a vida humana, o risco a vizinhança, da própria sociedade e o risco da propriedade exposta ao fogo. Entretanto, a compreensão do real comportamento de estruturas expostas ao fogo, bem como testes experimentais estão sendo aprimoradas com o passar dos anos, a fim de aumentar a segurança aos usuários.

GEORGALI e TSAKIRIDIS [20] e HANDOO et al. [22], relatam que altas temperaturas são muito prejudiciais ao concreto afetando sua densidade, elasticidade, aparência superficial e a resistência à compressão.

DEMIRBOĞA et al. [18], WANG [34] e AYDIN [14] relatam que a melhor maneira de melhorar a resistência ao fogo do concreto é fazer a substituição do cimento por materiais pozolânicos dentre estes a escória granulada de alto forno, cinza volante, cinza de casca de arroz, sílica ativa são os aditivos minerais comumente mais usados no concreto.

YÜZER et al. [36], realizou um estudo das propriedades do concreto quando exposto a temperaturas de 100, 200, 300, 600, 900 e 1200°C, em concretos com e sem sílica ativa. O autor concluiu que até 300°C a resistência a compressão das amostras praticamente não tiveram alterações, de 300°C 600°C iniciaram-se as diminuições da resistência a compressão, a 900°C as perdas de resistência já estavam na ordem de 55% para concretos normais, para concretos com sílica ativa

as perdas de resistência foram evidentes a partir de 600°C, porém em temperaturas de 900°C a perda de resistência foi de 75%, e segundo seus estudos não houveram mudanças significativas entre 900 e 1200°C.

LI et al. [25], fez estudos sobre as propriedades dos concretos de diferentes resistências características expostos a altas temperaturas. As amostras foram expostas a temperaturas de 200, 400, 800 e 1000°C e resfriados a temperatura ambiente. Ele concluiu que a resistência a compressão mantida das amostras com resistência característica de 70 Mpa, foram de 82,3%, 63,2%, 58,1% e 27,3% para as temperaturas de 200, 400, 800 e 1000°C respectivamente. Também concluiu que, quanto maior a resistência característica do concreto maior a perda de resistência em altas temperaturas.

A NBR 5628 [6] prevê uma curva padrão de temperatura-tempo que especifica a qual temperatura se encontra o incêndio devido ao tempo em que ele está ocorrendo, já a NBR 15200 [5], apresenta um fator de redução, tanto de resistência como também módulo de elasticidade para o concreto conforme a temperatura em que a estrutura foi exposta.

Nos estudos realizados por LI et al. [25] na microestrutura do concreto danificada pelo fogo, foram feitas observações que mostraram que o processo de fissuração da superfície do concreto por desidratação iniciou-se a partir de 100°C e terminou em 540°C onde toda a água livre foi removida. O craqueamento e amolecimento da superfície do concreto ocorreu entre 450 e 500°C devido a decomposição do $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Fissuras profundas no concreto indicaram temperaturas superiores a 700°C, a cor cinza apontou temperaturas maiores que 800°C.

Como não é viável se estudar estruturas de concreto em alta temperatura pois existe uma demanda de equipamentos específicos, LUCCIONI et al. [26], SANAD et al. [29], e XIAO e KÖNIG [35], elaboraram modelos numéricos e computacionais para análise de estruturas que sofreram algum evento de exposição a alta temperatura, podendo apontar o seu grau do dano. esses métodos foram comparados junto a ensaios em amostras reais e garantidos a sua eficácia.

No entanto, levando em consideração a finalidade da estrutura a mesma deve atender certas exigências de resistência ao fogo, e os materiais devem ser empregados a fim de suprir tal necessidade. Para isso muitas vezes existe a necessidade de melhorar algumas das propriedades dos concretos, e alguns elementos minerais podem fazer isso.

O aumento da população, a expansão da urbanização, o aumento do modo de vida, devido às inovações tecnológicas exigiram uma enorme quantidade de recursos naturais na indústria da construção, o que resultou na escassez de recursos. Essa escassez motiva os pesquisadores a utilizarem os resíduos sólidos gerados pelas atividades industriais, de mineração, domésticas e agrícolas, retrata

PRUSTY et al. [28].

BOUZOUBAA et al. [15], usaram misturas minerais, como sílica ativa, cinza volante e escória de alto forno, para verificar os ganhos nas propriedades do concreto, GRAUMPMANN et al. [21] relata que substituições de 5% do agregado miúdo do concreto por cinza de aterro sanitário confere ao concreto maior resistência a compressão em idades iniciais.

A adição de materiais pozolânicos ao cimento para melhorar as propriedades de argamassa e concreto tornou-se recentemente uma questão emergente nas indústrias de cimento e construção afirma TULASHIE et al. [32].

Muitos materiais pozolânicos são obtidos dos resíduos industriais e agrícolas, o que acaba tornando muito viável a sua utilização.

Pozolânas de resíduos agrícolas estão recebendo mais atenção agora, já que seus usos geralmente melhoram as propriedades do cimento misturado e reduzem os problemas ambientais, segundo CHINDAPRASIRT et al. [17].

A utilização desses materiais na construção civil acaba se tornando uma saída para ajudar o meio ambiente, pois o rejeito que não é mais útil, deixa de ser depositado diretamente na natureza, evitando contaminações no solo, água, ar e da população, e passa a melhorar as propriedades das estruturas de concreto em que são aplicados.

Segundo IGARASHI et al. [24], a explicação para a melhora das propriedades dos concretos com adições pozolânicas, se resume na reação do cimento com a pozolana, assim são formados mais hidratos de silicato de cálcio o que confere ao concreto maior durabilidade e resistência.

Está bem documentado que a capacidade de fortalecimento de uma mistura mineral não depende apenas da reatividade pozolânica, mas também do efeito de preenchimento, segundo BUI et al. [16].

A escória granulada de alto forno, um subproduto industrial da indústria siderúrgica, serve como um material cimentício suplementar ao formar um gel adicional de hidrato de silicato de cálcio (C-S-H) de baixa densidade, assim, aumenta a densidade da matriz através de um preenchimento de poros segundo WANG [34].

Partículas mais finas tendem a se concentrar perto da interface agregado-matriz, levando à redução da porosidade e aumentando a capacidade de ligação interna comenta BUI et al. [16].

Mas algumas pesquisas apontam que devemos ter cuidados quanto ao uso dos materiais pozolânicos em concretos para elevadas temperaturas, pois o aumento da densidade da mistura deixa ela mais sensível a variações de temperatura segundo HERTZ [23].

Levando em consideração as referências estudadas, este estudo pretende analisar a resistência a compressão do concreto antes e depois da exposição a

altas temperaturas de concretos padrões e com a substituição de porcentagens do agregado miúdo (areia) por cinza proveniente da queima da madeira, resíduos de uma caldeira que fornece vapor para uma empresa de papelão ondulado localizada na cidade de Rio Negro, Paraná.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Pela revisão bibliográfica da literatura sobre o assunto seguindo para a caracterização dos materiais, elaboramos um apanhado dos conceitos para criar um procedimento de ensaio em laboratório, para no fim fazer uma análise dos resultados.

2.1 Materiais utilizados

Para a pesquisa foram empregados os seguintes materiais: cimento CP II-Z, areia, brita e cinza resultante da queima de pinus e eucalipto. A substituição da areia por cinza se deu em diferentes teores dentre eles, 0%, 2%, 5%, 8%, 10%.

2.1.1 Areia

A areia utilizada na pesquisa tem origem quartzosa, seu módulo de finura é de 2,52, com diâmetro máximo do agregado de 2,36 mm a massa específica é de 2,6 g/cm³. Os resultados do módulo de finura e diâmetro máximo do agregado seguiram as determinações da NBR NM 248 [2], a massa específica teve origem do ensaio de Chapman prescrito na NBR 9776 [12]. Para classificação da areia utilizada na pesquisa quanto a zona de graduação, usamos como padrão as orientações da NBR 7217 [11] e NBR 7211 [10], no ensaio a amostra foi devidamente seca em uma estufa a 105° C por um período de 24hs. A próxima etapa foi a pesagem da amostra, seguido do peneiramento mecânico com a sequência de peneiras prevista na norma, dado o peneiramento da areia, foram pesadas as quantidades retidas em cada peneira e verificado a porcentagem que ficou retida em cada uma. Logo os valores foram comparados com a tabela da NBR 7211 [10] e caracterizado a areia da pesquisa na zona 3 (areia média). A curva granulométrica da areia está representada na Figura 1.

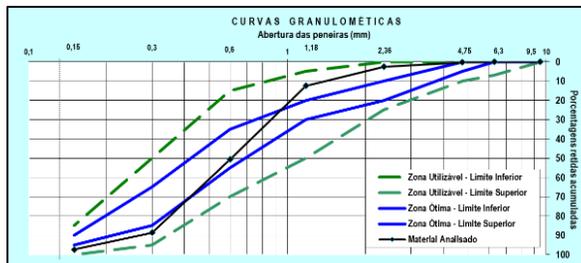


Figura 1: Curva granulométrica do agregado miúdo utilizada na pesquisa.

2.1.2 Brita

A brita, sua origem é granítica, seu módulo de finura é de 6,90, o diâmetro máximo do agregado é de 12,5mm obtidos pela NBR NM 248 [2], tem por massa específica e absorção os valores de 2,88 g/cm³ e 0,21% respectivamente obtidos pela NBR NM 53 [13], a caracterização da brita na zona de graduação, teve por base os padrões da NBR 7211 [10] e NBR 7217 [11] que da mesma forma foram secas, pesadas, peneiradas e posteriormente pesado e transformado em porcentagem o quanto ficou retido em cada peneira, a próxima etapa contemplou a caracterização junto a NBR 7211 [10] que atendeu os valores da Graduação 1. A representação da curva granulométrica é apresentada na Figura 2.

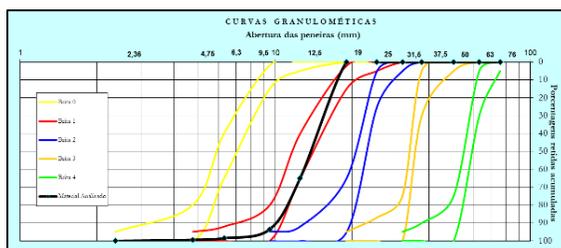


Figura 2: Curva granulométrica do agregado graúdo utilizado na pesquisa.

2.1.3 Cimento

Para a presente pesquisa foi utilizado o Cimento Portland Composto CP II-Z classe 32, que segundo a NBR 11578 [4], “é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem do clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais pozolânicos, escórias granuladas de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores especificados”.

Este cimento segundo ABCP apud POUHEY [27], tem teores de pozolana

que variam de 6 a 14% da sua massa, a classe 32 significa que a sua resistência característica aos 28 dias é de 32 Mpa e pode ser aplicado a vários tipos de obras.

2.1.4 Cinza

O material para substituição da areia, foi a cinza proveniente da queima de madeira combustível para uma caldeira de vapor de uma empresa de papelão ondulado. As madeiras queimadas no processo da empresa, são tanto de pinus como de eucalipto, não tendo proporções exatas, pois a empresa não faz o controle do tipo do material que é queimado.

Quando coletada a cinza, notamos uma granulometria bem heterogênea com partículas muito grandes e também bastante impurezas, então para utilizar esse material na pesquisa como substituição da areia, houve a necessidade de peneirar esse material para a retirada das partículas grandes e das impurezas, foi utilizado uma peneira manual com abertura da malha de 2,79mm, então foi obtido o material para ser usado na pesquisa.

Uma amostra foi separada para ser classificar quanto a sua granulometria, os valores retidos nas peneiras estão apresentados na Tabela 1.

Abertura mm	Peso Retido (g)	%	Σ %
2,36	42,80	8,56%	8,56%
1,18	72,36	14,47%	23,03%
0,600	226,42	45,28%	68,32%
0,300	118,91	23,78%	92,10%
0,150	11,87	2,37%	94,47%
Fundo	27,64	5,55%	100,00%
	500,00	100,00%	

Tabela 1: Valores das massas e porcentagem amostra de cinza retido em cada peneira.

O resultado do módulo de finura da cinza estabeleceu o valor de 2,86, com diâmetro máximo do agregado de 2,36 mm seguindo o ensaio da NBR NM 248 [2], o resultado da massa específica foi de 2,3 g/cm³ obtido pelo ensaio de Picnômetro descrito no DNER-ME 084 [19]. Para obter a zona de graduação da cinza comparamos os resultados da Tabela 1, com a NBR 7211 [10], apenas com a retirada dos materiais de grande granulometria o restante das cinzas atendeu os valores da zona 3, granulometria média, assim permitindo a substituição das porcentagens do agregado miúdo por cinza por serem classificados na zona 3 (média). A curva granulométrica da cinza está representada na Figura 3.

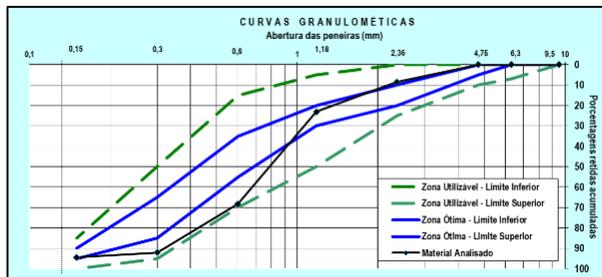


Figura 3: Curva granulométrica da cinza que substituiu o agregado miúdo da pesquisa.

2.2 Traço do concreto

Para a definição do traço foram feitas verificações junto a norma NBR 6118 [9] que impõem como resistência mínima a compressão do concreto considerando uma classe de agressividade CAA III (Forte) é de C30 (30 Mpa), e para chegar a resistência estabelecida foi utilizado o traço de concreto apresentado pela tabela SINAPI [31] do ano de 2016, este traço resulta na resistência característica necessária de 30 Mpa na compressão, as proporções para o mesmo se dão na ordem de 1 : 2,1 : 2,5 (Cimento : Areia média : Brita 1) com o preparo mecânico em betoneira.

Na moldagem do traço padrão, o qual não é contemplado com a adição de cinza foi utilizado um fator a/c (água/cimento) de 0,55 para classe de agressividade CAA III que é previsto na NBR 6118 [9], fator a/c que foi mantido para a moldagem de todos os corpos de prova.

A umidade dos agregados o qual poderia a influenciar na alteração do fator a/c foi desconsiderada, pois todos os agregados utilizados na pesquisa passaram por um processo de secagem, os mesmos eram submetidos a um período de 24 horas em um forno a 105°C de temperatura retirando toda a umidade dos mesmos, garantindo a moldagem uniforme de todas as amostras.

2.3 Método de dosagem dos concretos

As variadas misturas de concreto foram dosadas em uma betoneira de eixo inclinado de capacidade para mistura de 150 litros. O tempo de mistura de cada amostra na betoneira era de 5 minutos.

A sequência de mistura dos agregados na betoneira foi a seguinte: brita, 70% da água, cinza (quando utilizada), cimento, areia, e o restante da água.

Decorridos 5 minutos misturando na betoneira era realizado o ensaio de troco de cone (*slump test*) seguindo as orientações da NBR NM 67 [3] a fim de verificar a consistência da amostra e verificar se seria necessário algum ajuste no traço. A

amostra padrão apresentou um abatimento no *slump* de 70mm então utilizamos este valor como referência e estipulamos uma tolerância de ± 10 mm.

2.4 Moldagem dos corpos de prova

Os diferentes traços de concreto produzidos foram moldados em corpos de prova cilíndricos de dimensões 100 mm de diâmetro por 200 mm de altura, e foram conduzidos segundo a NBR 5738 [7], a primeira etapa consistia na preparação nos moldes, que contemplava a limpeza e a aplicação de desmoldante para facilitar desforma dos corpos de prova, assim se iniciava a moldagem realizando o preenchido da metade do molde com concreto, então se adensava com 12 golpes esta camada sendo eles 1 golpe por segundo, então era disposto o concreto da camada restante ultrapassando brevemente a superfície do molde e assim era realizado o último adensamento de 12 golpes, com a colher de pedreiro se executava uma leve regularização da superfície do molde.

2.5 Cura dos corpos de prova

Decorridas 24 horas da moldagem dos corpos de prova o próximo passo era efetuar a desmoldagem desmontando os moldes e retirando os corpos de prova. Os corpos de prova eram submetidos a cura úmida que implica na imersão em água como sugere a NBR 5738 [7], porém a imersão foi somente em água sem misturas, o intuito era reproduzir o mais próximo possível o ambiente do canteiro de obras.

As amostras de referência de cada traço, as que não foram expostas a temperatura tiveram a sua cura em 7, 14 e 28 dias submersas em água, para cada período e traço se tinham 3 corpos de prova que posteriormente foram rompidos, a resistência adotada foi a resultante da média dos 3 corpos de prova de cada período de cada traço.

Já as amostras que tiveram a sua exposição a temperatura sua cura se deu de forma diferente, seguindo o seguinte procedimento, após passadas as 24 horas da moldagem do corpo de prova, era feita a desmoldagem e a alocação dos corpos de prova no tanque submersos em água, porém o tempo de submersão se estendia por 15 dias, após esse tempo o corpo de prova era retirado do tanque e o restante da cura era feito nas condições ambiente pelos seguintes motivos, para retratar o mais próximo possível o ambiente do canteiro de obras onde o concreto não passa por toda sua idade de cura submerso em água e também para garantir que o corpo de prova portasse o mínimo de umidade possível, pois ao ser elevada a temperatura a umidade presente no interior do CP (Corpo de Prova) tende a fazer pressão interna podendo levar a ruína do CP.

2.6 Preparação para queima na mufla

Antes das amostras serem levadas à mufla, elas passaram pelo processo de

retificação das faces de contato segundo NBR 5738 [7], pois como já era esperado a acentuada perda de resistência, poderia haver o risco de as amostras romperem se fossem submetidas a retifica após a exposição a elevadas temperaturas.

Então as amostras foram levadas a mufla e posicionadas conforme a Figura 4, com cada traço posicionado em linhas, também foram instaladas placas de cerâmica Figura 5 para evitar o contato muito próximo com as resistências laterais da mufla, o que poderia gerar resultados divergentes entre as amostras.



Figura 4: Representação da disposição dos traços.



Figura 5: Placas de cerâmicas instaladas nas lateral

2.7 Mufla

Para a aplicação das altas temperaturas nos corpos de prova foi utilizado uma mufla elétrica da marca jung com dimensões da área de aquecimento 800x800x800 (altura x largura x profundidade) com capacidade máxima de aquecimento de 1100° C, neste foram elaborados programas para secagem dos corpos de prova e posteriormente a queima deles.

2.7.1 Queima dos corpos de prova

Antes da queima por haver o risco de explosão do concreto todas as amostras foram secadas por um período de 24h a uma temperatura de 105° C, pois segundo a redução da umidade a teores menores de 3% resultaram numa diminuição da explosão das amostras HERTZ [23]. Decorrido o tempo de secagem, a mufla iniciava automaticamente a rampa de aquecimento para as temperaturas de simulação do fogo, aquecendo cerca de 5° C por minuto, ao chegar às temperaturas de 521, 821, 927 e 1029° C, as amostras ficavam o período de 30 min, 1h ou 2h então o forno era desligado automaticamente e deixado esfriar até ficar a temperatura ambiente.

2.8 Rompimento dos corpos de prova

Para o rompimento dos corpos de prova foi utilizada uma máquina universal de ensaios e como especificado na NBR 5739 [8] o ensaio transcorreu 24hs após o período de queima. A unidade de medida dos resultados obtidos na prensa eram em Ton/Força que posteriormente foram transformados para Mpa que é a unidade mais usual para este tipo de resultado.

3 | RESULTADOS

Concluídos os ensaios e anotados os resultados, pode ser feito uma análise local com cada faixa de temperatura e posteriormente uma análise global, também foi possível comparar os resultados obtidos com o que as normas vigentes preveem.

3.1 Amostras Padrão (Sem exposição ao Fogo)

Os resultados obtidos nas amostras padrão estão apresentados na Figura 6 na análise dos resultados podemos comprovar que todas as amostras com adições se sobressaíram em relação ao traço sem substituição.

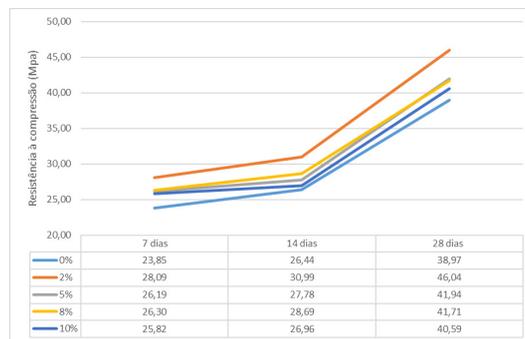


Figura 6: Resistência à compressão nas diferentes idades de cura (Sem exposição a elevada temperatura).

BOUZOUBAA et al. [15] comenta sobre a adição de cinza para obter ganhos nas propriedades do concreto, o ganho na resistência a compressão está envolvido com as reações pozolânicas, que aumentam a capacidade ligante da amostra e também na densidade, onde a adição de cinza preenche melhor os vazios do concreto assim melhorando a homogeneidade e consequentemente a resistência.

3.2 Faixa de temperatura de 521°C

Segundo a NBR 5628 [6] um fogo de 5 min de duração já apresenta temperaturas superiores a 500° C, logo esta foi uma das temperaturas adotadas para analisar o dano na resistência do concreto, os resultados são expressados no Figura 7.

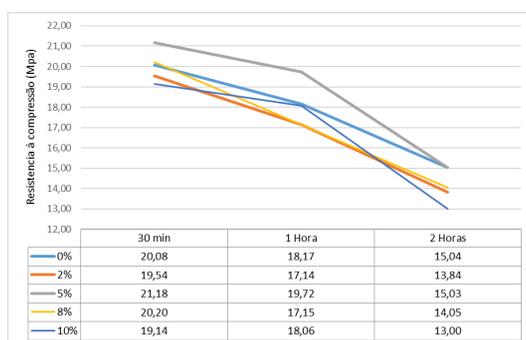


Figura 7: Resistência/Tempo faixa de temperatura de 521°C.

Como podemos observar o primeiro impacto na perda de resistência do concreto é muito elevado, mas temos que levar em consideração que a diferença entre a temperatura ambiente e a temperatura de fogo é grande também justificando a queda brusca de resistência, mas em comparação das amostras podemos verificar que a amostra de substituição de 5% foi a que teve melhores resultados os quais foram muito parecidos com a amostra 0%, já as amostras 2%, 8% e 10% apresentaram uma resistência retida menor, podendo ser justificado o estudo de LI et al. [25] que afirma, quanto maior a resistência característica do concreto maior a sua perda devida a sua maior pressão interna.

3.3 Faixa de temperatura de 821°C

Na amostras de 821° C como mostra a Figura 8, não ocorreram grandes perdas quando a temperatura foi mantida constante e o tempo de exposição prolongado, já em relação ao desempenho das amostras as que se sobressaíram foram as amostras de 0% e 5% tendo desempenho muito parecido, com exceção do tempo de 30 min, pois elas apresentam uma resistência um pouco abaixo das demais

amostras porém quanto maior o tempo de exposição mais elas retêm resistência em relação as demais amostras.

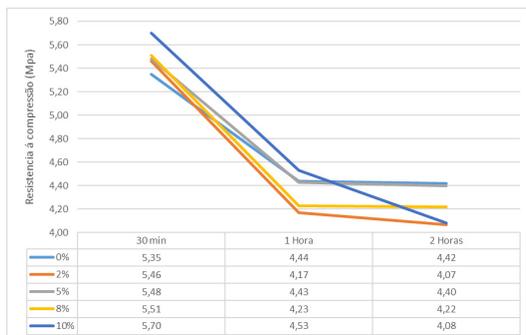


Figura 8: Resistência/Tempo faixa de temperatura de 821°C.

Verificando os resultados das amostras e em relação a demais trabalhos semelhantes, a resistência retida das amostras se apresenta menor, explicações para os resultados abaixo pode ser traduzido nos materiais e os métodos de ensaio não tenham sido feito de maneira igual, principalmente em relação aos agregados graúdos pois os agregados utilizados na pesquisa são de origem granítica e este material tem uma dilatação maior a temperatura, então os corpos de prova apresentam fissuras em uma temperatura menor que os demais agregados.

3.4 Faixa de temperatura de 927°C

Em temperaturas de 927°C pode notar o que foi comentado na pesquisa YÜZER et al. [36], que aponta que o concreto já não apresenta perdas significativas de resistência, pois já perdeu a maioria de suas propriedades os resultados da resistência são mostrados na Figura 9.

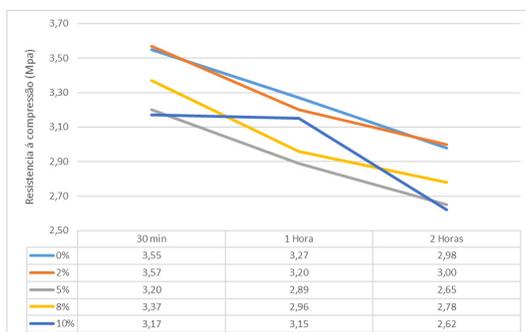


Figura 9: Resistência/Tempo faixa de temperatura de 927°C.

Podemos notar também pouca perda na resistência retida dos corpos de prova quando a temperatura é mantida e o tempo de exposição prolongado. Falando dos desempenhos entre as amostras as que se sobressaíram foram as de 2% e 0% com desempenho muito parecido ao fim das 2 horas de exposição ao fogo, seguidos das amostras de 8, 5 e 10% respectivamente, porém ser uma diferença gritante na resistência.

3.5 Faixa de temperatura de 1029°C

Nas temperaturas de 1029°C ficou ainda mais evidente a comprovação do estudo de YÜZER et al. [36], nesta pesquisa obtivemos as mesmas condições de resultados onde não houveram diferenças significativas entre 927 e 1029°C e também quando a temperatura foi mantida e o tempo de exposição elevado os resultados estão apresentados na Figura 10.

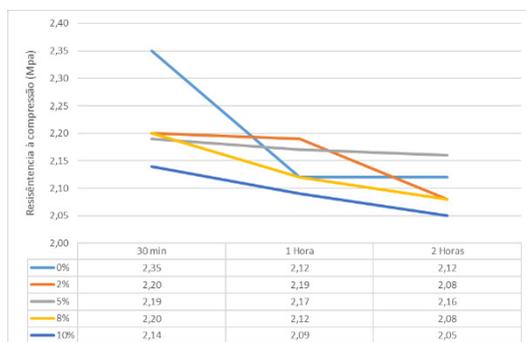


Figura 10: Resistência/Tempo faixa de temperatura de 1029°C.

Podemos ver a mínima variação de resistência entre as amostras aponta a ausência quase que total da capacidade resistente das amostras, e pode ser associado as fissuras do concreto e também dos agregados e das perdas de capacidade ligante do concreto devida a elevada temperatura, as amostras que se destacaram nessa exposição de temperatura foram as de 0% e 5% acumulando 2,12 e 2,16 Mpa respectivamente, seguido das amostras de 2 e 8% com valor de 2,08 Mpa e pôr fim a amostra de 10% com 2,05 Mpa com muito pouca diferença entre a amostra que reteve maior resistência.

Para fazer uma análise dos resultados de resistência das amostras a NBR 15200 [5] prevê um fator de redução para cada temperatura que o concreto foi exposto então foi elaborado uma tabela junto de um gráfico para analisar os resultados obtidos na pesquisa, como para algumas temperaturas não havia valores na tabela foi feito a interpolação para obter os valores necessários, como a NBR

5628 [6] associa um tempo a cada temperatura de incêndio pegamos esse valor correspondente e o dividimos pela resistência do traço aos 28 dias, assim obtivemos o quanto de resistência que cada amostra reteve a determinada temperatura, os valores estão expressados na Tabela 2.

Temperatura do Concreto °C	fc,θ/fck (Norma 15200/2004)	0%	2%	5%	8%	10%
521	0,5685	0,5151	0,4244	0,5050	0,4843	0,4715
821	0,1353	0,1372	0,1186	0,1307	0,1321	0,1404
927	0,0692	0,0839	0,0695	0,0689	0,0710	0,0776
1029	0,0313	0,0544	0,0457	0,0515	0,0499	0,0505

Tabela 2: Resistência retida conforme temperatura

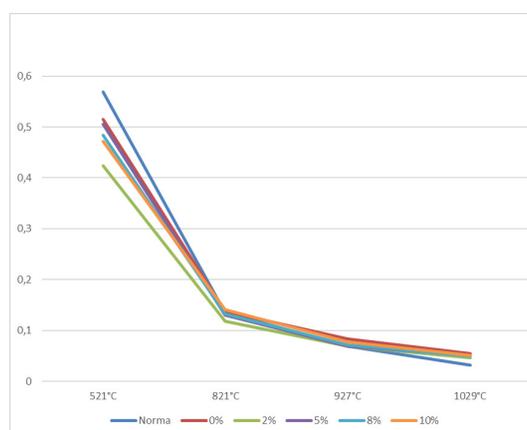


Figura 11: Fator de redução conforme temperatura atingida.

Analisando os resultados da Tabela 2 e visualizando na Figura 11 podemos notar que nas temperaturas iniciais as amostras de concreto ultrapassam o fator de redução especificado em norma, com exceção da amostra 0% que já retêm mais resistência que o previsto a partir de 821°C, as demais amostras reterão maior resistência do que o previsto a partir dos 927°C. Nos estudos elaborados por SAVVA et al. [30] são retratados uma perda maior de resistência dos concretos com substituições pozolânicas e agregados siliciosos na faixa de temperatura de 300 a 600°C, comenta também que nesta faixa de temperatura ocorre a decomposição do $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e ao chegar a temperatura de 600°C o concreto já se apresenta totalmente desidratado.

4 | CONCLUSÕES

Com os resultados da pesquisa podem ser feitas as seguintes considerações finais, a cinza utilizada na pesquisa para substituição do agregado miúdo tem uma boa capacidade pozolânica, pois formou uma maior quantidade de hidrato de silicato de cálcio (CSH) o que conferiu ao concreto maior resistência a compressão como pode ser observado nas amostras que não foram expostas a elevadas temperaturas.

O traço de substituição de 2% da areia por cinza, aos 28 dias de cura e sem exposição a alta temperatura, apresentou uma resistência a compressão de quase 120% em relação ao traço sem substituição.

As amostras com substituição de 5% da areia por cinza e expostas a alta temperatura, apresentaram um desempenho de resistência a compressão muito parecido com as amostras sem substituição por cinza, podendo ser aplicado na construção civil.

Apesar da adição da cinza no concreto melhorar as suas propriedades mecânicas, as amostras sofreram maiores perdas dessas propriedades quando expostas a elevadas temperaturas como pode ser observado nas Figuras 7, 8, 9 e 10, condizendo com os resultados encontrados pelo autor LI et al. [25].

Todas as amostras em temperaturas iniciais tiveram perda de resistência maior do que previsto em norma, o que se reverteu em temperaturas a partir de 927°C onde a resistência retida ficou sendo maior que a prevista como apresentado na Figura 11.

Para concretos sem exposição a altas temperaturas, a substituição da areia em teores de 2 a 10% por cinza, melhoraram a qualidade do concreto, bem como suas propriedades mecânicas, evidente na Figura 6.

A utilização da cinza no concreto se torna viável, pois as propriedades mecânicas do concreto podem ser mantidas quanto expostas a altas temperaturas ou melhoradas quando não exposta a temperatura, e com essa utilização, a extração de areia do meio ambiente e o aterro de resíduos no caso a cinza seriam reduzidos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade do Contestado – Fundo de Apoio a Pesquisa (FAP-UnC).

REFERÊNCIAS

[1] ASHLEY, E. **Fire resistance of concrete structures**. *J. Concr. Focus* (2007), p. 67-72

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR 11578: Cimento Portland composto**. Rio de Janeiro, 1991.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR 15200: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR 5628: Componentes Construtivos Estruturais – Determinação da resistência ao Fogo**. Rio de Janeiro, 2001.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2003.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto** – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR 7211: Agregado para concreto**. Rio de Janeiro, 1983.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR 7217: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR 9776: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. Rio de Janeiro, 1987.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –**NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009.
- [14] AYDIN, Serdar. **Development of a high-temperature-resistant mortar by using slag and pumice**. *Fire safety journal*, v. 43, n. 8, pp. 610-617, 2008.
- [15] BOUZOUBAA, Nabil et al. **Mechanical properties and durability of concrete made with high-volume fly ash blended cement produced in cement plant**. *Materials Journal*, v. 99, n. 6, pp. 560-567, 2002.
- [16] BUI, D. D.; HU, Jing; STROEVEN, Piet. **Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded Portland cement concrete**. *Cement and concrete composites*, v. 27, n. 3, pp. 357-366, 2005.
- [17] CHINDAPRASIRT, P.; RUKZON, S.; SIRIVIVATNANON, V. **Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash**. *Construction and Building Materials*, v. 22, n. 5, pp. 932-938, 2008.

- [18] DEMIRBOĞA, Ramazan; TÜRKMEN, İbrahim; KARAKOÇ, Mehmet Burhan. **Thermo-mechanical properties of concrete containing high-volume mineral admixtures.** *Building and Environment*, v. 42, n. 1, pp. 349-354, 2007.
- [19] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER-ME 084 – **Agregado miúdo – Determinação da densidade real.** Brasil, 1995.
- [20] GEORGALI, B.; TSAKIRIDIS, P. E. **Microstructure of fire-damaged concrete. A case study.** *Cement and Concrete composites*, v. 27, n. 2, pp. 255-259, 2005.
- [21] GRAUPMANN, Olaf et al. **Análise da resistência à compressão de concretos com adição de cinza de aterro sanitário.** *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 24, n. 2, 2019.
- [22] HANDOO, S. K.; AGARWAL, S.; AGARWAL, S. K. **Physicochemical, mineralogical, and morphological characteristics of concrete exposed to elevated temperatures.** *Cement and Concrete Research*, v. 32, n. 7, pp. 1009-1018, 2002.
- [23] HERTZ, Kristian Dahl. **Limits of spalling of fire-exposed concrete.** *Fire safety journal*, v. 38, n. 2, pp. 103-116, 2003.
- [24] IGARASHI, Shin-ichi; WATANABE, Akio; KAWAMURA, Mitsunori. **Evaluation of capillary pore size characteristics in high-strength concrete at early ages.** *Cement and Concrete Research*, v. 35, n. 3, pp. 513-519, 2005.
- [25] LI, Min; QIAN, ChunXiang; SUN, Wei. **Mechanical properties of high-strength concrete after fire.** *Cement and concrete research*, v. 34, n. 6, pp. 1001-1005, 2004.
- [26] LUCCIONI, B. M.; FIGUEROA, M. I.; DANESI, R. F. **Thermo-mechanic model for concrete exposed to elevated temperatures.** *Engineering Structures*, v. 25, n. 6, pp. 729-742, 2003.
- [27] POUHEY, Maria Tereza Fernandes. **Beneficiamentos da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico.** 2006.
- [28] PRUSTY, Jnyanendra Kumar; PATRO, Sanjaya Kumar; BASARKAR, S. S. **Concrete using agro-waste as fine aggregate for sustainable built environment—A review.** *International Journal of Sustainable Built Environment*, v. 5, n. 2, pp. 312-333, 2016.
- [29] SANAD, A. M. et al. **Structural behaviour in fire compartment under different heating regimes—Part 1 (slab thermal gradients).** *Fire Safety Journal*, v. 35, n. 2, pp. 99-116, 2000.
- [30] SAVVA, A.; MANITA, P.; SIDERIS, K. K. **Influence of elevated temperatures on the mechanical properties of blended cement concretes prepared with limestone and siliceous aggregates.** *Cement and Concrete Composites*, v. 27, n. 2, pp. 239-248, 2005.
- [31] SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL – SINAPI: **CADERNOS TÉCNICOS DE COMPOSIÇÕES PARA PRODUÇÃO DE CONCRETO**, p.16, 2016.

- [32] TULASHIE, Samuel Kofi et al. **Investigation of the compressive strength of pit sand, and sea sand mortar prisms produced with rice husk ash as additive.** *Construction and Building Materials*, v. 151, pp. 383-387, 2017.
- [33] UMASABOR, R. I.; OKOVIDO, J. O. **Fire resistance evaluation of rice husk ash concrete.** *Heliyon*, v. 4, n. 12, pp. e01035, 2018.
- [34] WANG, H. Y. **The effects of elevated temperature on cement paste containing GGBFS.** *Cement and Concrete Composites*, v. 30, n. 10, pp. 992-999, 2008.
- [35] XIAO, Jianzhuang; KÖNIG, Gert. **Study on concrete at high temperature in China—an overview.** *Fire safety journal*, v. 39, n. 1, pp. 89-103, 2004.
- [36] YÜZER, Nabi; AKÖZ, Fevziye; ÖZTÜRK, Leyla Dokuzer. **Compressive strength–color change relation in mortars at high temperature.** *Cement and Concrete Research*, v. 34, n. 10, pp. 1803-1807, 2004.

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO COM USO DA VELOCIDADE DE PULSO ULTRASSÔNICO

Data de aceite: 16/11/2020

Data de submissão: 16/20/2020

Kleber Marcelo Braz Carvalho

Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC)
Programa de Pós-graduação em Ciência
Inovação e Modelagem em Materiais
(PROCIMM)
Ilhéus-Bahia
<http://lattes.cnpq.br/3540395233161012>

José Renato de Castro Pessôa

Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC)
Departamento de Ciências Exatas e
Tecnológicas (DCET)
Ilhéus-Bahia
<http://lattes.cnpq.br/7355133184082398>

RESUMO: A avaliação das propriedades de estruturas de concreto por meio da velocidade de pulso ultrassônico apresenta-se como alternativa viável devido ao baixo custo e não causar danos à estrutura. Este artigo apresenta o uso da velocidade de pulso ultrassônico para estimar a resistência à compressão de concretos produzidos com insumos presentes no Sul da Bahia. Para atender esse objetivo foram elaboradas curvas de correlação entre a velocidade de pulso ultrassônico de concretos produzidos em laboratório e a sua resistência à compressão. Como a correlação sofre a influência de variáveis como o traço do concreto, tamanho e qualidade do agregado, idade do concreto e umidade, esta pesquisa propôs aferir a resistência

à compressão de concretos confeccionados com insumos presentes no Sul da Bahia. Foram elaborados corpos de prova cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura com traços de concretos fornecidos por uma concreteira local para quatro resistências diferentes. Através das curvas de correlação elaboradas, estimamos a resistência à compressão de pilares em obra em construção na cidade de Ilhéus/BA. Os resultados das estimativas de resistência encontradas estão próximos dos valores obtidos nos ensaios realizados em testemunhos extraídos da estrutura da edificação avaliada, bem como o valor da resistência à compressão de projeto (30 MPa). Apesar da variabilidade dos ensaios não destrutivos, os valores encontrados atestam a metodologia empregada neste trabalho para a avaliação da resistência mecânica do concreto com o uso da velocidade de pulso ultrassônico e curvas de correlação.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio não destrutivo. Resistência à compressão. Velocidade de pulso ultrassônico.

EVALUATION OF MECHANICAL RESISTANCE TO COMPRESSION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES USING ULTRASONIC PULSE VELOCITY

ABSTRACT: The evaluation of the properties of concrete structures by means of ultrasonic pulse velocity is a viable alternative due to the low cost and not to cause damage to the structure. This article presents the use of ultrasonic pulse velocity to estimate the compressive strength of concrete produced with inputs present in the

South of Bahia. To meet this objective, correlation curves were developed between the ultrasonic pulse of concrete produced in the laboratory and its resistance to compression. As the correlation is influenced by variables such as the concrete mix, size and quality of the aggregate, age of the concrete and humidity, this research proposed to measure the compressive strength of concretes made with inputs present in the South of Bahia. Cylindrical specimens with a diameter of 10 cm and a height of 20 cm were produced with concrete traces supplied by a local concrete mixer for four different strengths. Through the correlation curves elaborated, obtained by comparing the values of concrete cores in the evaluated structure and the non-destructive tests, we estimate the compressive strength of columns in construction under construction of Ilhéus/ BA. The results of the compressive strength resistance estimates found are close to the values obtained in the tests carried out on core sampling from the structure of the evaluated building, and with the design compressive strength value (30 MPa). Despite the variability of non-destructive tests, the values found attest to the methodology used in this work for the evaluation of the mechanical strength of concrete using ultrasonic pulse speed and correlation curves.

KEYWORDS: Non-destructive testing. Compressive strength. Ultrasonic pulse velocity.

1 | INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto vêm sofrendo, no decorrer dos anos, deterioração e perda da segurança pela falta de controle de qualidade na execução, pela manutenção inexistente e pelo aumento da agressividade do meio ambiente, tornando-se cada vez mais importante o desenvolvimento de técnicas para avaliação dessas estruturas. O que indica a necessidade de inspeções e averiguações das reais condições das estruturas têm incentivado o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de ensaios destrutivos e não destrutivos. Principalmente para se determinar a resistência mecânica à compressão, principal parâmetro para avaliar a sua qualidade e comprovar que o concreto utilizado durante a execução da estrutura atende as exigências estabelecidas em projeto (PALACIOS, 2012).

A avaliação das condições *in loco* das estruturas de concreto armado habitualmente é realizada por meio da extração de testemunhos para a realização de ensaios que avaliem as suas propriedades. Essa alternativa nem sempre se apresenta viável, visto que a extração de amostras danifica a integridade do elemento estrutural, podendo vir a comprometer sua estabilidade e/ou levar a ruptura. Nessa vertente os ensaios não destrutivos apresentam-se como alternativa viável de inspeção que garante a integridade da estrutura, deixando pouco ou nenhum dano para ser reparado após o ensaio (CARVALHO, 2019). Em especial, destaca-se o ensaio de pulso ultrassônico pela praticidade, portabilidade e fácil manuseio.

A velocidade de pulso ultrassônico (VPU) permite identificar a qualidade

do concreto por meio da avaliação da medida do tempo de percurso das ondas longitudinais de pulso ultrassônico passando através da estrutura de concreto (MALHORTA e CARINO, 2004). O aparelho utilizado é o ultrassom que emite um pulso ultrassônico através de um transdutor- transmissor que é acoplado ao material analisado. Esse pulso por meio de vibrações percorre o material até ser captada por um transdutor-receptor (AMARAL et al, 2018). Disposto em outra superfície, o transdutor-receptor tem a função de converter as ondas de choque em pulsos elétricos, que são interpretados por um circuito medidor de tempo, conforme ilustrado na Figura 1.

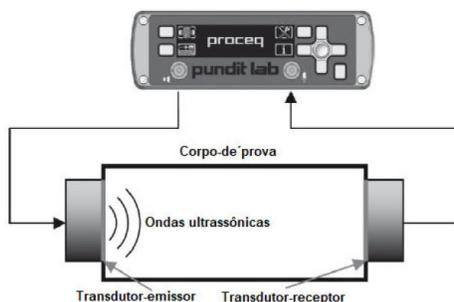


Figura 1 - Esquema de funcionamento do método de ultrassom (Adaptado de PROCEQ, 2013)

A obtenção da VPU pode-se realizar por de três formas diferentes de ensaios (Figura 2): por transmissão direta, indireta ou semidireta (NBR 8802, 2019). Segundo Schiavon (2015), o arranjo direto é o mais indicado para medir a VPU, pois com ele a distância percorrida pela onda é bem definida e o máximo de energia do pulso é recebido.

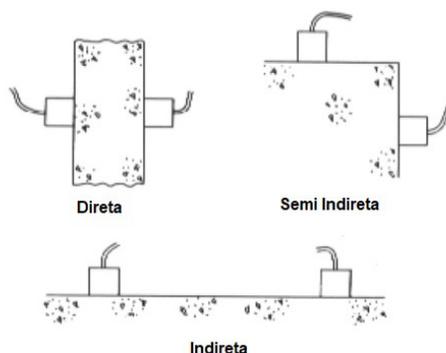


Figura 2 - Tipos de transmissão no ensaio de ultrassom (CARVALHO, 2017)

Os ensaios não destrutivos não determinam de forma direta a resistência mecânica à compressão de estruturas de concreto armado. São necessárias a elaboração de curvas de correlação entre medidas avaliadas nos ensaios e a resistência à compressão em corpos provas de concreto moldados em laboratório.

Em estudos e pesquisas realizadas, as curvas de correlação foram definidas com base em uma determinada mistura de concreto com agregados, tipo de cimento e teor de água e cimento específicos. As curvas de correlação sofrem influência e são modificadas pelo tipo, dimensão máxima característica e quantidade de agregados graúdos, sendo essa uma das principais restrições do seu uso. Também são influenciadas pelo tipo de cimento e pelo volume de pasta (IRRIGARAY, 2012).

A investigação da correlação entre duas variáveis usualmente começa com uma tentativa de descobrir a forma apropriada dessa relação, representando-se, graficamente, os dados como pontos no plano x, y . Com a utilização da regressão, a correlação dos resultados tenta ajustar uma linha de tendência através dos pontos com auxílio de um programa estatístico. De forma que a ajustar os pontos na curva, o programa apresenta uma equação que estabelece a regressão de y sobre x (ANDRADE, 2012)

As curvas de correlação, elaboradas a partir de ensaios não destrutivos, proporcionarão a avaliação de propriedades mecânicas do concreto por meio de uma técnica de simples utilização, rapidez na execução, com disponibilidade imediata dos resultados, menores custos e nenhum dano para a estrutura a ser ensaiada.

Andrade (2012) apresenta um exemplo prático da análise de uma estrutura de concreto por meio de curva de correlação entre a velocidade do pulso ultrassônico e resultado de ensaios à compressão de testemunhos de concreto. Os resultados indicaram uma correlação entre os ensaios não destrutivos de ultrassom e as propriedades mecânicas do concreto sendo possível avaliar a resistência à compressão e o módulo de deformação do concreto da estrutura antiga do Estádio Mário Filho (Maracanã), como forma de análise das estruturas que seriam reabilitadas para o jogos da Copa do Mundo de 2014.

2 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

No intuito de estimar a resistência à compressão por meio da velocidade de propagação de onda ultrassônica e índice esclerométrico foram confeccionados concretos com agregados e classe de cimento utilizados na cidade de Ilhéus, localizada na região Sul da Bahia.

O programa experimental contemplou a fase de ensaios laboratoriais, totalizando quarenta corpos de provas cilíndricos moldados e a fase de campo, realizada em uma obra na fase de construção.

2.1 Ensaio Laboratoriais

O traço utilizado no experimento para atender as classes de resistência à compressão (MPa): 20, 25, 30 e 35 foi fornecido pela concreteira Polimix. A composição dos traços está ilustrada na Tabela 1.

Consumo (1 m ³)					
Materias	Fornecedor	Fck 20MPa	Fck 25MPa	Fck 30MPa	Fck 35MPa
Cimento CP V ARI RS (kg)	Mizu	290	315	345	380
Areia Natural (kg)	Mineradora Monte Alegre	774	745	712	674
Brita 9,5 mm (kg)	Pedreira Bahia	166	167	168	170
Brita 19 mm (kg)	Pedreira Bahia	941	947	954	951
Aditivo (g/m ³)	Matchen Aditivos	2610	2835	3105	3420
Água (litros)	Embasa	189	189	189	189
Consumo água/cimento (a/c)		0,65	0,60	0,55	0,50
Abatimento (mm)		100 ±20mm	100 ±20mm	100 ±20mm	100 ±20mm

Tabela 01 - Consumo fornecido pela concreteira Polimix para 1m³ de concreto

Fonte: Dados da pesquisa

A sequência do programa experimental no laboratório, apresentada na Figura 3, iniciou com a seleção e mistura do material em betoneira elétrica; realização do ensaio de abatimento e adensamento do concreto nos corpos provas; cura úmida; retifica dos corpos de prova; ensaio de ultrassom e resistência à compressão após vinte oito de cura dos corpos de prova.



Figura 3 – Sequência de atividades do programa experimental no laboratório

A velocidade de pulso ultrassônico foi obtida com uso do equipamento Portable Ultrasonic Non Destructive Digital Indicating Tester (PUNDIT), fabricado pela Proceq, com frequência de 54 kHz, em dez corpos de prova para cada resistência após vinte e oito dias de concretados e submetidos à cura úmida.

Antes de iniciar o ensaio, um cilindro desenvolvido pela Proceq, foi utilizado para realizar a calibração do aparelho de ultrassom (Figura 4). Este cilindro possui 10cm de comprimento e uma velocidade de pulso ultrassônica conhecida.



Figura 4 – Calibração do ultrassom

As medições do tempo de percurso da onda através do concreto foram feitas ao longo do comprimento dos corpos-de-prova, empregando-se a transmissão direta entre os transdutores, conforme apresentado na Figura 5.



Figura 5 – Realização de ensaio de pulso ultrassônico

Fonte: Dados da Pesquisa

A visualização e análise das ondas foram feitas por meio do software Pundit Link, desenvolvido pela Proceq. A tela do software apresenta o valor da VPU e o sinal ultrassônico conforme apresentado na Figura 6. Para cada corpo de prova ensaiado, o software gera 10 ondas longitudinais e apresenta um valor referente a média de 10 leituras realizadas pelo ultrassom

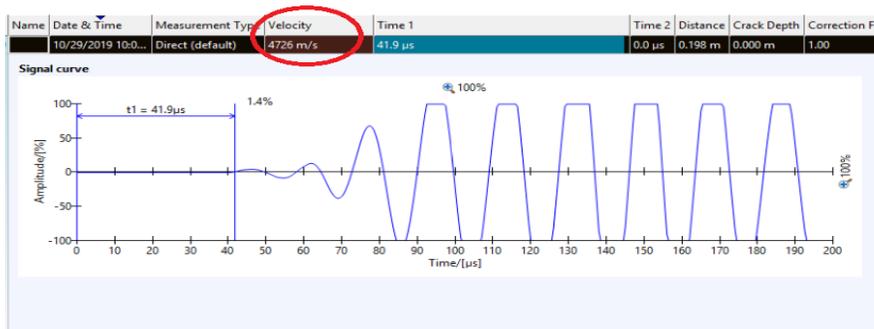


Figura 6 - Tela do software Pundit Link durante ensaio

Os ensaios de resistência à compressão nos corpos de prova cilíndricos (100 mm x 200 mm) foram realizados com base na NBR 5739. O ensaio foi realizado em prensa de compressão da marca Emic, modelo PC 200C.



Figura 7 – Execução do ensaio à compressão

2.2 Ensaios de campo

Os ensaios de campo com uso do ultrassom foram realizados no canteiro de obras do Residencial Victoria Prime (Figura 8), localizada na Avenida Soares Lopes, região litorânea da cidade de Ilhéus/BA

A edificação foi projetada para 09 andares em concreto armado (lajes, vigas e pilares) com resistência característica à compressão de projeto (f_{ck}) de 30 MPa, abatimento de 120 ± 2 mm e fator água/cimento de 0,55.



Figura 8 – Fachada do Residencial Victoria Prime

O método de propagação da onda utilizado foi o direto e aplicado na menor espessura dos pilares. Os pontos de leituras foram distribuído na maior face dos pilares, distantes no mínimo 20cm das bordas e 1,44cm do piso da laje. O valor do ensaio foi considerado como resultado final da média aritmética desses valores.

Foram analisados seis elementos estruturais, dois pilares localizados no sétimo pavimento e quatro pilares localizados no oitavo pavimento, por meio do equipamento PUNDIT com transdutor de diâmetro 50mm e frequência de 54 kHz. Antes do ensaio foi realizada a calibragem do equipamento com um cilindro de calibração que faz parte do equipamento e utilizou-se um gel para garantir bom um acoplamento entre o concreto e transdutores.



Figura 9 - Realização do ensaio de ultrassom

3 | RESULTADOS

3.1 Resultados de ensaios laboratoriais

3.1.1 Ensaio à compressão

A tabela 02 apresenta a composições dos traços utilizados na confecção do concreto para as séries experimentais (20, 25, 30 e 35 MPa), os resultados médios da resistência do concreto à compressão (f_c) aos vinte e oito dias, o abatimento medido no ensaio, a variabilidade do ensaio representado pelo desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV).

Dados	Série: Traço (MPa)			
	20	25	30	35
Abatimento medido (mm)	110	110	115	120
Resistência média dos corpos de prova ensaiados (MPa)	28,11	34,52	36,79	48,25
Desvio Padrão (MPa)	2,94	2,97	3,33	3,96
Coeficiente de Variação (%)	10,4	8,61	9,04	8,21

Tabela 2 - Resultados de resistência à compressão das séries ensaiadas

Os valores médios de resistência à compressão obtidos na ruptura de corpos de prova na idade de 28 dias para as quatro séries foram maiores do que o valor referência. Esse fato decorre do controle nas etapas de moldagem, adensamento e cura mais rigorosa em laboratório do que a rotina realizada em obra. Obteve-se maior homogeneidade no concreto em laboratório, melhorando assim os resultados.

3.1.2 Ensaio de ultrassom

A tabela 03 apresenta os resultados médios da velocidade de pulso ultrassônico obtidas nos corpos de provas para todas as séries de concreto, além do desvio padrão e coeficiente de variação.

	Série (MPa)			
	20	25	30	35
Média (m/s)	4793,40	4959,00	5087,32	5150,40
Desvio Padrão (MPa)	69,26	26,08	31,57	46,06
Coeficiente de Variação (%)	1,44	0,53	0,62	0,89

Tabela 3 - Resultados de velocidade de pulso ultrassônico nos corpos de prova aos vinte e oito dias.

De acordo com Bungey et al (2006), o valor máximo para o coeficiente de variação em ensaios para obtenção da VPU é de 2,50%. Com base nessa referência, os resultados das séries estão dentro dessa variação o que denota baixa dispersão.

3.1.3 Correlação entre velocidade de onda ultrassônica e a resistência à compressão

A partir dos dados experimentais foram elaboradas curvas individuais que representam a correlação entre as grandezas medidas nos ensaios de ultrassom para obtenção da velocidade de pulso ultrassônico e a resistência à compressão através da regressão não linear simples.

Para atestar a qualidade dessas correlações foram utilizados os dados experimentais obtidos para se determinar o coeficiente de determinação (R^2), medida estatística de variabilidade que mede a proporção da variância das variáveis dependentes que pode ser explicada pela média da variável independente (MACHADO, 2005). Esta medida situa-se entre 0 e 1 e quanto mais próximo de 1, melhor o ajustamento. Como consequência, os pontos do diagrama de dispersão estarão mais próximos da reta de regressão (GUAJARATI et al, 2011). O poder de

explicação do modelo é indicado por faixas, conforme apresentado na Tabela 4.

Valor de R^2	Interpretação
$0,00 \leq R^2 \leq 0,20$	Dependência insignificante
$0,21 \leq R^2 \leq 0,40$	Dependência fraca
$0,41 \leq R^2 \leq 0,70$	Dependência marcante
$0,71 \leq R^2 \leq 1,00$	Dependência forte

Tabela 4 - Interpretação do coeficiente de determinação (R^2)

Fonte: PALACIOS (2012)

A equação proposta para nesse trabalho apresentou um coeficiente de determinação no valor de 0,6165, indicando uma dependência marcante. Graficamente essa equação é apresentada na Figura 9 através da curva de correlação com os intervalos de confiança de 95%

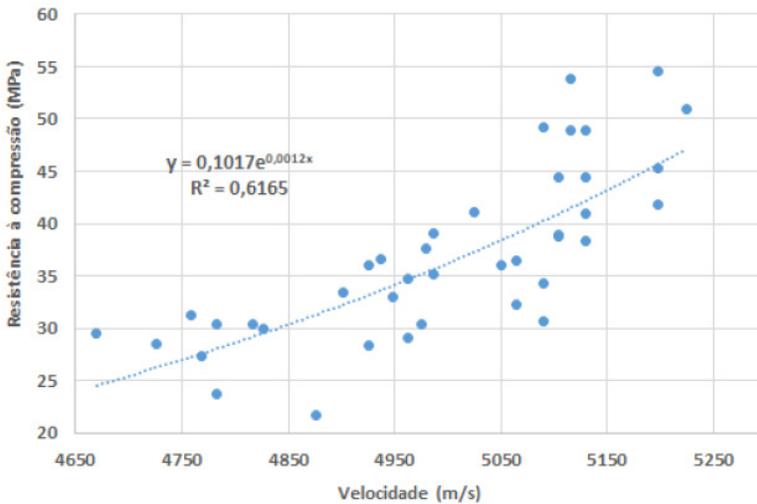


Figura 10 - Correlação exponencial entre a velocidade ultrassônica (m/s) e a resistência à compressão (MPa)

3.2 Resultados de ensaios de campo

3.2.1 Ensaios de ultrassom

O ensaio foi realizado em seis pilares, distribuídos em dois pavimentos, com lotes de concreto diferentes. Foi determinada uma altura de 1,44 m do piso da laje

para realização das leituras com o ultrassom e de acordo com a largura do pilar, determinou-se o número de pontos para o ensaio. A cada ponto, distante no mínimo 20 cm da borda do pilar, foi realizada três leituras. Em seguida realizou-se a média dos pontos para se determinar o valor médio de cada pilar. Os resultados estão apresentados nas Figuras 11 e 12.

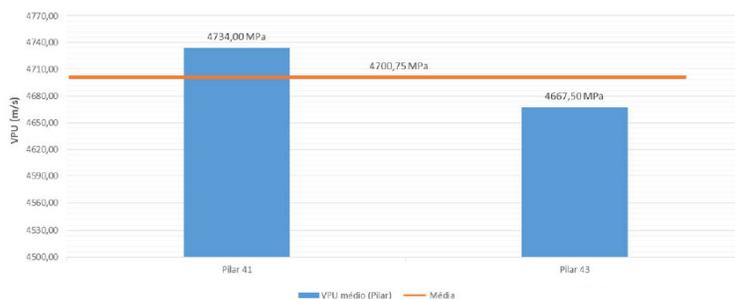


Figura 11 - Resultados do ensaios de ultrassom in loco (7º pavimento)

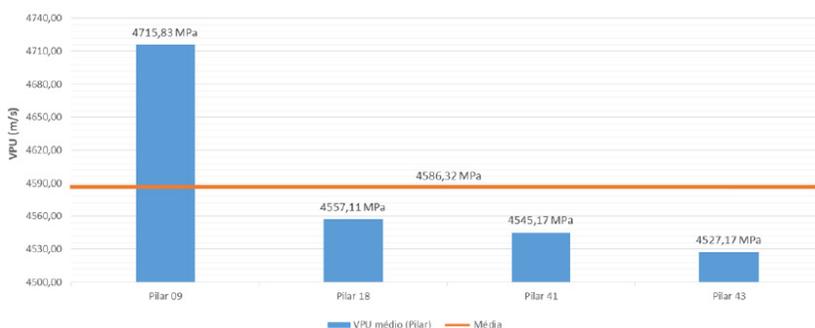


Figura 12 - Resultados do ensaios de ultrassom in loco (8º pavimento)

3.2.2 Estimativa da resistência à compressão (F_c)

As Tabelas 5 e 6 apresentam os resultados estimados da resistência à compressão do concreto (f_c) a partir das equações de regressão desenvolvidas em laboratório com as velocidades de pulso ultrassônico (VPU) obtidas nos pilares ensaiados em dois pavimentos da obra. Vale destacar que o número de ensaios de *in loco* nos pilares do 7º pavimento foi menor devida a dificuldade de acesso por conta do escoramento da laje e formas de madeiras armazenadas no piso do pavimento.

7° Pavimento	Medida <i>in loco</i>	f_c estimado (MPa)
Pilar	VPU (m/s)	$f_c = 0,1017e^{0,0012VPU}$
41	4734,00	29,82
43	4667,50	27,53
Média	4700,75	28,65
Desvio Padrão	33,25	1,14
CV (%)	0,71	3,99

Tabela 5 - Resultados de f_c para pilares do 7° pavimento

8° Pavimento	Medida <i>in loco</i>	f_c estimado (MPa)
Pilar	VPU (m/s)	$f_c = 0,1017e^{0,0012VPU}$
19	4715,83	29,17
18	4557,11	24,11
41	4527,17	23,26
43	4545,17	23,77
Média	4586,32	24,97
Desvio Padrão	75,53	2,38
CV (%)	1,65	9,54

Tabela 6 - Resultados de f_c para pilares do 8° pavimento

4 | CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios de ultrassom para obtenção da VPU *in loco* foram menores do que o valores encontrados em laboratório. Como consequência nem todos os valores de resistência à compressão, obtido pela equação de correlação, atenderam a resistência característica do concreto à compressão de projeto da edificação analisada aos 28 dias de idade (f_{ck} : 30 MPa).

A variabilidade dos ensaios não destrutivos devem ser considerados quando realizados *in loco* (HELENE, 2020). Neste âmbito é importante destacar que o ambiente de obra não oferece as mesmas condições para o controle do ensaio do que em laboratório. As medidas de pulso ultrassônico na obra podem ser afetados pela falta do perfeito contato entre os transdutores e o concreto no elemento estrutural ensaiado, temperatura do concreto, presença de armaduras, diferença

de adensamento ao longo do pilar ensaiado. Com isso, pode se justificar os valores maiores encontrados em laboratório do que na estrutura.

A variação de resultados pode ser minimizada com a realização de ensaios em todos elementos (laje, pilar, viga) da obra com as mesmas características de concreto (abatimento, dimensão máxima dos agregados e traço).

Pode se concluir que a metodologia empregada nesta pesquisa pode ser utilizada como contribuição para a avaliação global de estruturas, reduzindo a extração de testemunhos para ensaios de resistência mecânica à compressão e que o ensaio de ultrassom pode ser considerado um ensaio adicional para o controle tecnológico das estruturas de concreto.

REFERÊNCIAS

AMARAL, K; GOMES, D.; BERTINI, A; ALEXANDRE, E.; SILVA, M; MESQUITA, E. Influência do teor de umidade relativa do concreto na velocidade de ondas ultrassônicas. In: Congresso Brasileiro de Patologia das Construções, 2018. **Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções – CBPAT 2018**. Campo Grande: Alconpat, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 71p.

_____. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro. 2015. 9p.

_____. **NBR 5739: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.9p.

_____. **NBR 8802: Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica**. Rio de Janeiro, 2019. 11 p.

ANDRADE, Daniel da Silva. **Propriedades mecânicas do concreto por meio de ensaios não destrutivos: estudo de caso da estrutura do Estádio Maracanã**. 2012. 248 p. Dissertação (Curso de Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2012.

CARVALHO, E.A. **Análise da viabilidade do uso de ensaios não destrutivos no monitoramento da durabilidade de concreto comercializado em Aracaju - SE**. 2017. 117 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação de Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Aracaju, 2017.

CARVALHO, K.M.B; LIMA, M.P.; NASCIMENTO, L.A.; WATANABE, E.T.; ALVES, A.C.; PESSOA, J.R.C. Avaliação da resistência à compressão de estruturas em concreto armado com uso do ultrassom. In: 25º Seminário de Iniciação Científica. **Anais 25º Seminário de Iniciação Científica**. Itápolis, UESC, 2019.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes Florianópolis ensaios não destrutivos**. 2002. 239 p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2002.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 924 p.

HELENE, P. **Coloquio Internacional en Patología Estructural**. (2h 56m57s). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=mPBzlope9ng&t=3616s>>. Acesso em: 30 mai. 2020.

IRRIGARAY, M.A.P. **Estimativa da resistência do concreto à compressão por meio da velocidade de propagação dos pulsos ultrassônicos na pasta do concreto**. 2012. 205p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

KHADEMI, F., AKBARI, M, JAMAL, S.M. **Prediction of concrete compressive strength using ultrasonic pulse velocity test and artificial neural network modeling**. Romana de material, Bucharest, 2015, 46, p. 343-350.

MACHADO, M. **Curvas de correlação para caracterizar concretos usados no Rio de Janeiro por meio de ensaios não destrutivos**. 294f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

MALHOTRA V. M; CARINO N. J. **Hand Book on Nondestructive Testing of Concrete**. 2. ed. London: American Society for Testing and Materials, 2004.

PALACIOS, M. P. G. **Emprego de ensaios não destrutivos e de extração de testemunhos na avaliação da resistência à compressão do concreto**. 2012. 165p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

PROCEQ. **Instruções operacionais: Pundit Lab / Pundit Lab+ - Instrumento ultrassônico**. Suíça. 2013, 32p

SCHIAVON, K.F.B. **Estudo da aplicação de ultrassom na medição de tensões em estruturas de concreto**. 2015. 132p. Dissertacao (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Sao Carlos, 2015.

ANÁLISE TENSÃO-DEFORMAÇÃO POR MEIO DO SOFTWARE PLAXIS 2D EM ÉSTACA HÉLICE CONTÍNUA MONITORADA

Data de aceite: 16/11/2020

Data de submissão: 07/09/2020

Arthur Duarte Dias

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Brasília – Distrito Federal
<http://lattes.cnpq.br/6664360969330513>

Renato Pinto da Cunha

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Brasília – Distrito Federal
<http://lattes.cnpq.br/9013693430617718>

Moises Antônio da Costa Lemos

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Brasília – Distrito Federal
<http://lattes.cnpq.br/8066031763862927>

Gabriela de Athayde Duboc Bahia

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Brasília – Distrito Federal
<http://lattes.cnpq.br/5784156359420836>

RESUMO: No meio experimental, provas de carga e medição de recalques nas edificações são técnicas de medidas quantitativas que verificam a deformação do solo de uma fundação. Assim, por meio de métodos numéricos ou analíticos pode-se fundamentar os parâmetros adotados em projetos. Portanto, este fato, juntamente com utilização de métodos numéricos, como o

Método dos Elementos Finitos (MEF), permite considerar, na modelagem solo-estrutura, a interação entre os elementos e o comportamento global da edificação. Dessa forma, esse trabalho realizou comparação através de uma simulação numérica, via software *Plaxis 2D*, de uma prova de carga com os resultados obtidos em campo.

PALAVRAS-CHAVE: Prova de Carga, Simulação Numérica, Plaxis 2D.

STRESS-STRAIN ANALYSIS USING PLAXIS 2D SOFTWARE IN MONITORED AUGER CAST PILE

ABSTRACT: In the experimental environment, load tests and settlement measures in buildings are quantitative measurement techniques that check the deformability of a foundation's soil. Thus, through numerical or analytical methods, the parameters adopted in projects can be based. Therefore, this fact, together with the use of numerical methods, such as the Finite Element Method (FEM), allows the consideration, in the soil-structure modeling, of the interaction between the elements and the overall behavior of the building. Thus, this research performed a comparison through a numerical simulation, using Plaxis 2D software, of a load test with the results obtained in the field.

KEYWORDS: Load Test, Numerical Simulation, Plaxis 2D.

1 | INTRODUÇÃO

A litologia de uma área varia devido a diversos aspectos e, portanto, não se pode

garantir que as propriedades, como as mecânicas, serão as mesmas, mesmo que próximas. Dessa forma, as investigações geotécnicas fornecem ao engenheiro de fundações respaldo técnico com base nos relatórios a fim de encontrar a melhor solução de fundação para o local.

Atualmente, dentre os tipos de estacas mais comuns utilizadas no Brasil, encontra-se a estaca hélice contínua. Em Brasília as primeiras fundações executadas com esse tipo de estaca datam do início do ano de 2000. Usualmente, as determinações do recalque desse elemento de fundação são utilizadas métodos baseados na teoria da Elasticidade (métodos elásticos), os quais são utilizados para fundações em estaca. Pelo fato do distinto processo executivo utilizado para estacas hélice contínuas, faz-se necessário verificar a aplicabilidade desses métodos de previsão de recalque para esse tipo de estaca. Além disso, é necessário verificar a utilização de ferramentas numéricas para determinação dos parâmetros de recalque, a partir de retro-análise de provas de carga. (MAGALHÃES, 2005).

A realização prova de carga, consiste na aplicação de uma força, acrescida de um fator de segurança, no topo da estaca e no monitoramento do deslocamento provocado por essa força. Com base nisso é possível determinar curva de tensão x deformação e identificar os esforços máximos antes da ruptura. Bahia (2013), realizou uma prova de carga estática em um edifício em águas claras obtendo um recalque final de 20.56mm.

Assim, neste trabalho, essa mesma prova de carga foi simulada numericamente utilizando o software Plaxis 2D (2016) a fim de comparar os resultados obtidos *in situ*.

2 | O CASO DE ESTUDO

A seguir consta dados do caso de estudo, tais como: o local da obra, dados do edifício e dos elementos de fundação e da prova de carga, e os parâmetros utilizados para a modelagem numérica.

2.1 Local de Estudo

O edifício analisado é do tipo residencial, foi construído em 2014, possui duas torres (A e B) idênticas e é localizado na cidade de Águas Claras. As fundações das torres foram realizadas em estacas hélice contínua monitoradas, com diâmetro variando de 400 e 500 mm, e bloco de coroamento.

2.2 Prova de Carga

A prova de carga estática realizada por Bahia (2013) foi realizada em conformidade com a NBR 12131/06 (ABNT, 2006) Estaca – Prova de carga estática.

A estaca ensaiada para a prova de carga PC3 situa-se a uma distância

horizontal de 3,50 m do centro do pilar P217 e a uma distância vertical de 1,20 m, também, do centro do pilar. A configuração dos blocos centrais e a localização da prova de carga estática realizada na Torre B se apresentam na Figura 1.

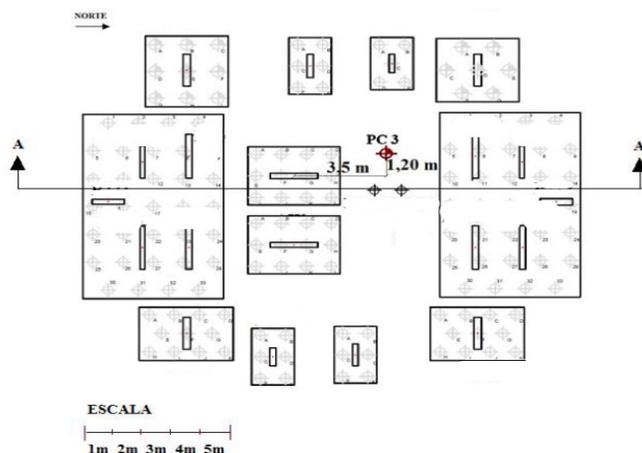


Figura 1 – Localização da Prova de Carga. Adaptado de Bahia (2015)

Para a realização da prova de carga, adotou-se um sistema de reação de viga metálica ancorada em quatro estacas de reação distantes aproximadamente de 2,50 m eixo a eixo da estaca ensaiada. Destaca-se que a estaca ensaiada e as estacas de reação não eram pertencentes à obra. A estaca ensaiada foi executada com 50 cm de diâmetro e 13 metros de comprimento e bloco de coroamento de 0,80 m x 0,80 m e 0,65 m de altura e as estacas de reação foram executadas com 40 cm de diâmetro e 11 metros de comprimento. O concreto das estacas possuía resistência característica (f_{ck}) de 20 MPa.

A prova de carga foi do tipo estático lenta com carregamento inicial de 21,6 kN, seguido da carga de 98,1 kN. Os demais estágios foram incrementados de 196,1 kN em relação ao estágio anterior, até a estabilização. O ensaio foi conduzido até atingir a carga de 1575,9 kN, a qual foi mantida por 12 horas, após a estabilização dos deslocamentos. A descarga foi realizada em quatro estágios de 394,0 kN, mantendo-se por um tempo mínimo de estabilização de 15 (quinze) minutos. A estaca da prova de carga apresentou recalque final de 20,56 mm, o que corresponde a 4,1% do diâmetro da estaca. Para a carga de trabalho que é de 843,7 kN (86 tf) o valor do recalque obtido foi de 3,8 mm, ou seja, 0,76% do diâmetro da estaca.

3 | SIMULAÇÃO NUMÉRICA E PARÂMETROS ADOTADOS EM PROJETO

3.1 Método dos Elementos Finitos (MEF)

O MEF é baseado na discretização do meio em estudo em regiões de geometria simples, considera a não linearidade, a anisotropia e heterogeneidade do meio (AZEVEDO, 2003). Com base em modelos constitutivos do solo e materiais de vários componentes encontrados no modelo, esses métodos permitem simular o comportamento do meio discretizado em termos de deformações e tensões sob o efeito de cargas (BRIANÇON *et al.*, 2011).

Nesse método a região de estudo é discretizada por uma série de nós ou pontos nodais. Assim, a continuidade do meio é garantida impondo-se condições de compatibilidade de deslocamentos e rotações nos nós dos elementos adjacentes. Os grupos de nós juntos interligados por segmentos de linhas podem formar o que é conhecido como elementos, são eles: linhas, arcos, triângulos, retângulos ou blocos prismáticos. Os nós e os elementos formam a malha de elementos finitos. (BAHIA, 2015)

Entretanto, a discretização do meio tem que gerar malhas que atendam as condições do problema, e é necessário garantir a exatidão dos dados adquiridos, caso contrário os resultados não convergem e destoam da realidade (BAHIA, 2015). A aproximação dos resultados é melhorada com uma melhor discretização da malha.

Atrelado ao uso de ferramentas computacionais ele permite simular com maior precisão, o comportamento do sistema de fundação, considerando a interação entre todos os elementos constituintes do sistema. Entretanto, avaliar essa interação, demanda uma alta capacidade de processamento, o que leva bastante tempo para obtenção de resultados (POULOS, 1998). Quanto mais discretizada for a malha, mais precisos são os resultados e mais tempo de análise é demandado para simulação.

3.2 O Software de Apoio (Plaxis 2D, 2016)

Disponível no programa de pós-graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília. O PLAXIS 2D (2016) é um software de elementos finitos que foi desenvolvido pela Universidade Tecnológica de DELFT, na Holanda. O software tem por uma de suas finalidades a análise de tensão - deformação e verificação de estabilidade em problemas de Geotecnia. O software pode ser utilizado no sistema operacional Windows e permite que a modelagem seja feita em 4 modelos constitutivos elastoplásticos: I - Soft Soil; II - Soft-soil creep, III - Hardening Soil, IV - Mohr Coulomb e 1 modelo elástico linear. O software possui 4 módulos de funcionamento que interagem entre si, são eles o modulo input, calculations, output e curves.

3.3 Os Modelos Constitutivos

Os modelos constitutivos têm a função de reproduzir, interpretar e prever o comportamento tensão x deformação de um determinado material. Dependendo do material, este comportamento pode ser distinto. A seguir têm-se os modelos constitutivos e parâmetros utilizados para o solo e para a estaca de concreto que foram utilizados nesse trabalho.

3.3.1 Modelo Constitutivo Para o Solo

Escolher um modelo constitutivo que mais se aproxima ao modelo do solo de estudo é de alta importância para veracidade dos resultados a serem obtidos. O modelo linear elástico não representa a real deformação do solo, uma vez que ele se comporta de uma forma não linear quando está sob o efeito de carregamento. Dessa forma, se vê necessário a escolha de um modelo elastoplástico. Um exemplo desses modelos é o Modelo Hardening Soil que tem sido bastante utilizado na engenharia geotécnica devido ele considerar a não linearidade do solo.

3.3.1.1 Hardening Soil

As principais características do modelo Hardening Soil que levaram a escolher esse modelo para esta pesquisa são:

- Trata-se de um modelo elasto-plástico, não linear;
- Os parâmetros de resistência dos solos variam de acordo com o nível de tensões;
- Considera o endurecimento por cisalhamento e endurecimento por compressão;
- Ocorre o endurecimento por cisalhamento quando o solo é submetido a uma tensão desviadora primária, procede-se a uma redução no seu módulo de rigidez simultaneamente a ocorrência de deformações plásticas irreversíveis;
- O endurecimento por compressão acontece quando o solo é exposto a uma condição odométrica ou isotrópica, nessas condições desenvolvem-se deformações plásticas irreversíveis;
- A superfície de ruptura é definida pelo critério de Mohr-Coulomb;
- Admite-se relação tensão deformação hiperbólica (Figura 2), para ensaio triaxial drenado.
- A superfície de plastificação do modelo não é fixa, e pode ocorrer a sua expansão devido a deformações plásticas.

- Introduce a função de plastificação com “cap”.

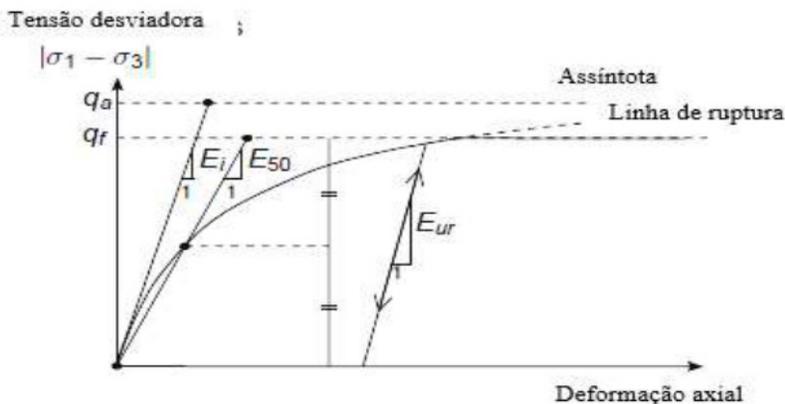


Figura 2: Relação tensão deformação hiperbólica para ensaio triaxial drenado (PLAXIS 3D Material Models Manual, 2018)

Rebolledo *et al.* (2019) obtiveram os parâmetros desse modelo com base em ensaios e investigação geotécnica realizada por no Campo Experimental de Geotecnia da Universidade de Brasília. (Fig 3)

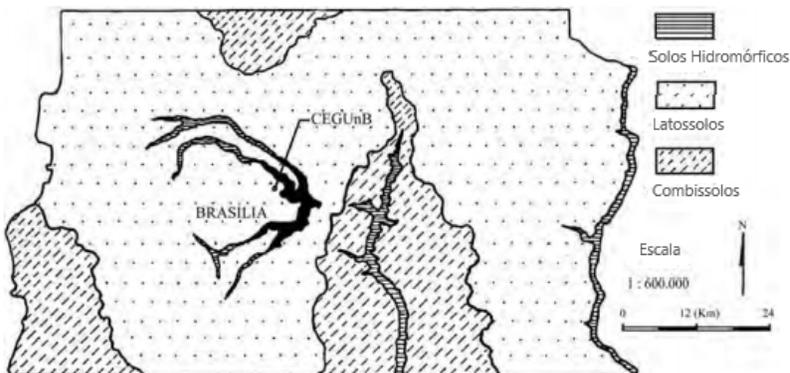


Figura 3. Localização do Campo Experimental de Geotecnia da Universidade de Brasília. Rebolledo *et al.* (2019)

A calibração do modelo foi realizada pelos mesmo autores a partir de resultados de ensaios triaxiais, adensamento, provas de carga em estacas e em placas realizadas no mesmo local. Para a simulação numérica (S.N.) foram adotados os parâmetros que constam na Tabela 1 e 2.

Solo Prof. (m)	m*	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	R_f	K_0
0 – 1.5	0.5	13.1	5	25	0.8	1.37
1.5 – 3.5	0.5	12.8	5	25	0.8	0.77
3.5 – 5.0	0.5	13.9	5	26	0.9	0.56
5.0 – 7.0	0,5	14.3	20	30	0.9	0.56
7.0 – 8.5	0.5	16.0	75	20	0.9	0.66
8.5 – 20	0,7	18.2	20	22	0.8	0.63

Nota: m é o parâmetro que relaciona o coeficiente de impulso com o coeficiente de impulso em repouso, γ = peso específico do solo, c' = coesão efetiva, ϕ' = ângulo de atrito efetivo do solo, R_f = parâmetro do hardening soil.

Tabela 1. Parâmetros do Hardening Soil retirados de Rebolledo *et al.* (2019)

Solo Prof. (m)	E_{50}^{ref} (MPa)	E_{oed}^{ref} (MPa)	E_{ur}^{ref} (MPa)	K_0^{nc}	POP (KPa)
0 – 1.5	3.2	4.9	14.0	0.58	65.7
1.5 – 3.5	2.5	1.45	14.0	0.58	31.8
3.5 – 5.0	4.0	2.2	36.9	0.56	0
5.0 – 7.0	12.0	6.9	37.5	0.47	31.4
7.0 – 8.5	13.2	7.0	54.0	0.66	0
8.5 – 20	12.2	5.7	54.0	0.63	0

Nota: E_{50}^{ref} = módulo de rigidez no carregamento, E_{ur}^{ref} = módulo de rigidez no carregamento/descarregamento, E_{oed}^{ref} = módulo de rigidez oedométrico, POP = parâmetro de definição do estado inicial.

Tabela 2. Parâmetros do Hardening Soil retirados de Rebolledo *et al.* (2019)

Para os parâmetros a seguir os valores: $\rho^{ref} = 100$ kPa, $\nu_{ur} = 0.2$ e $\psi = 0^\circ$ foram mantidos iguais para todos os níveis de profundidade;

3.3.2 Modelo Constitutivo Para a Estaca de Concreto

O Modelo constitutivo do concreto utilizado no PLAXIS 2D foi desenvolvido para representar o comportamento do concreto projetado, mas também é útil para reforço de solos e estruturas de concreto. O modelo constitutivo considerado para esse trabalho foi o modelo elástico linear adotando os parâmetros (Tabela 3) obtidos de Bahia (2015) e literatura existente.

Estaca Fck (MPa)	ϕ (m)	γ (kN/m ³)	E (kN/m ²)	ν
20	0.5	24.0	2x10 ⁷	0.2

Nota: ϕ = diâmetro, ϕ = peso específico do concreto, E = módulo de Young, e ν = coeficiente de poisson.

Tabela 3. Parâmetros adotados para estaca de concreto.

4 | A MODELAGEM

4.1 Geometria e Condições Iniciais

A modelagem foi realizada considerando a condição de axissimetria, e condição de contorno com as dimensões de 60m x 40m. A geometria do projeto é apresentada na Figura 3. Os parâmetros adotados para modelagem foram adotados conforme os valores explícitos nas Tabelas 1, 2 e 3 mencionadas para o solo e para a estaca de concreto. A malha de elementos finitos foi gerada escolhendo – se o tipo “fine”, com maior refinamento na estaca para uma melhor acurácia dos resultados (Figura 4).

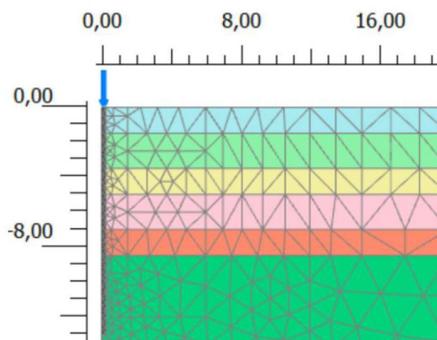


Figura 4. Geometria da estaca e discretização da malha

4.2 Etapas de Cálculo

A simulação da prova de carga foi feita pela prescrição gradual de deslocamentos verticais nos nós da interface solo/estaca para representar os recalques de uma placa rígida. Os estágios de carregamento e descarregamento foram os mesmos adotados na prova de carga em campo mencionada no item 2.1 deste trabalho.

5 | RESULTADOS

A Figura 5 a seguir mostra o valor de recalque final no valor de 19.24 mm obtido para a carga máxima de 1575.9 N. (Para a prova de carga real, com a mesma carga foi obtido o valor de 20.56mm). Já para a carga de trabalho (843.7 kN) foi obtido o deslocamento de 2.92mm contra 3.8mm obtido na prova de carga em campo.

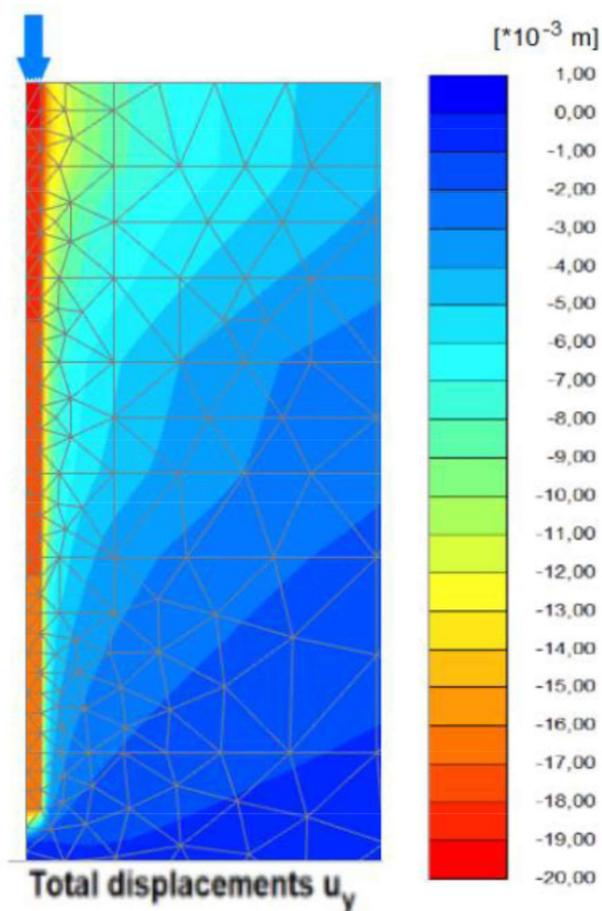


Figura 5. Recalque Final da Estaca Ensiada

A Tabela 3 a seguir ilustra os resultados obtidos para cada uma das fases de carregamento e descarregamento.

Etapa	Carga Aplicada (KN)	Deslocamento Vertical (mm)
1	21.6	-0.17
2	119.7	-0.39
3	315	-0.86
4	511.9	-1.46
5	708	-2.20
5.1	843.7	-2.92
6	904	-3.25
7	1100	-5.13
8	1296	-8.82
9	1492	-16.58
10	1575.9	-19.24
11	1181	-16.09
12	787	-15.47
13	394	-14.85
14	0	-14.23

Tabela 3. Relação Carga x Deslocamento.

A Figura 6 apresenta as curvas carga x recalque que permitem uma comparação dos resultados medidos *in situ* com as previsões numéricas obtidas pelo método dos elementos finitos (Plaxis 2D).

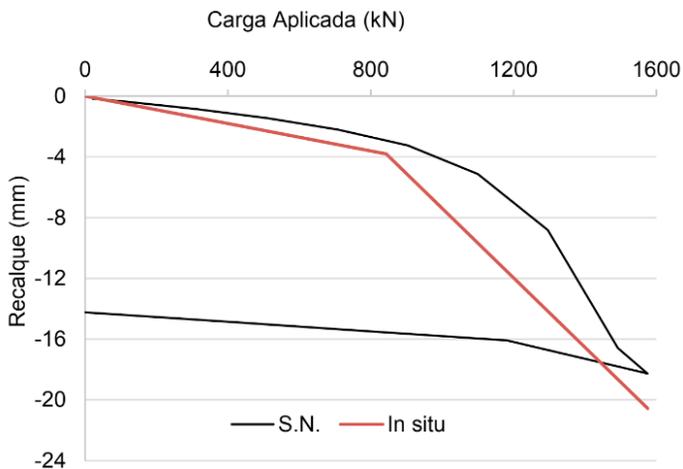


Figura 6. Resultados das curvas Carga x Recalque

6 | CONCLUSÕES

Ainda que não tenha sido feito nenhum processo de ajuste ou calibração dos parâmetros utilizados para dois solos de diferentes regiões do Distrito Federal, os resultados obtidos numericamente apresentaram uma boa aproximação com os resultados experimentais, demonstrando a capacidade do Modelo Hardening Soil e do programa de elementos finitos Plaxis 2D na reprodução dos resultados dos ensaios de prova de carga em placa.

O comportamento mecânico dos solos de Brasília sob condições naturais de umidade pode ser modelado usando o modelo HS. Os parâmetros obtidos podem ser considerados representativos dos solos da cidade de Brasília, mas devem ser determinados para cada site e projeto em particular. (REBOLLEDO et al., 2019). Para a região de Águas Claras DF os parâmetros dos modelos constitutivos para o solo e para o— concreto utilizados nessa previram comportamento aceitáveis bastante próximos da realidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio das seguintes instituições para o financiamento desta pesquisa: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Bolsa nº 140923 / 2020-9); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); e a Universidade de Brasília.

REFERÊNCIAS

- ABNT (2006). *Estaca – Prova de carga estática – Método de ensaio: NBR-12131*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 8p.
- Azevedo, A. F. M. (2003). *Método de elementos finitos*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 1ª Edição, p. 258.
- Bahia, G. A. D. (2013). *Análise do desempenho de fundações durante a construção de edifício localizado no DF*. Monografia para conclusão do curso de engenharia Civil, UniCEUB, p. 94.
- Bahia, G. A. D. (2015). *Avaliação do desempenho de fundações em edificação no DF com a utilização de técnicas de interação solo-estrutura*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 245p.
- Briançon, L., Haza-Rosier, E., Thorel, L., Damiel, D. & Combarieu, O. (2011). *Recommendations for design, construction and control of rigid inclusion ground improvements*. IREX's Soil Specialist Cluster, 317 p. , p. 61-82.
- Magalhães, P. H. L. (2005). *Avaliação dos Métodos de Capacidade de Carga e Recalque de Estacas Hélice Contínuas via Provas de Carga*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 243p.

Plaxis 2D Scientific Manual. (2016).

Poulos, H. G. (1994). *An approximate numerical analysis of pile-raft interaction*. Int. Journal for Num.Anal.Meth.In Geomechanics, 18: 73-92.

Poulos, H. G. (1998). *The pile-enhanced raft – an economical foundation system*. Keynote Lecture at XI COBRAMSEG, novembro, Brasília.

Rebolledo, J.F.R., León,, R.F.P, Camapum De Carvalho J. (2019). *Obtaining the Mechanical Parameters for the Hardening Soil Model of Tropical Soils in the City of Brasilia*. Soils and Rocks, São Paulo, 42(1): 61-74, January-April, 2019.

UMA REVISÃO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Data de aceite: 16/11/2020

Alex Gomes Pereira

Centro Universitário São Lucas
Porto Velho, Rondônia
ID Lattes: 1676454293636622

Benício de Moraes Lacerda

Faculdade de Educação e Cultura de Porto
Velho
Porto Velho, Rondônia
ID Lattes: 4051930204722663

Cristiano da Silva Vieira

Centro Universitário São Lucas
Porto Velho, Rondônia

Emerson Diniz Viriato

Engenheiro Civil
Porto Velho, Rondônia
ID Lattes: 9260926541995793

RESUMO: Nos últimos anos, a ocorrência prematura da perda das características funcionais e estruturais das edificações, bem como consideráveis impactos ambientais devido ao processo produtivo do cimento levou ao desenvolvimento e adoção de materiais suplementares à composição do cimento Portland para aumentar a vida de serviço das estruturas e redução de impactos ambientais. Nesta temática, as pesquisas com o uso da cinza de casca de arroz (CCA) em argamassas e concretos (substituindo parcialmente o cimento Portland) vêm crescendo, gerando dessa forma grandes vantagens no campo técnico e ambiental. Diante

disso, o presente trabalho apresenta um revisão sobre a utilização do resíduo agro-industrial de CCA na construção civil. A pesquisa foi desenvolvida a partir de uma revisão bibliográfica sistemática a respeito do assunto, passando por uma abordagem geral, apresentando a origem, dados estatísticos, aplicações e características tecnológicas sobre o tema.

PALAVRAS-CHAVE: Cinza de casca de arroz; Construção civil; Resíduo.

ABSTRACT: In recent years, the increase in the consumption of Portland cement in the civil construction sector as well as the considerable increase in environmental impacts from the cement production process has led to the development and adoption of additional materials to the Portland cement composition to minimize environmental degradation. In this theme, research on the use of rice husk ash (RRA) in mortars and concretes (partially replacing Portland cement) has been growing, thus generating great advantages in the technical and environmental field. Therefore, this article presents a review on the use of agro-industrial RRA residue in civil construction. The work was developed from a systematic literature review on the subject, going through a general approach, presenting the origin, statistical data and applications and technological characteristic on the subject.

KEYWORDS: Rice husk ash; Civil construction; Residue.

1 | INTRODUÇÃO

Recentemente, em muitos países,

são empregados resíduos industriais como forma de agregar valor à execução, recuperação e manutenção de obras de concreto, já que estas representam técnicas sustentáveis e alternativas economicamente viáveis.

À vista disso, objetivando a redução de custos e manutenção e, ainda, minimizar a exploração dos materiais não renováveis normalmente usados nessas estruturas, a literatura cita vários tipos de resíduos, provenientes de processos industriais, que têm sido usados na construção civil em substituição aos usuais materiais. Resíduos como as cinzas de milho, resíduos de biomassa da cana de açúcar, resíduos de fosfogesso, resíduos de madeira, resíduos de construção e demolição (RCD) e resíduo de vidro moído têm sido utilizados em concretos e argamassas para substituição parcial de cimento (MEMON e KHAN, 2018; ANJOS et al., 2013; CHEN et al., 2018; USMAN et al., 2018; TRENTIN et al., 2020), e recentemente, o emprego da cinza de casca de arroz (CCA).

Esse trabalho teve como objetivo realizar uma revisão da literatura sobre o emprego do CCA na construção civil.

2 | A CULTURA DO ARROZ

Conforme a Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado (SOSBAI, 2016), o arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos alimentos mais importantes para nutrição humana, sendo base alimentar de 3 bilhões de pessoas no mundo.

Em termos de produção mundial, o continente asiático se caracteriza como o maior produto de arroz do mundo, sendo responsável por 90% do total da produção do arroz no mundo (VIGNESHWARI, ARUNACHALAM e ANGAYARKANNI, 2018). Segundo os dados da *Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database* - FAOSTAT, em 2016, o Brasil era o segundo maior produtor mundial de soja; o terceiro maior produtor de milho; e o nono maior produtor mundial de arroz, produzindo mais de 12 milhões de toneladas de arroz na safra 2016/2017. Nacionalmente, o arroz ocupa a terceira posição, em volume produzido, ficando atrás apenas das culturas da soja e do milho (CONAB, 2015; CONAB, 2017). A Tabela 1 apresenta os principais produtores de arroz do mundo.

Ranking	Produção (toneladas)
China	212.129.000
Índia	172.580.000
Indonésia	83.037.000
Bangladesh	56.417.319
Vietnã	44.046.250
Tailândia	32.192.087
Myanmar	25.418.142
Filipinas	19.066.094
Brasil	11.749.192
Paquistão	10.802.949

Tabela 1 – Principais produtores de arroz

Fonte: Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018).

2.1 Cinza de casca de arroz na construção civil

Segundo Calheiro et al. (2016), a CCA é um resíduo sólido resultante da combustão da casca de arroz (CA) utilizada como combustível para a geração de energia (Figura 1 e 2).

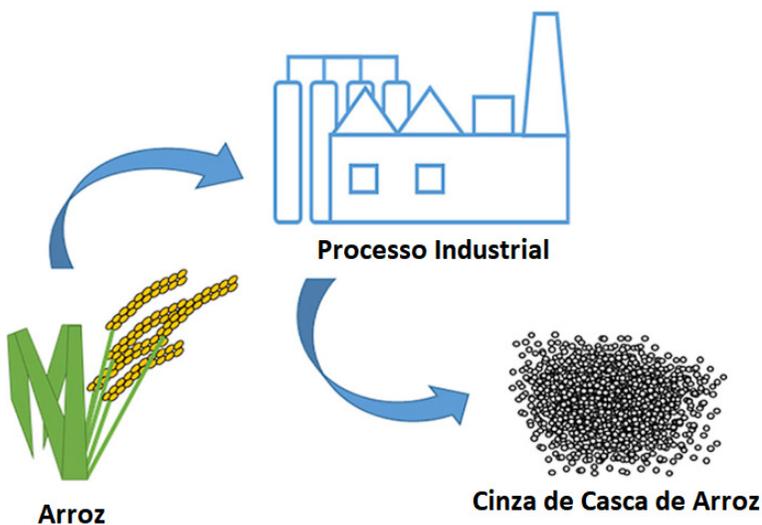


Figura 1 - Processo de produção da CCA

Fonte: Adaptado de Vidal, Araujo e Freitas (2018).



Figura 2 - a) Cascas de arroz; (b) Cinza da casca de arroz

Fonte: Glushankova et al. (2018).

Como resultado são geradas milhares de toneladas de CCA, o que prejudica o seu gerenciamento, pois demanda muito espaço para o devido ao acúmulo e descarte (CALHEIRO et al., 2016; NASCIMENTO et al., 2015). A Figura 3 e 4 ilustram o descarte incorreto do resíduo industrial de CCA.



Figura 3 – Depósito de CCA a céu aberto

Fonte: Pouey (2006).



Figura 4 – Depósito de CCA ao longo da estrada

Fonte: Santos (1997).

Historicamente, a utilização de CCA em concreto tem como um precursor Beagle, que em 1924, introduziu pela primeira vez o arroz nesse tipo de formulação. As décadas de 1940 e 1950, internacionalmente marcadas pelo desenvolvimento de diversos trabalhos, incluindo as primeiras pesquisas de blocos confeccionados com cimento Portland e CCA. Em 1973, Metha desenvolve diferentes trabalhos sobre o efeito da queima na atividade pozolânica, o qual, mais tarde, serviu para o desenvolvimento do estudo sobre a compreensão do grau de pozolanicidade das CCA, conforme a temperatura de queima (TIBONI, 2007).

Os anos seguintes foram caracterizados pela consolidação da utilização das CCA em diversas partes do mundo. De modo geral, a literatura cita vários tipos de trabalhos, entres esses estudos, destacam-se: a substituição de cimento Portland por CCA em concreto massa, utilização de CCA em trabalhos de alvenaria e fundações, primeiro Workshop sobre o CCA, estudo da fluência e retração de concretos de cimento Portland com a adição de CCA, produção e emprego de CCA como material cimentício, efeito da queima e moagem nas propriedades de argamassa, morfologia e características químicas e físicas da CCA, hidratação e microestruturas de pastas de cimento produzidas com diferentes CCA e patente relativa aos produtos altamente duráveis com cinzas, com o emprego de 5 a 30% de CCA substituindo o cimento (TIBONI, 2007; SILVA, 2009).

No Brasil, os primeiros estudos desenvolvidos com CCA foram realizados por Isaia (1995), Gava (1999), Isaia (2005), Pouey (2006) e Metha e Monteiro (2008). A Tabela 2 sumariza os principais trabalhos realizados ao longo dos anos sobre CCA.

Ano	Local	Autor(es)	Trabalho(s)
1924	Alemanha	Beagle	Utilização de CA no concreto
1940 e 1950	-	Diversos	Blocos confeccionados com cimento Portland e cinza e casca de arroz
1973	Bélgica	Metha	Primeira patente no assunto
1976	-	Pitt	Controle de combustão em leito fluidizado
1978	Índia	Metha e Pirtz	Substituição de cimento Portland por CCA em concreto massa
1979	Índia	Prakash	Utilização de CCA em trabalhos de alvenaria e fundações
1979	Paquistão	-	Primeiro Workshop sobre o assunto
1981	Ásia	Cook	Estudo da fluência e retração de concretos de cimento Portland com a adição de CCA
1982	Japão	-	Produção e emprego de CCA como material cimentício

1984	Israel	Hana Yousif	Efeito da queima e moagem nas propriedades de argamassa
1986	Índia	James e Rao	Morfologia e características químicas e físicas da CCA
1989	Tailândia	Hwang e Wu	Hidratação e microestrutura de pastas de cimento produzidas com diferentes CCA
1994	Estados Unidos	Metha	Patente relativa a produtos altamente duráveis com cinzas, com o emprego de 5 a 30% de CCA substituindo o cimento
1995	Brasil	Isaia	Efeito de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de alto desempenho
1999	Brasil	Gava	Estudo comparativo de diferentes metodologias para avaliação da atividade pozolânica
2001	Espanha	Paya	Determinação da sílica amorfa na CCA por um rápido método analítico
2005	Brasil	Isaia	Cinza de casca de Arroz in: Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações
2006	Brasil	Pouey	Beneficiamento da CCA residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico
2008	Brasil	Metha e Monteiro	Cinza de casca de arroz in: Concreto, Microestrutura, Propriedades e Materiais

Tabela 2 – Estrutura cronológica do conhecimento sobre CCA

Fonte: Silva (2009).

Embora as primeiras aplicações no Brasil datem da década de 90, somente no início do ano de 2000 é que ocorreu um maior interesse para sua utilização, devido ao grande volume de resíduos sólidos gerado, principalmente no sul do país.

Sua recente aplicação em composições de concretos e argamassas se dá em função de ser uma matéria-prima barata, abundante e origem renovável. Além dessas características, outras vantagens são a existência de compostos nobres nos resíduos de arroz, como por exemplo, a sílica, que podem trazer enormes benefícios aos processos industriais do concreto e outros tipos de materiais (PRASARA-A e GHEEWALA, 2017). E ainda, Moraes et al. (2010) destacam as composições de cimento contendo sílica, em relação à pasta de cimento Portland sem adições, tende a exibir uma microestrutura mais densa, menos heterogênea e mais compacta, e com menor proporção de vazios desenvolvidos. A reação da sílica com o hidróxido de cálcio formado na hidratação do cimento gera um composto resistente de silicato de cálcio hidratado. Esse composto tende a preencher os grandes vazios capilares, com excelentes características de aderência, diferentes e até melhores que o silicato

de cálcio hidratado obtido com a hidratação do cimento Portland.

Neste contexto, observa-se o desenvolvimento de diferentes pesquisas com a utilização do CCA em formulações de concreto e argamassa (HABEEB e MAHMUD, 2010; ZAIN et al., 2011; VAN et al., 2013; SALAZAR-CARRENO, GARCIA-CACERES e ORTIZ-RODRIGUEZ, 2015; PARK, KWON e WANG, 2016; VIGNESHWARI, ARUNACHALAM e ANGAYARKANNI, 2018; SHARMA e SHARMA, 2018; HU, HE e ZHANG, 2020). No Brasil, a literatura baila as pesquisas desenvolvidas em Santa Catarina, São Paulo e Rio Grande do Sul (TIBONI, 2007).

Nos estudos desenvolvidos no Rio Grande do Sul, destaca-se os realizados pelo Grupo de Pesquisa em Materiais e Reciclagem (GMAT) e Núcleo de Caracterização de Materiais (NucMat), ambos da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Dentre os materiais estudados têm-se CCA, cuja experiência é descrita nos parágrafos seguintes.

Kieling et al. (2009) investigaram a influência da adição de cinza de casca de arroz na aderência de argamassas de revestimento. No estudo apresentado foram preparadas argamassas com 0%, 5% e 10% de CCA em substituição ao cimento em volume. As composições foram submetidas aos ensaios de resistência de aderência à tração. Os resultados obtidos indicaram que a argamassa com 5% de CCA apresenta uma menor quantidade de vazios na interface entre os agregados.

Moraes et al. (2010) analisaram a viabilidade técnica e ambiental da incorporação de resíduos de CCA em revestimentos de argamassa. As amostras foram analisadas quanto à resistência mecânica por meio dos ensaios de resistência de aderência à tração. Além disso, as argamassas foram avaliadas em função da análise do ciclo de vida (ACV). Como resultado, os autores observaram que as misturas compostas com CCA apresentaram resultados superiores em relação aquelas confeccionadas com material convencional.

Wilbert, Kazmierczak e Kulakowski (2017), analisaram a interface entre agregados reciclados de concreto e argamassas de concretos com CCA e fíler basáltico por nanoindentação. Em linhas gerais, os resultados demonstraram que a utilização de CCA aumenta a dureza da região de interface entre os agregados.

Estudos desenvolvidos por Guillante et al. (2019), avaliaram o efeito sinérgico da CCA e do resíduo de cerâmica vermelha (RCV) na mitigação da reação álcali agregado. As composições foram submetidas aos ensaios de resistência à compressão e ensaio acelerado de reação álcali agregado (RAA). Os resultados de ensaio acelerado de RAA mostraram que a CCA é prejudicial para a RAA, mesmo quando aplicada com agregado não reativo. Enquanto o RCV mostrou-se ser capaz de aliviar a RAA, mesmo quando empregado em conjunto com a CCA. No estudo da resistência à compressão, a CCA pode compensar uma pequena perda de resistência associada ao uso de RCV.

Ceconello et al. (2019) investigaram a retração e porosidade em concretos produzidos com agregado reciclado de concreto (ARC) e CCA. Os autores estudaram a inclusão de 25 e 50% de ARC graúdo, e 10 e 20% de CCA em substituição ao cimento. Os concretos foram avaliados quanto a absorção e água capilar e total, bem como a porosidade e retração. A partir dos resultados, os autores verificaram um efeito significativo da interação entre ARC e CCA.

2.2 Características

Nos estudos realizados no Brasil, observa-se que a maioria dos trabalhos que estudam a CCA na construção civil mostram que grande parte dessas cinzas apresentaram características pozolânicas gerada de sua estrutura química amorfa e de sua alta concentração de sílica, entre 74% e 97% (SILVA, 2009; MORAES et al., 2010). Devido ao seu alto teor de óxido de silício, a CCA é utilizada passa a ser uma alternativa para diversas aplicações industriais, em especial na área da construção civil, como mineral pozolânico para argamassas, concretos, ou como material estabilizante de solos para obras rodoviárias.

Neste sentido, Nascimento et al. (2015) estudaram a caracterização físico-química da cinza de casca de arroz proveniente do processo termelétrico do sul de Santa Catarina. Em seu estudo, foi utilizado uma CCA fornecida por uma cooperativa de arroz da região sul de Santa Catarina. No estudo, os autores avaliaram as propriedades químicas por meio da técnica de espectrometria de fluorescência de raios-x (FRX), usando o equipamento espectrômetro PHILIPS, modelo PW 2400, com tubos de raios-x de 3kW e alvo de ródio com sistema de análise sequencial (com goniômetro). Os resultados de FRX obtidos pelos autores encontram-se ilustrados na Tabela 3.

Óxidos	(%)
Dióxido de silício (SiO_2)	86,37
Pentóxido de fósforo (P_2O_5)	4,79
Óxido de potássio (K_2O)	3,09
Óxido de ferro (Fe_2O_3)	1,16
Óxido de alumínio (Al_2O_3)	0,86
Óxido de magnésio (MgO)	0,68
Óxido de cálcio (CaO)	0,63

Tabela 3 – Composição química da CCA

Fonte: Adaptado de Nascimento et al. (2015).

De acordo com os resultados apresentados, nota-se elevada porcentagem, em peso, do componente dióxido de silício (86,37%). Também foram identificados

os componentes pentóxido de fósforo (4,79%), óxido de potássio (3,09%), óxido de ferro (1,16%), óxido de alumínio (0,86%), óxido de magnésio (0,68%) e óxido de cálcio (0,63%).

Resultados semelhantes foram obtidos por Nehdi, Duquette e Damatty (2003), Park, Kwon e Wang, 2016, Calheiro et al. (2016), Vigneshwari, Arunachalam e Angayarkanni (2018), Sharma e Sharma, 2018, Guillante et al. (2019), Ceconello et al. (2019), Hu, He e Zhang (2020). Hu, He e Zhang (2020) avaliaram as CCAs em diferentes tempos de combustão.

De acordo com Chen et al. (2015) as características químicas da CCA provêm do processo de queima (Tabela 4).

Além desses fatores, Chaves et al. (2009) explicam que a composição química da CA varia em função de outros fatores. Entre eles, mencionam as características do solo em que o arroz foi plantado, o tipo e teor de fertilizantes utilizados, condições climáticas e o tipo de arroz.

Referência	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MnO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	SO ₃ (%)	P ₂ O ₃ (%)	Outros (%)	Processo de queima	T (°C) empregada
Deng et al. (2016) China	98,64	0,38	0,03	0,238	0,249	N/E	0,218	0,12	0,125	N/E	N/E	N/E	Pirólise	600
Alvarez et al. (2014) Espanha	98,0	0,52	0,02	0,11	0,23	0,01	0,11	0,10	0,38	N/E	0,08	0,42	Pirólise	400, 450, 500 e 600
Fernandes et al. (2016) Brasil	96,71	0,09	N/E	0,01	N/E	0,01	N/E	N/E	0,69	0,06	0,23	N/E	Leito fluidizado	700
Bakar; Yahya; Gan (2016) Malásia	95,77	0,046	N/E	0,05	0,667	0,054	0,397	1,259	0,618	0,653	0,459	0,027	Muflo	500, 600, 700, 800 e 900
Chen et al. (2015) China	94,8	1,27	N/E	0,56	0,45	N/E	0,19	0,12	0,62	N/E	1,49	0,5	Leito fluidizado	650, 675, 700, 725 e 750
Lee et al. (2017) Coreia	94,7	0,08	N/E	0,06	1,42	0,18	0,54	0,09	1,7	N/E	N/E	1,23	Pirólise	800
Hossain et al. (2017) Índia	92,81	N/E	0,112	0,312	0,417	N/E	0,212	2,658	1,021	0,132	1,071	1,255	N/E	500
Sobrosa et al. (2017) Brasil	91,48	N/E	0,003	0,05	0,36	0,32	0,32	0,04	1,4	0,15	0,45	N/E	Leito fluidizado	650

N/E = Não encontrado/ não citado no artigo de referência.

Tabela 4 – Composição elementar da CCA relacionada ao processo de queima

Fonte: Adaptado de Camargo et al. (2018).

As características tecnológicas da Cinza de casca de arroz são apresentadas na Tabela 5.

Propriedades	Resultados
Massa específica	2,07 g/cm ³
Área de superfície específica	27,12 m ² /g
Tamanho médio de partícula	24,73 μm

Tabela 5 – Propriedades físicas da CCA

Fonte: Vidal, Araujo e Freitas (2018).

Quanto a reatividade da CCA varia conforme o método utilizado para obtenção da sílica (HAMDAN et al., 1997; RAMBO, 2009). Segundo Fernandes (2006), a sílica a partir da CCA pode ser obtida por duas técnicas: calcinação com atmosfera controlada (entre 400-700°C) e lixiviação em meio alcalino. O método de calcinação com atmosfera controlada se caracteriza por apresentar uma sílica cristalina e pouco reativa, com uma área de superfície específica de 10m²/g e baixo valor econômico. No caso da obtenção da sílica por meio do procedimento de lixiviação em meio alcalino, a sílica resultante da CCA é constituída por uma forma pura, com solubilização sob condições alcalinas e precipitação em baixo pH (BRINKER e SCHERER, 1990).

3 | CONCLUSÃO

A presente pesquisa buscou agregar com embasamento científico os efeitos benéficos da utilização da cinza de casca de arroz gerados constantemente em grandes volumes por usinas elétricas.

A partir deste estudo, observa-se que o uso do resíduo industrial da cinza de casca de arroz mostra-se como uma alternativa promissora para a mitigação de impactos ambientais causados pela construção civil, tanto em termos de grandes quantidades gerados e a necessidade de sua correta destinação, assim como minimizar a utilização de cimento Portland e aumento da durabilidade dos concretos e argamassas, visto que apresenta desempenho superior quando comparado aos materiais usualmente utilizados em diversas obras.

REFERÊNCIAS

ANGEL, J. D. M.; VÁSQUEZ, T. G. P.; JUNKES, J. A.; HOTZA, D. Caracterização de cinza obtida por combustão de casca de arroz em reator de leito fluidizado. **Química nova**, v. 32, n. 5, p. 1110-1114, 2009.

ANJOS, M. A. S.; MARTINELLI, A. E.; MELO, D. M. A.; RENOVATO, T.; SOUZA, P. D. P.; FREITAS, J. C. O. Hydration of oil well cement containing sugarcane biomass waste as a function of curing temperature and pressure. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 109, p. 291-297, 2013.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM C593: Standard specification for fly ash and other pozzolans for use with lime for soil stabilization**. USA, 2019.

BRINKER, C. J.; SCHERER, G. W. Sol-Gel Science: The physics and chemistry of sol-gel processing. **Academic Press, San Diego CA**, 1990.

CALHEIRO, D.; FERNANDES, I. J.; KIELING, A. G.; MORAES, C. A. M.; KULAKOWSKI, M. P.; BREHM, F. A. Influência da segregação granulométrica e do emprego de aditivos de moagem na adequação de cinzas de casca de arroz como coproduto. **Matéria**, v. 21, n. 2, p. 270-281, 2016.

CAMARGO, A. F.; BRANDLER, D.; MODKOVSKI, T. A.; SCAPINI, T.; TREICHEL, H. Uma revisão sobre a influência dos processos de queima na composição da cinza da casca de arroz visando produção de sílica. **Revista CIATEC**, v. 10, n. 2, p. 42-57, 2018.

CHAVES, T. F.; QUEIROZ, Z. F.; SOUSA, D. N. R.; GIRÃO, J. H. S.; RODRIGUES, E. A. (2009). Uso da cinza da casca de arroz (CCA) obtida da geração de energia térmica como adsorvente de Zn(II) em soluções aquosas. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1378-1383, 2009.

CHEN, G.; DU, G.; MA, W.; YAN, B.; WANG, Z.; GAO, W. Production of amorphous rice husk ash in a 500 kW fluidized bed combustor. **Fuel**, v. 144, p. 214–221, 2015.

CHEN, Q.; ZHANG, Q.; QI, C.; FOURIE, A.; XIAO, C. Recycling phosphogypsum and construction demolition waste for cemented paste backfill and its environmental impact. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 418-429, 2018.

CECCONELLO, V.; SARTORI, B. R. C.; KULAKOWSKI, M. P.; KAZMIERCZAK, C. S.; MANCIO, M. Shrinkage and porosity in concretes produced with recycled concrete aggregate and rice husk ash. **IBRACON Structures and Materials Journal**, v. 12, n. 3, p. 694-704, 2019.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A cultura do arroz**. Brasília: Conab, 2015.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra Brasileira de grãos: Terceiro levantamento, safra 2017/18**. Brasília: Conab, 2017.

FERNANDES, A. A. **Síntese de zeólitas e wolastonita à partir da cinza da casca do arroz**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Nuclear, Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2006.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em < http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity>. Acesso em: 28de jun. de 2020.

GAVA, G. P. **Estudo comparativo de diferentes metodologias para a avaliação da atividade pozolânica**. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

GLUSHANKOVA, I.; KETOV, A.; KRASNOVSKIKH, M.; RUDAKOVA, L.; VAISMAN, Iakov. Rice Hulls as a Renewable Complex Material Resource. **Resources**, v. 7, n. 31, 2018.

GUILLANTE, P.; ABREU, A. G.; KULAKOWSKI, M. P.; MANCIO, M.; KAZMIERCZAK, C. S. Synergistic effect of RHA and FCW in alkali-aggregate reaction mitigation. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 2, p. 7-20, 2019.

HABEEB, G. A. & MAHMUD, H. B. Study on properties of rice husk ash and its use as cement replacement material. **Materials Research**, v. 13, n. 2, p. 185-190, 2010.

HAMDAN, H.; MUHID, M. N. M.; ENDUD, S.; LISTIORINI, E. & RAMLI, Z. ²⁹Si MAS NMR, XRD and FESEM studies of rice husk silica for the synthesis of zeolites. **Journal of Non-Crystalline Solids**, v. 211, p. 126-131, 1997.

HU, L.; HE, Z.; ZHANG, S. Sustainable use of rice husk ash in cement-based materials: environmental evaluation and performance improvement. **Journal of Cleaner Production**, v. 264, p. 121744, 2020.

ISAIA, C. I. **Efeito de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho: um estudo de durabilidade com vistas à corrosão da armadura**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

ISAIA, C. I. **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005.

KIELING, A. G.; CAETANO, M. O.; KULAKOWSKI, M. P.; KAZMIERCZAK, C. S. Influência da adição de cinza de casca de arroz na aderência de argamassas de revestimento. **Estudos Tecnológicos (Online)**, v. 5, p. 157-170, 2009.

MEHTA, P. K. Rice husk as: a unique supplementary cementing material. In: **Proceedings of the International Symposium on Advances in Concrete Technology**. Athens, Greece. p. 407-430, 1992.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 3.ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. **Concreto**: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, 1994.

MEMON, S. A.; KHAN, M. K. Ash blended cement composites: Eco-friendly and sustainable option for utilization of corncob ash. **Journal of Cleaner Production**, v. 175, p. 442-455, 2018.

MORAES, C. A. M.; KIELING, A. G.; CAETANO, M. O.; GOMES, L. P. Life cycle analysis (LCA) for the incorporation of rice husk ash in mortar coating. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 2, p. 1170–1176, 2010.

NASCIMENTO, G. C.; DOMINGUINI, L.; MELLO, J. M. M.; MAGRO, J. D.; RIELLA, H. G.; FIORI, M. A. Caracterização físico-química da cinza de casca de arroz oriunda do processo termelétrico do sul de Santa Catarina – Brasil. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 4, p. 634-640, 2015.

NEHDI, M.; DUQUETTE, J.; DAMATY, A. E. L. Performance of rice husk ash produced using a new technology as a mineral admixture in concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 33, n. 8, p. 1203-1210, 2003.

PARK, K. B.; KWON, S. J.; WANG, X. Y. Analysis of the effects of rice husk ash on the hydration of cementitious materials. **Construction and Building Materials**, v. 105, p. 196-205, 2016.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

PRASARA-A, J.; GHEEWALA, S. Sustainable utilization of rice husk ash from power plants: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 1020-1028, 2017.

RAMBO, M. K. D. **Aproveitamento da casca de arroz para produção de xilitol e sílica xerogel**. Dissertação (Mestrado) - Programa de pós-graduação em Química, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SALAZAR-CARRENO, D.; GARCIA-CACERES, R. G.; ORTIZ-RODRIGUEZ, O. O. Laboratory processing of Colombian rice husk for obtaining amorphous silica as concrete supplementary cementing material. **Construction and Building Materials**, v. 96, p. 65-75, 2015.

SANTOS, S. **Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos**. Dissertação (Mestrado) - Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

SHARMA, D.; SHARMA, R. Influence of rice husk ash and rice tiller ash along with chromate reducing agents on strength and hydration properties of Ordinary Portland Cement. **Construction and Building Materials**, v. 169, p. 843-850, 2018.

SILVA, E. J. **Contribuição para utilização de cinza de casca de arroz na construção civil**. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.

SOSBAI. SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Pelotas, RS: SOSBAI, 2016.

TASHIMA, M. M.; FIORITI, C. F.; AKASAKI, J. L.; BERNABEU, J. P.; SOUSA, L. C.; MELGES, J. L. P. Cinza de casca de arroz (CCA) altamente reativa: método de produção e atividade pozolânica. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 2, p. 151-163, 2012.

TIBONI, R. **A utilização de cinza de casca de arroz de termoelétrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

TRENTIN, P. O.; MANICA, J.; VANZETTO, S. C.; MARANGONI, B.; ZALESKI, A. Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa. **Matéria**, v. 25, p. 12576, 2020.

USMAN, M.; KHAN, A. Y.; FAROOQ, S. H.; HANIF, A.; TANG, S.; KHUSHNOOD, R. A.; RIZWAN, S. A. Eco-friendly self-compacting cement pastes incorporating wood waste as cement replacement: A feasibility study. **Journal of Cleaner Production**, v. 190, p. 679-688, 2018.

VAN, V. T. A.; RÖBLER, C.; BUI, D. D.; LUDWIG, H. M. Mesoporous structure and pozzolanic reactivity of rice husk ash in cementitious system. **Construction and Building Materials**, v. 43, p. 208-216, 2013.

VASCONCELOS, A. R. B.; AKASAKI, J. L. Análise da durabilidade do concreto de alto desempenho com adição de cinza de casca de arroz e borracha de pneu. **Ambiente Construído**, v. 10, p. 77-90, 2010.

VIDAL, A. V.; ARAUJO, R. G. S.; FREITAS, J. C. O. Sustainable cement slurry using rice husk ash for high temperature oil well. **Journal of Cleaner Production**, v. 204, p. 292-297, 2018.

VIGNESHWARI, M.; ARUNACHALAM, K.; ANGAYARKANNI, A. Replacement of silica fume with thermally treated rice husk ash in Reactive Powder Concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 188, p. 264-277, 2018.

ZHANG, M. H.; LASTRA, R.; MALHOTRA, V. M. Rice-husk ash paste and concrete: Some aspects of hydration and the microstructure of the interfacial zone between the aggregate and paste. **Cement and Concrete Research**, v. 26, n. 6, p. 963-977, 1996.

ZAIN, M. F. M.; ISLAM, M. N.; MAHMUD, F.; JAMIL, M. Production of rice husk ash for use in concrete as a supplementary cementitious material. **Construction and Building Materials**, v. 25 n. 2, p. 798-805, 2011.

WILBERT, D. G. B.; KAZMIERCZAK, C. S.; KULAKOWSKI, M. P. Análise da interface entre agregados reciclados de concreto e argamassas de concretos com cinza de casca de arroz e filer basáltico por nanoindentação. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 2, p. 253-268, 2017.

CAPÍTULO 11

ESTUDO DA ÁREA DE DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL DE RIO VERDE, GO

Data de aceite: 16/11/2020

Data de submissão: 24/08/2020

Daniel Rodrigues Campos

Universidade de Gurupi – UNIRG

Gurupi – TO, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/5337448061115671>

Marcel Sousa Marques

Universidade Federal do Tocantins - UFT

Palmas - TO, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/6196652085352932>

Adriana Antunes Lopes

Instituto Federal de São Paulo - IFSP

Ilha Solteira – SP, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/8223592156939686>

Camila Ribeiro Rodrigues

Universidade de Gurupi – UNIRG

Gurupi – TO, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/6373169676495321>

Katianne Lopes de Paiva

Universidade Federal do Tocantins – UFT

Palmas – TO, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/5034551965159453>

Marcelo Mendes Pedroza

Instituto Federal do Tocantins – IFTO

Palmas – TO, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/4401608528438096>

Danielma Silva Maia

Instituto Federal do Tocantins – IFTO

Gurupi – TO, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/3639723304380681>

Enicléia Nunes de Sousa Barros

Universidade de Gurupi – UNIRG

Gurupi – TO, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/3193828248319049>

RESUMO: Os resíduos de construção civil são gerados em grande quantidade pelos diversos tipos de empreendimentos imobiliários e, quando dispostos de forma inadequada nos centros urbanos, contribuem para a geração de impactos ambientais negativos associados a esse tipo de resíduo (ABRELPE, 2018). A falta de uma área específica para o seu correto acondicionamento e subsequente disposição final têm gerado impactos ambientais, sociais e econômicos incalculáveis. Esses, além de prejudicarem a dinâmica ambiental da área de descarte, também contribuem para o empobrecimento paisagístico da área de descarte irregular desses resíduos (REICHERT, 2007). Dessa forma, este trabalho visou avaliar a situação da área de disposição final dos Resíduos de Construção Civil no município de Rio Verde (Goiás), por meio de visitas *in loco* e análise da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), com o intuito de elucidar os possíveis impactos ambientais decorrentes da má utilização da área de descarte.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos de Construção Civil, Resíduos Sólidos, Disposição Final, Aterro Sanitário.

STUDY OF THE FINAL DISPOSAL AREA OF CIVIL CONSTRUCTION WASTE FROM RIO VERDE, GO

ABSTRACT: Civil construction waste is generated in large quantities by different types of

real estate projects and, when improperly disposed in urban centers, they contribute to the generation of negative environmental impacts associated with this type of waste (ABRELPE, 2018). The lack of a specific area for its correct packaging and subsequent final disposal have generated incalculable environmental, social and economic impacts. These, in addition to harming the environmental dynamics of the disposal area, also contribute to the impoverishment of the landscape of the irregular disposal area of these residues (REICHERT, 2007). Thus, this study aimed to assess the situation of the final disposal area for Civil Construction Waste in the municipality of Rio Verde (Goiás), through on-site visits and analysis of the National Solid Waste Policy (BRASIL, 2010), with the in order to elucidate the possible environmental impacts resulting from the misuse of the disposal area.

KEYWORDS: Civil Construction Waste, Solid Waste, Final Disposal, Landfill.

1 | INTRODUÇÃO

Os resíduos de construção civil (RCC's) são gerados por diversas fontes, influenciadas pela tipologia e qualidade da construção, ocasionando o crescimento exacerbado do volume destes resíduos nos grandes centros urbanos. Esses resíduos são compostos por rejeitos de construção e demolição de empreendimentos, aumentando os impactos ambientais negativos decorrentes da má gestão e acondicionamento.

A reciclagem desse tipo de material consiste na sua utilização após um processo de beneficiamento específico que o transforma em agregado. Ao atender a CONAMA nº 307/2002 (BRASIL, 2002), poderá ser utilizado como matéria-prima em obras de construção de edifícios ou em outras obras de engenharia.

A destinação final ambientalmente adequada dos resíduos de construção civil é de responsabilidade do gerador, sendo este responsável pela coleta, transporte e destinação final destes resíduos (BRASIL, 2002). Cabe ao município a coleta, o transporte e sua subsequente disposição final ambientalmente adequada apenas dos resíduos de construção civil gerados em obras públicas ou depositados em áreas ou logradouros públicos como praças, ruas, calçadas, esquinas, dentre outros.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

A primeira etapa de realização deste trabalho constituiu-se de ampla pesquisa bibliográfica sobre a disposição final de resíduos sólidos, segundo as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Além disso, foi consultado o estudo do projeto de criação do Aterro Sanitário de Rio Verde – Goiás, disponibilizado à população, permitindo desenvolver uma análise crítica e exploratória sobre os parâmetros necessários para a criação e operação de um aterro sanitário de médio porte.

A segunda etapa, por sua vez, consistiu na realização de cinco visitas técnicas

realizadas na área do aterro durante os dias 26/11/2014, 02/12/2014, 28/04/2015, 28/05/2015, 02/07/2015. Além disso, foi também realizado registro fotográfico com o intuito de elucidar e comprovar o parecer final deste trabalho.

Na terceira e última etapa foi realizada uma avaliação dos dados coletados nas duas etapas anteriores, comparando-as com a resolução CONAMA nº 307/2002 (BRASIL, 2002) e normas técnicas específicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 8419 (ABNT, 1992) e NBR 13896 (ABNT, 1997).

A CONAMA nº 3007/ 2002 (BRASIL, 2002) estabelece as diretrizes e normas inerentes a destinação final dos resíduos de construção civil, englobando as técnicas e ações necessárias para a sua correta destinação final.

Dessa forma, foi realizada a avaliação da área de disposição final de resíduos sólidos de Rio Verde a partir do estudo comparativo, identificando a situação real da área de disposição final dos resíduos no município, com enfoque nos resíduos da construção civil.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com os dados obtidos na Secretaria Municipal de Ação Urbana de Rio Verde, a geração estimada de resíduos de construção civil no município é de cerca de 23 mil toneladas por mês. A estimativa da geração é dada por meio de projeções, visto que na área do aterro de resíduos sólidos do município não há uma balança para a devida pesagem das caçambas que são destinadas ao aterro.

A destinação final dos resíduos de construção civil é realizada no interior do aterro em uma área de expansão (Figura 1), porém o aterro não possui nenhuma obra de engenharia que a habilite para tal função. Os resíduos são encaminhados em caçambas para essa área sem passarem por uma triagem (Figura 2), o que ocasiona no descarte de outros materiais que não são classificados como RCC's.



Figura 1 – Área de descarte improvisada de RCC's na área do Aterro de Resíduos Sólidos de Rio Verde.

Fonte: O autor.

Posteriormente, esses resíduos são aproveitados como forma de cobertura das estradas de acesso no interior do aterro e como forma de cobertura dos resíduos domésticos, sendo assim dispostos e armazenados com base em uma metodologia inadequada, não levando em consideração as deliberações da Resolução CONAMA 307/2002 (BRASIL, 2002) antes da sua posterior utilização.

Conforme informações repassadas pelo operador do aterro, nunca houve a necessidade de buscar solo fora da área do aterro, pois a quantidade de resíduos de construção civil dispostos na área de empréstimo é bastante expressiva, evitando assim a coleta de solo para cobertura de outras áreas.

Além dos RCC's, durante os dias da visita foi observado o descarte irregular de resíduos eletrônicos, poda e capina, além de resíduos provenientes de sucata, o que demonstra que os resíduos sólidos são dispostos sem nenhum critério ou separação prévia.



Figura 2 – Caçamba de Resíduos de Construção Civil sem a separação apropriada.

Fonte: O autor.

Outro grande problema encontrado no município é a falta de separação e acondicionamento dos RCC's no canteiro de obras, implicando na disposição irregular de outros tipos de resíduos como, por exemplo, resíduos sólidos domésticos, resíduos eletrônicos e móveis em geral, aumentando o volume de resíduos dispostos de forma incorreta no aterro, prejudicando a dinâmica do acondicionamento adequado para esse tipo de resíduo.

A área de disposição atual desses resíduos faz parte do projeto inicial do aterro, porém esses resíduos são dispostos em pilhas desordenadas em toda a área de influência do aterro, conforme demonstrado pela Figura 3.



Figura 3 – Resíduos de Construção Civil dispostos de forma inadequada no maciço de resíduos.

Fonte: O autor.

Dessa forma, além dos resíduos não serem somente inertes, contribuem para a degradação e depreciação da qualidade ambiental da área de descarte irregular dos resíduos de construção civil na área do aterro de Rio Verde.

4 | CONCLUSÕES

A destinação final dos resíduos de construção civil do município de Rio Verde – GO é realizada de forma incorreta, pondo em risco toda a dinâmica ambiental da área de influência direta desse descarte. Algumas medidas como a implantação de uma central de triagem no aterro e a conscientização da população quanto à separação desses resíduos na obra é de suma importância, evitando assim o descarte de outros resíduos que não se enquadram nessa tipologia específica.

Há também a necessidade de que a população como um todo passe a participar da temática ambiental do município, cobrando do poder público municipal melhorias quanto à destinação adequada desses resíduos (tratamento e disposição final), como a fiscalização de que tais medidas estão sendo aplicadas.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. São Paulo, 2019. Disponível em: < http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm>. Acesso em 15 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1992. **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: NBR-8419**. Rio de Janeiro: ABNT, 9p.

_____. 1997. **Aterros de resíduos não perigosos – critério de projeto, implantação e operação – Procedimento: NBR-13896**. Rio de Janeiro, 12p.

BRASIL. 2002. **Resolução Conama nº 307**, de 5 de julho de 2002. Diretrizes e procedimentos para gestão dos resíduos da construção. Ministério do Meio Ambiente. 2002. <<https://goo.gl/9y7Xb>>. Acesso em: 3 ago 2020.

_____. 2010. **Lei 12.305**, de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <<https://goo.gl/tpFo>>. Acesso em: 3 ago 2020.

REICHERT, G.A. **Manual. Projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários**. 2007. USC. Caxias do Sul. RS. 109p.

CAPÍTULO 12

EVOLUÇÃO DA DIRETIVA EUROPEIA RELATIVA AO DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS, O SUCESSO DE APLICAÇÃO PORTUGUÊS E OS DESAFIOS DO PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM EM EDIFICAÇÕES

Data de aceite: 16/11/2020

Data de submissão: 09/10/2020

Jaime Francisco de Sousa Resende

Universidade Federal de São João del Rei
São João del Rei/MG
<https://orcid.org/0000-0003-4385-0980>
<http://lattes.cnpq.br/5440077380767556>

Andrea Lucia Teixeira Charbel

Universidade Federal de São João del Rei
São João del Rei/MG
<http://lattes.cnpq.br/5244450039924933>

Teresa Cristina Nogueira Bessa Assunção

Universidade Federal de São João del Rei
São João del Rei/MG
<http://lattes.cnpq.br/0536700393507277>

RESUMO: As edificações representam uma importante parcela no consumo mundial de energia, e por isso, têm recebido a atenção dos governos, que adotaram políticas para reduzir o gasto energético. A União Europeia, que já passou por duas atualizações em seus regulamentos de avaliação energética de edificações e prepara a terceira, possui programas que são referência e modelo para diversos outros regulamentos no mundo. Portugal é o caso de maior sucesso na aplicação de etiquetagem de edificações, com emissão de mais de 1 milhão de certificados energéticos. O Brasil, que teve os primeiros documentos regulamentares do Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações lançados em 2009, necessita de

uma reformulação no seu regulamento, com vários desafios estruturais e técnicos a serem superados.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência energética em edificações; Diretiva Europeia, Etiquetagem, PBE Edifica.

EVOLUTION OF THE EUROPEAN DIRECTIVE ON THE ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS, THE SUCCESS OF PORTUGUESE APPLICATION AND THE CHALLENGES OF THE BRAZILIAN LABELING PROGRAM FOR BUILDINGS

ABSTRACT: Buildings represent a significant share of the world's energy consumption, and the sector has drawn the attention of governments, which, in response, have adopted policies to reduce the energy expenditure. The European Union, which has already undergone two updates to its building energy assessment regulations and it is preparing the third one, presents programs that are a reference and a model for several other regulations in the world. Portugal is the biggest success in the application of building labeling, with more than 1 million energy certificates issued. Brazil, which had the first regulatory documents for the Brazilian Program of Building Labeling launched in 2009, needs to reformulate its regulation, with several structural and technical challenges yet to be overcome.

KEYWORDS: Energy efficiency in buildings; European Directive, Labeling, PBE Edifica.

1 | INTRODUÇÃO

As edificações provocam alterações significativamente no meio ambiente e são responsáveis anualmente por 40% da energia e 16% da água consumidas no mundo (LIPPIATT, 1998). Estima-se que, entre 2015 e 2040, o consumo de eletricidade no setor terá um aumento anual de 2%, sendo a maior parte deste aumento creditada aos países em desenvolvimento (EIA, 2017). No ano de 2016, o Brasil consumiu 520,03 TWh de eletricidade, sendo as edificações responsáveis por aproximadamente 51% deste consumo, considerando os setores residencial com 25,6%; comercial com 17,2% e o público com 8,3% (EPE,2017).

Durante as três últimas décadas, tanto os países industrializados quanto os em desenvolvimento, promoveram políticas para incentivar a redução do consumo de energia nos edifícios. A maioria destas políticas pode ser agrupada em três categorias: incentivos econômicos (através de impostos e preços de energia), programas informativos (campanhas de conscientização energética, auditorias energéticas) ou requisitos regulatórios (códigos ou certificações) (JANDA, 2009).

Com o cenário atual de consumo energético das edificações no mundo e, sobretudo, pelas vantagens obtidas na implementação de políticas voltadas para eficiência energética, diversos países já estão aplicando e desenvolvendo mecanismos de certificação de edifícios. A certificação energética de edifícios é uma tendência mundial, já utilizada em diversos países e em fase de implantação por outros (CARLO e LAMBERTS, 2010).

Segundo Buges (2014) “o conceito de Eficiência Energética não pode ser entendido como uma metodologia estática, mas como um processo evolutivo onde não existe um marco a ser alcançado e, sim, uma constante busca por processos e produtos cada vez mais eficientes energeticamente”. Em relação as certificações de eficiência energética em edificações, tal definição se encaixa perfeitamente, pois a atualização dos regulamentos deve sempre avançar ao mesmo tempo que atualizações são implementadas.

2 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

É apresentada uma revisão teórica da evolução da Diretiva Europeia relativa ao desempenho energético dos edifícios (EPBD), desde o primeiro regulamento até o planejamento atual para as propensas mudanças. É destacado o bem-sucedido exemplo de aplicação do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) de Portugal e, por fim, analisada a atual situação do Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações (PBE Edifica), e os desafios estruturais e técnicos a serem superados para sua consolidação.

3 I EVOLUÇÃO DA REGULAMENTAÇÃO EUROPEIA

Na década de 1970, na maioria dos 15 membros originais da União Europeia (Áustria, Alemanha, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Portugal, Reino Unido e Suécia), foram introduzidas certificações de eficiência energética em edificações, e desde então, estas são renovadas com maiores exigências. Inicialmente, a avaliação se limitava aos componentes da envoltória, e em seguida, foram adicionadas exigências mínimas para outros usos como aquecimento, arrefecimento, iluminação e água quente (LIU; MEYER; HOGAN, 2010).

Em 2007, a União Europeia (UE) em 2007 se comprometeu com o 20-20-20 target para 2020, que tem como base a melhoria da eficiência energética, com a redução de emissões de CO₂ em 20% comparado aos níveis de 1990, 20% do consumo total mantido pela energia de fontes renováveis e redução de 20% do uso de energia primária em relação aos níveis projetados (LIU; MEYER; HOGAN, 2010).

As edificações na UE são responsáveis por 40% do consumo energético e 36% das emissões de CO₂, sendo então, um grande potencial para medidas de eficiência energética. Com a redução de 30% no consumo de energia nas edificações europeias, o consumo total de energia na Europa diminuiria 11%, mais da metade de uma das metas do 20-20-20 target (LIU; MEYER; HOGAN, 2010).

Em 2002, foi lançada a Diretiva 2002/91/CE relativa ao desempenho energético dos edifícios, que visa melhorar a eficiência energética no setor da construção, e que impõe na União Europeia uma harmonização das metodologias através de códigos e medidas. O documento estabelecia que todos os Estados membros deveriam adotar as exigências normativas até o início de 2006 (LIU; MEYER; HOGAN, 2010; COMISSÃO EUROPEIA, 2002).

Especialistas e políticos verificaram que a meta da UE de redução de 30% de energia em edificações até o ano de 2020 não poderia ser alcançada através da Diretiva de 2002, uma vez que a parcela de edifícios existentes era mais significativa do que a de novos edifícios, e a Diretiva 2002/91/CE se restringia aos edifícios existentes com área superior a 1000 m², os quais representam apenas 29% do setor de construção europeu. Então, seriam necessários objetivos mais rigorosos para o desempenho energético das edificações (LIU; MEYER; HOGAN, 2010; COMISSÃO EUROPEIA, 2002).

No ano de 2008 foi proposta pela Comissão Europeia e aprovada pelo Parlamento Europeu uma revisão da Diretiva 2002/91/CE, com mudanças fundamentais e uma reformulação do compromisso. Em 2010, foi emitida a Diretiva 2010/31/UE, na qual o âmbito de aplicação da Diretiva de 2002 foi ampliado, abolindo a exigência da limitação de reformas somente para grandes edificações. Os Estados

Membros deveriam aplicar a nova Diretiva no prazo de dois anos e uma avaliação seria realizada em 2017 (LIU; MEYER; HOGAN, 2010; UNIÃO EUROPEIA, 2010).

A reformulação exige que os edifícios construídos após 2020, atendam ao conceito *Nearly Zero Energy Building* (NZEB), ou seja, tenham exigência energética quase nula, significando um desempenho energético elevado onde quase toda a energia consumida é obtida de fontes renováveis geradas nas proximidades. Tal exigência deverá ser cumprida pelos edifícios públicos após 2018 (LIU; MEYER; HOGAN, 2010; UNIÃO EUROPEIA, 2010).

Já pensando nos próximos passos, a Comissão Europeia em novembro de 2016 apresentou um pacote de medidas para manter a competitividade da UE, uma vez que a transição para energias limpas está mudando os mercados globais de energia. A Comissão pretende que o bloco conduza a transição para energia limpa e não somente se adapte a esta fonte de energia. Desta forma, a UE comprometeu-se a reduzir as emissões de CO₂ em pelo menos 40% até 2030, modernizando a economia, gerando emprego e crescimento para todos os cidadãos europeus. Na medida proposta são apresentados três objetivos principais: dar prioridade à eficiência energética, assumir a liderança mundial nas energias renováveis e estabelecer condições equitativas para os consumidores (COMISSÃO EUROPEIA, 2016).

Para a redução do consumo de energia nos edifícios europeus, os 28 Estados-Membros da UE mais a Noruega têm o apoio da *Concerted Action EPBD*, que aborda a Diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios através da troca de conhecimentos e melhores práticas no domínio da eficiência energética e da economia de energia (CA EPBD, 2017).

A *Concerted Action EPBD* é uma iniciativa conjunta entre os Estados-Membros da UE e a Comissão Europeia, envolvendo representantes de ministérios nacionais ou de suas instituições afiliadas que compõem o quadro técnico, jurídico e administrativo para a aplicação da Diretiva em cada um dos 29 países. Já foram lançados estudos em 2007, 2010 e 2015, que descrevem a implantação da EPBD na UE e em cada país individualmente. O quarto estudo está sendo realizado desde outubro de 2015 e tem previsão de término em 2018, com a reformulação da Diretiva 2010/31/UE (CA EPBD, 2017).

4 I O SUCESSO DE APLICAÇÃO PORTUGUÊS

Para cumprir as exigências da Diretiva 2002/91/CE (COMISSÃO EUROPEIA, 2002), Portugal aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade de Ar Interior nos Edifícios, pelo Decreto-Lei n°78/2006 (PORTUGAL, 2006a); o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios,

através do Decreto-Lei n° 79/2006 (PORTUGAL, 2006b); e o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, com o Decreto-Lei n°80/2006 (PORTUGAL, 2006c).

Colocando em prática as determinações destes Decretos-Lei, Portugal promoveu a eficiência energética nos edifícios e adquiriu uma experiência relevante que se traduziu não só na eficácia do sistema de certificação energética, como também no diagnóstico dos aspectos avaliativos, demonstrando através da prática, a possibilidade de melhoria do sistema de certificação (PORTUGAL, 2017).

Pela Diretiva 2010/31/UE, de 19 de maio de 2010 (UNIÃO EUROPEIA, 2010), o Parlamento Europeu reformulou o regime estabelecido pela Diretiva 2002/91/CE, esclarecendo alguns pontos e introduzindo novas disposições que reforçam a promoção do desempenho energético nos edifícios, visando as metas e desafios acordados pelos Estados-Membros para o ano de 2020 (PORTUGAL, 2017).

Em 13 de novembro de 2013, Portugal publicou o Decreto-Lei n° 118/2013 (PORTUGAL, 2013), que assegurava não só a alteração para atender a Diretiva 2010/31/UE, mas também uma revisão da legislação anterior, com os Decretos-Lei n°78/2006, n°79/2006 e n°80/2006, onde é incluído em um único documento o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) (PORTUGAL, 2017).

Foi feita uma distinção clara do âmbito de aplicação do REH, com orientações para os edifícios residenciais, e do RECS determinando requisitos para edificações de comércio e serviços. Os edifícios residenciais são avaliados pelo comportamento térmico e eficiência dos seus sistemas técnicos, como: climatização, aquecimento de água, iluminação e aproveitamento de energias renováveis. Para os edifícios de comércio e serviços são acrescentadas exigências referentes à instalação, a condução e a manutenção destes sistemas técnicos (PORTUGAL, 2017).

A atualização do SCE incorporou orientações e práticas internacionais com base nas inovações tecnológicas em eficiência energética e conforto térmico. É detalhada a atuação de diferentes profissionais e entidades, visando uma maior e melhor integração de todos os agentes num contexto de rigor e exigência (PORTUGAL, 2017).

No capítulo referente as certificações do estudo mais recente da *Concerted Action EPBD*, foi apresentada uma visão geral de tópicos relevantes, opiniões, soluções, desafios e oportunidades para o desenvolvimento das certificações de eficiência energética em edificações, com destaque para: o papel do Estado na promoção da certificação energética; a exibição de certificados de energia; e tornar o certificado energético mais amigável para o público em geral. No SCE são apresentados estes tópicos sugeridos na versão mais recente da *Concerted Action*

EPBD e pode ser considerado modelo para toda a UE (CA EPBD, 2015).

Entre os programas mundiais de avaliação energética de edificações, recebe destaque o português, com certificações amplamente difundidas e consolidadas (TELLES, 2016). Pela experiência portuguesa no processo de certificação energética de edificações, observa-se a necessidade de maior apoio aos programas de eficiência energética, garantindo a sua obrigatoriedade (OLIVEIRA, 2013).

O SCE, que é obrigatório para todas edificações novas, sujeitas a reformas e existentes para contratos de venda e aluguel, totaliza cerca de 1,4 milhão de certificados emitidos, sucesso comprovado em números (ADENE, 2018).

5 | DESAFIOS DO PBE EDIFICA

O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), em 1984, iniciou a discussão com a sociedade brasileira sobre a criação de programas de avaliação da conformidade de produtos com foco no desempenho energético. Foi o primeiro passo para chegar ao que hoje é conhecido como Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) (PROCEL INFO, 2017).

O Brasil sofreu uma crise energética no início do Séc. XXI devido à escassez de chuvas, que prejudicou o funcionamento pleno das hidroelétricas, e, além disso, não contava com uma quantidade suficiente de fontes alternativas para geração de energia (BOTTAMEDI, 2011). Em resposta, o governo brasileiro publicou em 17 de outubro de 2001 a Lei N°10.295, conhecida como Lei da Eficiência Energética (BRASIL, 2001a), e regulamentada pelo Decreto N° 4.059, em 19 de dezembro de 2001 (BRASIL, 2001b). Tais documentos deram reforço jurídico para os diversos programas de avaliação energética vinculados ao PBE, que se encontravam em diferentes fases de implementação, alguns com etiquetagem compulsória e outros que visavam a obrigatoriedade.

Em 2003, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) criou um subprograma voltado especificamente para as edificações, o Procel Edifica. No ano de 2005, o Procel foi nomeado responsável pela Secretaria Técnica de Edificações, para discutir as questões técnicas envolvendo os indicadores de eficiência energética. No ano seguinte, o INMETRO criou a Comissão Técnica que definiu os critérios para obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para as edificações (PROCEL INFO, 2017).

Foram lançados em 2009 os primeiros documentos do PBE Edifica, denominados Requisitos Técnicos de Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e Requisitos de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações (RAC). No ano seguinte, foram lançados os Requisitos Técnicos de Qualidade do Nível de Eficiência

Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (PROCEL INFO, 2017).

A etiquetagem de edificações possibilita aos consumidores o conhecimento do nível de eficiência energética do imóvel, tornando-se uma ferramenta importante na compra ou aluguel de um imóvel, além de promover a busca por edificações mais eficientes e redução no consumo de energia elétrica. Para o governo brasileiro, é um instrumento fundamental tanto para a análise do desempenho energético como para auxílio na melhoria de programas e regulamentações para promoção da eficiência energética nas edificações do país (ELETROBRÁS; INMETRO; CB3E, 2013).

Um potencial de redução de 30% no consumo de energia elétrica é estimado para as edificações que efetuem reformas que contemplem os conceitos de eficiência energética e em até 50% para os novos edifícios que considerarem alternativas de eficiência energética desde a fase de projeto (PROCEL INFO, 2017).

Na Instrução Normativa N°02 de 2014 do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG), são definidas as regras para a utilização da ENCE. Projetos de novas edificações devem, obrigatoriamente, obter a ENCE geral classe “A”, e as obras de retrofit devem ser feitas visando à obtenção da ENCE parcial classe “A” para o quesito reformado, salvo casos específicos de inviabilidade (MPOG, 2014).

Além dos edifícios públicos federais, outras categorias tendem a sair da etiquetagem voluntária para a obrigatória. Segundo o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), publicado em 2011, a regulamentação deve transformar em compulsória a ENCE para demais prédios públicos em um horizonte de 10 anos, edifícios comerciais e de serviços em 15 anos e residenciais em 20 anos (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011).

Desde 2014, o Procel Edifica e o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações têm planejado uma mudança no método de avaliação do PBE Edifica. A nova versão dos regulamentos deve ser lançada em meados de 2018 e terá como principal mudança a apresentação do consumo de energia primária da edificação, assim como no regulamento de Portugal e de diversos países da União Europeia (CB3E, 2017).

A atualização fornecerá o consumo real da edificação, auxiliando o consumidor na tomada de decisão na escolha e planejamento de seu imóvel. A proposta surgiu devido às limitações do atual método prescritivo do RTQ-C. A avaliação será baseada no consumo de energia primária e compara a edificação considerando suas características reais com a mesma edificação através de valores de referência, que são equivalentes a classe D da etiqueta de eficiência energética (CB3E, 2017).

O PBE Edifica, que tem caráter voluntário com exceção dos edifícios públicos federais, soma um total de 4.753 etiquetas expedidas desde a implantação do programa de etiquetagem (INMETRO, 2018).

Os documentos disponíveis para consulta pública com as propostas de atualização do método para a avaliação da eficiência energética em edificações com base na energia primária se limitam a questões técnicas e não apresentam, até este momento, recomendações de mudanças estruturais na aplicação da etiquetagem (CB3E, 2017).

A proposta de atualização do método de avaliação do PBE Edifica, também traz mudanças na ENCE, que além de apresentar a estimativa real de consumo primário, trará informações sobre as emissões de CO₂, estimativa de economia através do uso racional de água e possível geração local de energia por fontes renováveis (CB3E, 2017).

É evidente a necessidade da aplicação de requisitos regulatórios visando a eficiência energética no setor das edificações, como as certificações energéticas, que são benéficas tanto para o governo como para o consumidor final. A exemplo da União Europeia, é necessário a constante atualização de metas e normas com o objetivo de entregar uma etiqueta mais amigável ao público, entretanto ainda é necessário o estabelecimento de mudanças estruturais na aplicação da etiqueta, visando principalmente a sua obrigatoriedade, com o objetivo de obter resultados significativos (RESENDE; CHARBEL; ASSUNÇÃO, 2018).

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A União Europeia está conduzindo a transição mundial para energias limpas, nomeadamente em relação às edificações. O bloco é referência mundial na regulamentação de eficiência energética do setor. Portugal devido sua experiência na execução regulamentar e nos expressivos números de edifícios etiquetados se estabelece como sucesso na aplicação da certificação energética.

O PBE Edifica se encontra em uma fase de atualização do método de avaliação, onde será apresentada uma nova etiqueta com mais informações sobre a avaliação energética da edificação e de maneira mais amigável para o consumidor. O edifício será classificado de acordo com seu consumo real de energia primária, assim como acontece em Portugal e outros países da UE.

Entretanto, questões para mudanças regulamentares e estruturais de aplicação do programa ainda não foram apresentadas, principalmente em relação à transformação do programa em obrigatório, como já ocorrer com diversos outros produtos alvos do PBE. O PNEf apresenta estimativas de tempo para transformação da etiquetagem de edifícios em compulsória, porém, o documento não estabelece limites para a mudança.

A atualização no método de avaliação que será lançada ainda neste ano é benéfica para o crescimento do PBE Edifica, pois trará avanços de ordem técnica

na avaliação das edificações. Contudo, as mudanças estruturais são tão importantes quanto às técnicas, necessitando serem discutidas, propostas e aplicadas, visando o estabelecimento da etiquetagem no setor.

REFERÊNCIAS

ADENE – Agência para Energia. **Certificados Energéticos emitidos por tipo de edifício**. Disponível em: <<http://www.adene.pt/indicador/certificados-energeticos-emitidos-por-tipo-de-edificio>>. Acesso em 09 de janeiro de 2018. 2018.

BOTTAMEDI, M. G. **Avaliação da eficiência energética de hotéis de quatro estrelas em Florianópolis: aplicação do programa de etiquetagem de edificações**. 2011. 179p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2011.

BRASIL. **Lei n. 10.295**, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília, DF, 2001a.

BRASIL. **Decreto n. 4.059**, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Brasília, DF, 2001b.

BUGES, N. L. **Aplicabilidade da etiqueta de edificações do Programa Brasileiro de Etiquetagem em Mato Grosso do Sul**. 2014. 123p. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado Profissional) – Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS. 2014.

CA EPBD. **2016 Implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) – Featuring Country Reports**. Lisbon, September, 2015.

CA EPBD. **Concerted Action Energy Performance of Buildings**. Disponível em: <<http://www.epbd-ca.eu>>. Acesso em 02 de junho de 2017.

CARLO, J.C.; LAMBERTS, R. **Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios – parte 1: método prescritivo**. Ambiente Construído, Porto Alegre, RS, v.10, p. 7–26, 2010.

CB3E – Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. **Novo método de avaliação energética de edificações com base em energia primária**. Disponível em: <<http://cb3e.ufsc.br/etiquetagem/desenvolvimento/atividades-2012-2016>>. Acesso em 30 de dezembro de 2017.

COMISSÃO EUROPEIA. **Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho**, de 16 de dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios, 2002.

COMISSÃO EUROPEIA. **COMUNICAÇÃO DA COMISSÃO AO PARLAMENTO EUROPEU, AO CONSELHO, AO COMITÊ ECONÔMICO E SOCIAL EUROPEU, AO COMITÊ DAS REGIÕES E AO BANCO EUROPEU DE INVESTIMENTO – Energias limpas para todos os europeus**. Bruxelas, Bélgica. 2016.

EIA – U. S. *Energy Information Administration. International Energy Outlook 2017*. Disponível em: <<https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>>. Acesso em 30 de dezembro de 2017.

ELETROBRÁS/Procel Edifica; INMETRO; CB3E/UFSC. **Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações**. Rio de Janeiro, 12 p. 2013.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2017 – ano base 2016**. Brasília, DF. 2017.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Tabelas de consumo/eficiência Energética - Edificações**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/edificacoes.asp>>. Acesso em 09 de janeiro de 2018. 2018.

JANDA, K. B. **Worldwide status of energy standards for buildings: a 2009 update**. European Council for an Energy Efficient Economy Summer Study, Proceedings. 2009.

LIPPIATT, B. **Building for environmental and economic sustainability (BEES)**. Invited for presentation at CIB World Building Congress 1998: Construction and the Environment. Gavle, Sweden. June 1998.

LIU, F.; MEYER, A. S.; HOGAN, J. F. **Mainstreaming Building Energy Efficiency Codes in Developing Countries: Global Experiences and Lessons from Early Adopters**. World Bank Working Paper, n°204. Washington. 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. Departamento de Desenvolvimento Energético. **Plano Nacional de Eficiência Energética**; Premissas e Diretrizes Básicas, 2011.

MPOG – MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. **Instrução Normativa N° 02/2014**. Brasil, 2014.

OLIVEIRA, L. S. **Gestão energética de edificações públicas no Brasil**. 2013. 249 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2013.

PORTUGAL. Ministério da Economia e da inovação. **Decreto-Lei n°78/2006**, de 4 de abril, Portugal, 2006a.

PORTUGAL. Ministério da Economia e da inovação. **Decreto-Lei n°79/2006**, de 4 de abril, Portugal, 2006b.

PORTUGAL. Ministério da Economia e da inovação. **Decreto-Lei n°80/2006**, de 4 de abril, Portugal, 2006c.

PORTUGAL. Ministério da Economia e do Emprego. **Decreto-Lei n°118/2013 ANOTADO**, Versão 0, 13 de novembro de 2013, Portugal. 2013.

PORTUGAL. **Legislação Consolidada – Decreto-Lei n°118/2013**. Diário da República Eletrónico de 05 de junho de 2017. 28 p. 2017.

PROCEL INFO. **PROCEL EDIFICA – Eficiência Energética nas Edificações**. Disponível em: < <http://www.procelinfo.com.br/> >. Acesso em 16 de março de 2017. 2017.

RESENDE, J. F. S.; CHARBEL, A. L. T.; ASSUNCAO, T. C. N. B. **Importância e desafios da implementação de certificações de eficiência energética em edificações, o sucesso europeu e as próximas etapas do Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações**. VI Encontro de Sustentabilidade em Projeto, Florianópolis/SC. Anais ENSUS, v. II. p. 1167-1178, 2018.

TELLES, C. P. **Proposta de simplificação do RTQ-R**. 2016. 118 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2016.

UNIÃO EUROPEIA. **Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho**, de 19 de Maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação), 2010.

CAPÍTULO 13

DESEMPENHO COMERCIAL DE EDIFÍCIOS CORPORATIVOS COM SELO AMBIENTAL NA REGIÃO DO PORTO MARAVILHA – RJ

Data de aceite: 16/11/2020

Data de submissão: 08/11/2020

Gustavo Ezequiel Andrés

Programa de Engenharia Urbana, Escola
Politécnica Universidade Federal do Rio de
Janeiro, Rio de Janeiro - RJ
<http://lattes.cnpq.br/1256460570084956>

RESUMO: O arranjo e a competitividade econômica das grandes cidades são estritamente relacionados ao mercado imobiliário. Dados, como: valor, qualidade, perfil de ocupantes, média e histórico de estoque e vacância, dentre outros, são fortemente impactados pela oferta das edificações comerciais. O projeto de revitalização da zona portuária da cidade do Rio de Janeiro, chamado de Porto Maravilha, seguiu exemplos internacionais de requalificação urbana, gerando reestruturação econômica, desenvolvimento do setor de serviços e também rentabilidade para os imóveis existentes e previstos. Os edifícios corporativos representam grande parte do valor patrimonial e custos operacionais de empresas, diversas opções de certificações ambientais aparecem para essas organizações como possibilidade de aumento da produtividade, redução de impacto sócio ambiental e custos operacionais. Este trabalho tem como objetivo analisar o desempenho comercial de edificações corporativas com certificação ambiental na região do Porto Maravilha. A metodologia da pesquisa é baseada na busca e análise de dados

do mercado imobiliário local, buscando verificar se a aquisição de certificação ambiental traz vantagens comerciais para imóveis da tipologia analisada.

PALAVRAS CHAVE: Mercado imobiliário, edifícios corporativos, certificação ambiental.

COMMERCIAL PERFORMANCE OF CORPORATE BUILDINGS WITH ENVIRONMENTAL CERTIFICATIONS IN THE REGION OF PORTO MARAVILHA RJ

ABSTRACT: The arrangement and economic competitiveness of large cities are closely related to the real estate market. Data, such as: value, quality, occupant profile, average and historical inventory and vacancy, among others, are strongly impacted by the offer of commercial buildings. The project to revitalize the port area of the city of Rio de Janeiro, called Porto Maravilha, followed international examples of urban requalification, generating economic restructuring, development of the service sector and also profitability for existing and planned properties. Corporate buildings represent a large part of the equity value and operating costs of companies, several options for environmental certifications appear for these organizations as a possibility of increasing productivity, reducing socio-environmental impact and operating costs. This work aims to analyze the commercial performance of corporate buildings with environmental certification in the Porto Maravilha region. The research methodology is based on the search and analysis of data from the local real estate market, seeking to verify whether the acquisition of environmental certification

brings commercial advantages for properties of the analyzed typology.

KEYWORDS: Real estate market, corporate buildings, environmental certification.

1 | OBJETIVO

O objetivo deste artigo é analisar os edifícios corporativos na região do Porto Maravilha na cidade do Rio de Janeiro, estudando a influência da certificação ambiental nos indicadores utilizados pelos profissionais atuantes no mercado imobiliário: o estoque, a ocupação e a taxa de vacância.

Baseado na pesquisa de produção e vacância de edifícios corporativos em regiões da cidade de São Paulo, realizada por De Camargo-Ghiu (2006), a **disponibilidade** será observada dentro da tipologia de edifícios corporativos ambientalmente certificados. Uma abordagem qualitativa será desenvolvida para identificação da **ocupação** de acordo com a atividade econômica.

Além de outros indicadores, o estoque e a ocupação identificados nos elementos foco do artigo, servirão de base para a análise da **taxa de vacância**.

2 | METODOLOGIA

A coleta dos dados utilizados para análise do segmento de edifícios corporativos com certificação ambiental desta pesquisa foi realizada através da consulta aos portais de organizações internacionais de certificação. No portal da organização mais conhecida pelo mercado, é disponibilizada uma lista dos imóveis certificados e diversas outras informações aplicáveis, como: o proprietário, endereço, a tipologia do imóvel, o nível e pontuação da certificação, dentre outras.

A coleta de dados dos indicadores de mercado destes edifícios situados na região do Porto Maravilha, foi realizada através da consulta a relatórios disponibilizados nos portais de organizações especializadas em consultoria imobiliária, com atuação nacional e internacional.

Os elementos da amostra foram obtidos pelo cruzamento de dados dos edifícios de tipologia comercial (corporativo), localizados na região do Porto Maravilha, com certificação ambiental. O levantamento dos indicadores de desempenho (estoque, ocupação e taxa de vacância), foi realizado através do estudo dos relatórios anteriormente citados e contato com a área administrativa e visitas aos edifícios. Por motivos comerciais, os edifícios não terão qualquer identificação ou endereços divulgados.

3 | INTRODUÇÃO

Para De Mesentier e Da Costa Moreira (2014) a paisagem construída através

do tempo tem grande valor para a identidade cultural, dando forte significado à memória coletiva de uma população.

O setor de serviços é o setor econômico mais representativo nas metrópoles contemporâneas, esta indústria busca por vezes, agregar o seu valor produtivo à imagem do lugar no qual tais serviços são produzidos. Reconhecer a relevância da paisagem como um ativo pode gerar atração turística e comercial.

Segundo De Camargo-Ghiu (2006) em diversas cidades do mundo, a nova organização espacial para concentração da localização de empreendimentos, mostra um ponto comum: a ação de aumento da competitividade econômica entre cidades.

Para Bazzan e Aviba (2016) o mercado e os imóveis são estritamente relacionados ao arranjo das cidades. A avaliação imobiliária considera a localização, infraestrutura, usos e caracterização física, como importantes parâmetros de conhecimento dos aspectos socioeconômicos de cada região.

Conforme afirma De Camargo-Ghiu (2006), a expansão das atividades empresariais em períodos de crescimento econômico, gera uma forte demanda por espaços corporativos, já em épocas de recessão, observamos aumento na taxa de vacância de espaços, reduzindo também a atividade construtiva.

A rentabilidade dos empreendimentos quando comparada a outros investimentos, é a chave para tomada de decisão de agentes financeiros do mercado. As pesquisas do setor imobiliário são concentradas em três áreas: 1) Estudos de comparação entre mercados; 2) Estudos focados em mercados específicos (hotéis, escritórios, shoppings, residencial etc.); 3) Estudos de fatores macroeconômicos, demográficos, tecnológicos junto a estruturais da demanda.

A oferta em edifícios corporativos, afeta frontalmente os valores de locação e venda. Decisões embasadas em dados diretos, classificados como primários e secundários, os quais levam a um maior conhecimento do mercado e possibilita compreensão de suas características.

Os dados primários correspondem a: características físicas do edifício, localização e valores. Os dados secundários correspondem a: absorção do estoque (média e histórico), vacância (média e histórico), valores (venda e locação), qualidade do estoque (m², tempo em oferta), perfil dos ocupantes (área ocupada e ramo de atividade), entre outros.

Para De Camargo-Ghiu (2016 apud Downs 1993), cinco variáveis que impactam na oferta corporativos: (1) valor do terreno, (2) avaliação do desempenho da vacância, (3) valores atuais e projeção dos aluguéis, (4) disponibilidade de financiamento para novas construções, (5) interesse do poder público municipal para o desenvolvimento de algumas regiões.

A demanda é influenciada por fatores, como: (1) ciclos econômicos típicos de

cada indústria; (2) perspectiva do aumento no número de empregos; (3) demanda por imóveis corporativos, (4) avanços tecnológicos das atividades nos escritórios.

3.1 Classificação de imóveis corporativos

Uma das dificuldades dos profissionais que atuam no mercado imobiliário é a diversidade das características dos produtos. Cada empreendimento é único e conta com diversos tipos de padrões de acabamento, tecnologia, localização, dimensões, entre outros. Propondo padronização, a empresa de consultoria imobiliária Buildings em artigo de sua revista trimestral (ano 7, Edição 26 3º trimestre 2014), publicou uma tabela para demonstrar a maneira definição e aplicação da sua classificação. Os elementos são categorizados verticalmente e são separados inicialmente, em: Corporate, sendo aqueles com conjuntos maiores do que 100 m² (média dos conjuntos do edifício), e edifícios office, sendo os conjuntos com área menor que 100m².

Em segundo nível, a classe do edifício pode ser A, B ou C. Abaixo deste nível entram as classificações mais detalhadas, como especificações técnicas e critérios subjetivos, como mostra a Tabela 1.

Corporate						
	Tamanho médio dos conjuntos >= 100m ²					
Classificação macro	A		B		C	
Classificação fina	AAA	AA	A	BB	B	C
Critérios objetivos						
Laje	>=1500	>=1000	>=500	>=500	>=250	N/A
Área Locável Total (Empreendimento)	>=20000	>=10000	>=5000	>=5000	>=2500	N/A
Idade (Entrega/Retrofit)	<=20 anos			<=40 anos		N/A
Critérios subjetivos (notas)						
Somatória das Notas	>=13	>=11	>=8	>=5	>=5	>=3
Padrão das Especificações Técnicas	De 1 a 5	De 1 a 5	De 1 a 5	De 1 a 5	De 1 a 5	De 1 a 5
Imagem Corporativa	De 1 a 5	De 1 a 5	De 1 a 5	De 1 a 5	De 1 a 5	De 1 a 5
Padrão da Ocupação	De 1 a 5	De 1 a 5	De 1 a 5	De 1 a 5	De 1 a 5	De 1 a 5

Tabela 1: Classificação de imóveis corporativos

Fonte: Adaptado da revista Buildings 3T de 2014

3.2 A certificação como estratégia de diferenciação no mercado imobiliário

Nunes e Serro (s/d) afirmam que globalmente, os edifícios correspondem a cerca de 5 a 30% do patrimônio das empresas. Os custos operacionais de um edifício são, em média, a segunda maior despesa de uma empresa, mostrando a necessidade de boas práticas de gerenciamento do patrimônio imobiliário para atingir o máximo de eficiência dos edifícios e de seus recursos.

Segundo Malheiros (2017) pela visão econômica tradicional, as empresas tratavam como custos não compensatórios os investimentos na melhoria de sua performance ambiental. Porém atualmente as organizações são cada vez mais pressionadas a assumir maior responsabilidade ambiental e social. Desta forma, o comprometimento ambiental das corporações tornou-se uma variável importante no cenário competitivo.

Para o desenvolvimento de empreendimentos com taxa de retorno capazes de compensar o risco, Mattar (2007) afirma o planejamento deve ser feito com rigor. A taxa de retorno e o pay back (prazo de recuperação dos investimentos), são impactados consideravelmente pela velocidade das vendas.

3.3 Certificação para construções sustentáveis

Coelho e Cruz (2017) afirmam que entre as vantagens de se optar por um empreendimento sustentável está o aumento de produtividade, já que os ocupantes podem ter melhora de 2% a 16% neste quesito. Deste resultado, 7% se dá pela melhor iluminação; 3% pelo controle individual de temperatura; 2% pelo controle da ventilação e 1% pelo controle térmico. Ausências e atrasos de funcionários são reduzidos em aproximadamente 15% com investimentos em melhoria do ambiente interno. As certificações ambientais de edificações garantem o respaldo da busca dessa filosofia das empresas perante a sociedade. Os selos são disponibilizados por organizações especializadas e independentes e são concedidos de acordo com atendimento a requisitos específicos estipulados por estas instituições, divididos em níveis de capacitação.

4 | O MERCADO IMOBILIÁRIO E A ECONOMIA

Jadson Andrade, responsável pelo setor de pesquisa na empresa de consultoria imobiliária Cushman & Wakefield, afirmou em 2019 em entrevista ao programa Fundos Imobiliários do portal Infomoney, que o mercado imobiliário é muito sensível à situação econômica local. Um crescimento de aproximadamente 2,5% no PIB (Produto Interno Bruto) pode aquecer o mercado imobiliário. É o que vem acontecendo no estado de São Paulo, que em 2018 cresceu 1,6% segundo

dados do Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (Seade). De acordo com o portal da EBC (Empresa Brasileira de Comunicação), Agência Brasil, (utilizando dados da Seade) o PIB paulista em 2019 foi 2,5% maior ao que foi registrado no ano anterior.

O relatório do quarto trimestre de 2019 da empresa de consultoria imobiliária Cushman & Wakefield, aborda o cenário econômico no país no final de 2019. Neste documento, lembrou que o crescimento do PIB (Produto Interno Bruto) em 2019 foi de 1,1%, o IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo) foi de 4,31%, indicando maior apetite do consumidor e melhora na confiança. A taxa básica de juros, Selic (Sistema Especial de Liquidação e Custódia), após a aprovação da Reforma da Previdência teve queda acelerada, atingindo 4,5%. Principalmente pelas tensões comerciais entre EUA e China, o dólar terminou 2019 com valor aproximado de R\$ 4,20.

A Nota Técnica, PIB Rio - resultados de 2019 e projeções, publicada pela FIRJAN em março de 2020, mostra que o estado do Rio de Janeiro, teve crescimento de 1,5% na atividade econômica em 2019. Pelo segundo ano consecutivo, foi observado um lento movimento de recuperação nos resultados do PIB fluminense.

A empresa de consultoria imobiliária Colliers International, publicou em seu portal no segundo trimestre de 2019, um relatório no qual afirma que o Porto é uma das regiões que apresentou maior taxa de vacância no período, com 49%, seguido da Cidade Nova com 48%. Orla com 20% e Centro com 27% são as regiões que têm as menores taxas para o padrão Classe A.

A empresa de consultoria imobiliária Cushman & Wakefield, no relatório do quarto trimestre de 2019, expôs que no ano de 2018 foram absorvidos 21,2 mil m² de imóveis corporativos de alto padrão pelo mercado nos CBDs (Central Business District - regiões centrais de negócios) do Rio de Janeiro. Em 2019 a absorção líquida (aumento ou diminuição real, ocorrida em espaços ocupados entre determinados períodos) foi de 88,9 mil m², sendo o melhor resultado desde 2013. A região do Porto com 61,1 mil m² absorvidos, foi responsável por grande parte deste número, seguido pelo Centro com 26,7 mil m².

5 I A REESTRUTURAÇÃO DA PAISAGEM NO PORTO MARAVILHA

O estudo de De Mesentier e Da Costa Moreira (2014) afirma que o projeto de revitalização da zona portuária da cidade do Rio de Janeiro, busca uma reestruturação econômica proporcionada pela requalificação urbana e crescimento do setor de serviços, trazendo um diferencial de rentabilidade no valor do solo urbano, entre os imóveis previstos e existentes.

O processo de renovação na paisagem urbana na região do porto do Rio

de Janeiro, foi baseado na remoção da Avenida Perimetral e inserção da via Binário; remodelação do transporte com o VLT, novas calçadas e teleférico no Morro da Providência; valorização da área culturais e científicos com a abertura de Museus, como o Museu do Amanhã e o Aquário do Rio e recuperação do estado de conservação física dos edifícios históricos antigo. A área do Porto Maravilha está demarcada na Figura 1.



Figura 1: Limites da área do Porto Maravilha

Fonte: CDURP – Porto Maravilha, 2020

A região do porto tem localização privilegiada, estando próxima ao Centro da cidade, onde estão empresas chave para a economia nacional. Conta com mobilidade extensa, como o aeroporto Santos Dumont, acesso facilitado às regiões Sul e Norte da cidade e a vias de trânsito rápido, as quais levam a municípios da região metropolitana, como Niterói e Nova Iguaçu.

A operação urbana consorciada tem na alteração da legislação e padrões edíficos da região, o maior instrumento para aumentar o potencial permitido para construção nos terrenos da região do porto, os chamados CEPACS (Certificados de Potencial Adicional de Construção). Esta alteração, é a principal fonte de recurso do projeto. Foram emitidos aproximadamente 4 milhões de metros quadrados de potencial adicional de construção para comercialização no mercado imobiliário.

A União tem a propriedade majoritária dos grandes terrenos da região (características dos grandes armazéns), isso possibilita que as negociações dos lotes sejam realizadas com um número reduzido de proprietários e a construção de empreendimentos de maior porte com maior consumo de CEPACS aumente o fluxo financeiro. A Figura 2 mostra a altura máxima possível que as edificações podem atingir com a flexibilização na legislação.

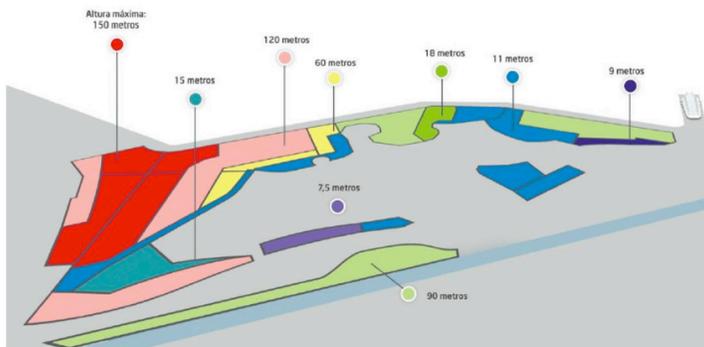


Figura 2: Desenvolvimento imobiliário – Gabaritos máximos

Fonte: CDURP – Porto Maravilha, 2020

Os atores privados para atuação no projeto, são organizações nacionais ou multinacionais com atuação nos setores: Setor de construção civil; Setor de serviços urbanos; Setor imobiliário e incorporador; Setor de mobilidade urbana.

5.1 Análise do mercado imobiliário de edifícios corporativos com certificação ambiental situados na região do porto maravilha

A coluna Escritório da Revista Buildings do 2º trimestre de 2020 com o título “Informação para superação”, afirma que no início do ano de 2020, o mercado imobiliário da cidade do Rio de Janeiro, indicava continuidade na retomada para superar a grave crise econômica. Principalmente na região portuária, que registrou 26% de taxa de vacância nos edifícios corporativos, contra 49% registrados no começo de 2019.

Os segmentos industriais que mais ocupam os imóveis classe A da região do Porto, são: Bancário com 31%; Seguros com 14%; e Cosméticos com 12%. Os principais índices da região portuária estão atualizados e expostos na Tabela 2 abaixo.

Indicador	Corporate A	Corporate (BB, B e C)
Estoque total (m ²)	223.075	104.389
Quantidade de edifícios	10	14
Atividade construtiva (m ²)	49.089	3.802
Novo estoque (m ²)	x	x
Vacância (m ²)	58.231	17.850
Taxa de vacância (%)	26,10	17,10
Preço (R\$/m ² /mês)	87,28	43,40

Tabela 2: Indicadores da região do Porto Maravilha

Fonte: Adaptado da revista Buildings 2T 2020

Superando a crise econômica, a região do Porto Maravilha antes do isolamento social forçado pela pandemia do Coronavírus Covid-19, vinha se tornando uma das áreas mais valorizadas para investimentos em imóveis corporativos. O lançamento de mais de 200 mil m² em área bruta locável, ratifica o surgimento de um novo pólo de concentração de edificações com diversos atrativos, como localização, vistas privilegiadas e fácil acesso. Entre os benefícios está a possibilidade de redução nos custos operacionais devido à alta tecnologia empregada e a certificação ambiental.

6 I ANÁLISE DO ESTOQUE OCUPADO E INDICADORES COMERCIAIS

De Camargo-Ghiu (2016) afirma que o estudo do estoque ocupado traz resultados positivos para o trabalho de prospecção de interessados em novos espaços, já que visa encaixar as organizações no seu devido ambiente corporativo.

As características das edificações certificadas e os indicadores comerciais do estoque ocupado na região analisada, são expostos nas Tabelas 3 e 4 a seguir.

Edifício	Área const. (m ²)	Nº de Torres	Nº de Pavtos	Nº de Pavtos Úteis	Unidades	Área do Pavto. (m ²)	Vagas
A	26.328	1	18	16	16	Lojas térreo 325, lajes 925 a 1250	105
B	20.294	1	22	18	Variável	1.033	ND
C	31.144	1	22	17	34	Lojas térreo 483,55, lajes 1.700 a 2.088	382
D	76.219	1*	21	19	Variável	Lojas térreo 1.077,92, lajes 1.277,68 a 3.668,27	1.865
E	41.600	1**	16	14	Variável	2500	ND
F	29.806	1	18	11	Variável	Lojas térreo 1.059, lajes 1209	197
G	38.379	1	22	18	Variável	2.000	560

· * Segunda torre ainda não construída, aguardando plena ocupação da primeira torre.

· ** Apenas a torre corporate foi analisada

· ND = Não Divulgado

Tabela 3: Características das edificações certificadas do Porto Maravilha

Fonte: Adaptado da revista Buildings 2T 2020 / Revisão bibliográfica / Pesquisa de campo

Edifício	Classe	ABL (m ²)	Preço (R\$/m ² /mês)	Ocupação aprox. (%)	Disponibilidade (m ²)	Taxa de Vacância (%)
A	AAA	18.302	75,00	Logística ND	15.807	86.37
B	AAA	18.600	ND	Cosméticos 66, Bancos 8, Automob. 3, Financeira 3, Saúde 3.	3.616	19.44
C	AAA	25.429	105,00	Saúde 40, Financeira 15, Seguros 10, Cosméticos 10.	3.682	14.48
D	AAA	70.612	110,00	Seguros 25, Energia 20, Bancos 16, Advocacia 14, StartUps & Coworking 10	11.064	15.67
E	AAA	ND	80,00	0*	ND	100*
F	AAA	14.320	65,00	Energia 20, Cosméticos 20, Infraestrutura 5, Logística 5	7.366	51.44
G	AAA	36.000	ND	Seguros 100	0	0

- * Em visita ao local, foi verificado que a torre corporate não está em funcionamento.
- ND = Não Divulgado

Tabela 4: Estoque ocupado em edificações certificadas do Porto Maravilha

Fonte: Adaptado da revista Buildings 2T 2020 / Revisão bibliográfica / Pesquisa de campo

Atualmente o Porto Maravilha mostra velocidade diferenciada no desenvolvimento imobiliário, sendo geograficamente dividido pela rua Rivadavia Corrêa, próximo ao complexo da Cidade do Samba. A região mais próxima à Praça Mauá, com mais infraestrutura, se tornou ponto turístico desde os Jogos Olímpicos e se beneficiou de uma demanda reprimida por escritórios em edifícios mais modernos, já que a maioria dos imóveis do Centro são mais antigos. Estão localizados próximos à esta região, os edifícios A, B e C.

A região mais próxima à Avenida Francisco Bicalho, à Rodoviária Novo Rio e ao Canal do Mangue, ainda se apresenta degradada, com as obras de revitalização e construções inacabadas. Estão localizados nesta região, os edifícios D, E, F e o G.

Analisando a disponibilidade, o inventário total de ABL é 210.946 m² nos

edifícios corporativos com selo ambiental na região do Porto Maravilha. Analisando a Tabela 2, que expõe dados do inventário total de 10 edifícios corporativos Classe A, restam apenas 12.129 m². Esta pequena diferença pode ser explicada pela menor dimensão das edificações que não se enquadram plenamente nos critérios analisados. Como exemplo, um edifício situado na Avenida Venezuela, tem 6.000 m² de área construída e apesar de ter selo ambiental, abriga atualmente uma universidade.

Conforme mostrou a Tabela 2, a média do valor mensal do metro quadrado no segundo trimestre de 2020 aferido pela revista Buildings, era de R\$ 87,28. O preço mensal mínimo por m² é R\$ 65 no edifício F e máximo, R\$ 110 no edifício D. Não foram disponibilizados os valores mensais do metro quadrado para locação de espaços nos edifícios B e E, o que prejudicou uma análise mais completa deste indicador.

Analisando a ocupação e confirmando o que foi exposto anteriormente, os setores Bancário, de Seguros e Cosméticos, têm forte presença na região. Também marcam posição relevante os setores de Saúde, Energia e Infraestrutura, sendo outros momentaneamente menos representativos.

No segundo trimestre de 2020, a média da Taxa de Vacância para edifícios corporativos Classe A na região do Porto Maravilha era de 26,10%. Os edifícios B, C e D, têm atualmente Taxa de Vacância abaixo de 20%.

Lançados por grandes multinacionais do setor imobiliário, contando com elementos construtivos e tecnologia operacional de alta eficiência, projetos de Arquitetura, estrutura e instalações de autoria de grandes escritórios internacionais, os edifícios B, C e D, apresentam dados que confirmam que uma certificação ambiental traz vantagens comerciais e operacionais. Esse resultado positivo pode ser mais facilmente alcançado com investimentos em estudos do mercado para novos espaços, visando encaixar as organizações em seu devido ambiente.

Analisando os edifícios com Taxas de Vacância com valores extremos, o edifício G atualmente tem plena ocupação e ultrapassando os 50% de vacância, estão: o edifício A, com 86,37%, o edifício F, com 51,44%, e a torre corporativa do complexo do edifício E, com 100%.

Como afirma matéria divulgada pelo jornal O Globo em 2018, em transação realizada em fevereiro de 2018, após o edifício G ter ficado três anos desocupado, uma grande empresa de seguros adquiriu o edifício da companhia imobiliária multinacional idealizadora do projeto. O relatório do 4T de 2019 da JLL, afirma que a transferência de todos os colaboradores da seguradora foi finalizada no quarto trimestre de 2019.

Segundo divulgado no portal da CNF (Confederação Nacional das Instituições Financeiras) no final de 2019, a empresa construtora e proprietária do edifício E passa

por processo de recuperação judicial e negociou a redução de sua dívida junto à instituição bancária financiadora na construção do empreendimento. Esta transação envolve especificamente a torre corporativa do complexo empresarial, a qual vem sendo mantida fora de operação. A mesma empresa em questão, construtora e atual proprietária do edifício F, ocupa parte de seu espaço. Sua atual situação fiscal pode ser um dos motivos para que a Taxa de Vacância esteja atualmente acima de 50%.

O edifício A, dentre os edifícios do estudo, é o que está situado mais próximo à Praça Mauá, área mais desenvolvida do Porto Maravilha. Segundo o portal da empresa construtora, o empreendimento conta com elementos construtivos e tecnologia operacional de alta eficiência. Obteve o Prêmio Master Imobiliário em 2012 pela Categoria Empreendimentos – Comercial, e foi o primeiro Triple A lançado no Porto Maravilha. Sua elevada Taxa de Vacância atual (86,37%), provavelmente pode ser motivada por sua localização, já que estando mais próximo ao Centro, está exposto à maior concorrência das edificações da região, algumas também certificadas.

7 | CONCLUSÃO

Segundo Saruê (2016), em abril de 2016, faltando três meses para a realização dos Jogos Olímpicos, as obras de revitalização urbana seguiam o cronograma das entregas previstas para o evento. O mesmo não aconteceu com os empreendimentos imobiliários, que tiveram seu desenvolvimento atrasado devido à falta de investimento, causando grande impacto no fluxo de caixa do projeto.

A indústria de petróleo e gás e o setor de serviços públicos, têm significativa importância para a atividade econômica e o mercado imobiliário comercial no Rio de Janeiro. A piora do cenário econômico nacional e estadual após o evento esportivo, impactou frontalmente os investimentos da região, os quais lentamente voltaram a ser retomados após o acordo de recuperação fiscal do Rio de Janeiro, firmado com a União em 2017.

Esta quebra de expectativa com relação às atividades econômicas, trouxe intensa retração em alguns setores como especialmente o de óleo e gás, público e de serviços. Conseqüentemente, as empresas ligadas a esses setores, retraíram seus espaços ocupados, transferindo suas operações para escritórios menores.

Além da recessão econômica vivida pelos fluminenses nos últimos anos, um artigo da Revista Buildings do 2º trimestre de 2020 afirma que devido à pandemia do COVID-19, a obrigatoriedade do isolamento social iniciado no mês de março no estado do Rio de Janeiro e a adoção de trabalho remoto por grande parte das empresas, impactou frontalmente as negociações entre proprietários e ocupantes, bem como novos investimentos.

Segundo o relatório do 3ºT de 2020 publicado pela empresa de consultoria imobiliária JLL, os índices de absorção bruta e líquida sofreram desaceleração. A influência da pandemia nas movimentações do mercado representou aproximadamente 20,5% do total do volume de devoluções de espaços.

Analisando a abordagem do tema e os resultados expressos nas tabelas, foi possível obter melhor conhecimento do segmento imobiliário representado pelos edifícios de escritório com certificação ambiental na região do Porto Maravilha.

REFERÊNCIAS

AMINDARBARI, Reza; SEVTSUK, Andres. **Measuring growth and change in metropolitan form**. Sciences, v. 104, n. 17, p. 7301-7306, 2012.

ANDRADE, Jadson. [Fundos imobiliários]. São Paulo, 2019. **Entrevista concedida a Arthur Moraes no programa Fundos Imobiliários no portal Infomoney em 18 de janeiro de 2019**. Disponível em: <<https://www.dailymotion.com/video/x70w2ms>>, acesso em 24/06/2020

ANGEL, Shlomo; BLEI, Alejandro M. **The productivity of American cities: How densification, relocation, and greater mobility sustain the productive advantage of larger US metropolitan labor markets**. Cities, v. 51, p. 36-51, 2016.

BAZZAN, J.; AVILA, F. M.. **Análise Da Renda Média Como Variável Localização Na Formação De Valores De Mercado De Imóveis**. In: Encuentro Latinoamericano de Economía y Gestión de la Construcción (ELAGEC), 2016, Bogotá. Métodos Cuantitativos en la Gestión de la Construcción Científica, 2016.

DE CAMARGO-GHIU, Denise et al. **Análise Da Influência Da Taxa De Desemprego Terciário Na Vacância Dos Edifícios De Escritórios**. Latin American Real Estate Society (LARES), 2004.

DE MESENTIER, Leonardo Marques; DA COSTA MOREIRA, Clarissa. **Produção da paisagem e grandes projetos de intervenção urbana: o caso do Porto Maravilha no Rio de Janeiro Olímpico**. Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, v. 16, n. 1, p. 35, 2014.

GHIU, Denise de Camargo. **Produção e vacância de edifícios comerciais de escritórios em São Paulo no período 1999-2003**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SARUÊ, Betina. **Os capitais urbanos do Porto Maravilha**. Novos estudos CEBRAP, v. 35, n. 2, p. 79-97, 2016.

Análise do mercado imobiliário corporativo no 2T de 2020, disponível em: <<https://revista.buildings.com.br/saiba-o-que-aconteceu-no-7o-buildings-exclusive/>>, acesso em 20/07/2020

Análise dos dados do 2T no Rio de Janeiro, disponível em: <<https://revista.buildings.com.br/analise-dos-dados-2-trimestre-no-rio-de-janeiro/>>, acesso em 10/08/2020

Área do Porto maravilha. Disponível em: <https://www.portonovosa.com/pt-br/porto-maravilha>, acesso em 19/07/2020

CDURP / PORTO MARAVILHA. **Empresas com sede no Porto. Porto Maravilha**, 2020. Disponível em: <<https://www.portomaravilha.com.br/empresasporto>>. Acesso em: 21 out. 2020.

Confira a prévia dos dados do 3º Tri em São Paulo e Rio de Janeiro, disponível em: <<https://revista.buildings.com.br/previa-do-3tri/>>, acesso em 28/09/2020

Economia paulista cresceu 1,6% em 2018, disponível em: <https://www.seade.gov.br/economia-paulista-cresceu-16-em-2018/>, acesso em 24/06/2020

FIRJAN - Nota Técnica, PIB Rio - resultados de 2019 e projeções. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-economia/pib-brasil-e-rio-de-janeiro-resultados-e-projecoes.htm>, acesso em 19/07/2020

Perfil de ocupação, disponível em: <<https://revista.buildings.com.br/perfil-de-ocupacao/>>, acesso em 12/05/2020

PIB do estado de São Paulo cresceu 2,5% em 2019, disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2020-03/pib-do-estado-de-sao-paulo-cresceu-25-em-2019>, acesso em 24/06/2020

SOBRE OS ORGANIZADORES

HENRIQUE AJUZ HOLZMANN - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

JOÃO DALLAMUTA - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre em engenharia elétrica pela UEL. Doutorando em Engenharia Espacial pelo INPE. Trabalha com os temas: Gestão da Inovação, Inteligência de Mercado e Planejamento de Missões Espaciais.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adensamento 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 95, 110, 115, 119, 126
Agregado 14, 15, 19, 21, 27, 28, 90, 91, 92, 93, 94, 102, 103, 104, 106, 139, 140, 146, 148
Argilas 30, 36, 39, 40, 42, 60
Aterro sanitário 90, 104, 147, 148
Automação 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 13

B

Barreiras verticais 74, 76, 85, 86
Bentonita 74, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86
Blocos 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 56, 60, 61, 64, 66, 67, 68, 70, 123, 124, 137

C

Carbonatação 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29
Carga 5, 9, 17, 36, 39, 44, 45, 46, 50, 51, 52, 54, 88, 121, 122, 123, 126, 128, 129, 130, 131
Casca de arroz 88, 104, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 142, 143, 144, 145, 146
Cinzas 93, 134, 137, 138, 140, 143
Compressão 14, 15, 18, 19, 22, 25, 27, 28, 34, 35, 53, 54, 83, 87, 88, 89, 90, 94, 97, 98, 102, 103, 104, 106, 107, 109, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 125, 139
Concreto 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 78, 79, 87, 88, 89, 90, 94, 95, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 123, 125, 127, 128, 131, 134, 137, 138, 139, 140, 144, 146
Construção civil 2, 5, 7, 12, 14, 16, 19, 29, 90, 102, 104, 120, 133, 134, 135, 140, 142, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 171

D

Diretiva Europeia 153, 154
Drenos 30, 36, 37, 38, 41, 42

E

Eficiência energética 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163
Ensaio 13, 14, 17, 18, 19, 22, 25, 26, 27, 29, 32, 43, 44, 45, 47, 49, 50, 53, 89, 97,

106, 107, 108, 109, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 126, 131, 139
Estaca 44, 45, 46, 50, 52, 54, 121, 122, 123, 125, 127, 128, 129, 131
Etiquetagem 153, 154, 158, 159, 160, 161, 162, 163
Expand Body 44, 45, 46, 49, 50, 53, 54

F

Fogo 87, 88, 89, 97, 98, 100, 103

G

Geológica 55, 59

Geotécnica 31, 54, 55, 58, 64, 71, 78, 125, 126

H

Heurístico 55, 57

M

Madeira 19, 20, 87, 91, 93, 134

N

Numérica 32, 121, 122, 124, 126

P

Patologia 14, 18, 29, 119

Pisos 1, 2

Plaxis 2D 121, 122, 124, 127, 130, 131, 132

Pulso ultrassônico 106, 107, 108, 109, 111, 115, 117, 118

R

Recalque 30, 31, 32, 34, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 52, 53, 122, 123, 129, 130, 131

Remediação 74, 75, 76, 77, 84

Resíduos 65, 66, 70, 87, 89, 90, 91, 102, 133, 134, 138, 139, 147, 148, 149, 150, 151, 152

Resistência 14, 15, 16, 18, 19, 22, 25, 27, 28, 30, 31, 33, 34, 39, 41, 46, 48, 74, 76, 78, 81, 82, 83, 84, 87, 88, 89, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 106, 107, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 123, 125, 139

Rio Doce 14, 15, 18, 19, 21, 22, 23, 26, 27, 28

Risco 7, 10, 14, 55, 56, 57, 58, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 73, 80, 88, 96, 97, 151, 168

S

Segurança 1, 3, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 88, 107, 122

Simulação 97, 121, 124, 126, 128

U

Urbel 55, 56, 57, 58, 67, 70, 71

O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA CIVIL 2

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NA ENGENHARIA CIVIL 2

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br