



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

4

Atena
Editora
Ano 2020



Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil

4

Atena
Editora
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Camila Alves de Cremo

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof^a Dr^a Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof^a Dr^a Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

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

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Prof^a Dr^a Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Prof^a Dr^a Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

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

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Prof^a Dr^a Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^a Dr^a Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^a Dr^a Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof^a Dr^a Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

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

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. 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. 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
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
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
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª 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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Dr^a Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^a Dr^a Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

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. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^a Dr^a Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof^a Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof^a 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
Prof^a Dr^a Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof^a Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Prof^a Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof^a Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof^a Dr^a Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
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
Prof^a Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof^a Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
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 Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
 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. Lilian 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. Me. 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. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
A642	<p>A aplicação do conhecimento científico na engenharia civil 4 [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Braga Machado Tullio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-65-5706-171-8 DOI 10.22533/at.ed.718200907</p> <p>1. Engenharia civil – Pesquisa – Brasil. 2. Construção civil. I. Tullio, Franciele Braga Machado. II. Machado, Lucio Mauro Braga.</p> <p style="text-align: right;">CDD 338.4769</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Civil 4” conta vinte e um capítulos sobre estudos realizados nas diversas áreas da engenharia civil.

A crescente preocupação com o meio ambiente e a escassez de recursos naturais exige a busca por novas alternativas no uso de materiais de construção. A presente obra oferece vários estudos em que resíduos de diferentes materiais sejam utilizados na construção civil.

Em consonância com o meio ambiente, apresentamos estudos sobre obras de saneamento, com a finalidade de promover a saúde e melhoria na qualidade de vida de uma determinada população.

São apresentadas pesquisas sobre patologias na construção civil e obras de pavimentação, o que permite o desenvolvimento de planos de manutenção e prevenção de novas patologias.

Por fim, apresentamos estudos sobre o comportamento estrutural em determinadas obras, e pesquisas sobre as diferentes demandas que a engenharia civil nos proporciona.

Desejamos que esta obra desperte ao leitor para a aplicação e desenvolvimento de novas pesquisas, com o objetivo de enriquecer ainda mais os estudos nas diversas atuações da engenharia civil. Boa leitura!

Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE CORTE DE MÁRMORE E GRANITO PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA AUTONIVELANTE	
Augusto Felipe Chiella Vinícius Felipe Chiella Nathália Cortes Tosi Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski	
DOI 10.22533/at.ed.7182009071	
CAPÍTULO 2	17
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE PÓ DE VIDRO COMO UMA ADIÇÃO MINERAL EM CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA, EM CONJUNTO AO EMPREGO DE MICROSSÍLICA	
Vinícius Felipe Chiella Augusto Felipe Chiella Nathália Cortes Tosi Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski	
DOI 10.22533/at.ed.7182009072	
CAPÍTULO 3	35
ESTUDO COMPARATIVO ENTRE BLOCOS DE CONCRETO COMUNS E BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE CELULOSE PROVENIENTE DE PAPEL RECICLADO	
Mariana de Sousa Prazeres Eduardo Aurélio Barros Aguiar	
DOI 10.22533/at.ed.7182009073	
CAPÍTULO 4	49
ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO EMPREGO DE RESÍDUO CERÂMICO COMO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO	
Nathália Cortes Tosi Augusto Felipe Chiella Vinícius Felipe Chiella Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski	
DOI 10.22533/at.ed.7182009074	
CAPÍTULO 5	61
USO DE LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA (CBC) COMO REMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND – CASO COLOMBIA	
Juan Pablo Izquierdo Jimenez Maria Juliana Alvarez Arias Manuel Alejandro Rojas Manzano	
DOI 10.22533/at.ed.7182009075	
CAPÍTULO 6	79
ESTUDO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM RESÍDUO LIGNOCELULÓSICO COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO	
Bruna Ferraz Carvalho Dantas Carlos Fernando de Araújo Calado Aires Camões	
DOI 10.22533/at.ed.7182009076	

CAPÍTULO 7 97

ESTUDO DO USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) DE MACEIÓ, COMO AGREGADO RECICLADO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E ASSENTAMENTO

Raone Bruno de Oliveira Silva
Renato Antônio Santos Rolim
Marcos André Melo Teixeira
Pedro Gustavo dos Santos Barros

DOI 10.22533/at.ed.7182009077

CAPÍTULO 8 114

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE COBRE DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS

Vinicius Lemos Pereira
Douglas Martins Sousa
Alan Monteiro Borges
Lygia Maria Policarpio Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.7182009078

CAPÍTULO 9 124

GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM JOÃO PESSOA: ESTUDO COMPARATIVO DO FLUXO DE ENTRADA NA USIBEN ENTRE OS PERÍODOS 2009/2010 E 2015/2018

Ubiratan Henrique Oliveira Pimentel
Gilson Barbosa Athayde Junior
Cristine Helena Limeira Pimentel
Samyr Sampaio Freire

DOI 10.22533/at.ed.7182009079

CAPÍTULO 10 133

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA MICROBACIA DO ARROIO BARRAÇÃO, MUNICÍPIO DE GUAPORÉ-RS

Fernando Frigo Migliorini

DOI 10.22533/at.ed.71820090710

CAPÍTULO 11 138

ANÁLISE DE ESTUDO DO RECALQUE DE EDIFICAÇÃO SITUADA EM ZONA SUL DA CIDADE DE QUITO - EQUADOR

Alexis Enríquez León

DOI 10.22533/at.ed.71820090711

CAPÍTULO 12 149

PATOLOGIA EM LAJES MACIÇAS DE EDIFÍCIO EMPRESARIAL

Bruno Matos de Farias
Ronaldo Garcia da Costa
Rebecca Alves da Silva
José Ricardo Cardoso Domingues

DOI 10.22533/at.ed.71820090712

CAPÍTULO 13 164

LEVANTAMENTO DE PATOLOGIAS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DE VIAS URBANAS DE MACAPÁ-AP

Beatriz da Silva de Brito
Alinne Emely dos Santos Duarte
Paulo Victor Prazeres Sacramento
Ruan Fabrício Gonçalves Moraes
Orivaldo de Azevedo Souza Junior

DOI 10.22533/at.ed.71820090713

CAPÍTULO 14 179

AVALIAÇÃO OBJETIVA E SUBJETIVA EM SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO FLEXÍVEL EM TRECHO URBANO – ANÁLISE DA DISTÂNCIA ENTRE ESTAÇÕES DE AVALIAÇÃO EM SUBTRECHOS HOMOGÊNEOS

Gustavo da Silva Schiavon

DOI 10.22533/at.ed.71820090714

CAPÍTULO 15 193

IMPACTO NO NÍVEL DE SOLICITAÇÕES DOS PILARES POR DIFERENTES MODELOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL

Ray Calazans dos Santos Silva

Luan Reginato

Danilo Pereira dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.71820090715

CAPÍTULO 16 209

SAPATAS: COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DE CÁLCULO ANALÍTICO POR MEIO DAS BIELAS-TIRANTES E O MEF (2D)

Denise Itajahy Sasaki Gomes Venturi

Matheus Rangel Venturi

DOI 10.22533/at.ed.71820090716

CAPÍTULO 17 224

VIGAS DE PONTES PROTENDIDAS ENTRE 20 E 40 METROS

Leonardo Lunkes Wagner

Denizard Batista de Freitas

DOI 10.22533/at.ed.71820090717

CAPÍTULO 18 238

PLANO DE MOBILIDADE URBANA – PMU: UMA BREVE ANÁLISE DA LEI 12.587/2012

Rodrigo Marques do Nascimento

Fábio Mendes Ramos

Daniel Martins Nunes

DOI 10.22533/at.ed.71820090718

CAPÍTULO 19 248

NOVO LABORATÓRIO DO CURSO DE EDIFICAÇÕES DO IFPA

Luciano Costa de Farias

Marcelo Martins Farias

Wellen Patrícia Farias dos Reis

Celestina de Lima Rezende Farias

Cleydimara Aquino de Brito

DOI 10.22533/at.ed.71820090719

CAPÍTULO 20 256

A QUALIFICAÇÃO DO PROFISSIONAL DE ENGENHARIA CIVIL NO MERCADO ATUAL E O SEU IMPACTO DE CUSTO PARA UMA EMPRESA FORMAL

Rafaela Cardoso Galace

Flávia Aparecida Reitz Cardoso

DOI 10.22533/at.ed.71820090720

CAPÍTULO 21	267
ANÁLISE OBSERVACIONAL GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE UM TRECHO DA RODOVIA DO CAFÉ Amanda Fernandes de Oliveira Leonardo Cesar de Souza Sowinski Gabrielly De Souza dos Santos Alex Sandro da Costa Mariana Alher Fernandes DOI 10.22533/at.ed.71820090721	
SOBRE OS ORGANIZADORES	280
ÍNDICE REMISSIVO	281

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE CORTE DE MÁRMORE E GRANITO PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA AUTONIVELANTE

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 19/03/2020

Augusto Felipe Chiella

Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/5465301082677424>

Vinícius Felipe Chiella

Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/6821333760606562>

Nathália Cortes Tosi

Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/8189098228117640>

Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski

CCET, Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/0759962154482745>

RESUMO: A indústria da construção civil é responsável pelo consumo exacerbado de diversos recursos naturais não renováveis, assim como pela geração de grande quantidade de resíduos. Por outro lado, este setor apresenta um grande potencial para o aproveitamento de resíduos reciclados provenientes de outras

atividades industriais. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica do emprego de Resíduo de Corte de Mármore e Granito (RCMG) como adição mineral para produção de argamassa autonivelante. Para tal, foram produzidas argamassas com os traços 1:4 e 1:5 (cimento:areia, em massa), empregando em sua composição – como adição mineral – o RCMG em teores de 0, 5, 10, 15 e 20%, em relação a massa de cimento. No estado fresco da mistura foram realizados os ensaios de consistência (mini *slump*) e tempo de fluxo, caracterizando a argamassa quanto a sua capacidade de fluidez e de se manter homogênea. Já no estado endurecido foram realizados os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão. Para as argamassas de traço 1:4 constatou-se que – por já apresentar uma elevada relação de materiais finos – o emprego do RCMG ocasionou uma diminuição na consistência da mistura e um aumento na viscosidade desta. Nas argamassas de traço 1:5 – de modo geral – verificou-se que a maior proporção de agregado miúdo resulta em uma matriz com maior quantidade de poros, deste modo – ao ser inserido nestas argamassas – o RCMG acomodou-se nos poros da matriz, realizando o efeito *fíler*, aumentando a fluidez e a viscosidade da argamassa. Quanto aos

ensaios no estado endurecido, observou-se que o emprego do resíduo proporcionou aumento nas resistências mecânicas para ambos os traços, principalmente quando inserido em teores de adição de 15 e 20%.

PALAVRAS-CHAVE: Argamassa autonivelante. Resíduo de Corte e Granito (RCMG). Resíduo reciclado. Adição mineral. Contrapiso.

TECHNICAL FEASIBILITY ANALYSIS FROM THE USE OF RESIDUE OF COURT OF MARBLE AND GRANITE FOR PRODUCTION OF SELF-LEVELING MORTAR

ABSTRACT: The civil construction industry is responsible for excessive consuming natural resources, as well as the generating large amounts of waste. On the other hand, this sector presents a great potential of using recycled waste from other industrial activities. In this context, the objective of this paper was to evaluate the technical feasibility of the using Residue of Court of Marble and Granite (RCMG) as a mineral addition to self-leveling mortar production. In order to do this, it was produced mortar with 1: 4 and 1: 5 traces (cement:sand, in mass), employing in its composition – as mineral addition – the RCMG in contents of 0, 5, 10, 15 and 20%, relative to the cement mass. In the fresh state, consistency test (mini slump) and flow time test were performed, characterizing the mortar in terms of its fluidity capacity and the capacity of keeping itself homogeneous. In the hardened state, it was performed tests of flexural and the compressive strength. As for 1: 4 mix mortars, it was found that – since it already has a high ratio of fine materials – the use of RCMG caused a decrease in the consistency of the mixture and an increase in its viscosity. In 1: 5 mix mortars – in general – it was found that the highest proportion of fine aggregate results in a matrix with a greater amount of pores, thus – when inserted in the mortar – the RCMG accommodated itself in the pores of the matrix, where the filler effect happened, which increases the mortar fluidity and viscosity. As for the tests in the hardened state, it was observed that the use of the residue provided an increase in the mechanical resistance for both traces, mainly when inserted in addition levels of 15 and 20%.

KEYWORDS: Self-leveling mortar. Residue of Court of Marble and Granite (RCMG). Recycled waste material. Mineral addition. Subfloor.

1 | INTRODUÇÃO

O setor da construção civil apresenta um grande potencial ao reaproveitamento de materiais reciclados provenientes de outras atividades industriais. Averigua-se que – quando bem empregado – tais materiais alternativos proporcionam a redução de custo das misturas e do impacto ambiental. Neste contexto enquadra-se o Resíduo de Corte de Mármore e Granito (RCMG), um rejeito oriundo de marmorarias, produzido a partir dos processos de corte e polimento das pedras ornamentais. Quando gerado, tal resíduo é despejado em lagoas de sedimentação por onde fica armazenado por tempo

indeterminado, acarretando custos para a empresa geradora. Conforme uma estimativa apresentada por Matta *et al.* (2013), em 2011 gerou-se, no Brasil, em torno de 2 milhões de toneladas de resíduo de corte de pedras ornamentais, assim, evidenciando a importância do desenvolvimento de estudos propondo uma nova utilização a este tipo de rejeito industrial.

Além do justaposto acima, há – no mercado da construção civil – uma exigência por obras mais rápidas. Neste contexto, desenvolveu-se, na década de 80, na Europa, um sistema de contrapisos autonivelantes (CICHINELLI, 2012), que permite a execução da camada de regularização de pisos de forma mais rápida e fácil, permitindo a liberação ao tráfego em até 3 horas após a aplicação (NAKAKURA; BUCHER, 1997).

O contrapiso autonivelante – desenvolvido com o emprego de argamassas autonivelantes – ao ser lançado, nivela-se pela ação conjunta da gravidade e de sua própria capacidade de fluxo, não sendo necessária a execução de procedimentos complexos para adensamento ou acabamento superficial. Deste modo a argamassa empregada deve apresentar elevada fluidez e uma viscosidade adequada para que atenda aos três requisitos de trabalhabilidade de sistemas autonivelantes: capacidade de enchimento, capacidade de passagem de obstáculos e a resistência à segregação (EFNARC, 2002). Para a obtenção destas características reológicas, faz-se necessário o uso de aditivos químicos. Ainda pode-se empregar algumas adições minerais, que – por serem materiais finos – podem contribuir para a melhoria da viscosidade da mistura, representando uma alternativa de redução dos custos de produção.

Mediante ao exposto, este trabalho propôs avaliar a viabilidade técnica do emprego de RCMG como adição mineral para produção de argamassas autonivelantes. Para isto, foi realizada uma série de ensaios que permitem avaliar a influência deste resíduo nas misturas.

2 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para o programa experimental, estabeleceu-se como parâmetros controláveis o teor de adição de RCMG empregado na mistura (0,5,10,15 e 20% sobre a massa de aglomerante) e o traço das argamassas produzidas – 1:4 e 1:5, cimento:agregado, em massa – e verificou-se a influência destes fatores nas propriedades das argamassas produzidas. O comportamento das argamassas foi avaliado mediante os ensaios de consistência pelo método de mini *slump test*, viscosidade (tempo de fluxo) pelo ensaio no mini-funil V (ambos apresentados pela EFNARC, 2002) e resistência à tração na flexão e à compressão (ABNT NBR 13279:2005).

2.1 Materiais Utilizados

2.1.1 Aglomerante

As argamassas forma produzidas com Cimento Portland de Alta Resistência Inicial Resistente a Sulfatos (CP V ARI RS), visto que este apresenta uma alta velocidade de endurecimento e de ganho de resistência, essenciais para a liberação rápida ao tráfego sobre o piso autonivelante. Tal aglomerante apresentou massa específica (ABNT NBR NM 23:2001) de 2,96 g/cm³ e módulo de finura (ABNT NBR 11579:2012) de 0,8%.

2.1.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado na pesquisa corresponde a uma composição de 50% de areia fina fluvial quartzosa natural e 50% de areia industrial. Estas foram caracterizadas quanto suas propriedades físicas através dos ensaios de granulometria (ABNT NBR NM 248:2003), massa específica (ABNT NBR 9776:1988) e massa unitária (ABNT NBR 7251:1982). Os resultados desta caracterização estão apresentados na Tabela 1.

Areia	Módulo de finura	Massa específica (g/cm ³)	Massa unitária (g/cm ³)
Natural Fina	0,81	2,63	1,42
Industrial	3,39	2,54	1,2

Tabela 1 – Caracterização física das areias utilizadas

Fonte: Autores (2020).

2.1.3 Aditivos químicos

Para produção das argamassas foram utilizados dois aditivos químicos, um deles desenvolvido especificamente para autonivelantes – aqui chamado de AN – a base de resinas sintéticas e policarboxilato. O outro, um aditivo superplastificante (SP), que apresenta como composição básica policarboloxilatos.

2.1.4 Adição mineral

Para realização do estudo, foi empregado – como adição mineral – o resíduo de corte de mármore e granito, em teores de 0, 5, 10, 15 e 20% da massa de aglomerante da mistura. Este foi obtido em uma marmoraria que realiza atividades de corte de placas de mármore e granito para comercialização, localizada na cidade de Bento Gonçalves/RS. A Figura 1a apresenta os procedimentos realizados na marmoraria para realização do corte das rochas, assim como os processos realizados no resíduo para prepará-lo para ser utilizado neste trabalho. Já a Figura 1b apresenta o aspecto físico do RCMG saturado

(logo após ser coletado) e a Figura 1c apresenta a amostra seca e destorroada (pronta para ser empregada nas misturas).

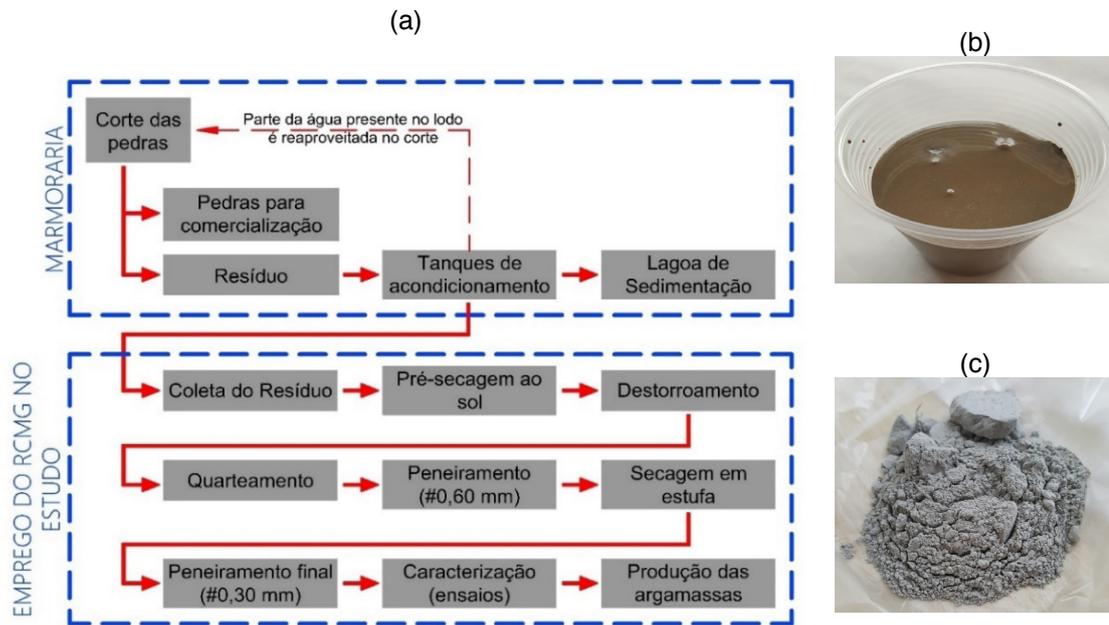


Figura 1 – Produção do resíduo e preparação para o estudo

Fonte: Autores (2020).

A granulometria do resíduo foi avaliada por peneiramento (Tabela 2) e através da análise das imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) produzidas no Laboratório Central de Microscopia (LCMic)/UCS (Figura 2).

Peneiras (μm)	150	75	38	25	<25	Diâmetro Máximo (μm)
Percentual médio retido (%)	2,05	4,13	33,27	58,98	1,58	150
Percentual médio retido acumulado (%)	2,05	6,18	39,44	98,42	100,00	

Tabela 2 – Granulometria do RCMG

Fonte: Autores (2020).

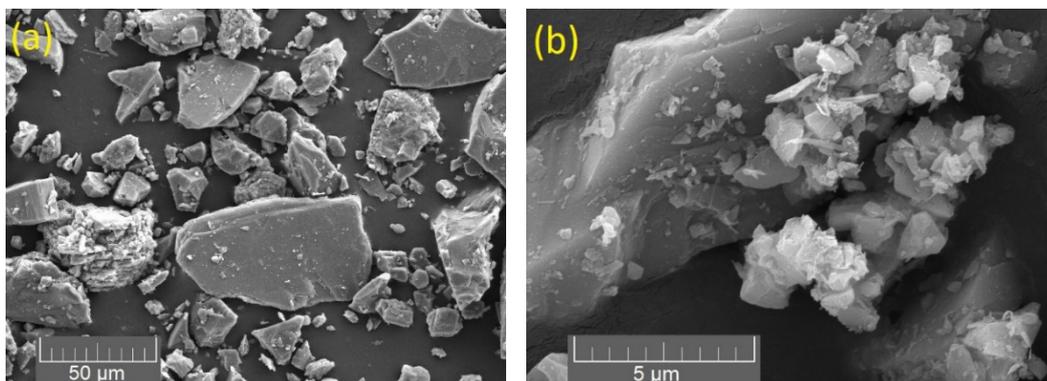


Figura 2 – Imagem produzida por MEV. (a) ampliação de 1.000 vezes. (b) ampliação de 15.000 vezes.

Fonte: Autores (2020).

Conforme pode-se constatar nas imagens, as partículas do RCMG apresentam geometrias irregulares e com arestas vivas, o que poderia implicar em um maior atrito interno quando comparado com partículas esféricas (como por exemplo as da microssílica). Ainda, através das imagens, verifica-se a presença de partículas com grande variedade de dimensões, observando-se desde fragmentos inferiores a $5 \mu\text{m}$ até frações com dimensão de $150 \mu\text{m}$. Desta forma, quando inseridas em argamassas, as partículas do RCMG auxiliam a manter os grãos de cimento e areia suspensos (devido ao efeito de empacotamento), o que contribui para melhoria da coesão e fluidez da mistura.

Ainda, a análise deste resultado – conjuntamente ao obtido no ensaio de granulometria – indica que, por apresentar dimensões muito pequenas, as partículas do RCMG tendem a flocular, o que dificulta o processo de peneiramento. Deste modo, embora o MEV abranja uma pequena área da amostra de resíduo, acredita-se que uma parcela mais significativa que os 1,58% passante no ensaio de granulometria apresenta granulometria inferior a $25 \mu\text{m}$.

Além destes ensaios, verificou-se a composição química e mineralógica do resíduo por Espectroscopia de Dispersão em Energia (EDS) e Difratomia de Raios X (DRX), respectivamente, ambos feitos no LCMic/UCS. O primeiro foi realizado no equipamento Oxford modelo X-Max 50 mm^2 , com tensão de aceleração dos elétrons de 20KV e metalizando a amostra com ouro. Já o segundo, foi realizado no equipamento Shimadzu LabX XDR-6000 e as condições analíticas do ensaio foram a utilização de uma faixa de 5° a 120° , espaçamento entre as leituras (passos) de $0,05^\circ$ e tempo de integração (tempo de leitura de cada passo) de 1s. O resultado obtido no ensaio de DRX está apresentado na Figura 3.

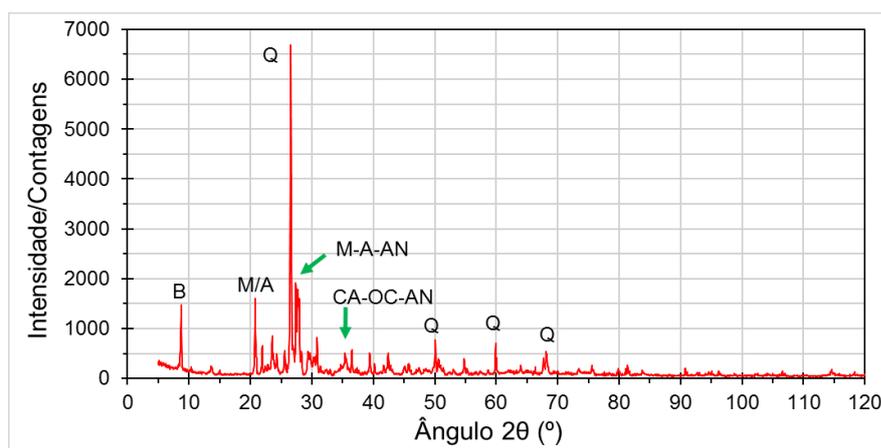


Figura 3 – Difratograma da amostra de RCMG

Onde: B = Biotita ($\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, PDF 42-1339); M = Microclínio (KAlSi_3O_8 , PDF 84-0708); A = Albita ($\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$, PDF 84-0982); Q = Quartzo (SiO_2 , PDF 85-0504); AN = Anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, PDF 73-0264); CA = Calcita (CaCO_3 , PDF 81-2027); OC = Óxido de cálcio (CaO , PDF 03-0865). Sendo os quatro primeiros minerais comumente presentes nos granitos, e os dois últimos nos mármore. Fonte: Autores (2020).

Pelo resultado obtido no ensaio de EDS constatou-se – de forma qualitativa – que a amostra tem como principal constituinte o Silício, possivelmente constituindo os minerais de quartzo (SiO_2), feldspatos – microclínio (KAlSi_3O_8) e albita ($\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$) – e silicatos, ou ainda em forma de sílica livre, conforme averiguado no resultado do ensaio de DRX. A análise do difratograma indica que os compostos químicos presentes na amostra de RCMG se apresentam na forma cristalina, visto que o gráfico contém picos de intensidade em diversos ângulos de análise, principalmente entre os 20° e 30° (sendo que cada pico corresponde a uma estrutura cristalina diferente que compõe a amostra). Ainda, a capacidade de reatividade do RCMG foi avaliada de forma mais quantitativa no ensaio de Índice de Atividade Pozolânica (IAP), pelo ensaio descrito na ABNT NBR 5752:2014, onde verificou-se que a amostra não apresenta potencial pozolânico, visto que apresentou um IAP de 88%, sendo que – segundo a ABNT NBR 12653:2015 – para um material ser classificado como pozolânico ele deve apresentar um IAP superior a 90%. Assim, o resíduo em questão, embora chamado – neste trabalho – como adição mineral, por não apresentar reação pozolânica, enquadra-se como uma adição mineral inerte (fíler).

2.2 Produção das argamassas

Para a mistura dos materiais, primeiramente adicionou-se na argamassadeira a água ($a/c=0,95$) conjuntamente com o cimento e o RCMG, misturando-os por 1 minuto em velocidade média. Após, durante 1 minuto em velocidade alta, acrescentou-se o agregado miúdo aos poucos, sem parar o processo de mistura. Posteriormente, adicionou-se os aditivos químicos e misturou-se a argamassa por mais 10 minutos. Quanto aos aditivos químicos, foi empregada uma quantidade suficiente destes para que as argamassas de referência – sem RCMG – obtivessem um diâmetro de espalhamento no ensaio de mini slump test entre 24 e 26cm (conforme a recomendação da EFNARC (2002)), sendo estes mantidos para todas as argamassas de mesmo traço para eliminar qualquer influência que os aditivos pudessem exercer nas argamassas. Para o traço 1:4, fixou-se um teor de aditivo AN de 1,0% e de SP de 0,7% e para o traço 1:5, utilizou-se, respectivamente, 1,0% e 1,5%. A Figura 4 esquematiza o processo de mistura dos materiais.

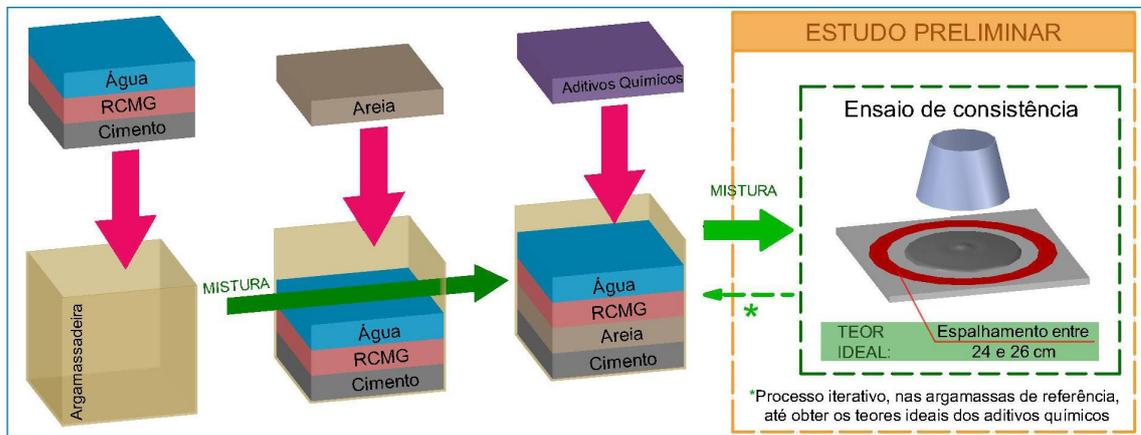


Figura 4 – Procedimento de mistura dos materiais

Fonte: Autores (2020).

2.3 Métodos de ensaio

2.3.1 Consistência e tempo de fluxo (viscosidade plástica)

A determinação da consistência das argamassas produzidas foi realizada através da medição do diâmetro de espalhamento destas no ensaio de mini *slump* e da viscosidade plástica pelo ensaio do mini-funil V, ambos apresentados pela norma europeia EFNARC (2002). O ensaio de consistência consiste no preenchimento de um molde tronco cônico (Figura 5a) com a argamassa, liberação desta e verificação do diâmetro de espalhamento. A norma indica como valores de referência um espalhamento entre 24 e 26cm. Já o ensaio de viscosidade consiste no enchimento de um funil (Figura 5b) com a argamassa, liberação desta e medição do tempo de queda (tempo de fluxo). Tal ensaio fornece parâmetros para avaliar a viscosidade da argamassa, pois, segundo a EFNARC (2002), tempos de queda inferiores a 8s indicam uma baixa viscosidade.

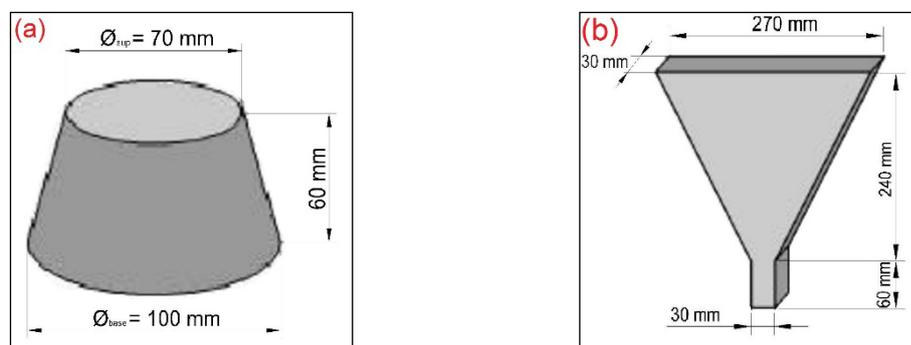


Figura 5 – Moldes: a) ensaio de consistência; b) ensaio de tempo de fluxo.

Fonte: Adaptado de EFNARC (2002).

2.3.2 Resistência à tração na flexão e à compressão

A caracterização mecânica das argamassas foi realizada através da metodologia apresentada na ABNT NBR 13279:2005, pelo ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão, nas idades de 7 e 28 dias, em uma prensa hidráulica modelo EMIC PC200i. Para tal, foram produzidos 6 corpos de prova prismáticos (4x4x16cm) para cada tipo de argamassa, moldados em uma única camada – sem aplicação de golpes – dada à característica autonivelante da argamassa.

3 | ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os dados experimentais obtidos foram submetidos a análise da variância (ANOVA) com o intuito de investigar a influência que as variáveis controláveis exerceram sobre o resultado obtido. Esta foi realizada através do *software* Excel, utilizando-se um percentual de confiança de 95%.

3.1 Consistência e tempo de fluxo

Os resultados médios dos espalhamentos apresentados pelas argamassas no ensaio de mini *slump* e do ensaio de tempo de fluxo estão apresentados na Tabela 3. Na Tabela 4 estão apresentados os comportamentos das argamassas no ensaio de mini *slump* onde – através de uma análise visual – nota-se que nenhuma das argamassas produzidas apresentou uma segregação exacerbada, sendo esta observada quando há um acúmulo de partículas localizadas no centro do espalhamento da argamassa, ou – segundo Martins (2009) – pela presença de bordas não uniformes que indicam uma tendência à segregação.

Traço	1:4					1:5				
Teor de adição de RCMG	0%	5%	10%	15%	20%	0%	5%	10%	15%	20%
Consistência (cm)	25,67	24,17	24,10	25,57	23,33	25,97	26,73	28,17	26,87	27,67
Tempo de fluxo (s)	1,97	2,20	2,35	2,44	2,55	3,40	3,56	3,63	3,70	3,76

Tabela 3 – Resultados do ensaio de consistência e tempo de fluxo

Fonte: Autores (2020).

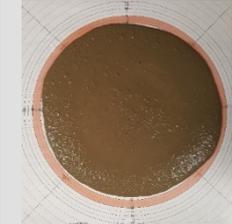
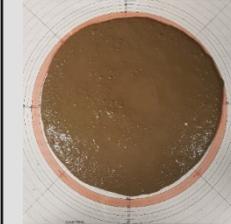
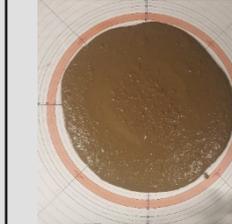
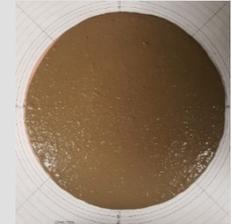
		Teor de RCMG				
		0%	5%	10%	15%	20%
Traço 1:4						
Traço 1:5						

Tabela 4 – Espalhamento das argamassas no ensaio de mini slump

Fonte: Autores (2020).

Através da análise dos resultados, verifica-se que todas as argamassas de traço 1:4 com resíduo em sua composição apresentaram uma consistência inferior a obtida pela argamassa de referência deste traço. Ainda, com exceção da argamassa com 15% de RCMG, observa-se uma relação inversamente proporcional entre o teor de resíduo e o espalhamento apresentado. Crê-se que – por ter uma maior relação de finos – os poros da matriz cimentícia das argamassas deste traço já estão praticamente colmatados, assim, quando inserido na mistura, o RCMG colabora para o aumento do atrito interno em condições de fluxo, visto que as partículas deste material apresentam geometria angular (conforme constatado no ensaio MEV).

Já para o traço 1:5, verifica-se uma tendência ao aumento do diâmetro de espalhamento com a inserção do resíduo, em virtude deste traço apresentar uma menor proporção de aglomerante. Deste modo, comparadas às argamassas do traço 1:4, as do traço 1:5 apresentam uma matriz com mais vazios entre os agregados, o que permite o RCMG acomodar-se nos interstícios desta. Assim acredita-se que, ao ser inserido na argamassa, o resíduo auxilia a manter os demais sólidos da mistura suspensos (dispersando-os) e – com isto – reduzindo o atrito interno da argamassa e aumentando sua fluidez.

Quanto ao ensaio de tempo de fluxo, os resultados revelam que todas as argamassas produzidas apresentam um tempo de escoamento inferior ao limite apresentado pela norma, de 8s, indicando uma deficiência na viscosidade o que pode, segundo Repette (2005) acarretar em uma segregação da mistura. Verifica-se que – para ambos os traços – o aumento do teor de RCMG proporcionou um aumento no tempo de fluxo e, conseqüentemente, uma melhoria na viscosidade das argamassas. Ainda, destaca-se que as argamassas do traço 1:5 apresentaram resultados mais satisfatórios (em média,

57% maior que as do outro traço), isto, provavelmente em função da maior proporção de agregado miúdo. Afinal, as partículas de maior dimensão – por proporcionarem um maior atrito interno – reduzem a velocidade do escoamento da argamassa.

A Tabela 5 e a Tabela 6 apresentam a análise estatística da variância dos resultados obtidos no ensaio de consistência e de tempo de fluxo, respectivamente. Em ambos os ensaios constatou-se que, tanto o teor de adição de resíduo como o traço das argamassas proporcionaram variações significativas nos resultados dos ensaios realizados. No ensaio de consistência, averiguou-se, ainda, que a interação entre estas variáveis apresentou influência nos resultados obtidos. Isto revela que – em virtude da distinção entre as proporções de materiais – o resíduo, quando inserido nas argamassas, exerce uma influência particular, dependendo do traço da argamassa.

Variável	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de RCMG (1)	2,9686667	4	0,74217	6,28955	0,001908	2,866081	S
Traço (2)	47,376333	1	47,3763	401,494	1,04E-14	4,351244	S
1 x 2	18,148667	4	4,53717	38,4506	4,01E-09	2,866081	S
Erro	2,36	20	0,118				
Total	70,853667	29					

Tabela 5 – Análise de variância dos resultados de consistência das argamassas

Onde: SQ - soma quadrática; gl - graus de liberdade; MQ - média quadrática; valor-P - probabilidade de significância; S - valor significativo; NS - valor não significativo (considerando $p < 5\%$ como efeito significativo).

Fonte: Autores (2020).

Variável	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de RCMG (1)	0,26594	4	0,06648	17,5654	0,008391	6,388233	S
Traço (2)	4,27716	1	4,27716	1130,03	4,67E-06	7,708647	S
Erro	0,01514	4	0,00379				
Total	4,55824	9					

Tabela 6 – Análise de variância dos resultados de tempo de fluxo das argamassas

Onde: SQ - soma quadrática; gl - graus de liberdade; MQ - média quadrática; valor-P - probabilidade de significância; S - valor significativo; NS - valor não significativo (considerando $p < 5\%$ como efeito significativo).

Fonte: Autores (2020).

3.2 Resistência à tração na flexão e à compressão

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão estão apresentados na Tabela 7.

Traço			1:4					1:5				
Teor de adição de RCMG			0%	5%	10%	15%	20%	0%	5%	10%	15%	20%
Resistências médias (MPa)	Tração na flexão	7 dias	3,44	3,72	4,00	4,20	4,37	4,37	4,60	4,58	4,63	4,71
		28 dias	5,10	5,44	5,34	5,78	5,69	5,14	5,73	5,69	5,57	5,91
	Compressão	7 dias	11,65	13,84	13,23	13,31	12,15	10,59	10,58	11,63	12,78	11,97
		28 dias	19,47	18,77	19,85	20,15	19,68	18,69	17,12	19,58	21,60	18,70

Tabela 7 – Resultado dos ensaios de resistência mecânica

Fonte: Autores (2020).

Através da análise dos resultados constata-se que – para ambos os ensaios – o emprego do RCMG proporcionou uma melhoria no desempenho mecânico das argamassas. Em virtude de o resíduo não demonstrar potencial pozolânico no ensaio de IAP sabe-se que o incremento da resistência mecânica decorre do efeito físico que uma adição mineral pode apresentar, que – segundo Dal Molin (2005) – pode ser pelo efeito de microfiller, refinamento da estrutura de poros e dos produtos de hidratação do cimento ou alteração da microestrutura da zona de transição.

Quanto aos resultados do ensaio de resistência à tração na flexão, acredita-se que o incremento na resistência com a utilização do RCMG deve-se – principalmente – ao fato destas partículas atuarem como pontos de nucleação para os produtos de hidratação, produzindo cristais de menor dimensão e distribuídos de forma mais homogênea pela matriz cimentícia. Assim, tal resíduo contribuiu para densificar a zona de transição entre as partículas de agregado e a pasta cimentícia, sendo esta a região de maior fragilidade para o ensaio de resistência à tração.

Para este ensaio, os resultados demonstram que todas as argamassas com algum percentual de resíduo apresentaram resistência média superior à argamassa de referência. Para o traço 1:4 – aos 28 dias – obteve-se uma resistência máxima empregando-se 15% de RCMG, em que a resistência média obtida corresponde a um aumento de 13,33% em relação a argamassa sem resíduo. Em relação ao traço 1:5, a melhor performance foi obtida pela argamassa com 20% de adição mineral, que apresentou um acréscimo – em relação a argamassa de referência – de 14,98%.

Em relação a resistência à compressão, acredita-se que a melhoria no desempenho apresentado com o acréscimo do RCMG dá-se, de forma mais expressiva, pelo efeito filler apresentado pelo resíduo. Quanto aos resultados apresentados, destaca-se que apenas as argamassas contendo 5% de resíduo exibiram uma perda na resistência aos 28 dias em relação as argamassas de referência (para o traço 1:4 a respectiva argamassa apresentou um decréscimo de 3,60% enquanto que a argamassa do traço 1:5 demonstrou uma perda de 8,40%). Ainda em relação aos resultados exibidos para a idade mais avançada, observa-se uma convergência de ambos os traços, apontando o teor de RCMG de 15% como o melhor resultado.

Para o traço 1:4 a utilização de 15% de resíduo proporcionou um aumento de – aproximadamente – 3,50%, e para o traço 1:5, de 15,57%. Observa-se um aumento mais acentuado para o segundo traço, em virtude de este apresentar – em sua matriz – uma maior quantidade de vazios, portanto, a inserção do resíduo nesta mistura permite uma melhoria mais efetiva da colmatação dos poros existentes na argamassa.

A Tabela 8 apresenta a ANOVA para o ensaio de resistência à tração na flexão e a Tabela 9 para à compressão.

Variável	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Traço (1)	2,21184	1	2,21184	17,67045258	0,000143289	4,084745733	S
Teor de RCMG (2)	2,937656667	4	0,734414167	5,867255636	0,000820364	2,605974949	S
Idade (3)	24,37162667	1	24,37162667	194,7056176	5,85327E-17	4,084745733	S
1 x 2	0,44091	4	0,1102275	0,880610628	0,484191136	2,605974949	NS
1 x 3	0,89304	1	0,89304	7,134521923	0,010881138	4,084745733	S
2 x 3	0,087556667	4	0,021889167	0,174873174	0,950021965	2,605974949	NS
1 x 2 x 3	0,301876667	4	0,075469167	0,602925316	0,662746729	2,605974949	NS
Erro	5,006866667	40	0,125171667				
Total	36,25137333	59					

Tabela 8 – Análise de variância da resistência à tração na flexão

Onde: SQ - soma quadrática; gl - graus de liberdade; MQ - média quadrática; valor-P - probabilidade de significância; S - valor significativo; NS - valor não significativo (considerando efeito significativo com $p < 5\%$).

Fonte: Autores (2020).

Variável	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Traço (1)	23,70963	1	23,70963	9,291608618	0,002945443	3,936142986	S
Teor de RCMG (2)	59,11452833	4	14,77863208	5,79162413	0,000310881	2,462614926	S
Idade (3)	1549,58907	1	1549,58907	607,2711871	2,84419E-44	3,936142986	S
1 x 2	26,171545	4	6,54288625	2,564103205	0,042849422	2,462614926	S
1 x 3	5,790413333	1	5,790413333	2,269215269	0,13511917	3,936142986	NS
2 x 3	18,85082167	4	4,712705417	1,846870418	0,125795378	2,462614926	NS
1 x 2 x 3	7,619678333	4	1,904919583	0,746522287	0,562592704	2,462614926	NS
Erro	255,1725	100	2,551725				
Total	1946,018187	119					

Tabela 9 – Análise de variância da resistência à compressão

Onde: SQ - soma quadrática; gl - graus de liberdade; MQ - média quadrática; valor-P - probabilidade de significância; S - valor significativo; NS - valor não significativo (considerando efeito significativo com $p < 5\%$).

Fonte: Autores (2020).

Conforme pode-se constatar, as três variáveis avaliadas separadamente apresentaram influência significativa nos ensaios de resistência mecânica. Em relação ao traço, tal comportamento – já esperado – demonstra a influência de diferentes consumos de cimento nas argamassas e, também, indica que os diferentes níveis de empacotamento, observados entre os dois traços, proporciona uma variação significativa na resistência mecânica das argamassas. Ao avaliar a idade de ruptura, verifica-se um aumento na resistência dos 7 dias para os 28 dias, em virtude do desenvolvimento das reações de hidratação do cimento, que ocorrem ao transcorrer deste período, conforme esperado.

O efeito não significativo observado entre a interação do teor de resíduo e da idade de ruptura indica que o RCMG – como adição mineral – não provoca ganhos significativos na resistência mecânica ao longo do tempo, sendo tal comportamento esperado – segundo Gonçalves (2000) – para as adições que não apresentam potencial pozolânico. Isto porque, a melhor compactação proporcionada pelo efeito fíler apresenta-se imutável em relação à idade das argamassas. Deste modo, o ganho de resistência ao passo que há um aumento na idade das argamassas (observado através da significância desta variável) decorre exclusivamente pelo desenvolvimento das reações de hidratação do Cimento Portland.

Quanto a significância da interação do traço e do teor de RCMG observada na análise estatística dos resultados do ensaio de resistência à compressão conclui-se que a amplitude de influência do emprego do resíduo está em função do traço da argamassa. Quanto mais porosa for a argamassa, maior a potencialidade da influência exercida pelas partículas da adição mineral.

Por fim, visto que o emprego do RCMG proporcionou aumento na resistência mecânica das misturas de argamassa, observa-se que tal utilização permite reduzir o consumo de cimento para obter uma determinada resistência mecânica e com isso contribui para a redução do calor de hidratação gerado. Assim, o emprego do RCMG substituindo parcialmente o aglomerante da mistura pode reduzir o surgimento de fissuras oriundas da retração plástica, química e autógena (bastante comuns em argamassas autonivelantes devido ao baixo tempo de pega). Contudo, tal substituição deve ser avaliada mediante estudos específicos para tal.

4 | CONCLUSÕES

Nas argamassas de traço 1:4, devido a elevada proporção de finos, verificou-se que o acréscimo do resíduo resultou em um decréscimo em sua consistência. Já nas argamassas de traço 1:5 – que contém uma maior quantidade de poros em sua matriz – verificou-se que o RCMG, ao ser inserido, auxiliou a manter os demais sólidos suspensos, reduzindo o atrito interno da mistura e aumentando sua fluidez. Quanto aos resultados do ensaio de tempo de fluxo observou-se que – para ambos os traços – a inserção do

resíduo provocou uma melhoria na viscosidade das argamassas. Por atuar como fíler e – possivelmente – auxiliar para o refinamento da estrutura de poros da matriz cimentícia, na maior parte dos casos, o emprego do RCMG proporcionou um aumento na resistência mecânica.

Deste modo, a viabilidade técnica da utilização do RCMG como adição mineral inerte em argamassas autonivelantes foi constatada para o traço 1:5, visto que o resíduo permitiu obter resultados satisfatórios nos ensaios realizados. Ainda, com a utilização do RCMG, verificou-se uma maior consistência nas argamassas, remetendo a necessidade de emprego de menores quantidades de aditivos químicos, o que pondera em favor da redução do custo para fabricação de argamassa autonivelante com este traço.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7251**: Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9776**: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11579**: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12653**: Materiais pozolânicos — Requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 23**: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

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

CICHINELLI, Gisele. **Execução de contrapiso autonivelante industrial**. Revista Técnica. 192. ed., mar. 2012. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/192/execucao-de-contrapiso-autonivelante-industrial-286998-1.aspx>. Acesso em: 12 set. 2016.

DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. Adições Minerais para Concreto Estrutural. *In*: ISAIA, Geraldo C. **Concreto**: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. v.1. p. 345-379.

EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS (EFNARC). **Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete**, Farnham, United Kingdom, fev. 2002.

GONÇALVES, Jardel Pereira. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para**

produção de concretos. 2000. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2000.

MARTINS, Eliziane Jubanski. **Procedimento para dosagem de pastas para argamassa autonivelante.** 2009. 139 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Curitiba, 2009.

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE PÓ DE VIDRO COMO UMA ADIÇÃO MINERAL EM CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA, EM CONJUNTO AO EMPREGO DE MICROSSÍLICA

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 19/03/2020

Vinicius Felipe Chiella

Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/6821333760606562>

Augusto Felipe Chiella

Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/5465301082677424>

Nathália Cortes Tosi

Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/8189098228117640>

Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas,
Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/0759962154482745>

RESUMO: Este trabalho investiga sobre a possibilidade de utilização de resíduo de pó de vidro, oriundo da indústria, como adição mineral para a produção de Concretos de Alta Resistência (CAR). O pressuposto básico é que, por conter cerca de 72% de massa de sílica (SiO_2), o vidro

– em partículas pequenas – possa apresentar atividade pozolânica, propiciando o aumento da resistência de misturas cimentícias. Contudo, faz-se necessário investigar o desenvolvimento da Reação Álcali-Sílica (RAS) da mistura, uma reação química expansiva existente entre os álcalis do cimento e a sílica (oriunda do vidro) em presença de água. Para tal análise foram dosados traços contendo adição de resíduo de pó de vidro e de microsílica (teores de 0%, 5% e 10% sobre a massa do cimento), os quais foram avaliados através dos ensaios de resistência à compressão uniaxial aos 7 e aos 28 dias, além da investigação da expansão provocada pela RAS através do método acelerado em barras de argamassa. Constatou-se que o pó de vidro ocasionou um leve acréscimo de resistência à compressão aos 28 dias (entretanto estes ganhos não se mostraram expressivos na análise estatística), enquanto que a microsílica acarretou em acréscimos significativos na resistência mecânica tanto aos 7 quanto aos 28 dias. Conjuntamente, observou-se que o emprego do pó de vidro e da microsílica inibiram a RAS.

PALAVRAS-CHAVE: Pó de vidro. Microsílica. Adição mineral. Concreto de Alta Resistência. Reação Álcali-Sílica.

ANALYSIS OF THE TECHNICAL FEASIBILITY OF USING GLASS POWDER AS A MINERAL ADDITION IN HIGH STRENGTH CONCRETES, WITH THE USE OF MICROSILICA

ABSTRACT: This paper investigates the possibility of using industrial glass powder residue as a mineral addition for the producing of High-Strength Concretes (HSC). The basic assumption is that, by having about 72% of silica mass (SiO_2), glass - in small particles – it can present pozzolanic activity, providing increased strength of cementitious admixtures. However, it is necessary to investigate the development of the Alkali-Silica Reaction (ASR) in the mixture, an expansive chemical reaction between the alkalis of the cement and the silica (from the glass) in the presence of water. For this analysis it was created traces containing added glass powder residue and microsilica (content 0%, 5% and 10% of the mass of cement). These were evaluated through resistance tests to uniaxial compression at 7 and 28 days, along with investigating the expansion caused by the ASR, using the accelerated method in mortar bars. It was found that the glass powder caused a slight increase in compressive strength at day 28 (however these gains were not significant in the statistical analysis), while the microsilica caused significant increase in mechanical resistance at days 7 and 28. Besides that, it was observed that the use of glass powder and microsilica inhibited RAS.

KEYWORDS: Glass powder. Microsilica. Mineral addition. High-Strength Concrete. Alkali-Silica Reaction

1 | INTRODUÇÃO

A partir do surgimento de novas tecnologias, nos últimos anos foi possível o desenvolvimento de Concretos de Alta Resistência (CAR), que – segundo a ABNT NBR 8953:2015 – são aqueles que apresentam resistências superiores à 55 MPa. A obtenção de concretos com alto desempenho no que concerne à questão da resistência pode ser alcançada com o emprego de uma baixa relação água/cimento (a/c), além de uma escolha adequada dos agregados e aglomerantes. Outro fator imprescindível a ser avaliado é o uso de aditivos químicos e de adições minerais, sendo os últimos uns dos grandes responsáveis pelo ganho de resistência e de durabilidade do concreto (ISAIA; GASTALDINI, 2004).

Federico (2013) aponta que o uso de materiais alternativos complementares ao cimento, surge como uma metodologia promissora para a redução dos impactos ambientais, não só pela redução do consumo dos recursos naturais que servem de matéria prima para o CP, mas também como diminuição da geração dos gases que se formam neste processo.

Dentro deste contexto, nas últimas décadas inúmeras pesquisas vêm sendo feitas, no exterior, para viabilização da implantação do vidro em misturas cimentícias. Seja como agregado miúdo ou como adição mineral, os resultados vêm se mostrando satisfatórios,

conquanto, no Brasil a quantidade de estudos sobre o assunto é mais limitada.

Entretanto, ao inserir materiais com presença de sílica em concretos deve-se atentar para a Reação Álcali-Sílica (RAS), uma reação química expansiva que ocorre – na presença de água – entre a sílica (presente nos agregados ou, no caso, no vidro) e os componentes alcalinos (Na_2O e K_2O) dissolvidos nos poros do concreto. Por ser expansiva a RAS pode acarretar na perda de resistência, durabilidade e elasticidade do concreto e no aparecimento de fissuras e deslocamentos, sendo, portanto, extremamente prejudicial para estruturas de concreto.

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade técnica da utilização de resíduo de pó de vidro (oriundo de processos industriais) como adição mineral em CAR, observando sua influência na resistência à compressão aos 7 e aos 28 dias além da expansão provocada pela RAS (através do método acelerado em barras de argamassa).

2 | VIDROS EM MISTURAS CIMENTÍCIAS – ESTUDOS JÁ REALIZADOS

Federico (2013) reconhece que o uso de pó de vidro como adição mineral tem potencial, tanto físico, quanto químico, de se equiparar a concretos produzidos com microssílica e com escória granular de alto-forno. Ainda, destaca que a substituição em até 10% de CP por vidro em partículas inferiores a $100\ \mu\text{m}$ tende a promover a reação pozolânica, sem desenvolver o gel expansivo da RAS. Este comportamento pozolânico em partículas menores de $100\ \mu\text{m}$ também foi verificado por Meena e Singh (2012), que também alegaram que a aplicação do pó de vidro no concreto faz com que se crie uma matriz mais densa, aumentando tanto a resistência à compressão, quanto a durabilidade do mesmo.

Shao *et al.* (2000) apontam que quanto menor a granulometria de agregados vítreos em concretos, maior é a resistência à compressão alcançada pelos mesmos, bem como mais imperceptível é a expansão oriunda da RAS. Outro ponto importante a salientar, é que os autores indicam como favorável o uso de partículas menores de $75\ \mu\text{m}$, o que poderia estar associado a uma atividade pozolânica procedente das frações pequenas do resíduo. O que colabora para esta dedução é o fato de que ensaios produzidos com vidros de $150\ \mu\text{m}$ indicaram uma baixa resistência à compressão, significando que este tamanho de partículas é muito grande para servir como pozolana.

Outra análise efetuada por Shao *et al.* (2000) mostrou que “concretos híbridos” – produzidos com 15% de pó de vidro e 15% de microssílica, em massa – alcançaram resistências inferiores, mas próximas, as de um concreto com 15% de microssílica. Isso leva a crer que o vidro desenvolve baixa atividade, nas idades iniciais, na presença da microssílica. A Figura 1 descreve graficamente este comportamento.

Já no que concerne a RAS, o estudo de Shao *et al.* (2000) mostrou que, além de não provocar expansão, o emprego de partículas finas de vidro corroborou para a inibição do

efeito. Como se nota na Figura 2, embora a expansão dos concretos produzidos com pó de vidro tenha sido superior as dos fabricados com adições convencionais (sílica ativa e cinza volante), o concreto de controle – dosado sem adições – apresentou uma expansão ainda maior desde os 12 dias. A mesma figura ainda sugere que o uso de partículas menores é vantajoso, referente a RAS.

Deste modo, nota-se que o emprego de 30% de resíduo vítreo com partículas de 38 μm , propiciou uma diminuição de aproximadamente 0,04% da RAS, o que corresponderia à metade da expansão de um concreto convencional. Ainda, é importante destacar que aos 16 dias (praticamente metade do período de tempo especificado pela ABNT NBR 15577-1:2008, para realização do ensaio de RAS pelo método acelerado) nenhuma dosagem conteve uma expansão superior a 0,095% e – portanto – se estes valores forem prospectados para os 30 dias¹, as expansões seriam inferiores aos 0,19%, configurando um potencial inócuo. Aliado a isto, o aumento de resistência – apontado por Shao *et al.* (2000) – de concretos produzidos com este resíduo mostra que o uso do vidro pode ser, sim, viável a aplicação em concretos, desde que bem selecionado e dosado.

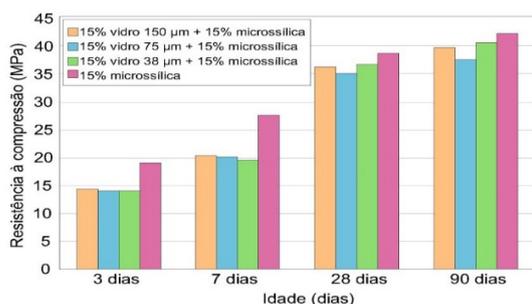


Figura 1 – Resistência à compressão de diferentes traços contendo resíduo de vidro e/ou microsilica

Fonte: Adaptado de SHAO *et al.* (2000).

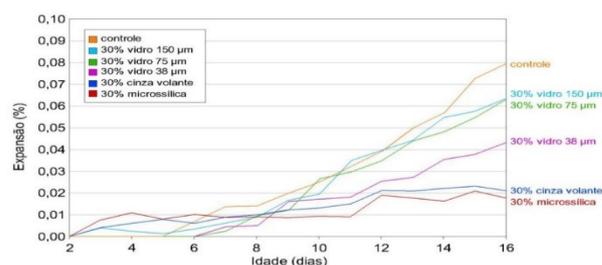


Figura 2 – Expansão RAS em concretos dosados com diferentes adições minerais

Fonte: Adaptado de SHAO *et al.* (2000).

3 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

No programa experimental, esquematizado na Figura 3, fixou-se como variáveis de resposta a resistência à compressão uniaxial aos 7 e aos 28 dias ABNT NBR 5739:2007) e a RAS pela expansão acelerada em barras de argamassa (ABNT NBR 15577-4:2008). Como variáveis controláveis definiu-se os traços, os quais foram produzidos variando os teores de adições minerais (pó de vidro e microsilica) em 0%, 5% e 10% em massa.

1. Considerando-se um crescimento proporcional, ou seja, dobrando a expansão para ter-se o dobro de tempo.

Variáveis controláveis			Variáveis de resposta		
Teor de adição de resíduo de Pó de Vidro			Resistência à compressão uniaxial ABNT NBR 5739:2007	RAS: expansibilidade em barras pelo método acelerado ABNT NBR 15577-4:2008	
0%	5%	10%			
Teor de adição de Microssílica			7 dias	28 dias	30 dias
0%	5%	10%			

Figura 3–Programa experimental

Fonte: Autores (2020).

Antes da execução dos ensaios nas misturas cimentícias fez-se a caracterização dos materiais, em especial do resíduo de pó de vidro e da microssílica, onde foi feita a análise da massa específica (ABNT NBR NM 23:2001), Índice de Atividade Pozolânica (IAP) (ABNT NBR 5752:2014) e avaliação da composição química por difratometria de raios X (DRX) e por espectroscopia de dispersão em energia (EDS).

3.1 Materiais utilizados

Os concretos ensaiados na ruptura pela compressão foram produzidos utilizando-se um traço de 1:1,24:1,94 em massa e uma relação a/c de 0,33. Destaca-se que a dosagem do traço empregado foi feita com base em um dos CAR desenvolvidos por Serafini e Pagnussat (2016). Já, quanto ao *slump*, este foi estabelecido com base no abatimento do traço de referência, onde foi utilizada a menor quantidade de aditivo químico necessária para obtenção de uma mistura homogênea.

Já para o ensaio de RAS, no preparo das argamassas, conforme a ABNT NBR 15577-4:2008, foi empregado um traço de 1:2,25 (cimento:agregado) em massa e uma relação a/c de 0,47. Ainda, como o objetivo é avaliar a influência das adições (microssílica e resíduo de pó de vidro) sobre a RAS, utilizou-se os teores de adição de pó de vidro e de microssílica (0%, 5% e 10%).

3.1.1 Cimento Portland

O cimento utilizado para a produção dos concretos e argamassas foi o CP V-ARI RS, cuja a massa específica (ensaiada em laboratório, conforme ABNT NBR NM 23:2001) é de 2,96 g/cm³ e a finura na #75 µm (ABNT NBR 11579:2012) é de 0,80%.

3.1.2 Agregados: miúdo e graúdo

Utilizou-se uma areia média quartzosa natural, oriunda de Sapucaia do Sul – RS, Brasil. Sua classificação em laboratório indicou um módulo de finura (ABNT NBR 7211:2009) de 1,58, diâmetro máximo de 1,18 mm, massa específica (ABNT NBR 9776:1988) de 2,61 g/cm³ e massa unitária (ABNT NBR 7251:1982) de 1,57 g/cm³.

Ainda, empregou-se uma brita 1 de origem basáltica. Esta apresentou um módulo de

finura (ABNT NBR NM 248:2003) de 6,17, diâmetro máximo de 12,5 mm e massa unitária (ABNT NBR 7251:1982) de 1,25 g/cm³.

3.1.3 Aditivo superplastificante

Utilizou-se um aditivo superplastificante a base de policarboxilato, com densidade de 1,09 g/cm³, segundo dados do fornecedor. A quantidade de superplastificante utilizada em cada traço foi a mínima suficiente para a obtenção de um *slump* 20±3 cm.

3.1.4 Adições minerais: microssílica e pó de vidro

O resíduo de pó de vidro empregado neste trabalho é proveniente diretamente de processos de perfuração, corte e lapidação de vidros, oriundo de uma indústria de vidros localizada na cidade de Caxias do Sul – RS, Brasil. Antes de ser empregado nas misturas, o resíduo foi seco em estufa até constância de massa, destorroado e passado pela peneira de #75 µm. O ensaio de massa específica (ABNT NBR NM 23:2001) mostrou um valor de 2,34 g/cm³ para o pó de vidro e 2,10 g/cm³ para a microssílica.

3.1.4.1 Índice de Atividade Pozolânica (IAP)

Ensaiado conforme preconizado pela ABNT NBR 5752:2014, o resíduo de pó de vidro apresentou um IAP de 96%, enquanto que a microssílica obteve um índice de 169%. Deste modo, mesmo que o pó de vidro tenha um IAP consideravelmente inferior ao da microssílica (73% a menos), ambos apresentam capacidade de desenvolvimento de atividade pozolânica, conforme a classificação da ABNT NBR 12653:2015. Entretanto, como o IAP do vidro resultou em um valor levemente acima dos 90% e como este conteve 100% das partículas passante na #45 µm, questiona-se se o pó de vidro realmente apresentou atividade pozolânica, ou se a manutenção da resistência propiciada por este deu-se pelo efeito filler a qual ele desempenhou.

3.1.4.2 Difratomia de Raios X (DRX)

Com o intuito de obter-se informações sobre a estrutura e composição do resíduo de pó de vidro, foi realizada a análise através da difratometria de raios X (DRX), que é usada para caracterizar as fases mineralógicas existentes na amostra. Deste modo, através dos picos cristalinos, pode-se verificar o estado estrutural da amostra (vítreo ou cristalino) e, portanto, avaliar se o pó de vidro apresenta potencialidade de desenvolver atividades pozolânicas, pois – segundo Neville (1996) a estrutura precisa ser amorfa para que a adição mineral reaja. A Figura 4 apresenta os resultados de DRX, realizados no Laboratório Central de Microscopia (LCMIC) da Universidade de Caxias do Sul, o Equipamento utilizado para fazer a análise foi o Shimadzu LabX XRD-6000.

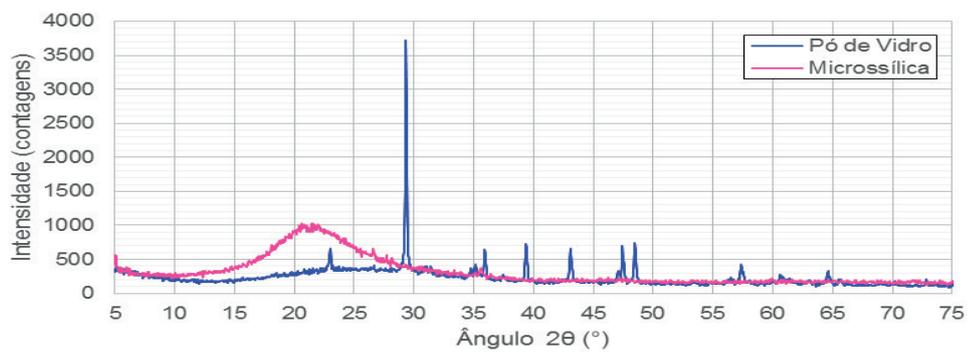


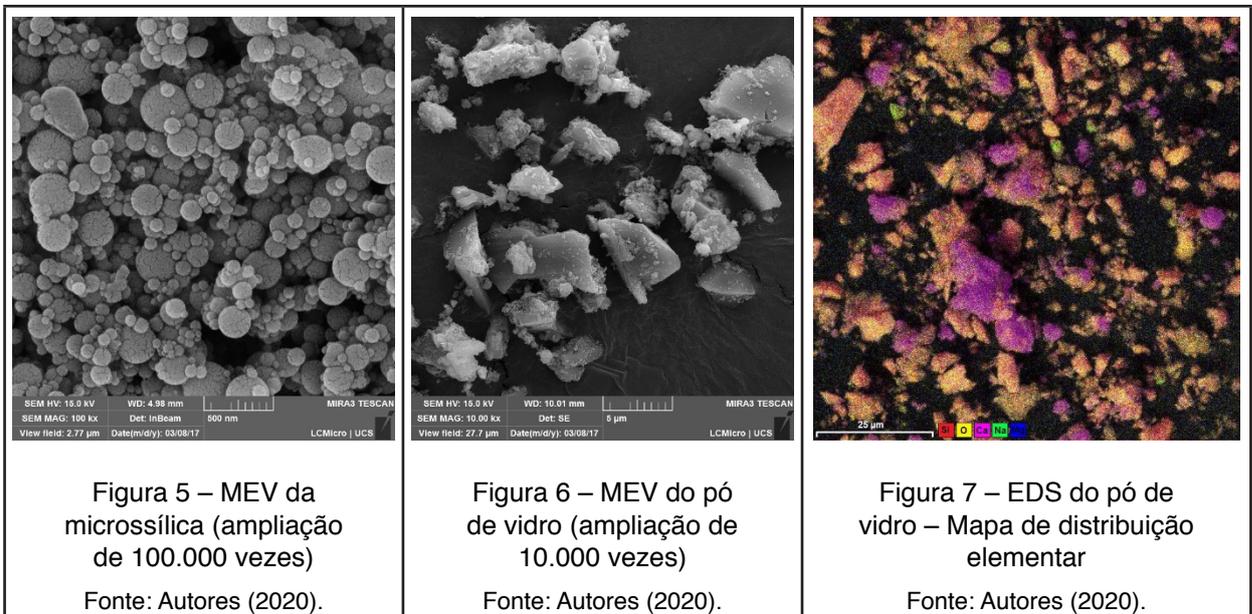
Figura 4 – DRX das adições minerais

Fonte: Autores (2020).

Como se pode notar, a microsilica apresenta uma curva mais harmônica, sem picos cristalinos, demonstrando a configuração de um alo amorfo, tendo – portanto – grande capacidade de desenvolver as reações pozolânicas. Já para o pó de vidro fica visível a existência de picos cristalinos, deste modo, esta parcela de material não vítreo não terá capacidade de desenvolver atividade pozolânica. Entretanto, a pequena parcela do material que está em estado amorfo pode vir a desenvolver pozolanicidade. Contudo, acredita-se que o resíduo de vidro em questão tem uma maior capacidade em atuar como fíler do que como material pozolânico.

3.1.4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de dispersão em Energia (EDS)

A fim de obter-se o tamanho médio das partículas, bem como o seu formato, as amostras de pó de vidro e de microsilica foram avaliadas através do microscópio eletrônico de varredura (Figura 5 e Figura 6, respectivamente). Ainda, através do mesmo equipamento (Oxford X-Max 50 mm²) fez-se a análise da composição química do pó de vidro. A Figura 7 demonstra o mapa de distribuição elementar do pó de vidro, obtido na análise de EDS.



Pelas imagens, nota-se que a microssílica apresenta partículas de tamanhos variados, contendo – até mesmo – grãos inferiores a 50 nm. Estimou-se um tamanho médio de partículas de $0,15 \mu\text{m}$, deste modo pode-se afirmar que é um material de natureza submicrométrica. Por ter partículas extremamente finas, nota-se a tendência que estas têm de se aglomerarem. Ainda, nota-se a geometria esférica, resultante do processo de formação da microssílica, onde o SiO resfria e condensa, formando as microesferas de SiO_2 .

Já, pela análise dos resultados da MEV do pó de vidro, percebe-se uma estrutura cristalina com formato angular, com grãos maiores. A maior parte das partículas apresenta um tamanho de, aproximadamente, $4 \mu\text{m}$, entretanto, foram encontradas partículas mais finas (na faixa dos 80 nm). Igualmente a microssílica, o pó de vidro também tem propensão a flocular. A presença de Si, O, Na, Ca e Mg no vidro indicam que a amostra em questão se trata de um resíduo de vidro soda-cal (vidro de janela), que – segundo SHACKELFORD (2008, p.281) – contém SiO_2 , Na_2O , CaO e MgO .

3.2 Resistência à compressão uniaxial

A resistência à compressão uniaxial foi determinada conforme a ABNT NBR 5739:2007. Os consumos de materiais de cada traço seguem conforme Tabela 1. Após a moldagem, os corpos de prova foram submetidos a uma cura inicial – por 24 h – em ambiente livre da ação de intempéries. Após, os mesmos foram deformados e mantidos armazenados em solução saturada $\text{Ca}(\text{OH})_2$, a uma temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$, até a realização dos ensaios.

Amostras					Consumo de materiais (Kg/m ³)						% aditivo sobre a massa do cimento
Nomen-clatura	Traço	a/c	Adição de Pó de Vidro	Adição de microssilica	CP V-ARI RS	Areia média	Brita 1	Pó de vidro	Microssilica	Água	
PV 0 - M 0	1:1,24:1,94	0,33	0%	0%	536,67	665,47	1041,14	0,00	0,00	177,10	0,781%
PV 0 - M 5	1:1,24:1,94	0,33	0%	5%	534,11	662,30	1036,18	0,00	26,71	176,26	0,797%
PV 0 - M 10	1:1,24:1,94	0,33	0%	10%	528,05	654,79	1024,43	0,00	52,81	174,26	1,017%
PV 5 - M 0	1:1,24:1,94	0,33	5%	0%	526,34	652,66	1021,09	26,32	0,00	173,69	1,066%
PV 5 - M 5	1:1,24:1,94	0,33	5%	5%	524,90	650,88	1018,32	26,25	26,25	173,22	1,194%
PV 5 - M 10	1:1,24:1,94	0,33	5%	10%	523,95	649,69	1016,46	26,20	52,39	172,90	1,467%
PV 10 - M 0	1:1,24:1,94	0,33	10%	0%	524,51	650,40	1017,56	52,45	0,00	173,09	1,647%
PV 10 - M 5	1:1,24:1,94	0,33	10%	5%	515,13	638,76	999,34	51,51	25,76	169,99	2,483%
PV 10 - M 10	1:1,24:1,94	0,33	10%	10%	510,11	632,54	989,62	51,01	51,01	168,34	2,500%

Tabela 1 – Consumo de materiais para a produção do CAR

Fonte: Autores (2020).

3.3 RAS: Método acelerado e, barras de argamassa

Como optou-se pela determinação da RAS pelo método acelerado, tem-se a necessidade de que as amostras produzidas sejam argamassas, e não concretos. A produção e moldagem destas foi feita conforme o prescrito pela ABNT NBR 15577-4:2008, sendo – portanto – utilizado um traço de 1:2,25 (cimento:agregado) em massa e uma relação a/c de 0,47. Na dosagem das argamassas também foram utilizadas as adições minerais. As quantidades e materiais de cada traço estão dispostas na Tabela 2. As amostras foram então colocadas em um recipiente com água e submetidas a uma temperatura de 80° C, por 24 h (em uma estufa), para a cura úmida.

Traço	Quantidade de material em massa (g)				
	CP V -ARI RS	Agregado miúdo	Água	Pó de Vidro	Microssilica
PV 0 - M 0	440	990*	206,8	0	0
PV 0 - M 5	440	990*	206,8	0	22
PV 0 - M 10	440	990*	206,8	0	44
PV 5 - M 0	440	990*	206,8	22	0
PV 5 - M 5	440	990*	206,8	22	22
PV 5 - M 10	440	990*	206,8	22	44
PV 10 - M 0	440	990*	206,8	44	0
PV 10 - M 5	440	990*	206,8	44	22
PV 10 - M 10	440	990*	206,8	44	44

* Sendo 346,5 g retidos na #1,18 mm, 247,5 g na #600 µm, 247,5 g na #300 µm e 148,5 g na #150 µm.

Tabela 2 – Quantidade de material nos traços de argamassa

Fonte: Autores (2020).

O ensaio de RAS pelo método acelerado consiste na imersão dos corpos de prova prismáticos² em banhos de solução composta de 40g de NaOH em 1 L de água – mantendo a concentração da solução em $(1,00 \pm 0,01) N^3$. A norma estabelece que deva-se aquecer a solução aos $(80 \pm 2) ^\circ C$, mantendo esta temperatura até a finalização do ensaio (um mês após). Para tal, as amostras foram colocadas em recipientes plásticos (com tampa) contendo a solução e levadas à estufa. Importante destacar que as barras receberam um calço para não ficarem em contato com o fundo do recipiente, permitindo – deste modo – que elas ficassem com todas as faces em contato com a solução.

No decorrer do ensaio, fez-se as medições das expansões ocorridas em cada amostra, sendo obrigatoriamente executadas medições aos 0, 16 e 30 dias, além de mais três leituras intermediárias para cada período. O cálculo da expansão – em cada idade – de cada amostra foi desenvolvido através da variação de seu comprimento.

A ABNT NBR 15577-1:2008, preconiza que agregados que obtiverem expansão igual ou superior a 0,19% aos 30 dias, no ensaio acelerado em barras de argamassa, devem ser considerados como potencialmente reativos. Ainda, a ASTM C 1260/01 estabelece que os agregados que apresentarem expansão inferior a 0,10% aos 16 dias são considerados como inócuos.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados estão apresentados a seguir, acompanhados de seu diagnóstico estatístico pela Análise de Variância (ANOVA).

4.1 Resistência à compressão uniaxial

Todos os traços apresentaram resistência à compressão superior a 55 MPa, inclusive dentro de 7 dias, deste modo todos concretos produzidos se configuram como CAR. Como esperado, no momento de ensaio à compressão os cp's romperam de forma explosiva, este comportamento se deve à presença de uma densa matriz argamassada, que faz com que as tensões internas culminem na ruptura da microestrutura do agregado. A Figura 8 demonstra os resultados de resistência à compressão.

2. A ABNT NBR 15577-4:2008 preconiza que as amostras devam ser prismáticas, com seção quadrada de $(25 \pm 0,7)$ mm de lado, de 285 mm de comprimento.

3. Normalidade (N), utilizada para expressar a concentração de uma solução, é dada pela razão número de equivalentes-gramas (Eq.g) do soluto e o volume da solução. O valor de Eq.g para bases se dá em função do número de hidroxilas presentes na composição da base.

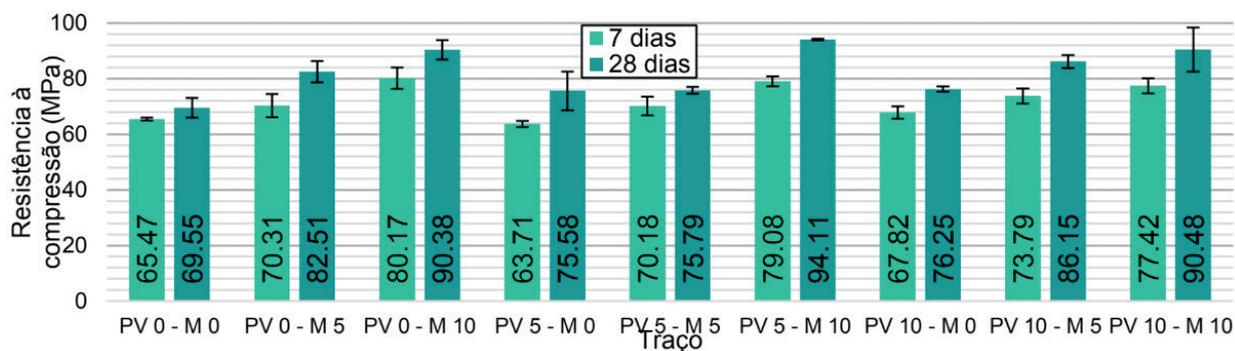


Figura 8 – Resistência à compressão uniaxial aos 7 e 28 dias

Fonte: Autores (2020).

A análise dos resultados evidencia que os concretos com altos teores de microssílica apresentaram maiores resistências tanto aos 7 dias, onde o traço mais resistente foi o PV0-M10, quanto aos 28 dias, onde o traço PV5-M10 propiciou um ganho de resistência de 35,31% em relação ao traço de referência (PV0-M0). Por outro lado, os concretos com menores resistências foram o PV5-M0 aos 7 dias e o PV0-M0 aos 28 dias.

Estes resultados obtidos estão em conformidade com os estudos Shao et al. (2000), no que diz respeito ao retardo do ganho de resistência com o emprego de pó de vidro nas misturas cimentícias. Em um comparativo com os resultados dos autores⁴, apresentados na Figura 1, nota-se concretos produzidos com partículas finas de vidro tendem a reduzir a resistência em idades iniciais. Embora, é importante destacar que, ao contrário deste trabalho, os estudos de Shao et al. (2000) foram feitos com teores de substituição do cimento pelo pó de vidro e pela microssílica (e não como teores de adição). Silva et al. (2013), também evidenciaram um decréscimo de resistência aos 7 e aos 14 dias, devido ao emprego do pó de vidro.

Comparando os resultados dos traços PV0-M10 e PV10-M0 com o PV0-M0 notou-se que, quando utilizado como única adição no traço, os 10% de microssílica propiciaram um ganho de resistência aos 28 dias de 29,95%, enquanto que os 10% de pó de vidro acarretaram em um aumento de apenas 8,97%. Inclusive, um teor de 5% de microssílica (PV0-M5) mostrou-se mais favorável que a utilização dos 10% de pó de vidro (PV10-M0), promovendo um ganho de 18,63% na resistência.

A Figura 9 apresenta o efeito dos teores de pó de vidro e da microssílica sobre a resistência à compressão aos 7 dias. Enquanto que a Figura 10 demonstra este mesmo efeito para a resistência aos 28 dias.

4. Shao et al. (2000).

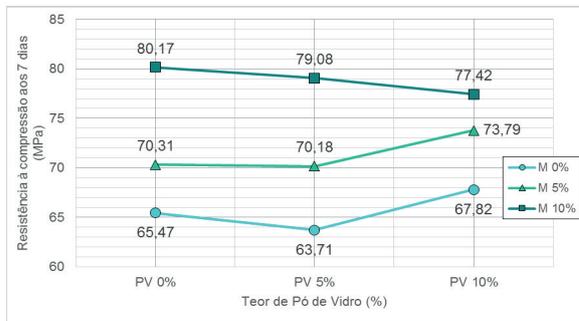


Figura 9 – Efeito dos teores de PV e de M na resistência à compressão aos 7 dias

Fonte: Autores (2020).

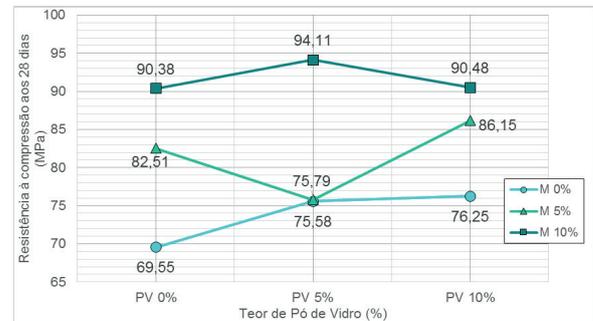


Figura 10 – Efeito dos teores de PV e de M na resistência à compressão aos 28 dias

Fonte: Autores (2020).

Evidenciou-se que o uso de 5% de pó de vidro provocou um leve decréscimo da resistência aos 7 dias quando comparado aos traços equivalentes sem o teor de pó de vidro (PV=0%). Enquanto que o uso de 10% de pó de vidro tem tendência a provocar um leve aumento da resistência. Conjuntamente, nota-se que as curvas da resistência aos 7 dias não apresentam grandes variações (indicando que o pó de vidro não provoca alterações visíveis nos resultados). Já, quanto ao afastamento das curvas umas com as outras, estas indicam que os teores de microsilica exercem variações perceptíveis na resistência.

Analisando o efeito do pó de vidro sobre a resistência à compressão aos 28 dias nota-se que, com exceção do traço PV5-M5, o uso de pó de vidro corroborou para um leve aumento de resistência. Neste sentido, quando comparados traços com mesmos teores de microsilica, o traço que resultou em maior ganho de resistência – proporcionado pelo pó de vidro – foi o PV10-M0, que aumentou a resistência em 6,7 MPa, em relação ao traço PV0-M0 (9,63% de aumento).

No que se refere à microsilica, quanto maior o teor empregado, maior foi a resistência à compressão, tanto aos 7 quanto aos 28 dias. Esta influência da microsilica está atrelada a sua intensa atividade pozolânica (IAP de 169%).

A análise de variância (ANOVA) dos resultados aos 7 dias, demonstrada na Tabela 3, mostrou que o pó de vidro não provocou variações significativas na resistência dos concretos nas idades iniciais. Entretanto, embora a Tabela 4 – que apresenta os resultados de ANOVA para a compressão aos 28 dias – também tenha evidenciado que o pó de vidro não foi significativo para a resistência em idades mais avançadas, a interação entre o pó de vidro e a microsilica mostrou-se significativa para as variações de resistência aos 28 dias. Já quanto à microsilica, fica nitidamente claro que seu emprego corrobora para o aumento de resistência desde as idades iniciais.

Variável	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de Pó de Vidro (PV)	18,3236	2	9,16178	1,21896	0,3188	3,55456	NS
Teor de Microsílica (M)	790,931	2	395,465	52,616	3E-08	3,55456	S
PV X M	43,7176	4	10,9294	1,45414	0,25729	2,92774	NS
Erro	135,289	18	7,51607				

Tabela 3 – ANOVA: resistência à compressão aos 7 dias

Onde: SQ - soma quadrática; gl - graus de liberdade; MQ - média quadrática; valor-P - probabilidade de significância; S - valor significativo; NS - valor não significativo

Fonte: Autores (2020).

Variável	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de Pó de Vidro (PV)	57,7339	2	28,8669	1,63426	0,22275	3,55456	NS
Teor de Microsílica (M)	1445,02	2	722,512	40,904	2E-07	3,55456	S
PV X M	216,939	4	54,2348	3,07043	0,04308	2,92774	S
Erro	317,945	18	17,6636				

Tabela 4 – ANOVA: resistência à compressão aos 28 dias

Onde: SQ - soma quadrática; gl - graus de liberdade; MQ - média quadrática; valor-P - probabilidade de significância; S - valor significativo; NS - valor não significativo

Fonte: Autores (2020).

Assim, o leve ganho de resistência do pó de vidro pode estar associado ao efeito fíler, onde o pequeno tamanho dos grãos de pó de vidro proporciona a colmatação (preenchimento) dos poros do concreto, aumentando a sua resistência. Ainda, embora se acredite que não seja o caso, pode ser que o vidro tenha atuado como pozolana (IAP de 96%). Entretanto, os ganhos de resistência não foram tão expressivos para serem evidenciados pela ANOVA.

Deste modo, para a compressão aos 28 dias, o melhor traço produzido (PV5-M10) se deu em decorrência da união entre a pozolanidade da microsílica (em maiores quantidades) com o efeito fíler do pó de vidro. Sendo este último, utilizado em um percentual que não afetasse as reações da microsílica com o Ca(OH)_2 .

Possivelmente, esta “Não Significância” do pó de vidro na ANOVA pode estar ligada ao fato de este ter sido empregado em conjunto com uma superpozolana (microsílica), deste modo, as variações provocadas pela microsílica foram muito mais expressivas do que as oriundas do emprego do resíduo. Outro possível fator que corroborou para tal fato, foi o uso de um traço rico (com um consumo de cimento acima de 500 Kg/m^3), assim, as variações de cerca de 5 MPa não apresentaram significância em concretos com resistências à compressão superiores a 65 MPa.

4.2 RAS: Método acelerado em barras de argamassa

A expansão das barras foi mensurada nos dias 1, 2, 5, 9, 13, 16, 19, 23, 28 e 30, contados após a moldagem dos exemplares. A Tabela 5 apresenta a expansão, de cada exemplar, após os 30 dias de ensaio, enquanto que a Figura 11 demonstra a expansão de cada traço ao longo da idade.

Amostra	Traço								
	PV 0 - M 0	PV 0 - M 5	PV 0 - M 10	PV 5 - M 0	PV 5 - M 5	PV 5 - M 10	PV 10 - M 0	PV 10 - M 5	PV 10 - M 10
Amostra 01	0,196%	0,175%	0,208%	0,213%	0,127%	0,221%	0,202%	0,083%	0,210%
Amostra 02	0,266%	0,215%	0,164%	0,214%	0,087%	0,234%	0,239%	0,070%	0,117%
Amostra 03	0,292%	0,162%	0,236%	0,190%	0,190%	0,170%	0,137%	0,162%	0,184%
Média	0,251%	0,184%	0,203%	0,206%	0,135%	0,208%	0,193%	0,105%	0,170%
Desvio padrão	0,050%	0,028%	0,036%	0,014%	0,052%	0,034%	0,051%	0,050%	0,048%
Variância	2,48E-7	7,65E-8	1,33E-7	1,87E-8	2,71E-7	1,15E-7	2,64E-7	2,50E-7	2,27E-7
Classificação ABNT NBR 15577-1:2008	PR	PI	PR	PR	I	PR	PR	I	PI

Onde: I – Inócuo; PI – Potencialmente Inócuo; PR – Potencialmente Reativo

Tabela 5 – Expansão RAS aos 30 dias

Fonte: Autores (2020).

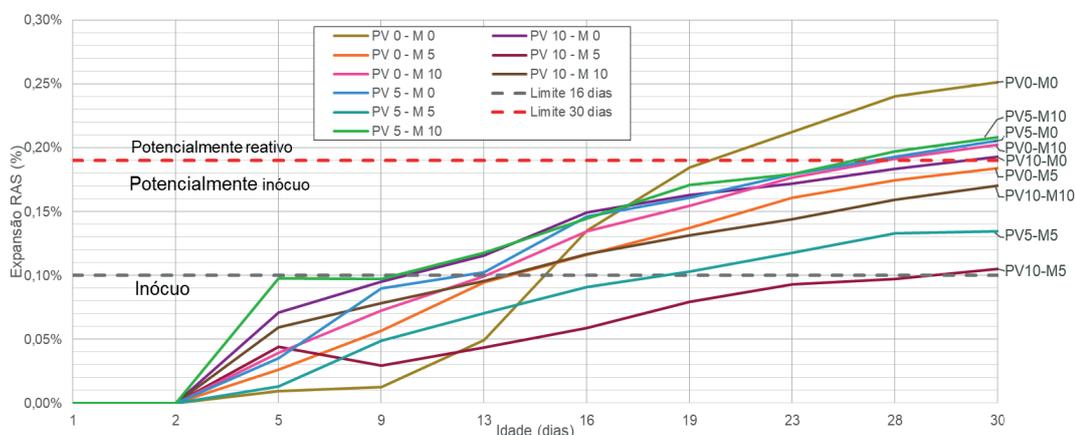


Figura 11 – Expansão RAS

Fonte: Autores (2020).

Os traços PV0-M0, PV5-M10, PV5-M0, PV0-M10 e PV10-M0 revelaram-se potencialmente reativos, enquanto que o PV0-M5 e o PV10-M10 mostraram-se potencialmente inócuos. Já o PV5-M5 e o PV10-M5, por apresentarem expansão inferior a 0,10% aos 16 dias, foram classificados como inócuos. Mesmo que a maioria dos traços apresentou potencial reativo, nenhum exemplar desenvolveu fissuração visível, nem exsudação de gel de silicato alcalino. Provavelmente isso se deva a inexistência de valores de expansão muito acima do limite preconizado pela ABNT NBR 15577-1:2008.

Conforme apontado nos estudos de Shao *et al.* (2000), era esperado que o Na₂O presente no vidro viesse a catalisar as reações expansivas da RAS, os resultados encontrados neste trabalho vão em conformidade com esta conjectura. Deste modo, nota-se que o uso do pó de vidro tende a acelerar a RAS, minimizando a expansão total nas idades avançadas.

Consequentemente, o traço sem adição mineral (PV0-M0) apresentou uma menor expansão inicial, mas no final da segunda semana (próximo aos dias 13 e 16) começou a demonstrar seu potencial reativo, ultrapassando os demais traços. Destaca-se que esta RAS existente no traço de referência deu-se exclusivamente pela a interação dos álcalis do cimento com a sílica presente nos agregados.

Similarmente ao obtido nos estudos Shao *et al.* (2000), o resíduo de pó de vidro utilizado neste trabalho não se mostrou tão efetivo na inibição da RAS quanto à microssílica. Entretanto ainda há viabilidade de sua utilização (no que se refere a RAS) pois, inclusive nos traços onde só foi utilizado o pó de vidro (sem microssílica), ele propiciou uma redução na expansão total, quando comparado ao traço de referência (PV0-M0).

Pelos resultados da ANOVA (Tabela 6), constatou-se que os teores de pó de vidro e de microssílica, bem como a interação entre os dois, influíram de forma significativa para a os resultados de expansão pela RAS. Obviamente, a idade de ensaio também se mostrou significativa para a RAS. A análise efetuada também permite afirmar que a microssílica participou mais efetivamente na inibição da RAS do que o pó de vidro, isto porque ela apresentou um valor-P bem abaixo (sendo praticamente nulo).

Variável	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico	Significância
Teor de Pó de Vidro (PV)	1,39682E-06	2	6,98412E-07	3,81406	0,0240653	3,0518	S
Teor de Microssílica (M)	8,72899E-06	2	4,3645E-06	23,8347	8,441E-10	3,0518	S
Idade	8,7055E-05	8	1,08819E-05	59,4264	2,601E-44	1,9960	S
PV X M	2,44712E-06	4	6,11779E-07	3,34095	0,0116751	2,4275	S
PV X Idade	4,27853E-06	16	2,67408E-07	1,46033	0,1205632	1,7063	NS
M X Idade	3,46845E-06	16	2,16778E-07	1,18384	0,2859597	1,7063	NS
PV X M X Idade	2,01789E-06	32	6,30591E-08	0,34437	0,9996355	1,5152	NS
Erro	2,96647E-05	162	1,83115E-07				

Tabela 6 – ANOVA: RAS

Onde: SQ - soma quadrática; gl - graus de liberdade; MQ - média quadrática; valor-P - probabilidade de significância; S - valor significativo; NS - valor não significativo

Fonte: Autores (2020).

Paralelamente, a Figura 12 – que expressa as variações na RAS aos 30 dias provocadas pelo pó de vidro e pela microssílica – deixa evidente que o teor de pó de vidro tende a ser inversamente proporcional à expansão pela RAS. Ou seja, os segmentos de retas decrescentes mostram que quanto maior o teor de pó de vidro empregado à mistura,

maior é a inibição da RAS⁵. Ainda, a figura aponta que teores de 5% de microssílica são mais eficientes na inibição da RAS.

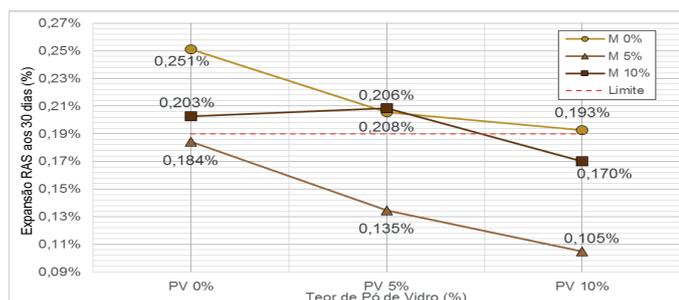


Figura 12 – Efeito do teor de PV e de M na expansão RAS aos 30 dias

Fonte: Autores (2020).

5 | CONCLUSÕES

Os resultados mostram que – para os materiais e condições empregadas neste trabalho – o resíduo de pó de vidro não propiciou ganhos e/ou perdas significativos na resistência do concreto aos 7 dias. Enquanto que aos 28 dias o resíduo de vidro acarretou em leves acréscimos de resistência (porém não significativos na análise de variância). Já, quanto a microssílica, sua elevada capacidade pozolânica proporcionou um aumento de resistência logo nas idades iniciais, sendo responsável por um acréscimo de 22,45% (traço PV0-M10 comparado ao PV0-M0) na resistência aos 7 dias.

Através dos resultados obtidos – bem como de sua análise estatística – conclui-se que mesmo embora o pó de vidro tenha desenvolvido um IAP levemente superior a 90% (sendo classificado como material pozolânico pela ABNT NBR 12653:2015), acredita-se que este tenha atuado como fíler nas misturas cimentícias e não como pozolana. Assim, as pequenas partículas do resíduo foram responsáveis por um leve aumento da resistência à compressão aos 28 dias, quando este foi utilizado em teores que não interferissem nas reações pozolânicas da microssílica com o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ presente no CP.

Quanto a RAS, ambas adições se mostraram favoráveis à inibição da expansão. Enquanto que a microssílica mostrou como mais indicado o uso de um teor de 5% o pó de vidro pressupõe a utilização de maiores teores (10%).

REFERÊNCIAS

ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS – American Society for Testing and Materials. **ASTM C-1260/01: Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)**. Philadelphia, 2001.

5. Dentre os teores avaliados, porque não se pode afirmar que maiores quantidades de pó de vidro estariam inibindo a RAS de forma mais expressiva.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 7251**: Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

_____. **NBR 8953**: Concreto Para Fins Estruturais - Classificação por Grupo de Resistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR 9776**: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

_____. **NBR 11579**: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR 15577-1**: Agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR 15577-4**: Agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

FEDERICO, Lisa M. **Waste glass** - a supplementary cementitious material. 2013. 98 f. Tese (Pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade McMaster Hamilton. Disponível em: <https://macsphere.mcmaster.ca/bitstream/11375/13455/1/fulltext.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2016.

ISAIA, Geraldo Cechella; GASTALDINI, Antônio Luiz Guerra. Perspectivas ambientais e econômicas do concreto com altos teores de adições minerais: um estudo de caso. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 19-30, abr./jun. 2004.

MEENA, Ankur; SINGH, Randheer. **Comparative Study of Waste Glass Powder as Pozzolanic Material in Concrete**. 2012. 38 f. Tese (Bacharel de Tecnologia em Engenharia Civil) - National Institute of Technology, Rourkela, 2012. Disponível em: http://ethesis.nitrkl.ac.in/3339/1/Randheer_%26_Ankur__final_Thesis.pdf. Acesso em: 13 ago. 2016.

NEVILLE, A. M. **Properties of concrete**. 4.ed. New York, U.S.: J. Wiley, 1996. 844 p.

SERAFINI, R; PAGNUSSAT, D. T. Análise de pontes de aderência para reparo entre concretos de elevada resistência. In: II Congresso Brasileiro de Patologia Das Construções, n. 2, 2016, Belém. **Artigo...** v. 1. p. 251-261.

SHACKELFORD, James F. **Ciência dos Materiais**. 6.ed. São Paulo: Pearson, 2008.

SHAO, Y. *et al.* Studies on Concrete containing ground waste glass. **Cement and Concrete Research**. v.30, p.91-100. 2000. Disponível em: <https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/studies-on-concrete-containing-ground-waste-glass-dixrMfcoaR?shortRental=true>. Acesso em: 15 ago. 2016.

SILVA, A. L. B. *et al.* Concreto especial produzido a partir da substituição parcial do Cimento Portland por resíduos de vidro. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFRN, n. 9, 2013, Currais Novos. **Artigo...** p.2457-2464. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ocs/index.php/congic/ix/paper/viewFile/1224/123>. Acesso em: 12 ago. 2016.

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE BLOCOS DE CONCRETO COMUNS E BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE CELULOSE PROVENIENTE DE PAPEL RECICLADO

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 23/03/2020

Mariana de Sousa Prazeres

Universidade Federal do Pará

Belém – PA

<http://lattes.cnpq.br/7532910948771388>

Eduardo Aurélio Barros Aguiar

Departamento De Engenharia das Construções e Estruturas – DECE/UEMA

São Luís – MA

<http://lattes.cnpq.br/6455696944208916>

RESUMO: Considerando a importância do reaproveitamento de resíduos, este trabalho averiguou a adição de fibras de celulose incorporadas na mistura do concreto, provenientes de papel reciclado. A adição das fibras foi considerada para blocos de concreto de classe C da família 20x40, com função apenas de vedação. A partir de uma adaptação no fator água/cimento e na composição granulométrica obteve-se um traço de 1:2:3:0,3 com a presença de areia e pó de brita, um estudo comparativo entre os blocos de concreto com e sem adição de papel reciclado pode ser realizado de acordo com as ABNT NBR 6136:2014 e ABNT NBR 12118:2013 os ensaios de resistência à

compressão, absorção média de água e análise dimensional, totalizando 54 corpos de prova. Os resultados para as propriedades de análise dimensional não apresentaram alterações nas dimensões dos blocos com e sem adição, porém a resistência à compressão apresentou acréscimos consideráveis nos blocos com adição, acrescentando aproximadamente 5% da resistência padrão. Apesar de apresentarem um aumento de aproximadamente 0,7% na absorção de água, característica prejudicial aos blocos, o máximo estipulado pela NBR ABNT 6136:2014 não foi alcançado, 10%. A partir deste estudo introdutório, novas pesquisas podem ser realizadas analisando a microestrutura do concreto e analisando mais profundamente a atuação das fibras de celulose na matriz cimentícia.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto, Fibras, Celulose, Papel Reciclado, Blocos.

COMPARATIVE STUDY BETWEEN COMMON CONCRETE BLOCKS AND CONCRETE BLOCKS WITH ADDITION OF CELLULOSE FIBERS FROM RECYCLED PAPER

ABSTRACT: Considering the importance of the reuse of waste, this article investigated

the addition of cellulose fibers incorporated in the concrete mix, from recycled paper. The addition of the fibers was considered for class C concrete blocks of the 20x40 family, with only a seal function. From an adaptation of the water/cement factor and the granulometric composition, a ratio of 1:2:3:0.3 with the presence of sand and crushed dust was obtained, a comparative study between the concrete blocks with and without addition of recycled paper can be performed according to the ABNT NBR 6136:2014 and ABNT NBR 12118: 2013 tests of compressive strength, mean water absorption and dimensional analysis, totaling 54 specimens. The results for the dimensional analysis properties did not show changes in the dimensions of the blocks with and without addition, but the compressive strength presented considerable additions with the addition blocks, adding approximately 5% of the standard resistance. Although these presented an increase of approximately 0.7% in the water absorption, a characteristic detrimental to the blocks, it did not reach the maximum stipulated by NBR ABNT 6136: 2014 of 10%. From this initial study, new researches can be carried out analyzing the microstructure of the concrete and analyzing more deeply the performance of the cellulose fibers in the cement matrix.

KEYWORDS: Concrete, Fibers, Celulose, Recycled Paper, Blocks.

1 | INTRODUÇÃO

Sabe-se que a construção civil é responsável pela extração e consumo de mais de 50% dos recursos naturais não renováveis em âmbito mundial, devido à crescente demanda social por ambiente construído. (CBCS, 2014; LINTZ *et al.*, 2012). Além do processo de industrialização necessário para o beneficiamento de recursos naturais, a poluição gerada pela produção do Cimento Portland durante a decomposição do calcário (UN ENVIRONMENT *et al.*, 2018), emitindo cerca de 866 kg de gás carbônico por tonelada de clínquer produzido, apenas no Brasil (WBCSD, 2016), é considerada um dos grandes impactos ambientais causado pelo setor. Estudiosos investigam a potencialidade de reutilização dos resíduos sólidos como materiais de construção (PAPPU *et al.*, 2007; JUMAAT *et al.*, 2010), de maneira que haja redução nos custos e prejuízos ambientais relativos ao tratamento e descarte final destes resíduos, bem como a mitigação dos impactos promovidos pela própria construção civil (LUCAS; BENATTI, 2008).

1.1 Resíduos Sólidos Urbanos

A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, instituída pela Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010) apresenta a definição de resíduo sólido como qualquer material resultante das atividades humanas, o qual sua destinação final se procede no estado sólido. Os resíduos podem ser classificados quanto à sua origem, sendo para este estudo o enfoque em resíduos sólidos urbanos, sendo este o correspondente dos resíduos domiciliares e resíduos de limpeza urbana. Em 2017 apresentou-se uma geração total de 78,4 milhões

de toneladas de resíduos sólidos urbanos no país, representando um aumento de 1% em relação ao ano anterior (ABRELPE, 2017). Entre os resíduos gerados e coletados, o papel apresenta grande destaque, representando 13,1% dos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008, totalizando 4.154 mil toneladas neste ano (MMA, 2011).

1.2 O papel no Brasil

O relatório anual da Indústria Brasileira de Árvores apresenta dados para a produção anual em 2017, totalizando 10,3 milhões de toneladas com 90% da destinação dos papéis para o mercado doméstico, elevando para a oitava posição o país na colocação no ranking mundial de produtores de papel (IBÁ, 2017). Além de ser um grande produtor e consumidor de papel, o Brasil é um grande reciclador, com cerca de 4,8 milhões de toneladas de papel sendo reaproveitadas, sendo uma equivalência 64% de todo papel consumido no Brasil. Apesar da prática de reciclagem no Brasil ser bastante difundida, limitações quanto a este processo são observadas. Segundo HARITH et al. (2018), o papel apresenta um limite de ciclos quando comparado aos outros materiais recicláveis. São estimados 6 a 10 ciclos de processamento para alcançar o limite da reciclagem por conta de as fibras do papel sofrerem alterações no comprimento ocasionando na perda de material fibroso tornando-se um resíduo sólido sem destinação final.

1.3 Blocos de Concreto

Por definição da NBR 6136, os blocos vazados de concreto simples são componentes para a execução da alvenaria, com função estrutural ou apenas de vedação, vazado nas faces superior e inferior, com área líquida é igual ou inferior a 75% de sua área bruta. Apresentam diversas famílias determinadas de acordo com suas dimensões e suas características físico-mecânicas variam de acordo com sua função (ABNT, 2014). Os blocos de concreto são elementos produzidos em larga escala nas fábricas de pré-moldados, as quais contam com auxílio de máquinas vibro-prensas que realizam a moldagem dos blocos a partir da compactação e vibração do concreto. O concreto para blocos é diferente dos concretos elaborados *in situ* devido ao baixo teor de água na mistura sendo conhecido como “concreto seco”. Esta característica permite que haja a desforma imediata dos blocos de concreto. (PUTNAM, 1973; POON *et al.*, 2002; PRUDÊNCIO JUNIOR *et al.*, 2007). A produção em larga escala e a possibilidade de produção de blocos com fins de vedação são características dos blocos de concreto que o tornam viável para a incorporação de resíduos sólidos em sua mistura, visto que a alta produção permite uma quantidade significativa de incorporação de resíduos e as especificações normativas são relativamente baixas em comparação com outros tipos de peças de concreto.

1.4 Estudos prévios com adição de papel

Alguns pesquisadores estudaram o papel reciclado em diferentes estados de

aplicação. HARITH *et al.* (2018) adicionou jornais e papéis ofício com proporções de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% de papel em relação à massa de cimento do traço utilizado, analisando o *slump*, a massa específica fresca, densidade, absorção de água, resistência à tração e resistência à flexão de cubos de concreto. AKINWUMI *et al.* (2014) analisou separadamente jornais e papéis ofício separadamente, com diferentes traços de cimento, papel e areia. A densidade, absorção de água, resistência à compressão e resistência ao fogo foram analisadas. Os pesquisadores concluíram que a baixa densidade aparente das misturas as tornava adequadas para a produção de blocos, sólidos ou vazados, e a absorção de água eleva-se à medida que a quantidade de papel é incorporada na mistura.

1.5 Justificativa

A falta de uma destinação ambientalmente correta para o papel reciclado ao atingir seu limite de reciclo torna-se uma justificativa para este estudo, visto que a incorporação deste resíduo na mistura do concreto seria uma medida mitigadora para os impactos causados desde a extração ao consumo dos materiais na construção civil. Desta forma, o estudo tem como finalidade aferir e avaliar a resistência à compressão e a absorção de água em blocos de concreto vazados de vedação, com adição de papel reciclado em estado seco na mistura, analisando as propriedades físico-mecânicas dos blocos com e sem adição de papel. Os limites especificados pela NBR 6136 (ABNT, 2014) serão considerados os parâmetros que determinarão a possibilidade de incorporação deste material ou não.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização dos materiais

A caracterização dos materiais aplicados é fundamental para a dosagem, desta forma, as massas específicas dos agregados e aglomerante foram aferidas, bem como a granulometria dos agregados. A umidade da areia também foi aferida para posterior correção do traço em relação a água da mistura. A tabela 1 abaixo demonstra os materiais caracterizados e as normas consideradas. É importante frisar que os materiais foram adotados de acordo com a disponibilidade da região.

Material	Ensaio considerados	Normas
Cimento Portland (CP-II-F-32)	Massa específica	ANM ABNT NM 23:2000
Areia Fina	Massa específica, Granulometria e Umidade	ABNT NBR 9776:1987, ABNT NBR 7211:2005, ANM ABNT NM 248:2003 e DNER-ME 213/1994
Pó de brita	Massa específica e Granulometria	ABNT NBR 9776:1987, ABNT NBR 7211:2005, ANM ABNT NM 248:2003

Tabela 1 – Caracterização dos materiais utilizados.

Os resultados referentes à massa específica do cimento (ABNT, 2000), massa específica com auxílio do Frasco Chapman para areia e pó de brita (ABNT, 1987), granulometria para areia e pó de brita (ABNT, 2005; ABNT, 2003) e umidade da areia (DNER, 1994), juntamente com os módulos de finura (M.F) obtidos pela granulometria estão resumidos na tabela 2 abaixo. A granulometria dos agregados é apresentada no gráfico 1(a) e (b).

Material	Massa específica	Umidade	Módulo de Finura (M.F)
-	(g/cm ³)	(%)	-
Cimento Portland (CP-II-F-32)	3,12	-	-
Areia Fina	2,65	2,05	1,82
Pó de brita	2,77	-	3,51

Tabela 2 – Valores obtidos para os ensaios de caracterização dos materiais.

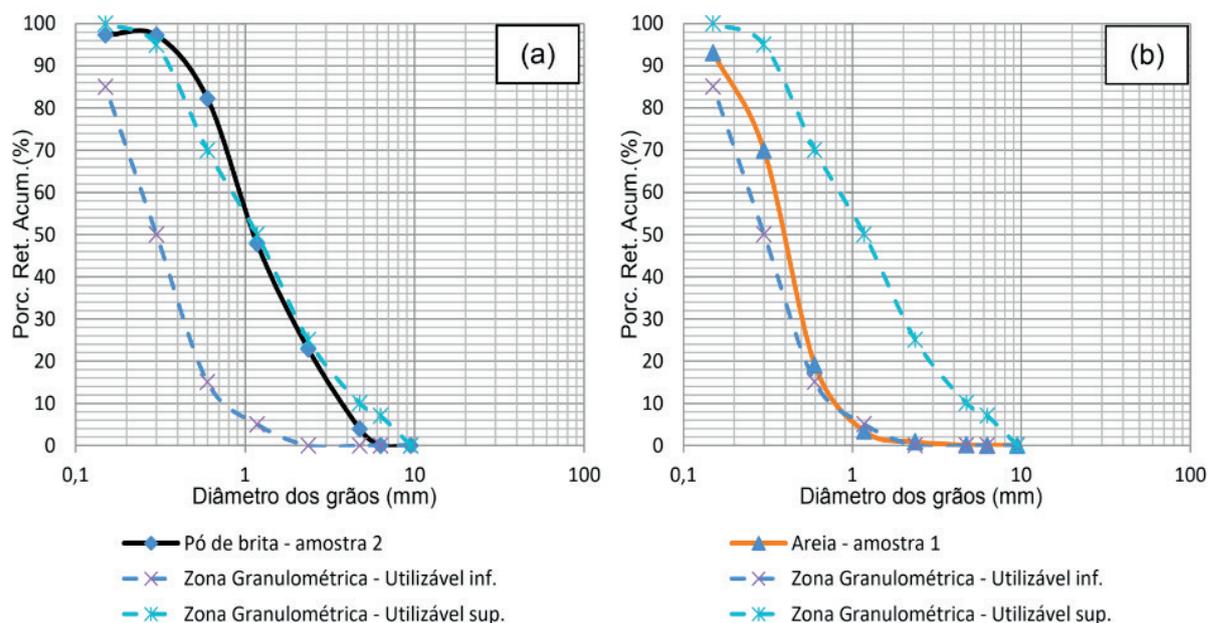


Gráfico 1(a) e (b) – Granulometria do pó de brita (a) e areia (b).

2.2 Definição do traço utilizado

O traço para os blocos de concreto foi obtido a partir de tentativas em laboratório onde a consistência da massa de concreto foi considerada. O traço utilizado foi de 1:5, sendo 2 de areia e 3 de pó de brita em massa com relação água/cimento de 0,35. A relação água/cimento foi obtida por tentativas em laboratório de forma que a consistência encontrada fosse equivalente ao “concreto seco”, possibilitando a desforma imediata.

2.3 Tratamento do papel utilizado

O papel utilizado foi proveniente de escolas, escritórios e setores administrativo, formato ISO A4, tratados conforme o método proposto por PRAZERES *et al.* (2018). O método consiste na fragmentação em tiras do papel com redução no comprimento das tiras, manualmente. Em sequência as tiras de comprimento reduzido são trituradas em liquidificador com adição de 1,5 litro de água para auxiliar o processo. Após a trituração a pasta resultante do processo é espalhada, submetida a esforços circulares, sobre a malha de peneira para permitir a retirada do excesso de água, até que o produto final se apresente em forma de pequenas pelotas. As figuras 1(a) e 1(b) apresentam etapas do processo.



Figura 1 – (a) Papel em tiras após processo inicial. (b) Papel em seu estado final, após secagem. (PRAZERES *et al.*, 2018)

2.4 Confeção dos blocos de concreto

Os blocos de concreto foram produzidos com auxílio de uma empresa situada na Estrada da Raposa – MA, que disponibilizou mão de obra e a máquina vibro-prensa manual para o desenvolvimento deste trabalho. A mistura do concreto foi realizada no local por meio de betoneira com capacidade de 600 litros e carregador, com o traço 1:2:3:0,35. As figuras 2(a) e 2(b) expõem aspectos da produção dos blocos e a máquina vibro-prensa manual utilizada. De acordo com a NBR 6136 (ABNT, 2014), as quantidades mínimas de blocos para os ensaios de resistência à compressão e análise dimensional estão

especificadas de acordo com o critério de conhecimento ou não do desvio-padrão de fábrica. O desvio-padrão da fábrica foi considerado desconhecido, logo, foram ensaiados por idade, 6 blocos para o ensaio dimensional e resistência à compressão e 3 blocos para o ensaio de absorção de água, totalizando 9 por idade. A norma determina também que a idade máxima de controle para análise das características físico-mecânicas deve ser de até, no máximo, 28 dias a partir da data de fabricação, logo, para este estudo, considerou-se as idades de 14, 21 e 28 dias para maior coleta de dados sobre a alteração das propriedades devido à adição do papel reciclado. Assim, tem-se a tabela 3 demonstrando a totalidade dos 54 blocos produzidos.

Tipo de concreto	Quantidade de blocos por idade			Normas
Padrão 0%	9	9	9	ABNT NBR 12118:2013
20%	9	9	9	ABNT NBR 6136:2014
Total: 54 CP's				

Tabela 3 – Quantidade de blocos a serem confeccionados.

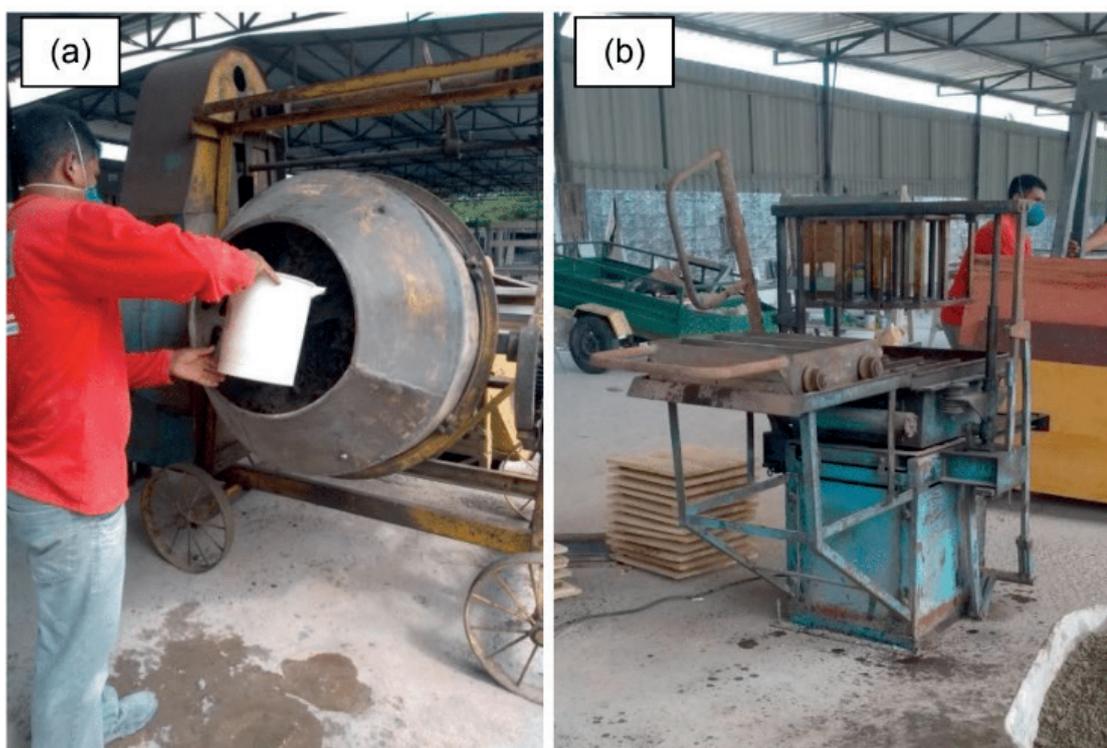


Figura 2 – Fabricação de blocos de concreto. (a) Materiais na betoneira. (b) Vibro-prensa manual utilizada.

2.5 Resistência à Compressão dos blocos de concreto

A resistência à compressão é, conforme determinação da NBR 12118 (ABNT, 2013),

a relação entre a carga de ruptura e a área bruta de um corpo-de-prova quando submetido ao ensaio de compressão axial, logo, este ensaio é realizado de acordo com a normatização citada anteriormente com a finalidade de encontrar a carga de ruptura para os blocos de concreto fabricados, de forma a analisar se estes encontram compatíveis com a NBR 6136 (ABNT, 2014), a qual define a resistência característica à compressão axial, em MPa, mínima a ser atingida para blocos de concreto de vedação. O método de ensaio é determinado pela NBR 12118 (ABNT, 2013). Os blocos foram previamente separados para constituir os corpos de prova a serem ensaiados à compressão secos ao ar, e suas faces de trabalho foram regularizadas com uma pasta de cimento e gesso, colocada sobre o molde de capeamento, que deve ser plano e uniforme. Após o capeamento, os blocos de concreto foram submetidos ao ensaio de compressão axial, com seu centro de gravidade coincidindo com as placas de apoio. As idades ensaiadas foram 14, 21 e 28 dias, com 6 blocos por idade. As figuras 3(a) e (b) retratam os blocos após o capeamento e durante o ensaio de compressão. O cálculo para a obtenção dos resultados individuais é realizado da mesma maneira que se calculam para corpos-de-prova cilíndricos, porém, por não se ter os dados do desvio-padrão de fábrica, de acordo com a classificação da NBR 6136, deve-se realizar a estimativa conforme a equação (1).

$$f_{bk,est} = 2 \left[\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}}{i - 1} \right] - f_{bi} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde i é definido pela quantidade de blocos da amostra, $f_{bk,est}$, a resistência característica estimada da amostra em MegaPascal (MPa) e $f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}$ são valores da resistência à compressão individuais dos blocos.



Figura 3 – Blocos após o capeamento (a) e durante ensaio de resistência à compressão (b).

2.6 Absorção de água e umidade relativa dos blocos de concreto

A absorção de água é por definição da NBR 12118 (ABNT, 2013) relação entre a massa de água contida no bloco saturado e a massa do bloco seco em estufa, propriedade apresentada em porcentagem. A absorção do bloco de concreto deve ser considerada por ser uma propriedade que, caso não esteja de acordo com a normatização vigente, pode prejudicar a integridade dos blocos, levando ao colapso. Os métodos de ensaio estão expostos na NBR 12118 (ABNT, 2013). Os blocos de concreto são inicialmente pesados, obtendo-se sua massa em condições de ensaio de compressão axial, m . A seguir, os testemunhos são levados à estufa, em uma temperatura constante de 110 ± 5 °C durante o período de 24 horas. Após este período, os blocos são pesados para a obtenção da massa seca, m_1 . Após o período de secagem, os blocos são impostos à saturação total durante 24 horas em tanque e pesados, obtendo-se a massa saturada, m_2 . A figura 4 apresenta três blocos após a saturação com superfície seca. A equação (2) determina a absorção de água dos blocos.

$$A_b = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde A_b é a absorção da água, em porcentagem (%), m_2 é a massa do corpo saturado, em gramas (g), e m_1 é a massa do corpo seco em estufa, em gramas, (g).

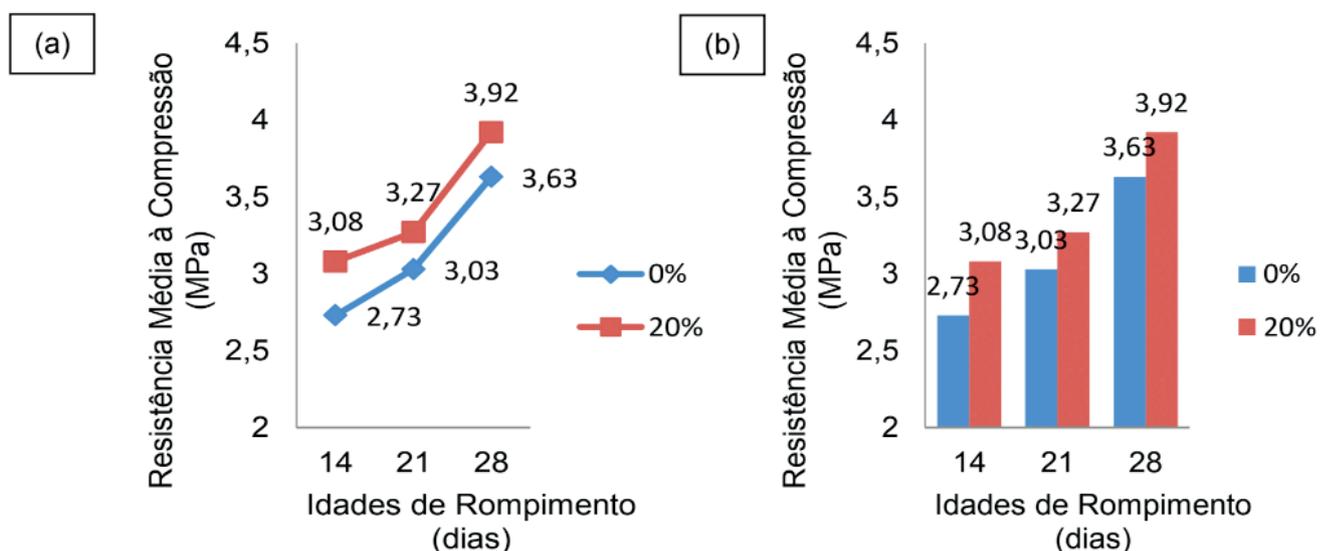


Figura 4 – Blocos após saturação.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Resultados para resistência à compressão dos blocos de concreto

A resistência à compressão é, conforme definição da NBR 6136, a relação entre a carga de ruptura do bloco e sua área bruta durante o ensaio de compressão axial. Esta propriedade é devidamente especificada e apresenta seus valores mínimos para blocos não estruturais. A obtenção dos resultados se faz por meio de cálculos estimativos do item 6.5 da NBR 6136 (ABNT, 2014). Os resultados coletados para as idades de 14, 21 e 28 dias dos blocos são apresentados de forma simplificada pelo valor da resistência característica à compressão, em seguida os valores médios dos dias de rompimento para os blocos com e sem papel. Os gráficos 2(a) e 2(b) apresentam os valores de resistência média encontrados de maneira comparativa, entre os blocos com adição de papel e sem. Aos 14 dias, a diferença entre os blocos padrões e os blocos com adição é notória, com cerca de 0,35 MPa, um acréscimo de aproximadamente 13% em relação à resistência do bloco padrão. Esta diferença de resistências já permite que o bloco modificado seja utilizado para fins não estruturais, visto que o valor mínimo aos 28 dias é de 3,0 MPa, enquanto o bloco com adição alcança os 3,08 MPa.



Gráficos 2(a) e 2(b) - Variações da resistência média à compressão para blocos padrão e com adição de papel (AUTORA (2018)).

Aos 21 dias de cura, o bloco padrão supera o limite mínimo de 3,0 MPa para blocos de vedação alcançando 3,03 MPa, enquanto o bloco modificado chega aos 3,27 MPa no mesmo período. O acréscimo de resistência em relação ao padrão é menor que a idade anterior, cerca de 8%, porém o crescimento se apresenta com certa linearidade, conforme já havia demonstrado pelos estudos anteriores. Aos 28 dias, o bloco padrão alcança 3,63 MPa, enquanto o bloco modificado continua apresentando um crescimento

linear, alcançando 3,92 MPa. A taxa de crescimento em relação ao bloco padrão alcançou novamente 8%, demonstrando mais uma vez a linearidade do crescimento da resistência, conforme já se havia comentado. É interessante frisar que a cura aplicada para estes blocos não foi a que traria maior resistência, porém, devido ao traço aplicado os resultados foram satisfatórios.

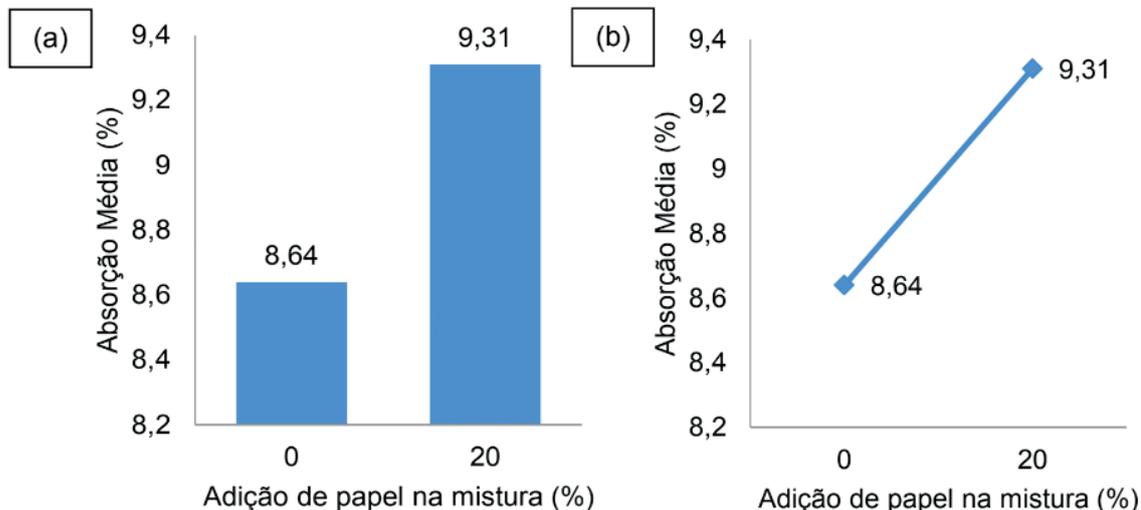
3.2 Resultados para absorção de água dos blocos de concreto

A absorção de água tem como função principal determinar a durabilidade das unidades de alvenaria a partir da análise dos poros presentes nos blocos de concreto. Caso o bloco seja muito poroso, a absorção de água aumentará e conseqüentemente a redução da vida útil do bloco é observada, por isso, é de suma importância que o ensaio de absorção de água seja realizado. Para este estudo, totalizaram-se 9 blocos para o concreto padrão e 9 blocos para o concreto com 20% de papel na mistura. Desta forma, tem-se os resultados obtidos para os 18 blocos analisados na tabela 3.

Teor de adição	Massa seca do bloco	Massa saturada do bloco	Absorção individual do bloco	Absorção média do bloco
(%)	(g)	(g)	(%)	(%)
0	11200	12100	8,04	8,402
	11800	12800	8,47	
	11500	12500	8,7	
	11600	12700	9,48	8,675
	11700	12600	7,69	
	11300	12300	8,85	
	10500	11400	8,57	8,862
	11600	12500	7,76	
	11700	12900	10,26	
20	11300	12500	10,619	9,263
	11800	12800	8,475	
	11500	12500	8,696	
	11200	12200	8,929	9,513
	11500	12700	10,435	
	10900	11900	9,174	
	11900	13100	10,084	9,512
	11600	12800	10,345	
11100	12000	8,108		

Tabela 3 – Resultados obtidos para absorção individual e média dos blocos (AUTORA (2018)).

Os dois tipos de blocos de concreto se mantiveram nos requisitos mínimos de absorção da NBR 6136 (ABNT, 2014), que especifica uma absorção individual de até 12% e uma média de até 10%. A partir de uma comparação gráfica da absorção do concreto padrão com o concreto adicionado de papel é possível inferir que a presença das fibras de celulose advindas do material reciclado promove uma maior absorção de água, conforme já visto nos resultados anteriores. Os gráficos 3(a) e 3(b) demonstram que apesar da absorção dos blocos com adição de papel apresentar um aumento a absorção para os blocos de concreto com papel foi aceitável nos requisitos da NBR 6136 (ABNT, 2014).



Gráficos 3(a) e 3(b) - Variações da absorção de água para blocos padrão e com adição de papel (AUTORA (2018)).

A diferença entre os valores obtidos para o bloco padrão e o bloco com 20% de papel foi de apenas 0,7%, um valor um pouco superior aos estudos anteriores, mas não muito significativo. Ainda assim é necessário um controle rígido para esta propriedade, tendo em vista sua importância e influência no desempenho dos blocos de concreto para alvenaria de vedação.

4 | CONCLUSÕES E PRÓXIMOS ESTUDOS

O estudo comparativo entre os blocos de concreto comuns e os blocos com adição de papel reciclado foi realizado adequadamente, comparando-se as alterações entre a absorção de água, resistência à compressão e análise dimensional.

A absorção de água apresentou crescimento do bloco padrão em relação ao bloco adicionado. Esta propriedade deve ser analisada com cautela. Apesar do acréscimo, o bloco adicionado se manteve abaixo do limite máximo de 10% para média de absorção, sendo assim aplicável para a construção civil.

A resistência à compressão dos blocos adicionados com papel reciclado apresentou valores individuais mais elevados que os blocos comuns, ultrapassando a resistência mínima de 3 MPa para blocos de vedação nos 14 dias de idade, enquanto o bloco comum alcançou a resistência mínima aos 21 dias de idade. A resistência continuou crescendo, ainda que não apresentando as mesmas taxas, de maneira linear. A diferença mais expressiva encontrou-se aos 28 dias de idade, em que o bloco com adição alcançava os 4 MPa.

Para estudos futuros, recomenda-se analisar propriedades físicas de absorção de água entre argamassa e bloco para confirmar a possibilidade de uso dos blocos no método construtivo de alvenaria, além de analisar outras propriedades mecânicas e físicas dos

blocos modificados a partir de ensaios especiais. Outros aspectos que podem também ser analisados são análises microestruturais para entender o mecanismo de interação entre as fibras de celulose e a matriz cimentícia, bem como analisar a viabilidade de utilização dos blocos adicionados para fins estruturais, por meio de ensaios especiais e maiores resistências a partir de um traço definido.

REFERÊNCIAS

- AKINWUMI, I. I. *et al.* Structural Evaluation Of Lightweight Concrete Produced Using Waste Newspaper and Office Paper, **Civil and Environmental Research**, vol. 6, p. 160-167, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de Ensaio**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2000.
- BRASIL. **Lei nº 12.305, 02 de agosto de 2010**. Brasília: Presidência da República do Brasil, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>
- CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL – CBCS. **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas: Subsídios para a Promoção da Construção Civil Sustentável**, 2014.
- HARITH, Z.; GORGIS, I.; SALIH, S. Mechanical properties of papercrete, **The 3rd International Conference on Buildings, Construction and Environmental Engineering**, vol. 162, p. 1-7, 2018.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DAS ÁRVORES - IBÁ. **Relatório Anual – Indicadores de Desempenho do Setor Nacional de Árvores**, 2017.
- JUMAAT, Z.; SAFIUDDIN, M.; SALAM, M. A.; HASHIM, R. Utilization of solid wastes in construction materials. **International Journal of the Physical Sciences**. v. 5, p. 1952-1963, 2010.
- LINTZ, R. C. C. et al. Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**. v.5, nº 2, p. 166-181, 2012.

LUCAS, D.; BENATTI, C. T. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**. v.1, n.3, 2008.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**, 2011.

PAPPU, A.; SAXENA, M.; ASOLEKAR, S. R. Solid wastes generation in India and their recycling potential in building materials. **Building and Environment**. Vol. 42, nº6, p. 2311–2320, 2007.

POON, C.S.; KOU, S.C.; LAM, L. Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks. **Construction and Building Materials**. Vol. 16, n °5, p. 281–289, 2002.

PRAZERES, M.; AGUIAR, E. B.; ALBUQUERQUE, P. R. Estudo das propriedades físico-mecânicas de concreto com adição de papel reciclado para blocos vazados sem função estrutural, **60º Congresso Brasileiro do Concreto**. Foz do Iguaçu, IBRACON, 2018.

PRUDÊNCIO JUNIOR, L. R.; OLIVEIRA, A. L.; FRASSON JUNIOR, A. Metodologia de Dosagem Para Blocos de Concreto Empregados em Alvenaria Estrutural. **Caderno Técnico de Alvenaria Estrutural**. Revista Prisma. Santa Catarina, 2007.

PUTNAM, R. **Concrete Block Construction**, 3ª ed. American Technical Society, Chicago, 1973.

UN ENVIRONMENT et al. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry. **Cement and Concrete Research**. v.114, p.2-26, 2018.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – WBCSD. **Cement Sustainability Initiative – Get The Numbers Right**, 2016.

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DO EMPREGO DE RESÍDUO CERÂMICO COMO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 10/03/2020

Nathália Cortes Tosi

Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/8189098228117640>

Augusto Felipe Chiella

Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/5465301082677424>

Vinícius Felipe Chiella

Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/6821333760606562>

Juliana Alves de Lima Senisse Niemczewski

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas,

Universidade de Caxias do Sul/UCS

Caxias do Sul – RS

<http://lattes.cnpq.br/0759962154482745>

RESUMO: A construção civil é fundamental para o desenvolvimento econômico e social do país. Entretanto, desencadeia problemas ambientais devido ao consumo acentuado dos recursos naturais e à grande geração de resíduos. Diante disso, essa pesquisa visou contribuir para a

viabilização do uso de resíduos de construção e demolição (RCD) cerâmicos como agregado miúdo em argamassas de assentamento. Assim, avaliando-se a influência da consistência e do teor de substituição dos agregados nas propriedades da argamassa notou-se, em todos os traços analisados, ganhos expressivos de resistência mecânica. Portanto, o resíduo cerâmico apresentou desempenho satisfatório como agregado miúdo, demonstrando a viabilidade técnica desta utilização.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo de construção e demolição, Reciclagem de RCD, Agregado cerâmico, Argamassa de assentamento.

STUDY OF THE TECHNICAL VIABILITY OF CERAMIC WASTE EMPLOYMENT AS A FINE AGGREGATE IN MASONRY MORTARS

ABSTRACT: Civil construction is fundamental to the economic and social development of the country. However, it triggers environmental problems due to the accentuated consumption of natural resources and the large generation of waste. Therefore, this research aimed to contribute to the feasibility of the use of ceramic construction and demolition residues (RCD) as a fine aggregate in masonry mortars. Thus, the influence of the consistency and the substitution

content of the aggregates on the properties of the mortar was observed, in all traits analyzed, expressive gains of mechanical resistance. Therefore, the ceramic residue showed satisfactory performance as a fine aggregate, demonstrating the technical feasibility of this use.

KEYWORDS: Construction and demolition waste, RCD Recycling, Ceramic aggregate, Masonry mortars.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo Taipale (2012), a construção civil consome mais de um terço dos recursos naturais, sendo considerada um dos maiores consumidores de insumos minerais, especialmente aqueles utilizados como agregados, conforme Valverde (2001). Isso se deve, segundo o autor, principalmente pelo seu uso na produção de argamassas e concretos, visto que, cerca de 70% destes são constituídos por agregados.

Quanto à geração dos resíduos, o setor é responsável, segundo Pinto (1999), por mais da metade da massa dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados, o que faz com que o volume de resíduos provenientes da construção civil seja, por exemplo, mais que o dobro do volume de resíduos domiciliares coletados. Contudo, visto que os RCD apresentam elevado potencial de reciclagem, o cenário atual pode ser revertido, uma vez que há grande possibilidade de inserção destes dentro dos processos produtivos do próprio setor.

Segundo John (2000), a cadeia produtiva da construção civil apresenta características que a credenciam a ser grande recicladora, pois muitos componentes são de produção simples, como por exemplo, os compostos por agregados e aglomerantes minerais. Ao serem beneficiados, caracterizados e avaliados, os resíduos podem ser incorporados, por exemplo, como agregados reciclados em argamassas e concretos. Assim, tanto os problemas advindos da exaustão de matérias-primas naturais como os ocasionados pelo descarte inadequado dos resíduos, impulsionam estudos sobre o reaproveitamento destes como materiais alternativos.

Conforme estudos realizados por diversos autores, a utilização de RCD em argamassas e concretos, pode proporcionar ganhos nas propriedades mecânicas e de durabilidade. O resíduo cerâmico, em especial, de acordo com Zordan (1997), pode ser utilizado em substituição a uma porcentagem do cimento Portland ou do agregado, por possuir possibilidade de desenvolvimento de atividade pozolânica. Segundo Lima (1999), agregados reciclados que contenham elevados teores de material pozolânico podem contribuir positivamente na resistência à compressão de argamassas.

Em virtude disso e, tendo em vista os elevados teores de resíduos de materiais cerâmicos existentes na indústria da construção civil, decidiu-se estudar de que forma esses materiais contribuem para o desempenho de novos produtos, analisando – através dessa pesquisa – a viabilidade da sua incorporação, como agregado miúdo, em argamassas

de assentamento. Dessa forma, utilizando o resíduo cerâmico como agregado miúdo, estaremos proporcionando benefícios de ordem ambiental, econômica e tecnológica.

2 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi desenvolvido afim de verificar a viabilidade técnica da utilização de agregados reciclados de cerâmica vermelha, em substituição aos agregados miúdos naturais, para a produção de argamassas de assentamento. A análise foi realizada avaliando a influência do material reciclado sobre as propriedades das argamassas produzidas.

Para tanto, definiu-se como variáveis controláveis duas consistências (C(a): 20 ± 1 cm e C(b): 24 ± 1 cm) e cinco diferentes teores de substituição de agregado miúdo cerâmico (0%, 25%, 50%, 75% e 100%). A escolha das faixas de consistência deu-se de acordo com as propriedades desejadas à mistura, sendo realizada de modo que a mesma obtivesse característica plástica, ou seja, uma quantidade de água ideal para formar uma pasta moldável.

As variáveis de resposta correspondem aos ensaios da argamassa no estado fresco: índice de consistência (ABNT NBR 13276:2005) e aos ensaios mecânicos: resistência à tração na flexão e à compressão (ABNT NBR 13279:2005). A Figura 1 demonstra, esquematicamente, o programa experimental do estudo.



Figura 1 –Programa experimental

Fonte: Autores (2020).

3 | MATERIAIS UTILIZADOS

Para a produção das argamassas (ABNT NBR 13276:2005) foi utilizado o traço, em massa, de 1:1:6 (cimento:cal:areia), sendo que, em determinadas amostras a quantidade de areia foi substituída pelos diferentes teores de agregado miúdo cerâmico. Optou-se pela produção de argamassas mistas dado ao desejo de aliar a trabalhabilidade e retenção de água das argamassas de cal à resistência mecânica das argamassas de cimento, além de estas serem mais recomendadas para o uso em alvenaria estrutural, segundo Sabbatini

(1998).

Para os aglomerantes, utilizou-se cimento Portland CP IV 32 RS, o qual foi caracterizado quanto a massa específica, segundo a norma ABNT NBR NM 23:1998, obtendo-se o valor de $2,65 \text{ g/cm}^3$, e quanto a finura, segundo a norma ABNT NBR 11579:2012, obtendo-se um índice de 0,68%. Para a cal, utilizou-se cal hidratada CH I, que, da mesma forma que o cimento, foi caracterizada quanto à massa específica, sendo obtido o valor de $2,27 \text{ g/cm}^3$.

O agregado miúdo natural utilizado foi uma areia quartzosa, selecionada entre um grupo de areias comercializadas no município de Caxias do Sul/RS. A areia foi caracterizada fisicamente, de acordo com os ensaios de composição granulométrica, módulo de finura e dimensão máxima (ABNT NBR NM 248:2003), massa específica (ABNT NBR 9776:1988), massa unitária (ABNT NBR 7251:1982) e absorção de água (NBR NM 30:2001), os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

O agregado miúdo reciclado empregado foi obtido a partir do beneficiamento, em um britador de mandíbulas, de tijolos maciços coletados de uma obra de reforma/demolição no Município de Bento Gonçalves/RS. Após ter sido moído, o resíduo cerâmico passou pelo processo de peneiramento mecânico – através do conjunto de peneiras da série normal, ABNT NBR NM ISO 3310-1:2010 – onde foi separado por granulometria. A Figura 2 apresenta o processo de beneficiamento realizado.



Figura 2 – Processo de beneficiamento do resíduo de cerâmica vermelha

Fonte: Autores (2020).

Posteriormente, fez-se a composição granulométrica do agregado miúdo cerâmico, a partir da granulometria do agregado miúdo natural utilizado. Devido a isso, os resultados obtidos para a composição granulométrica, módulo de finura e diâmetro máximo deste agregado são os mesmos dos obtidos para o agregado natural, como pode ser observado na Figura 3 e na Tabela 1.

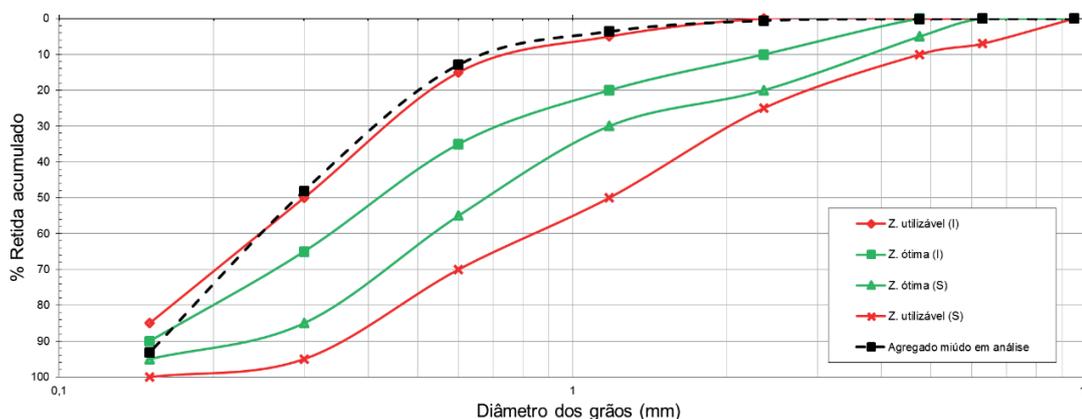


Figura 3 – Curva granulométrica dos agregados

Fonte: Autores (2020).

Ensaio	Agregado miúdo natural	Agregado miúdo cerâmico						
Módulo de finura	1,58	1,58						
Dimensão máxima (mm)	1,18	1,18						
Massa específica (g/cm ³)	2,61	2,32						
Massa unitária (g/cm ³)	1,57	0,97						
Absorção de água (%)	0,95	19,70						
Composição granulométrica								
Peneiras (mm)	6,30	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15	<0,15
Percentual médio retido (%)	0,00	0,06	0,46	3,06	9,28	35,22	45,15	6,77
Percentual médio retido acumulado (%)	0,00	0,06	0,52	3,58	12,86	48,08	93,23	100,00

Tabela 1 – Caracterização física dos agregados

Fonte: Autores (2020).

Os resultados obtidos já eram esperados, visto que esse tipo de agregado é muito mais poroso do que o convencional, devido a quantidade, dimensão e distribuição de seus poros, absorvendo maior quantidade de água (DIAS, 2004; LIMA, 1999; MIRANDA; SELMO, 2001; REIS, 2013; TOPÇU; SENDEL, 2004). Assim, a alta porosidade do agregado cerâmico, aliada à menor densidade e à forma irregular de suas partículas, interfere nas suas massas específica e unitária, tornando-as menores do que as do agregado natural (CABRAL, 2007; LEITE, 2001; PAIXÃO, 2013; PEDROZO, 2008).

Além dos ensaios acima, determinou-se o índice de pozolanicidade do agregado cerâmico, de acordo a norma ABNT NBR 5752:2014, obtendo-se IAP=102%. De acordo com a norma ABNT NBR 12653:2015, índices iguais ou superiores a 90% indicam a pozolanicidade do material. Contudo, visto que o resíduo foi posteriormente utilizado como agregado miúdo (granulometria diferente da exigida no ensaio), acredita-se que tal característica não deva ser analisada de forma isolada. Desse modo, ressalta-se a importância de avaliar a influência deste resíduo nas argamassas a partir do efeito combinado entre a característica pozolânica e o efeito filer, conforme ressaltado por Dal

Molin (2005).

3.1 Métodos de ensaio

3.1.1 Índice de consistência

O índice de consistência foi obtido através do método de ensaio prescrito pela norma ABNT NBR 13276:2005.

3.1.2 Resistência mecânica

A obtenção das resistências à tração na flexão e à compressão deu-se através do método de ensaio prescrito pela norma ABNT NBR 13279:2005, sendo as rupturas realizadas aos 7 e aos 28 dias. Para tal, foram moldados três corpos de prova prismáticos, com dimensões de (4x4x16)cm, por idade, para a obtenção da resistência à tração na flexão e seis corpos de prova prismáticos, por idade, para a obtenção da resistência à compressão das argamassas.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Índice de Consistência

A Tabela 2 apresenta os resultados médios do ensaio de índice de consistência. Através deste – definido como uma das variáveis controláveis – pode-se determinar as relações a/agl de cada traço analisado, para cada uma das consistências desejadas, C(a): 20±1 e C(b): 24±1 cm. Na Figura 4 pode-se observar mais claramente a influência do aumento do teor de substituição sobre a demanda de água das argamassas.

Traço	Relação a/agl	Consistência atingida (cm)		
		Média	Desvio Padrão	C.V. (%)
C(a) - REF	0,60	19,83	0,2887	1,46
C(a) - 25	0,81	19,77	0,2517	1,27
C(a) - 50	1,05	21,00	0,5000	2,38
C(a) - 75	1,22	20,87	0,4041	1,94
C(a) - 100	1,50	20,17	0,2887	1,43
C(b) - REF	0,64	23,83	0,2887	1,21
C(b) - 25	0,86	24,00	0,5000	2,08
C(b) - 50	1,11	24,00	0,5000	2,08
C(b) - 75	1,32	24,67	0,5774	2,34
C(b) - 100	1,54	24,00	0,8660	3,61

Tabela 2 – Relações a/agl e consistências atingidas

Fonte: Autores (2020).

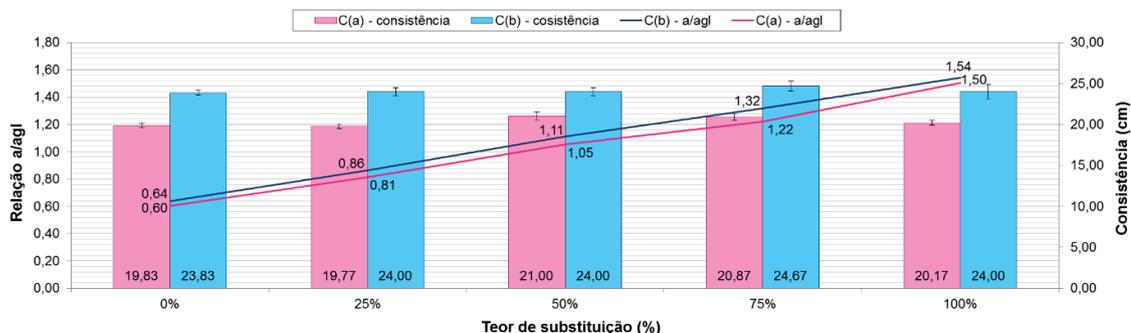


Figura 4 – Influência do teor de substituição na demanda de água das argamassas

Fonte: Autores (2020).

A partir dos resultados nota-se que, quanto maior é o teor de substituição da areia pelo agregado cerâmico, maior é a relação a/agl das misturas. Isso deve-se à maior taxa de absorção de água desse agregado – decorrente da sua superfície rugosa e porosa – que leva à retirada da água de amassamento da pasta, necessitando, assim, de uma maior demanda de água para se atingir a consistência desejada (LEITE, 2001; LIMA, 1999; PEDROZO, 2008). Assim sendo, os traços contendo os maiores teores de substituição e, conseqüentemente, as maiores relações a/agl, apresentaram melhor trabalhabilidade.

4.2 Resistência Mecânica

Na Tabela 3 estão apresentadas as médias dos resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão, dos traços analisados, nas idades de 7 e 28 dias. Nas Figuras 5 e 6 é possível visualizar a evolução das resistências mecânicas, ao longo do intervalo de tempo avaliado.

Traço	Resistência à Tração na Flexão (MPa)						Resistência à Compressão (MPa)					
	7 dias			28 dias			7 dias			28 dias		
	Média	Desvio Padrão	C.V. (%)	Média	Desvio Padrão	C.V. (%)	Média	Desvio Padrão	C.V. (%)	Média	Desvio Padrão	C.V. (%)
C(a)-REF	0,92	0,0000	0,00	2,02	0,1563	7,74	3,20	0,5404	16,89	6,30	0,8018	12,73
C(a)-25	1,07	0,1327	12,40	3,17	0,3439	10,85	4,60	0,5865	12,75	10,58	0,6964	6,58
C(a)-50	1,07	0,1327	12,40	2,98	0,2476	8,31	3,93	0,5241	13,34	9,09	1,3573	14,93
C(a)-75	1,38	0,0000	0,00	3,48	0,3323	9,55	5,22	0,2639	5,06	12,59	0,8519	6,77
C(a)-100	1,30	0,3511	27,01	3,08	0,2566	8,33	4,47	0,4803	10,74	11,42	0,6156	5,39
C(b)-REF	0,68	0,3148	46,29	1,57	0,2178	13,87	3,00	0,1754	5,85	4,67	0,4700	10,06
C(b)-25	0,89	0,1200	13,48	2,55	0,3232	12,67	2,67	0,2601	9,74	5,65	0,5697	10,08
C(b)-50	0,91	0,1097	12,05	2,39	0,1386	5,80	3,11	0,1809	5,82	8,16	0,8550	10,48
C(b)-75	1,15	0,2433	21,16	2,15	0,1501	6,98	3,32	0,1342	4,04	8,12	0,8450	10,41
C(b)-100	0,94	0,0404	4,30	1,69	0,1311	7,76	3,40	0,2772	8,15	5,52	0,4668	8,46

Tabela 3 – Resistência mecânica das argamassas

Fonte: Autores (2020).

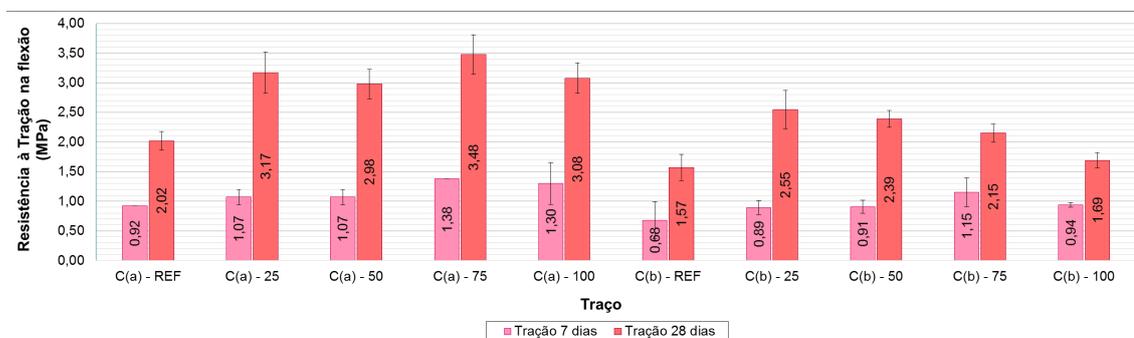


Figura 5 – Evolução da resistência à tração na flexão dos traços analisados

Fonte: Autores (2020).

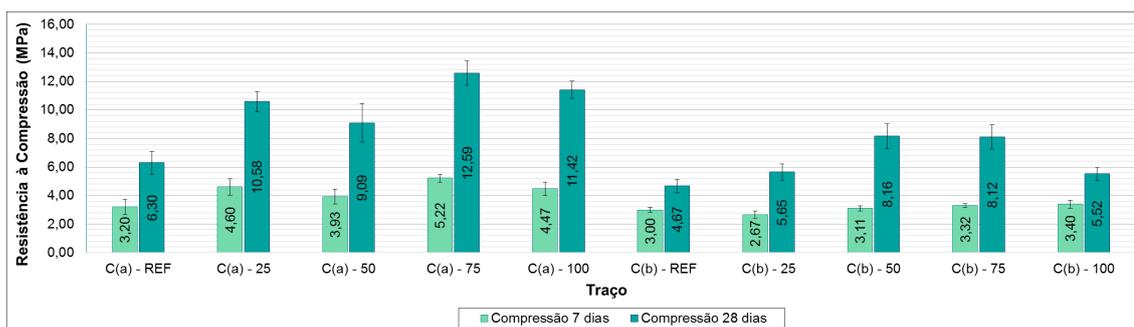


Figura 6 – Evolução da resistência à compressão dos traços analisados

Fonte: Autores (2020).

Analisando os resultados, observa-se valores de resistência, tanto à tração quanto à compressão, superiores aos traços de referência, em todas as argamassas cujo agregado natural foi substituído pelo cerâmico. Nota-se, ainda, que os resultados obtidos pelos traços com consistência C(a) são superiores às resistências atingidas pelos traços C(b), conforme esperado, dada à sua menor relação a/agl (conforme relação de *Duff Abrams*). Deste modo, verifica-se que o traço C(a)-75 – contendo 75% de agregado miúdo cerâmico – atingiu as maiores resistências mecânicas entre os 10 traços avaliados. Sua resistência à tração na flexão foi 50,00% maior do que o traço de referência, aos 7 dias, e 72,28% superior aos 28 dias, apresentando, assim, um ganho de resistência à tração de 152,17% ao longo do período analisado. Já à compressão, apresentou resistência, aos 7 dias, 63,13% maior do que a referência e, aos 28 dias, resistência 99,84% superior. Logo, o ganho de resistência à compressão, ao longo das idades analisadas, chegou a 141,19%.

Os valores crescentes de resistência mecânica observados nos traços contendo agregado miúdo cerâmico podem estar relacionados, segundo Leite (2001) e Paixão (2011), à grande porosidade, ao alto teor de absorção, à textura rugosa e à forma mais angular deste tipo de agregado. Visto que, de acordo com estes, tais características possibilitam a formação, nos poros do agregado, de cristais de hidratação do cimento, melhorando a zona de transição e, conseqüentemente, a aderência entre a pasta e os agregados, propiciando, assim, melhora do desempenho mecânico. Tal relação pode ser

evidenciada pelo ganho percentual superior para a resistência à tração (em comparação à compressão), visto que a zona de transição está relacionada de forma mais íntima a este tipo de resistência mecânica.

Além disso, o efeito combinado entre a característica pozolânica apresentada pelo agregado cerâmico e o efeito fíler também pode ter contribuído para a evolução de resistência. A presença dessas partículas pode ter modificado a microestrutura da pasta através da redução do tamanho dos grãos (efeito pozolânico) e do refinamento dos poros (efeito fíler), proporcionando maior empacotamento da estrutura porosa da argamassa fresca, ocasionando o fechamento dos vazios presentes na mistura, tornando-a mais compacta e impermeável e, conseqüentemente, influenciando na resistência mecânica no estado endurecido (ALCANTARA; NÓBREGA, 2011; CARDOSO; FORTI, 2015; CINCOTTO, 1994; DAL MOLIN, 2005; DÉ SIR *et al.*, 2005; LEITE, 2001; MATIAS; TORRES; FARIA, 2013; SILVA; BRITO; VEIGA, 2008).

Os resultados apresentados foram analisados estatisticamente, através do método de análise de variância (ANOVA), pelo *software* Excel, utilizando-se um percentual de confiança de 95%. Tal análise, apresentada na Tabela 4, foi realizada com o intuito de verificar se os fatores controláveis e suas interações atuam de forma significativa nas variáveis de resposta avaliadas. Assim, através da ANOVA pode-se observar a influência – ou não – destes fatores nas características de interesse da argamassa.

Variável	Resistência à Tração na Flexão		Resistência à Compressão	
	Valor-P	Significância	Valor-P	Significância
Teor de substituição	2,3E-09	S	8,9E-29	S
Consistência	2,2E-12	S	2,2E-38	S
Idade	5,9E-27	S	3,8E-63	S
Teor de substituição x Consistência	0,00744	S	7,6E-16	S
Teor de substituição x Idade	8E-05	S	7,8E-16	S
Consistência x Idade	12E-06	S	6,8E-18	S
Teor de substituição x Consistência x Idade	0,05553	NS	4,7E-08	S

Onde: valor-p – probabilidade de significância; S – valor significativo; NS – valor não significativo (considerando $p < 5\%$ como efeito significativo).

Tabela 4 – Resumo da ANOVA: resistência à tração na flexão e à compressão

Fonte: Autores (2020).

A partir desta análise verificou-se que os efeitos isolados do teor de substituição, da consistência e da idade, bem como as combinações de segunda ordem, foram significativos, ou seja, influenciam na resistência mecânica das misturas. Porém, para a resistência à tração na flexão não houve interação entre as combinações de terceira ordem. Assim, observa-se que o agregado miúdo cerâmico influencia de forma positiva a resistência

mecânica das argamassas, bem como a consistência escolhida para a mistura. Logo, o uso deste agregado, em substituição ao natural, melhora essa propriedade de forma significativa de acordo com a ANOVA.

5 | CONCLUSÕES

As características do agregado miúdo cerâmico, como a superfície rugosa e a maior porosidade, exercem influência direta nas propriedades das argamassas no estado fresco, principalmente no que diz respeito à demanda de água. Assim, à medida que o agregado miúdo natural é substituído pelo agregado miúdo cerâmico, uma maior relação a/agl é necessária para que as argamassas atinjam as consistências desejadas. Em decorrência disso, as argamassas que contêm os maiores teores de agregado cerâmico apresentam melhor trabalhabilidade.

Tais características também interferem positivamente nas propriedades mecânicas das argamassas, proporcionando ganhos de resistência à tração na flexão e à compressão. Conjuntamente, a combinação entre a pozolanicidade, apresentada pelo resíduo cerâmico, e o efeito fíler foi fundamental para a evolução dos resultados.

Deste modo, o resíduo de cerâmica vermelha apresentou um desempenho bastante satisfatório como agregado miúdo em argamassas de assentamento. Os resultados obtidos nessa pesquisa alinham-se aos resultados de outros estudos já realizados, o que torna os resultados ainda mais relevantes.

REFERÊNCIAS

ALCANTARA, Paloma Santos Xavier de; NÓBREGA, Ana Cecília Vieira da. Desenvolvimento de argamassas para revestimento utilizando resíduos de cerâmica vermelha de Caruaru/PE como material pozolânico e/ou agregado alternativo. *In: SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO IFPE*, n. 2, 2011, Caruaru. **Anais** [...]. Caruaru: IFPE, 17-21 out. 2011. p. 1-10.

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

_____. **NBR 7251**: Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

_____. **NBR 9776**: Agregados — Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

_____. **NBR 11579**: Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 μ m (nº 200) - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

_____. **NBR NM 23:** Cimento Portland e outros materiais em pó – determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

_____. **NBR NM 30:** Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro: ANBT, 2001.

_____. **NBR NM 248:** Agregados Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR NM ISO 3310-1:** Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, n. 4, 2001, São Paulo. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2001.

CABRAL, Antonio Eduardo Bezerra. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD.** 2007. 254 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, São Carlos, 2007.

CARDOSO, Julia Thais de Oliveira; FORTI, Nádia Cazarim da Silva. Estudo para a aplicação de resíduos de cerâmica vermelha na produção de argamassas cimentícias. *In: XX ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA e V ENCONTRO DE INICIAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO*, 2015, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: PUC Campinas, 22-23 set. 2015. p. 1-6.

CINCOTTO, Maria Alba. Aditivos. *In: MEHTA; Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais.* São Paulo: Pini, 1994b. p. 273-309. Tradução e adaptação

DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. Adições Minerais para Concreto Estrutural. *In: ISAIA, Geraldo Cechella. Concreto: ensino, pesquisa e realizações.* São Paulo: IBRACON, 2005. v. 1. p. 345-379.

DÉSIR, Jean Marie *et al.* Avaliação da contribuição da atividade pozolânica do resíduo de tijolo moído na resistência de argamassas. *In: IAC-NOCMAT 2005: Conferência Interamericana sobre Materiais e Tecnologias não-convencionais na Construção Ecológica e Sustentável*, 2005, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ABNTENC, 11-15 nov. 2005. p. 1-8.

DIAS, João Fernando. **Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo.** 2004. 251 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Paulo, 2004.

JOHN, Vanderley M. **Reciclagem de resíduos na construção civil:** Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2000.

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** 2001. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2001.

LIMA, José Antonio Ribeiro de. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos.** 1999. 222 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

MATIAS, Gina; TORRES, Isabel; FARIA, Paulina. Argamassas de cal hidráulica natural com incorporação de resíduos cerâmicos. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS*, n. 10, 2013,

Fortaleza. **Anais** [...]. Porto Alegre: SBTA, 7-9 maio 2013. p. 1-15.

MIRANDA, Leonardo Fagundes Rosembach; SELMO, Sílvia M. S. Avaliação do efeito de entulhos reciclados nas propriedades das argamassas no estado endurecido, por procedimentos racionais de dosage. *In*: SIMPÓSIO

PAIXÃO, Cesar Alexandre Bratti. **Utilização de refugos de revestimentos cerâmicos (porcelanato e azulejo) em substituição à areia em argamassas cimentícias**. 2011. 62 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, 2011.

PAIXÃO, Suelen de Oliveira. **Estudo do uso de resíduo cerâmico de obras como agregado miúdo para a fabricação de argamassas para revestimento de alvenarias**. 2013. 74 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Projeto de Graduação em Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2013.

PEDROZO, Ruben Francisco Esteche. **Influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado fino em propriedades de argamassas e concretos**. 2008. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2008.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil e Urbana, São Paulo, 1999.

REIS, Felipe José Losada. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados provenientes de cerâmicas vermelhas com diferentes taxas de pré-saturação**. 2013. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2013.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. 2. ed. São Paulo: ABCP, 1998. 44 p.

SILVA, J.; BRITO, J. de; VEIGA, M. Rosário. **Características mecânicas de argamassas com incorporação de agregados reciclados cerâmicos**. *Mecânica Experimental*, Lisboa, v. 15, p. 12-22, 2008.

TAIPALE, Kaarin. De Construções Quase Verdes para Construções Sustentáveis. *In*: The Worldwatch Institute. **Estado do mundo 2012: Rumo à prosperidade sustentável Rio+20**. Salvador: UMA Ed., 2012. p.143-151.

TOPÇU, Ilker Bekir; SENDEL, Hasan Selim. **Properties of concretes produced with waste concrete aggregate**. *Cement and Concrete Research*, Amsterdam, v. 34, p. 1307-1312, ago. 2004.

VALVERDE, Fernando Mendes. **Agregados para construção civil**. *In*: Balanço mineral brasileiro 2001. [s. l.]: DNPM, 2002. p. 24-38.

ZORDAN, Sérgio Eduardo. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. 1997. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Campinas, 1997.

USO DE LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA (CBC) COMO REMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND – CASO COLOMBIA

Data de aceite: 01/06/2020

Juan Pablo Izquierdo Jimenez

Pontificia Universidad Javeriana Cali, Facultad
de Ingeniería y Ciencias, Programa de Ingeniería
Civil

Cali – Colombia

<https://orcid.org/0000-0002-0343-0212>

Maria Juliana Alvarez Arias

Pontificia Universidad Javeriana Cali, Facultad
de Ingeniería y Ciencias, Programa de Ingeniería
Civil

Cali – Colombia

<https://orcid.org/0000-0003-0779-4520>

Manuel Alejandro Rojas Manzano

Pontificia Universidad Javeriana Cali, Facultad
de Ingeniería y Ciencias, Programa de Ingeniería
Civil

Cali – Colombia

<https://orcid.org/0000-0001-5783-9112>

RESUMEN: La ceniza del bagazo de la caña es un residuo que se deriva del proceso de fabricación del azúcar. En la etapa de la molienda de la caña se produce una fibra (bagazo) que es utilizada en los propios ingenios, tanto para el inicio de la combustión en los hornos de producción de etanol, como para la generación de energía. Producto de la incineración de este

material se genera un nuevo residuo que es la ceniza de bagazo de caña (CBC). Debido a su posible impacto ambiental, el uso de esta ceniza en la construcción es una práctica que se ha venido implementado en algunos países productores. Este residuo se ha utilizado como adición o remplazo de agregado fino (Sales y Araújo, 2010). No obstante, su mayor potencial se da como como remplazo parcial del cemento Portland debido a que su composición química le brinda propiedades puzolánicas (Cordeiro, 2006; Oliveira de Paula, 2006; Giraldo Escandon et al., 2012). Varias investigaciones han constatado que el uso de la ceniza mejora las propiedades mecánicas del concreto (Camargo et al., 2014; Valencia et al., 2012; Onésippe et al., 2010). En Colombia, la región de cultivos de caña de azúcar comprende la zona norte del Cauca, la zona central del Valle del Cauca y la zona sur del departamento de Risaralda. Según ASOCAÑA (2018), el área comprendida de cultivo es de 243,232 hectáreas para el año 2017, además, se estima que en la producción del azúcar se generan alrededor de 6.5 millones de toneladas de Bagazo. De acuerdo con Sales y Araújo (2010), por cada tonelada de este material incinerado, se producen 25Kg de ceniza, que tras su molienda puede convertirse en remplazo parcial de cemento Portland. La

utilización de la ceniza como adición puzolánica ha sido satisfactoria en países como Brasil, siendo un ejemplo para los demás productores de azúcar a nivel mundial de cómo manejar este tipo de residuos. En Colombia por su parte, existen muy pocas investigaciones que constaten y corroboren los datos, siendo este un objeto de investigación muy importante para la región. Debido al impacto ambiental generado por la industria del cemento y la construcción, es importante promover el uso de residuos industriales, pues está demostrado que estas adiciones mejoran las distintas propiedades del concreto y así ayudan a que los denominados desechos, se puedan reincorporar al ciclo. Este trabajo tiene como fin hacer una revisión del estado del arte del uso de la Ceniza del Bagazo de la Caña como reemplazo del cemento Portland, dado que para un país como Colombia es importante la implementación y la ejecución de estudios que permitan viabilizar el uso seguro y funcional de estos materiales.

PALABRA-CLAVE: Ceniza de bagazo de caña, adiciones minerales, concreto, cemento, Colombia

USE OF SUGAR CANE BAGASSE ASH (SBA) AS PARTIAL REPLACEMENT FOR PORTLAND CEMENT – COLOMBIA CASE

ABSTRACT: Sugarcane bagasse ash is a residue that is derived from the sugar manufacturing process. In the stage of the cane's milling, a fiber (bagasse) is produced which is used in the sugar mills, both for the start of combustion in the ethanol production furnaces, and for energy generation. As a result of this material's incineration, a new residue is generated, which is cane bagasse ash. Due to its possible environmental impact, the use of this ash in construction is a practice that has been implemented in some producing countries. This waste has been used as an addition or replacement of fine aggregate (Sales and Araújo, 2010). However, its greatest potential is as a partial replacement for Portland cement because its chemical composition gives it pozzolanic properties (Cordeiro, 2006, Oliveira de Paula, 2006, Giraldo Escandon, et al, 2012). Several investigations have found that the use of ash improves the mechanical properties of concrete (Camargo et al., 2014, Valencia et al., 2012, Onésippe et al., 2010). In Colombia, the region of sugarcane crops includes the northern area of the Cauca department, the central zone of the Cauca Valley department and the southern zone of the department of Risaralda. According to ASOCAÑA (2018), the covered cultivation area was 243,232 hectares by the year 2017, and it is estimated that around 6.5 million tons of Bagasse are generated in sugar production. According to Sales and Araújo (2010), for each ton of this incinerated material, 25Kg of ash are produced, which after grinding can become a partial replacement of Portland cement. The use of ash as a pozzolanic addition has been satisfactory in countries like Brazil, being an example for other sugar producers worldwide of how to handle this type of waste. In Colombia, for its part, there are very few investigations that verify and corroborate the data, this being a very important research object for the region. Due to the environmental impact generated by the cement and construction

industry, it is important to promote the use of industrial waste, as it is demonstrated that these additions improve the different properties of the concrete and thus help so-called wastes can be reincorporated into the cycle. The purpose of this work is to review the cane bagasse's ash state of art as a replacement for Portland cement, given that for a country such as Colombia it is important to implement and carry out studies to make safe use viable. and functional of these materials.

KEYWORDS: Sugar cane bagasse ash, mineral addition, concrete, cement, Colombia

1 | INTRODUCCIÓN

La ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBC) se considera un residuo de la industria del azúcar, que tras pasar por una serie de procesos es desechado y utilizado en Colombia como material de relleno y como abono agrícola. En los últimos años, la necesidad de las industrias de aportar al desarrollo sostenible ha promovido estrategias para disminuir su huella de carbono y reutilizar la mayor parte de los desechos producidos en sus fábricas, lo que ha traído consigo un reto para los investigadores.

La construcción es una de las industrias que más huella de carbono generan en el mundo, pues los materiales de los que esta se fundamenta son principalmente a base de cemento, el cual para producirse requiere de un gasto energético considerable y explotación de recursos no renovables. Según Imbabi, Caregan y McKenna (2014), cada tonelada de cemento Portland ordinario (OPC) que se produce libera en promedio una cantidad similar de CO₂ a la atmósfera, lo que representa, aproximadamente, el 6% de todas las emisiones de gases efecto invernadero hechas por el hombre.

Debido a esto, el uso de alternativas a la producción del cemento toma importancia pues implicaría una disminución del impacto ambiental por la menor emisión de CO₂ (Fairbairn et al., 2010) y pueden traer efectos positivos en las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los materiales cementicios. Las adiciones puzolánicas son muy utilizadas a nivel mundial, pues han sido fuente de investigación durante finales del siglo XX y lo que va del siglo XXI. El mecanismo de actuación consiste en que en una primera etapa la hidratación del cemento Portland forma Hidróxido de Calcio (Ca(OH)₂), posteriormente, este compuesto hidratado reacciona con la puzolana en presencia de agua formado Silicato de Calcio Hidratado (C-S-H) (Metha y Monteiro, 2014). De esta manera, se produce un refinamiento de la estructura porosa del material y, consecuentemente, un mejoramiento de la resistencia y de la impermeabilidad del sistema.

2 | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo con las cifras presentadas por ASOCAÑA (2019), en Colombia, la producción de azúcar es una de las industrias más importantes y sólidas del territorio

nacional, concentrando su producción en el valle geográfico del río Cauca, el cual abarca 47 municipios, desde el norte del departamento del Cauca hasta llegar al sur del departamento de Risaralda. En total, Colombia cuenta con un área sembrada de 225,560 hectáreas y se reparte en 13 ingenios azucareros, los cuales producen un total de 6.5 millones de toneladas de bagazo de caña. Este subproducto, es utilizado para diferentes fines, la producción de bioetanol, la generación de energía, la fabricación de papel y como abono agrícola.

Este asunto toma importancia debido a que, como se observa en la Figura 1, Colombia se encuentra como uno de los principales productores de Bagazo de Caña en el mundo. Lo que justifica la realización de investigaciones con el objetivo de poder reincorporar este residuo al ciclo de los materiales, promoviendo la economía circular.

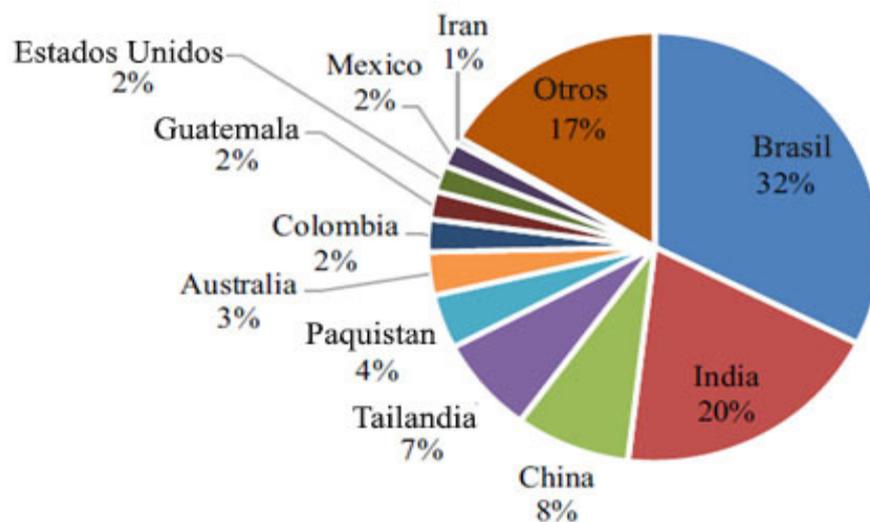


Figura 1 – Distribución de la producción mundial de bagazo de caña de azúcar en 2014 (Zareei et al., 2018).

Uno de los principales usos del bagazo en los ingenios es la generación propia de energía. Como se presenta en la Figura 2, el proceso empieza en las calderas, donde es incinerado este residuo para generar vapor de alta presión y así lograr mover los turbogeneradores que son encargados de transformar la energía para su posterior distribución. Producto de este proceso se obtiene la ceniza de bagazo de caña (CBC), que, por lo general en un país como Colombia, es desechada, generando residuos, impacto ambiental y pérdida de posibles subproductos para distintos fines.

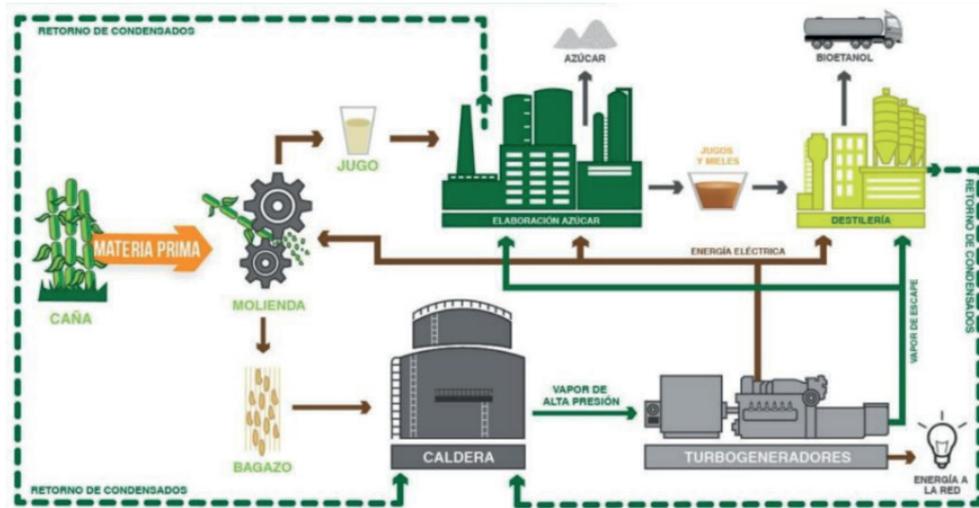


Figura 2 - proceso de cogeneración de energía (Asocaña, 2017).

3 I CARACTERIZACIÓN DE LA CENIZA DEL BAGAZO DE CAÑA

La CBC en la actualidad es poco utilizada, pues en algunos países como en Colombia, puede ser considerada como un desecho. En Brasil, se han venido desarrollando e implementando, diferentes usos para este material, dado que el área sembrada según la agencia EFE (2016) supera los nueve millones de hectáreas, lo que conlleva a una generación considerable de residuos de la industria. En la Figura 3 se puede observar el bagazo de la caña y la CBC obtenida después del proceso de incineración.



(a)



(b)

Figura 3 - Imágenes del a) Bagazo de Caña y b) CBC (Zareei et al., 2018).

Para poder viabilizar el uso de la CBC como subproducto de la industria azucarera, es fundamental conocer las propiedades de este material. A continuación, se hace una revisión con distintos autores que investigaron este ítem.

3.1 Propiedades Físicas

Cordeiro (2009), presenta en su estudio valores de diferentes propiedades de la

CBC. Otros autores como Zarrei et al. (2018), también realizaron una caracterización del material, en la Tabla 1 se presentan un cuadro comparativo de ambos autores con respecto a diferentes propiedades físicas.

Propiedades Físicas	Cordeiro (2009)	Zarrei et al. (2018)
Densidad (kg/m ³)	2530	1510
Superficie específica de Blaine (m ² /kg)	196	260
Diámetro promedio de partícula - D50 (µm)	76.3	-
Porcentaje pasa tamiz 45 µm (%)	67.4	-
Módulo de finura	-	1.04
Porcentaje de absorción (%)	-	0.8

Tabla 1 – Propiedades Físicas según Cordeiro (2009) y Zarrei et al (2018)

3.2 Propiedades Químicas

De acuerdo con Vidal (2012), la ceniza se produce a una temperatura entre los 700 y 900°C. Según lo encontrado por Cordeiro (2009), se puede notar que el porcentaje de sílice en la muestra es del 78.3% y al compararse con las investigaciones realizadas recientemente por la Universidad Nacional de Colombia (2012), Ali et al. (2017) y Vidal et al. (2012), se encuentra que estos datos oscilan entre 60% y 70%. En la tabla 2 se presenta un cuadro comparativo de la composición química de la CBC realizada por diferentes autores.

Composición Química	Vidal et al. (2012)	Ali (2017)	Giraldo (2012)	Cordeiro (2009)
Método Implementado	Fluorescencia de rayos X (FRX)	*	Fluorescencia de rayos X (FRX)	Difracción de rayos X (DRX)
SiO ₂	67.05%	72.00%	60.07%	78.34%
Al ₂ O ₃	6.00%	4.98%	8.7%	8.55%
Fe ₂ O ₃	5.55%	2.96%	5.57%	3.61%
CaO	3.85%	6.50%	3.4%	2.15%
MgO	2.75%	1.98%	2.90%	1.65%
K ₂ O	3.85%	1.93%	4.5%	3.46%
Na ₂ O	1.05%	0.61%	1.17%	0.12%
So ₃	-	-	-	-
MnO	-	-	-	0.13%
P ₂ O ₅	-	-	-	1.07%
Pérdidas por ignición	7.35%	-	4.37%	0.42%
Tamaño de partícula (µm)	60.50	-	-	-
*	Sin información del método implementado			

Tabla 2- Composición química CBC por diferentes autores.

Como se puede observar en la Tabla 2, la CBC posee un alto contenido de sílice, trascendental para que puede clasificarse como una adición puzolánica, por lo que tendrá un efecto positivo en las propiedades mecánicas y asociadas a la durabilidad del concreto. Cabe aclarar que existe una variación en la composición entre los autores, esto puede ser debido a diferentes factores como el tipo de caña, la zona geográfica en la que se encuentre, las variaciones del clima, la existencia o no de un proceso de quema controlada, la temperatura de incineración, entre otras.

4 | USOS DE LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA (CBC) EN LA CONSTRUCCIÓN

Diversas investigaciones se han desarrollado para viabilizar el uso de la CBC en actividades referentes a la construcción. Faria, Gurgel y Holanda (2012), sugieren que la ceniza de bagazo de caña puede ser utilizada en ladrillos de arcilla, pues concluyen en su trabajo que es un material rico en sílice, el cual se cristaliza y ayuda a reducir la plasticidad de la mezcla arcillosa, siempre y cuando se garantice máximo un 10% de remplazo.

Cabe indicar que según la revisión del estado del arte se determinó que el uso de la CBC tiene gran potencial cuando se aplica en materiales a base de cemento. Principalmente, como agregado y como reemplazo o adición al cemento.

4.1 Como Agregado Fino

Algunos estudios fueron realizados para viabilizar el uso de la CBC como remplazo parcial del agregado fino. Sin embargo, como lo indica Giraldo (2012) debido a sus características químicas y sus altos contenidos de sílice y alúmina, tiene un uso muy amplio como remplazo parcial del cemento Portland.

Modani y Vyawahare (2013) investigaron el posible uso de la CBC como remplazo del agregado fino, encontrando que con un porcentaje de remplazo entre 10% y 20% la resistencia a los 28 días aumenta sin afectar la trabajabilidad, como se muestra en la Figura 4. Al mismo tiempo, analizan que este aumento puede ser debido a la reacción puzolánica de la ceniza. Por su parte, concluyen que reemplazos superiores al 30% incrementan la porosidad el concreto.

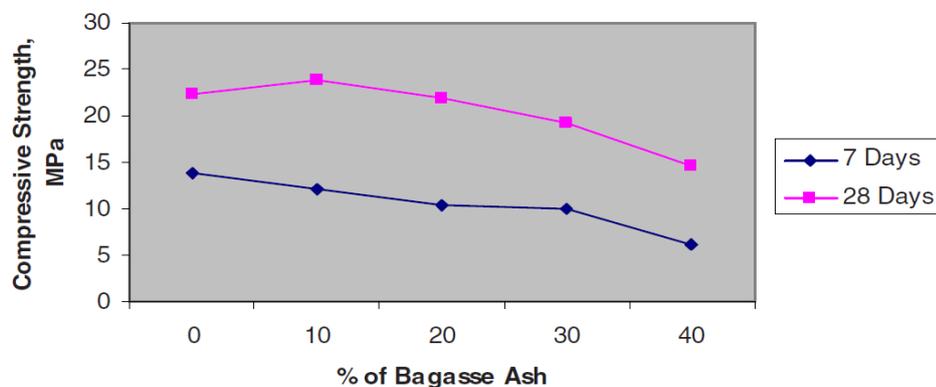


Figura 4 - Resistencia a la compresión del concreto en función del reemplazo de CBC por agregado fino (Modani y Vyawahare, 2013)

Sales y Araujo (2010) evaluaron diferentes tipos de CBC como sustitución del agregado fino en concretos y morteros. Los resultados de este estudio indicaron que las muestras de ceniza presentaban propiedades físicas similares a las de la arena natural. Los morteros producidos con CBC en lugar de arena mostraron mejores resultados en las propiedades mecánicas que las muestras de referencia, como se puede observar en la Figura 5.

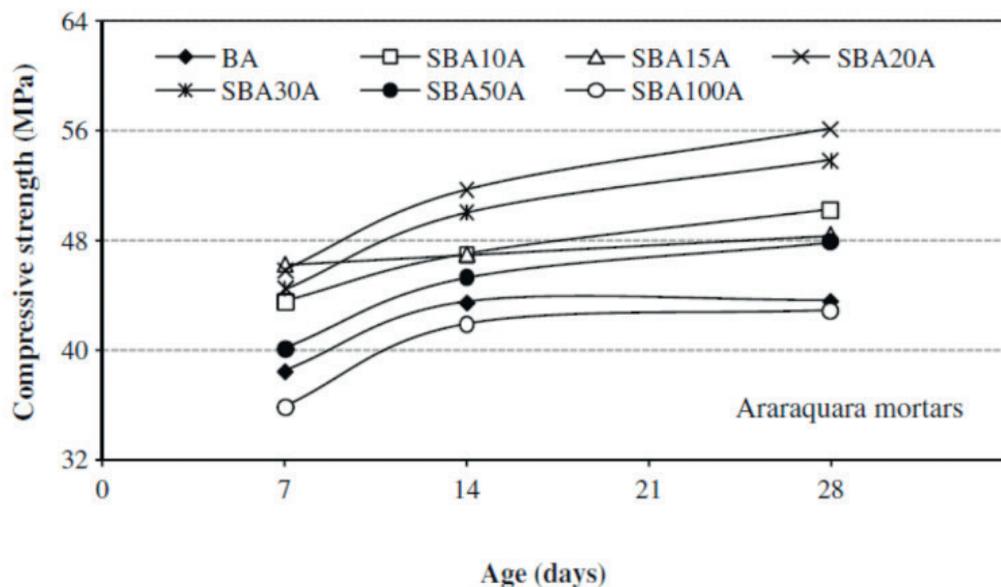


Figura 5 - Resistência a la compresión de morteros con CBC (SBA) en el tiempo (Sales y Araujo, 2010)

Macedo et al. (2014) determinaron que el uso de la ceniza como remplazo parcial del agregado fino en morteros es positiva, pues aumenta la resistencia de estos. Concluyen que, debido al efecto físico de mayor empaquetamiento promovido por el tamaño de partículas, se disminuye el tamaño de los poros, evitando así el ingreso de agentes agresivos.

4.2 Como reemplazo de Cemento

Debido a la alta presencia de sílice y el grado de reacción puzolánica que posee la CBC cuando es finamente molida, su uso como reemplazo para el cemento Portland ha venido en aumento, siendo una adición mineral muy útil para zonas productoras como Brasil y Colombia. Varios autores han investigado el comportamiento de los concretos con esta clase de puzolana, tanto en estado fresco como en estado endurecido y además en varios ámbitos, no solo en concretos sino en morteros y adoquines para pavimento.

Ali et al. (2017) encontraron que el uso de la CBC es viable pues mejora las propiedades físicas y mecánicas del material cementicio, debido a los posibles efectos que tiene por sus componentes químicos. También determinaron que el porcentaje de remplazo ideal es del 5%. Además, concluyen que la utilización de este material no es solo una estrategia para la disminución de desperdicios, sino una opción viable para realizar concretos verdes y construcciones sostenibles.

Los distintos estudios que se han realizado cuentan con múltiples variables como el tipo de cemento a utilizar, la relación agua/cemento, el porcentaje de remplazo del cemento, el tipo de agregado, entre otros. Sin embargo, para evaluar la efectividad de la CBC como adición mineral del cemento Portland es fundamental analizar la actividad puzolánica, varios autores coinciden en que, a los 28 días, este parámetro debe estar

por encima del mínimo que dictamina la ASTM C618 que es del 75%, estando entre los valores de 90% y 100%, como se presenta en la Figuras 6 y 7.

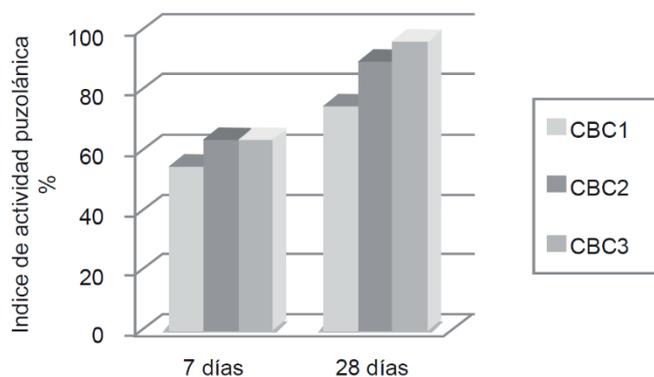


Figura 6 - Actividad Pozzolánica CBC (Giraldo, 2012)

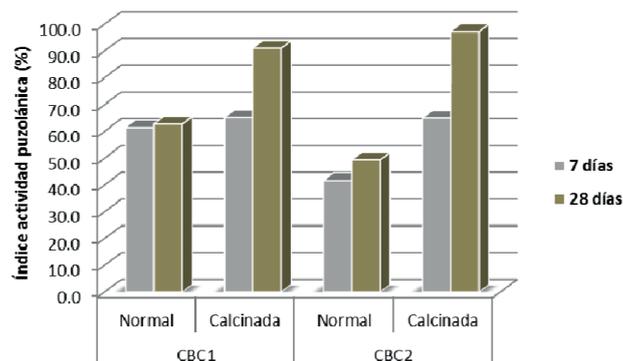


Figura 7 - Actividad Pozzolánica CBC (Vidal et al., 2012)

Vidal et al. (2012) investigaron la actividad pozzolánica de este residuo encontrando que fue superior al 91%, pero al mismo tiempo sugieren que se debe hacer un estudio detallado de la cantidad necesaria para que el concreto se desempeñe de la mejor manera a largo plazo. Cordeiro (2009) analizó el comportamiento pozzolánico de la CBC, uno de los resultados más importantes de su investigación, es que la reacción pozzolánica aumenta a medida que el tamaño de partícula disminuye.

Mansaneira et al. (2017) evaluaron dos tipos de CBC como reemplazo de cemento, una natural o cruda, y otra producida en laboratorio (calcinada a una temperatura de 600°C durante 6 horas). Encontraron que la ceniza calcinada posee mayor fase amorfa y, por lo tanto, mayor reactividad. Concluyen que independiente del tipo de ceniza, tiene que efectuarse previamente un proceso de molienda para promover la reacción pozzolánica.

Rajasekar et al. (2018), evaluaron el uso de la CBC en la producción de concretos de ultra-alto desempeño (UHPC) y determinaron que para una óptima reacción pozzolánica se debe hacer un curado térmico con vapor, además de que al adicionar la ceniza se aumenta la velocidad de las reacciones de hidratación, por lo tanto, se alcanza una resistencia a la compresión en menor tiempo.

Caicedo (2016) en su trabajo, sugiere que la utilización de la CBC como adición mineral en concretos disminuye los costos de producción, lo que implicaría así un nuevo modelo económico para las distintas industrias. En el estudio realizado, se encontraron altos porcentajes de actividad pozzolánica para las distintas muestras.

4.2.1 Efecto en las propiedades en Estado Fresco

Según Cordeiro (2009) uno de los principales efectos de la CBC es que mejora

la reología del concreto. Ali et al. (2017) estudiaron el efecto del reemplazo de CBC en el concreto, en la Tabla 3 se presentan los resultados en estado fresco en función del contenido de ceniza (0%, 5% y 10%) con dos dosificaciones distintas.

Sr.No.	Proporción de mezcla	Porcentaje de reemplazo del cemento Portland Ordinario con CBC	Valor promedio de Slump (mm)	Incremento
1	M20 (1:1 ½:3)	0%	27.89	-
2		5%	42.50	34%
3		10%	51.12	45%
4	M15 (1:2:4)	0%	31.94	-
5		5%	37.48	15%
6		10%	44.64	28%

Tabla 3 - resultados ensayos en estado fresco con reemplazo de CBC (Ali, et al, 2017)

Se observa la modificación de las propiedades en estado fresco a medida que se adiciona la CBC, pues se nota un aumento en su trabajabilidad, lo que quiere decir que, tan solo al hacer el reemplazo ya se está mejorando esta propiedad que es importante para la colocación correcta del concreto en obra.

Bahurudeen et al. (2014) estudiaron la compatibilidad de aditivos superplastificantes y cementos con reemplazo de CBC por medio de ensayos como el cono march y el mini-slump. Concluyen que la dosis de saturación del superplastificante se incrementó con el aumento del reemplazo de ceniza. Así mismo, el superplastificante a base de éter policarboxílico es más compatible con el cemento mezclado que el de base de naftaleno sulfonado.

4.2.2 Efecto en las Propiedades Mecánicas del Concreto

Jagadesh et al. (2018) investigaron las propiedades mecánicas de los concretos con adición de ceniza. Encontraron que la densidad se incrementa con el aumento de la CBC, pasando de 2,409 kg/m³ a 2,422 kg/m³. Adicionalmente, concluyen que existe una relación directamente proporcional entre las propiedades mecánicas (módulo de elasticidad, resistencia a la compresión y a la flexión) y la densidad del concreto, independiente de la edad del concreto. Lo anterior, se puede observar en la Figura 8.

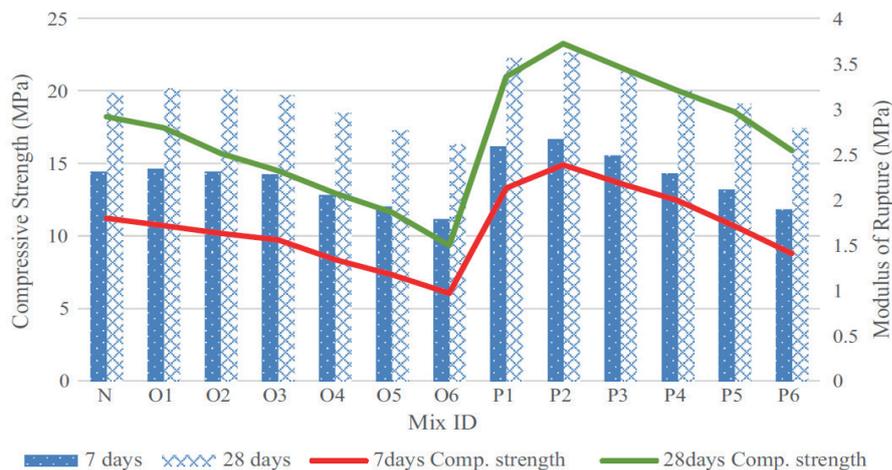


Figura 8 – Módulo de Rotura y Resistencia a la Compresión, O: CBC original, P: CBC procesada (Jagadesh et al., 2018)

Cordeiro (2009), en su estudio determina que el uso de la CBC ayuda a las propiedades mecánicas del concreto con adiciones del 20%. En la Figura 9 se presentan los resultados de la resistencia a compresión de los concretos ensayados en el estudio de Ali et al. (2017).

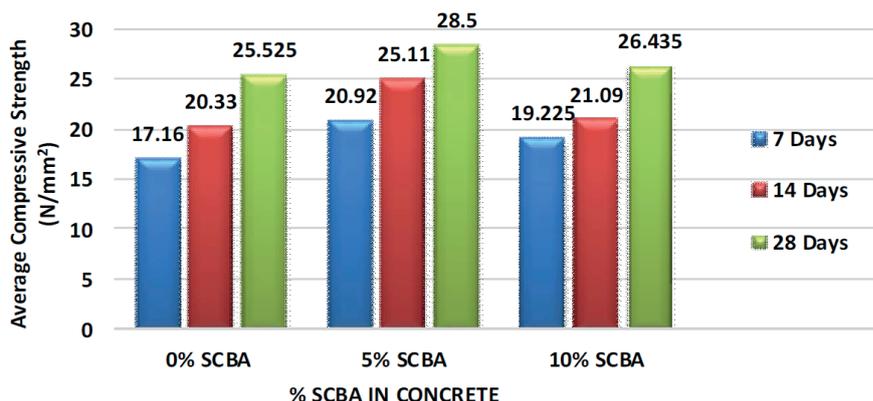


Figura 9 - Resultados ensayos en estado endurecido con remplazo de CBC (Ali, et al, 2017)

Se puede observar que la resistencia de los concretos con ceniza puede ser superior que la del concreto de referencia. Según los autores, la cantidad óptima de remplazo es el 5%.

La ceniza también ha sido utilizada como filler en la fabricación de concretos autocompactantes. Moretti et al. (2018) determinaron que la CBC puede ser utilizada en este tipo de concretos sin efectos negativos en las propiedades en estado fresco (satisfacen los requisitos de autocompatibilidad) ni en las propiedades mecánicas.

Otra aplicación de la CBC es en concretos de alta resistencia, los investigadores Rukzon y Chindapasirt (2012) evaluaron remplazos de hasta el 30%. Concluyen que el contenido óptimo, que produjo el mayor incremento de la resistencia a la compresión, fue el 10%. Por último, también Rajasekar et al. (2018) estudiaron el uso de la CBC

como adición puzolánica en concretos de ultra-desempeño (UHPC). Determinaron que es posible fabricar concretos hasta de 310 MPa de resistencia a la compresión con un reemplazo de 15% de ceniza, valor superior a la mezcla de referencia sin CBC.

4.2.3 Efecto en la Durabilidad del Concreto

La durabilidad del concreto es una propiedad que está íntimamente asociada con el ingreso de agentes agresivos y, por lo tanto, con la porosidad y la permeabilidad del material. De acuerdo con Cordeiro (2009), el uso de la CBC incrementa la resistencia a la penetración de iones de cloruro. Valencia et al. (2012) estudiaron la corrosión en morteros armados con ceniza. Concluyen que hubo un mejor desempeño cuando se usó la CBC y que depende tanto de su composición, como de su morfología y tamaño de partícula.

Rerkpiboon et al. (2015) evaluaron las propiedades asociadas a durabilidad en concretos con reemplazos hasta del 50% de CBC. Los autores encontraron que la incorporación de la ceniza causó una disminución en la profundidad de penetración de iones cloruro en el concreto, como se observa en la Figura 11. Lo anterior, demuestra el efecto positivo en la durabilidad del uso de la CBC en el concreto

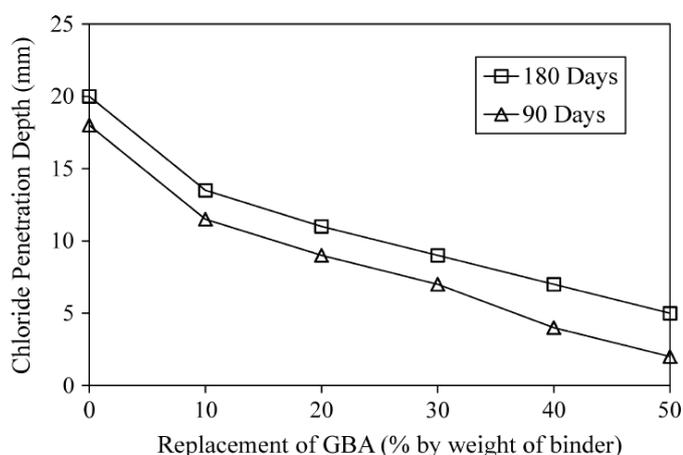


Figura 10 – Profundidad de penetración de cloruros en función del reemplazo de CBC (Rerkpiboon et al. 2015).

Bahurudeen et al. (2015) estudiaron el desempeño de la durabilidad mediante cinco metodologías: ensayo de permeabilidad al oxígeno, prueba rápida de penetración de cloruro, ensayo de conductividad de cloruro, ensayo de absorción de agua, ensayo de permeabilidad al agua y prueba de permeabilidad al aire Torrent. Los resultados de esta investigación muestran que el uso de CBC mejora notablemente el desempeño del concreto. Se observó bajo calor de hidratación, aumento de la resistencia por la reacción puzolánica y reducción significativa de la permeabilidad debido al refinamiento de los poros.

Rukzon y Chindaprasirt (2012) encontraron que, aunque con el aumento del

reemplazo de la CBC se incrementó la porosidad total del concreto de alta resistencia, hubo un efecto positivo en las propiedades asociadas a durabilidad como el coeficiente de penetración de cloruros (Figura 11).

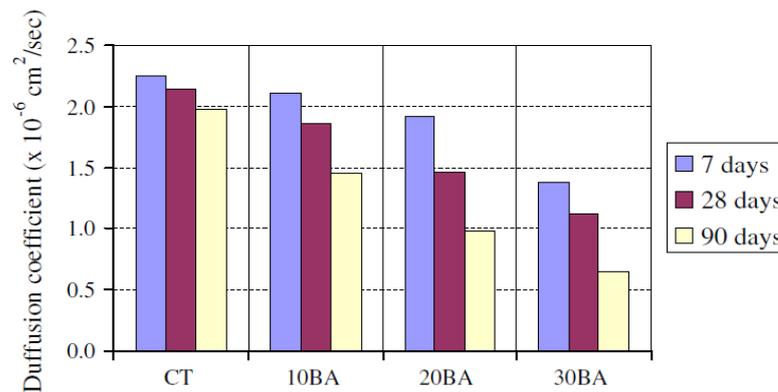


Figura 11 – Coeficiente de penetración de cloruros en función del reemplazo de CBC (Rukzon y Chindaprasirt, 2012).

Lo presentado anteriormente, muestra que la incorporación de CBC en el concreto causa efectos positivos en las diferentes propiedades del concreto (trabajabilidad, propiedades mecánicas y durabilidad). De esta forma, toma importancia la continuidad de las investigaciones que puedan promover el uso de este residuo en la industria de la construcción.

5 | USO DE LA CBC PARA LA CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA

Hasta el momento en Colombia, el uso de la ceniza como adición parcial del cemento Portland posee pocas investigaciones, las más reconocidas se han realizado en el departamento del Valle del Cauca debido a que es la región en donde más se produce el azúcar a base de caña.

El uso de la CBC como adición del cemento Portland para la fabricación de adoquines para pavimentos fue estudiado por Caicedo (2016). En esta investigación se encontró que el uso de este material ayuda a que la resistencia del concreto aumente superando incluso las resistencias de un concreto tradicional. Adicionalmente, se detalla en el proyecto el análisis de precios unitarios (APU) para la fabricación de estos y su viabilidad. Este estudio fue realizado para la construcción de una de las estaciones del sistema integrado de transporte masivo MIO y en conclusión es una metodología constructiva, ecológica y viable para una región productora.

Otra investigación fue realizada por Giraldo et al. (2012), sobre la ceniza como adición mineral para el cemento Portland con el objetivo de fabricar elementos de construcción. En este trabajo se realizó la caracterización química y física, demostrando la reacción

puzolánica a los 28 días, lo cual apoya las investigaciones de otros autores en el tema.

La utilización de la ceniza de bagazo de caña en morteros ha sido un tema de estudio para investigadores de las universidades de la región. Caicedo y Henao (2015), encontraron en su investigación, que los morteros con adiciones de CBC aumentan su resistencia a los 56 días entre 2.5% y 5.0%, además la resistencia a flexión aumenta de forma significativa en aproximadamente 40%. Por su parte, concluyen que las disminuciones en emisiones de CO₂ disminuyen sustancialmente si se empieza a utilizar este tipo de desechos industriales.

6 | CONCLUSIONES

La producción de caña de azúcar en Colombia va en aumento, generando mayor cantidad de desperdicios de industria; países como Brasil, han empezado a implementar el uso de la ceniza de bagazo de caña en el cemento, encontrando en ello una solución a la disposición final de estos residuos.

Según la caracterización química de la CBC, esta posee un alto contenido de sílice, en promedio 70%. Otro parámetro importante es el tamaño de partícula, por lo que se hace necesario un proceso previo de molienda. Lo anterior, hacen que este material tenga una elevada actividad puzolánica a los 28 días (cercana al 100%), lo que viabiliza su uso en la construcción como adición mineral para el cemento Portland, ya sea en concretos de resistencia normal o de mayores prestaciones.

Las propiedades en estado fresco de los concretos con adición de CBC, se ven mejoradas por esta incorporación, aumentando la fluidez del concreto, haciéndolo más trabajable.

Se comprobó una mejora en las propiedades en estado endurecido del material cementicio, tanto mecánicas como de durabilidad, debido a la disminución de la porosidad promovida por la reacción puzolánica, aumentando la resistencia a distintos tipos de esfuerzos y el desempeño al ataque de agentes agresivos.

En Colombia, la investigación sobre este tipo de adiciones puzolánicas es deficiente. Debido a la importancia de este material para la industria azucarera, es primordial que se generen proyectos de investigación que busquen viabilizar el uso seguro y confiable de este subproducto. La posible utilización de la CBC como material de construcción significaría un impacto económico positivo para regiones productoras como el Valle del Cauca.

El uso de materiales cementantes alternativos conlleva una disminución del impacto ambiental, principalmente, porque se reduciría la extracción de recursos naturales no renovables y la emisión de gases efecto invernadero, así como se aprovecharía un desecho industrial reincorporándolo al ciclo y evitando su disposición final en rellenos

sanitarios y la contaminación del suelo o del recurso hídrico.

REFERENCIAS

- Ali, N. et al. (2017) 'Potential Mixture of POFA and SCBA as Cement Replacement in Concrete – A Review', MATEC Web of Conferences, 103, p. 8.
- ASOCAÑA (2017) 'Generación de energía a partir de bagazo de caña', *Cogeneración* p. 10.
- ASOCAÑA (2018) 'ASPECTOS GENERALES Impulsando a Colombia'. *Informe Annual 2017 -2018* p.70
- ASOCAÑA (2019) 'El Sector Azucarero Colombiano En La Actualidad'. Cali, Colombia: ASOCAÑA, Sector Agroindustrial de la Caña. Recuperado: <https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>
- Becerra, A., Buitrago, A. and Pinto, P. (2016) 'Sostenibilidad del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia', *Ingeniería Solidaria*, 12(20), pp. 133–149.
- Caicedo, S. H. y Henao, S. (2015). Evaluación De La Ceniza Proveniente Del Bagazo De Caña De Azúcar Como Material Cementante Alternativo Para La Elaboración De Morteros. Trabajo de Grado, Pontificia Universidad Javeriana de Cali.
- Caicedo, C. (2016). Diseño del pavimento articulado con adoquines compuestos por reciclado de concreto como agregado fino y ceniza proveniente del bagazo de la caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento portland. Trabajo de Grado, Pontificia Universidad Javeriana de Cali.
- Cannavam Ripoli, C. T. and Cunali Ripoli, L. M. (2008) 'Ventajas del aprovechamiento del residuo para quema y producción de vapor', *Visão Agrícola*, 8(8), pp. 22–24. Available at: http://www.tecnicana.org/pdf/2009/tec_v13_no21_2009_p24-26.pdf.
- Cordeiro, G. C. et al. (2009) 'Ultrafine grinding of sugar cane bagasse ash for application as pozzolanic admixture in concrete', *Cement and Concrete Research*, 39(2), pp. 110–115. doi: 10.1016/j.cemconres.2008.11.005.
- Ernesto, C. et al. (2012) 'Ceniza de bagazo de caña como aditivo al cemento Portland para la Fabricación de elementos de construcción.pdf', pp. 77–78.
- Fairbairn, E. M. R., Americano, B. B., Cordeiro, G. C., Paula, T. P., Toledo Filho, R. D., & Silvano, M. M. (2010). Cement replacement by sugar cane bagasse ash: CO2 emissions reduction and potential for carbon credits. *Journal of Environmental Management*, 91(9), 1864–1871. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.04.008>
- Faria, K. C. P., Gurgel, R. F., & Holanda, J. N. F. (2012). Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks. *Journal of Environmental Management*, 101, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.032>
- Herrera, J., Osorio, J. and Varón, F. (2007) 'Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar', *Dyna*, 153, p. 11.
- Imbabi, M. S., Carrigan, C., & McKenna, S. (2012). Trends and developments in green cement and concrete technology. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 1(2), 194–216. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2013.05.001>
- Jagadesh, P., Ramachandramurthy, A., & Murugesan, R. (2018). Evaluation of mechanical properties of Sugar Cane Bagasse Ash concrete. *Construction and Building Materials*, 176, 608–617. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.037>

- Kane, S. N., Mishra, A. and Dutta, A. K. (2016) 'Preface: International Conference on Recent Trends in Physics (ICRTP 2016)', *Journal of Physics: Conference Series*, 755(1). doi: 10.1088/1742-6596/755/1/011001.
- Loh, Y. R. et al. (2013) 'Review Sugarcane bagasse - The future composite material: A literature review', *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier B.V., 75, pp. 14–22. doi: 10.1016/j.resconrec.2013.03.002.
- Le, D. H., Sheen, Y. N., & Lam, M. N. T. (2018). Fresh and hardened properties of self-compacting concrete with sugarcane bagasse ash–slag blended cement. *Construction and Building Materials*, 185, 138–147. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.029>
- Macedo, P.C.; Pereira, A.M.; Akasaki, J.L.; Fioriti, C.F.; Payá, J.; Pinheiro, J.L. (2014) Performance of mortars produced with the incorporation of sugar cane bagasse ash, *Revista Ingeniería de Construcción*, Vol. 29, pp. 187–199.
- Madurwar, M. V., Ralegaonkar, R. V. and Mandavgane, S. A. (2013) 'Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review', *Construction and Building Materials*. Elsevier Ltd, 38, pp. 872–878. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.09.011.
- Mangi, S. A. et al. (2017) 'Utilization of sugarcane bagasse ash in concrete as partial replacement of cement', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 271(1). doi: 10.1088/1757-899X/271/1/012001.
- Modani, P. O. and Vyawahare, M. R. (2013) 'Utilization of bagasse ash as a partial replacement of fine aggregate in concrete', *Procedia Engineering*. Elsevier B.V., 51(NUICONE 2012), pp. 25–29. doi: 10.1016/j.proeng.2013.01.007.
- Metha, P.K. y Monteiro, P.J.M. *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. Fourth Edition, Ed: MacGraw-Hill. 2014.
- Modani, P. O., & Vyawahare, M. R. (2013). Utilization of bagasse ash as a partial replacement of fine aggregate in concrete. *Procedia Engineering*, 51(NUICONE 2012), 25–29. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.01.007>
- Moretti, J. P., Nunes, S., & Sales, A. (2018). Self-compacting concrete incorporating sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 172, 635–649. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.277>
- Onésippe, C. et al. (2010) 'Sugar cane bagasse fibres reinforced cement composites: Thermal considerations', *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. Elsevier Ltd, 41(4), pp. 549–556. doi: 10.1016/j.compositesa.2010.01.002.
- Paula, M. O. de (2006) 'Potencial Da Cinza Do Bagaço Da Cana-De-Açúcar Como Material De Substituição parcial de cimento portland'.
- Roca, G. et al. (2006) 'Caracterización del bagazo de la caña de azúcar. Parte I: características físicas', *Encontro de Energia no Meio Rural*, (6), p. 10.
- Rajasekar, A., Arunachalam, K., Kottaisamy, M., & Saraswathy, V. (2018). Durability characteristics of Ultra High Strength Concrete with treated sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 171, 350–356. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.140>
- Rerkpiboon, A., Tangchirapat, W., & Jaturapitakkul, C. (2015). Strength, chloride resistance, and expansion of concretes containing ground bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 101, 983–989. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.140>
- Sales, A. and Lima, S. A. (2010) 'Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement', *Waste Management*. Elsevier Ltd, 30(6), pp. 1114–1122. doi: 10.1016/j.wasman.2010.01.026.

SRINIVASAN, R. and Sathiya, K. (2018) 'Experimental Study on Bagasse Ash in Concrete', *International Journal for Service Learning in Engineering, Humanitarian Engineering and Social Entrepreneurship*, 5(2), pp. 60–66. doi: 10.24908/ijse.v5i2.2992.

Valencia, G. et al. (2012) 'Estudio de Durabilidad y Corrosión en Morteros Armados Adicionados con Toba Volcánica y Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar', *Revista de la Construcción*, 11(2), pp. 112–122.

Vidal, D. et al. (2012) 'Estudio comparativo de cenizas de bagazo de caña como adición puzolánica', *Revista Colombiana de Materiales*, pp. 93–99.

Zareei, S. A., Ameri, F., & Bahrami, N. (2018). Microstructure, strength, and durability of eco-friendly concretes containing sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 184, 258–268. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.153>

ESTUDO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM RESÍDUO LIGNOCELULÓSICO COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO

Data de aceite: 01/06/2020

Data de Submissão: 03/04/2020

Bruna Ferraz Carvalho Dantas

Universidade de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil
Recife – PE

<http://lattes.cnpq.br/2804082970534169>

Carlos Fernando de Araújo Calado

Universidade de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil
Recife – PE

<http://lattes.cnpq.br/4014899919649100>

Aires Camões

Universidade do Minho (UMinho)
Guimarães – Portugal

<http://orcid.org/0000-0002-9677-3627>

RESUMO: O setor da construção civil nos últimos anos vem causando significativos impactos no meio ambiente pela extração de matéria prima e produção de cimento, entre outros. Esta pesquisa visa analisar a viabilidade técnica da substituição parcial do cimento pelo resíduo do bioetanol celulósico, ou etanol de segunda geração em argamassas de concreto, sem que o resíduo passe por outros processos industriais. O resíduo foi estudado de duas

formas: seco em estufa e destorroado (R_{seco}), e queimado em um forno para a obtenção de cinzas (R_{cinza}). Foram estudadas doze composições diferentes ajustando a substituição parcial dos diferentes resíduos e a incorporação de aditivos químicos superplastificante (SP) e plastificante (P). No estado fresco, foram realizados ensaios de tempo de pega com a agulha de Vicat e determinação do índice de consistência através de mesa vibratória. Já no estado endurecido, ensaios de resistência à compressão e de durabilidade, sendo estes: absorção de água por capilaridade, ascensão capilar e índice de vazios. Com base nos resultados, verificou-se que: houve a compatibilidade de utilização do resíduo com os aditivos químicos SP + P; a presença do resíduo R_{seco} foi suficiente para retardar o tempo de início e fim de pega, mesmo sem o uso de aditivos químicos retardadores; a incorporação do resíduo não afetou a trabalhabilidade da mistura; houve uma diminuição da resistência à compressão nas composições com resíduo, mas esta não interferiu na viabilidade; e a utilização do resíduo provocou melhores resultados de durabilidade em todos os testes realizados. Por fim, os resultados mostraram que houve viabilidade técnica para a aplicação dos resíduos estudados, incentivando a continuidade da pesquisa com o

uso de novas composições, novas porcentagens, testes e variáveis de análise.

PALAVRAS-CHAVE: resíduo, lignina, bioetanol, sustentabilidade, argamassas.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE OF CEMENTITIOUS MIXTURES WITH LIGNOCELLULOSIC RESIDUE AS A PARTIAL CEMENT REPLACEMENT

ABSTRACT: The construction industry, one of the most important productive and economic activities, is also responsible for environmental impacts like the extraction of raw materials, generation of waste and cement manufacturing, among others. The main objective was to study the technical feasibility of applying the residue generated by the second-generation ethanol obtained from sugarcane to partially replace the cement in concrete mixtures. The residue has lignin in its composition and was applied without further industrial processing. In addition, the research sought to obtain answers regarding the performance of these compositions in relation to the workability in the fresh state and the compressive strength and durability in the hardened state and compared the possible behavior differences between the residues with and without the presence of superplasticizer and plasticizers, both chemical admixtures. The results showed that there was compatibility between the residues and chemical admixtures; the setting time and the consistency index increased with the application of the residues; the compressive strength with residues was lower than the reference composition, but still demonstrated feasibility; in all the tests carried out the durability improved in the residue compositions. Thus, the results were very promising and pointed to major developments.

KEYWORDS: residue, lignina, bioethanol, sustainability, mortars.

1 | INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é uma das principais preocupações no cenário atual da construção civil, a exemplo, temos a redução do consumo de cimento na produção de concreto, substituindo-o parcialmente por resíduos de outros processos industriais. Dessa forma, ao reduzir o consumo de cimento, podemos efetivamente reduzir custos e danos ambientais causados pela extração de matérias-primas e emissões de CO₂ (BENATTI, 2008 e BETAT, 2009). O bioetanol celulósico, também chamado de etanol de segunda geração, é gerado a partir dos resíduos da produção de açúcar e etanol da primeira geração, palha e bagaço da cana-de-açúcar. Pouco se sabe sobre a utilização desse resíduo na substituição parcial do cimento em composições de concreto. Como o bioetanol já é um processo de fabricação que utiliza resíduos da geração de etanol, sua produção reduz a emissão de dióxido de carbono em cerca de 35%, gerando assim combustível mais limpo. É chamado de etanol celulósico porque sua geração é a partir da quebra das moléculas de glicose que compõem a celulose (RAÍZEN, 2014). O Brasil, por causa dos projetos promovidos

pelo Plano Conjunto BNDES - FINEP de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial do Setor Sucroenergético e do Setor Químico de Açúcar (PAISS), possui atualmente uma capacidade de produção de etanol de segunda geração de cerca de 140 milhões de litros por ano (MILANEZ, 2015). Com base nas duas indústrias pioneiras na fabricação do etanol de segunda geração, GranBio e Raízen, que juntos investiram 203 milhões de dólares para construir suas novas fábricas, a produção de etanol deve chegar a dois bilhões de litros por ano na próxima década (ECYCLE, 2018). Além disso, segundo a Biomass Magazine (2013), a produção de etanol de segunda geração também deixa resíduos com lignina, que ainda podem ser utilizados em reuso, como visto na pesquisa desenvolvida na Universidade do Kansas, que acrescentou as cinzas do resíduo de produção de bioetanol de milho ao cimento com 20% de substituição e aumentou a resistência à compressão do concreto em 32%. Quanto à produção de cimento, 63 milhões de toneladas foram produzidas e consumidas no Brasil no período de um ano, entre março de 2015 e fevereiro de 2016, de acordo com a publicação da Associação Brasileira do Cimento Portland - ABCP, citando o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – SNIC (2016). Isso indica a escala de demanda para reutilização dos resíduos gerados nessas indústrias em vez de cimento, diminuindo assim o impacto ambiental causado pelo uso do cimento.

Os objetivos desta pesquisa incluem estudar a viabilidade dos resíduos a serem aplicados no concreto sem novos processos industriais, que gerariam novos custos e poluição ambiental, assim como verificar a compatibilidade dos resíduos com os aditivos superplastificantes (SP) e plastificantes (P). Foram analisadas doze composições de argamassa diferentes, onde C1 a C6 com relação água/ligante (a / l) = 0,50 e C7 a C12 para a / l = 0,45. Foram realizadas composições de referência (sem resíduo), e composições com substituição parcial do cimento pelo diferentes resíduos, R_{seco} e R_{cinza} , bem como estudos com incorporação de aditivo plastificante e superplastificante. No estado fresco, foram aplicados testes com a agulha de Vicat para determinação do tempo de início e fim de pega e testes para determinação dos índices de consistência. No estado endurecido, foram realizados o ensaio de resistência à compressão e de durabilidade, com ensaios através da absorção de água por capilaridade, ascensão capilar e índice de vazios.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Constituintes

O resíduo de etanol de segunda geração foi fornecido pela GranBio, uma fábrica de bioetanol celulósico localizada na cidade de São Miguel dos Campos - Alagoas, e foi coletado *in natura* do armazém. No laboratório, uma parte do resíduo foi seco na estufa por 24h a (105 ± 5) °C, destorroado e misturado para melhor homogeneização, obtendo-

se o R_{seco} indicado na Figura 1 (a). A Figura 1 (b) mostra o resíduo queimado por 30 minutos a $(300 \pm 20)^\circ\text{C}$ em um forno, fabricado para uso na pesquisa, mostrado na Figura 1 (c), já destorroado e misturado, adquirindo R_{cinza} .

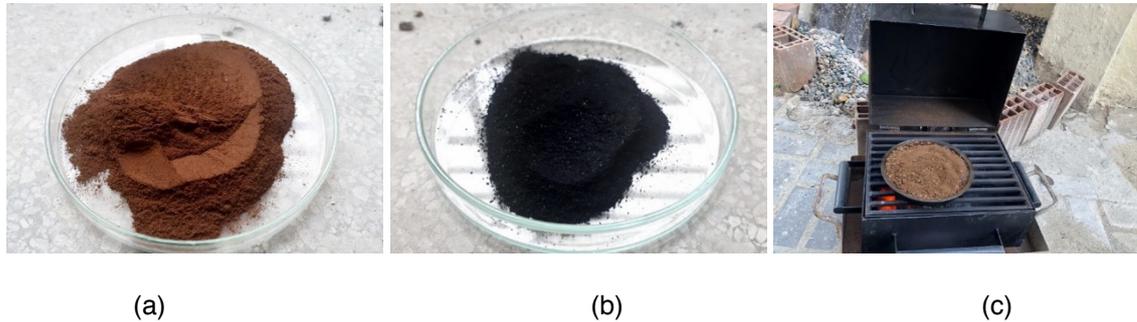


Figura 1 – (a) Resíduo *in natura* R_{seco} ; (b) Resíduo queimado R_{cinza} ; (c) Forno.

Foi decidido testar as argamassas em vez de amostras de concreto, uma vez que elas podem fornecer as informações necessárias com muito menos tempo e esforço (CAMÕES, 2005 e DACZKO, 1999). A porcentagem de 2,5% em peso de resíduo em substituição ao cimento foi escolhida a partir dos resultados de pesquisas anteriores com lignina, desenvolvidos por Calado et al (2017).

Para determinar o teor final de cinzas nos resíduos, utilizou-se a balança termogravimétrica DTG-60, fabricada pela Shimadzu®. Uma amostra de aproximadamente 20 mg de resíduo foi queimada por 2 horas, na presença constante de oxigênio, com temperatura variável entre a temperatura ambiente e 950°C (taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C}/\text{min}$) ou até a estabilização gravimétrica da amostra. A Figura 2 (a) mostra o gráfico termogravimétrico de R_{seco} e a Figura 2 (b) do R_{cinza} , com estabilização próxima a 950°C . O termograma identificou 8,45% de umidade, 82,29% de voláteis, e no final do processo 17,21% de cinzas. Além disso, é possível concluir sobre a estabilidade térmica de R_{cinza} , já que suas substâncias voláteis só foram consumidas após a temperatura de 400°C , ao contrário de R_{seco} , consumidas logo após 300°C .

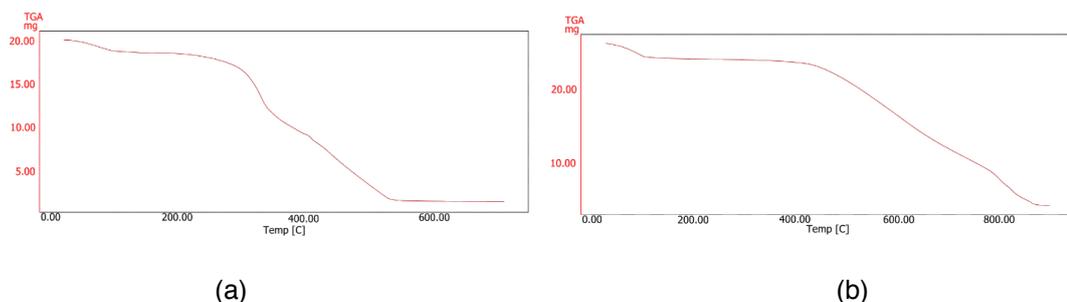


Figura 2 – (a) Gráfico termogravimétrico de R_{seco} ; (b) Gráfico termogravimétrico de R_{cinza} .

A análise das fibras para determinar a porcentagem de hemicelulose, celulose, lignina e constituintes celulares também foi realizada no laboratório de combustíveis da

Escola Politécnica da UPE. Soluções de detergente neutro e ácido foram utilizadas para a remoção de constituintes, cinzas solúveis, hemicelulose, lignina remanescente, celulose e cinzas insolúveis. A determinação da lignina foi realizada em três amostras com 0,3g do material, onde foi adicionado 72% de solução de ácido sulfúrico, maceradas por 1 hora como mostrado na Figura 3 (a) e levado ao digestor, Figura 3 (b), por 4 horas. Logo depois, elas foram filtradas, Figura 3 (c), e secas em um forno, obtendo a porcentagem pelo material que foi retido no filtro. Os resultados são mostrados na Tabela 1.

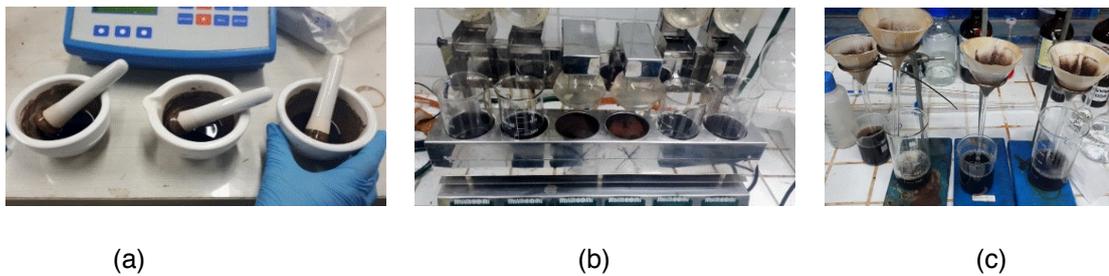


Figura 3 - (a) Amostras maceradas; (b) Amostras no digestor; (c) Amostras sendo filtradas.

Amostra	Filtro (g)	Filtro + Filtrado (g)	Variação (g)	Lignina (%)		
				individual	média	Cov*
1	1.905	2.0607	0.1557	51.90	53.50	2.70%
2	1.9698	2.1315	0.1617	53.90		
3	2.035	2.1991	0.1641	54.70		

Tabela 1 – Análise das fibras.

*cov: coeficiente de variação

Com base nos resultados mostrados na Tabela 1 o mesmo pode ser caracterizado como um resíduo com um Alto Teor de Lignina (*High Lignin Residue – HLR*) que, segundo Ataie (2014), apresenta uma alta quantidade de sílica em uma estrutura orgânica fracamente polimerizada. Além disso, usar as cinzas produzidas pela queima desse tipo de resíduo resulta em um material pozolânico muito reativo.

2.2 Composições das argamassas

Nas composições de C1 a C6, cuja relação água / ligante (a / l) foi de 0,50, o cimento utilizado foi o CP III 40 RS (resistente a sulfato). A areia utilizada foi adquirida em Recife, com jazida localizada entre Pernambuco e Paraíba, com uma dimensão máxima de 2,39 mm e um módulo de finura de 2,409. Os dois resíduos tiveram módulo de finura de 1,37, apesar de R_{seco} ter um valor de densidade de $0,4g / cm^3$ e R_{cinza} de $0,5g / cm^3$. Os aditivos químicos aplicados foram o superplastificante Sika® Viscocrete 60 HE (SP) e o plastificante Bauchemie®FK 840-MC (P), comumente utilizados na região. As composições usadas são mostradas na Tabela 2.

Constituintes	Unidade	C1	C2	C3	C4	C5	C6
CP III 40 RS	kg/m ³	588.75	588.75	544.96	544.96	544.96	544.96
R _{seco} (2,5%)	kg/m ³	-	-	13.97	13.97	-	-
R _{cinza} (2,5%)	kg/m ³	-	-	-	-	13.97	13.97
Areia	kg/m ³	1189.71	1189.71	1189.71	1189.71	1189.71	1189.71
Água	L/m ³	273.67	264.85	273.67	264.85	273.67	264.85
SP	L/m ³	-	5.59	-	5.59	-	5.59
P	L/m ³	-	3.33	-	3.33	-	3.33
Relação a/l	-	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Tabela 2 – Composições usando relação a/l = 0.50.

Para as composições C7 a C12, onde a relação água / ligante foi de 0,45, o cimento utilizado foi o CP II-F 40 (cimento composto com fíler). A areia também foi do mercado do Recife, com jazida localizada entre Pernambuco e Paraíba, com uma dimensão máxima de 2,39 mm e um módulo de finura de 2.409. Ambos os resíduos (R_{seco} e R_{cinza}) tiveram módulo de finura de 1,37, porém, R_{seco} possui um valor de densidade de 0,4g / cm³ e R_{cinza} de 0,5g / cm³. Os aditivos químicos aplicados foram o superplastificante Sika® Viscocrete 60 HE (SP) e o plastificante Bauchemie®FK 840-MC (P), comumente utilizados na região. As composições usadas são mostradas na Tabela 3.

Constituintes	Unidade	C7	C8	C9	C10	C11	C12
CP II-F 40	kg /m ³	572.54	572.54	557.94	557.94	557.94	557.94
R _{seco}	kg /m ³	-	-	14.31	14.31	-	-
R _{cinza}	kg /m ³	-	-	-	-	14.31	14.31
Areia	kg /m ³	1219.08	1219.08	1219.08	1219.08	1219.08	1219.08
Água	L/m ³	258.03	248.90	258.03	248.90	258.03	248.90
SP	L/m ³	-	5.72	-	5.72	-	5.72
P	L/m ³	-	3.41	-	3.41	-	3.41
Relação a/l	-	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45

Tabela 3 – Composições usando relação a/l = 0.45.

2.3 Composições das pastas

Foram estudadas doze diferentes composições de pastas, como detalhado nas tabelas 4 e 5, com o propósito de avaliar o efeito dos resíduos no tempo de pega das misturas cimentícias.

Constituintes	Unidade	P1	P2	P3	P4	P5	P6
CP III 40 RS	kg /m ³	1420.45	1420.45	1383.52	1383.52	1383.52	1383.52
R _{seco}	kg /m ³	-	-	35.51	35.51	-	-
R _{cinza}	kg /m ³	-	-	-	-	35.51	35.51
SP	L/m ³	-	14.2	-	14.2	-	14.2
P	L/m ³	-	8.52	-	8.52	-	8.52
Água	L/m ³	448.86	426.14	448.86	426.14	448.86	426.14

Tabela 4 – Composições das pastas.

Constituintes	Unidade	P7	P8	P9	P10	P11	P12
CP II-F 40	kg /m ³	1449.27	1449.27	1413.04	1413.04	1413.04	1413.04
R _{seco}	kg /m ³	-	-	36.23	36.23	-	-
R _{cinza}	kg /m ³	-	-	-	-	36.23	36.23
SP	L/m ³	-	14.49	-	14.49	-	14.49
P	L/m ³	-	8.70	-	8.70	-	8.70
Água	L/m ³	440.58	417.39	440.58	417.39	440.58	417.39

Tabela 5 – Composições das pastas.

2.4 Procedimento experimental e execução dos testes

2.4.1 Execução do ensaio da agulha de Vicat

Os ensaios de Agulha de Vicat foram realizados conforme a Norma ABNT NBR NM 65 (2003) usando as composições mostradas nas Tabelas 4 e 5. O teste pode ser visualizado na imagem mostrada na Figura 4, com o dispositivo de agulha Vicat em operação.



Figura 4 - Ensaio da agulha de Vicat.

2.4.2 Ensaio do índice de consistência

Os ensaios foram realizados de acordo com ABNT NBR 13276 (2002) e a ABNT NBR 7215 (1996), utilizando sempre três moldes para cada composição testada, apresentadas nas Tabelas 2 e 3, onde o índice de consistência foi a medida do diâmetro médio da base do tronco do cone da argamassa após o espalhamento / abatimento, com as medidas sendo feitas com o auxílio de um paquímetro e expressas em milímetros. O resultado da

argamassa após o teste pode ser visto na Figura 5.



Figura 5 - Argamassa após o teste de espalhamento.

2.4.3 Ensaio de resistência à compressão

O ensaio foi realizado no laboratório de materiais de construção da Escola Politécnica da UPE, nas idades de 28 e 90 dias, seguindo as recomendações da NBR 7215. Todos os corpos de prova cilíndricos tinham diâmetro de 50 mm e altura de 100 mm. Após sua moldagem, foram armazenados em câmara úmida por 3 dias, depois desmoldados e imersos em água saturada com cal a 28 ° C de temperatura para sua cura. A Figura 6 (a) mostra uma composição regular com R_{cinza} e a Figura 6 (b) mostra os corpos de prova (CPs) desmoldados.



(a)



(b)

Figura 6 - (a) Composição; (b) CPs desmoldados.

2.4.4 Durabilidade: Absorção de água capilar, ascensão capilar e índice de vazios

Para os ensaios de durabilidade, foram moldados seis corpos de prova (CPs) para cada composição na idade de 60 dias, onde foram colocados em estufa e depois resfriados até a temperatura ambiente de 27°C, sendo pesados para determinação de suas massas e iniciados os ensaios. Os ensaios de absorção de água por capilaridade e ascensão capilar, tomam por base a ABNT NBR 9779 (2012) e a ABNT NBR 7222 (2011), enquanto a determinação do índice de vazios foi conforme a ABNT NBR 9778 (2005). A Figura 7 mostra uma fotografia dos corpos de prova após o teste de ruptura diametral.



Figura 7 - Ascensão capilar.

3 | RESULTADOS

3.1 Estado Fresco

3.1.1 Tempo de pega inicial (Ti) e final (Tf) com agulha de Vicat

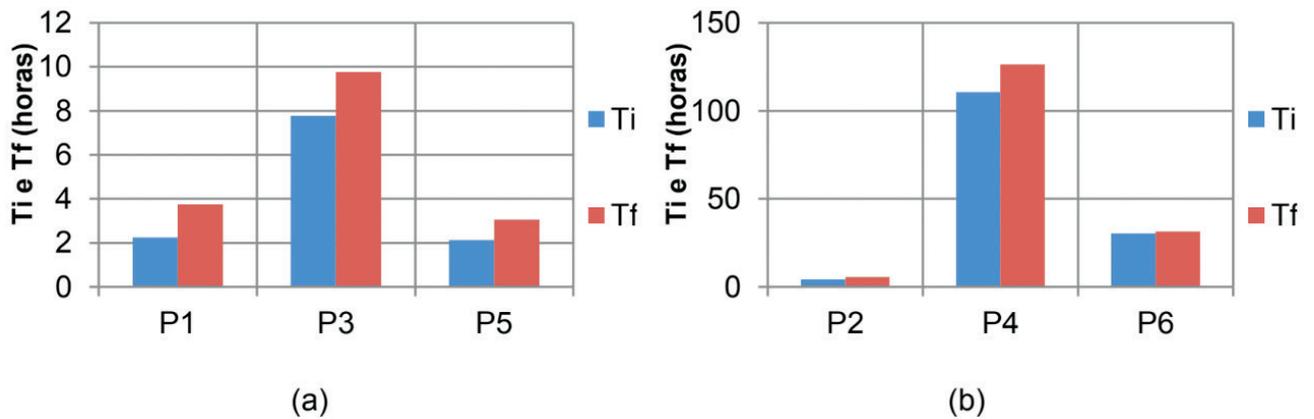


Figura 8 - (a) Resultados das pastas sem aditivos químicos; (b) Resultados das pastas com aditivos químicos.

A Figura 8 (a) mostra o gráfico dos resultados para as pastas P1, P3 e P5 de acordo com as composições indicadas. Os resultados mostraram que a presença de R_{cinza} reduziu o valor de Ti em 5,3% quando comparado com a pasta de referência P1. Entretanto, a presença de R_{seco} , aumentou em 245% o Ti da pasta P3 em relação a P1. Por outro lado, ao analisar o gráfico da Figura 8 (b) onde todas as pastas continuam aditivos químicos SP e P em suas composições, é possível verificar que P6 aumentou o valor de Ti por 617% em relação à pasta de referência P2. No entanto, P4 aumentou em 26 vezes o tempo Ti em relação a P2, valor superior a 3,6 vezes o Ti para P6.

Portanto, verificou-se que, no aspecto do tempo de pega, a presença de R_{seco} aumentou o tempo de início de pega da pasta, indicando comportamento semelhante ao obtido quando se adiciona aditivos químicos retardadores do tempo de pega nas composições cimentícias de referência. Entretanto, R_{seco} atrasou significativamente o tempo inicial na presença das adições SP e P, diferente do comportamento de R_{cinza} .

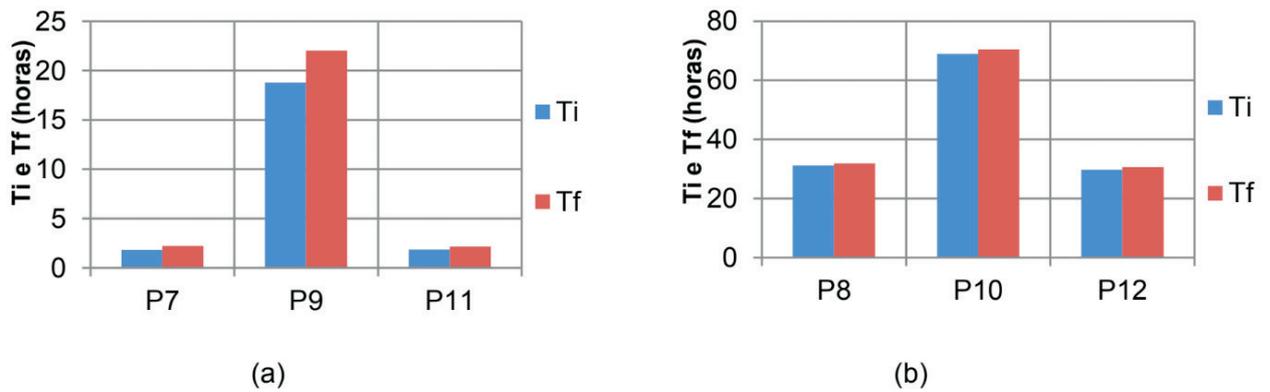


Figura 9 - (a) Resultados das pastas sem aditivos químicos; (b) Resultados das pastas com aditivos químicos.

A Figura 9 (a) mostra o gráfico dos resultados para as pastas P7, P9 e P11. Os resultados mostraram que a presença de R_{cinza} em P11 aumentou o valor de Ti em 1,1% quando comparado à pasta de referência P7. No entanto, a presença de R_{seco} aumentou mais de 1000% o Ti da pasta P9 em relação ao P7. Por outro lado, ao analisar o gráfico da Figura 9 (b) onde todas as pastas continham aditivos químicos SP e P em suas composições, é possível verificar que P12 reduziu o valor de Ti em 4,7% em relação à pasta de referência P8. No entanto, P10 aumentou em 221,3% o tempo Ti em relação a P8, valor superior a 2,3 vezes o Ti para P12. Logo, verificou-se que, no aspecto do tempo de pega, a presença de R_{cinza} indicou comportamento semelhante à composição de referência. No entanto, R_{seco} atrasou significativamente o tempo inicial de pega na presença das misturas com SP e P, diferente do comportamento de R_{cinza} , e foi possível observar que o resultado de R_{seco} sem adição de aditivos químicos foi semelhante à composição de referência adicionando aditivos químicos. Os resultados do tempo de pega final seguiram o mesmo padrão do tempo de pega inicial.

3.1.2 Índice de Consistência

Os resultados de espalhamento obtidos nos testes na mesa vibratória manual, aplicados nas composições testadas de C1 a C6, podem ser vistos no gráfico da Figura 10.

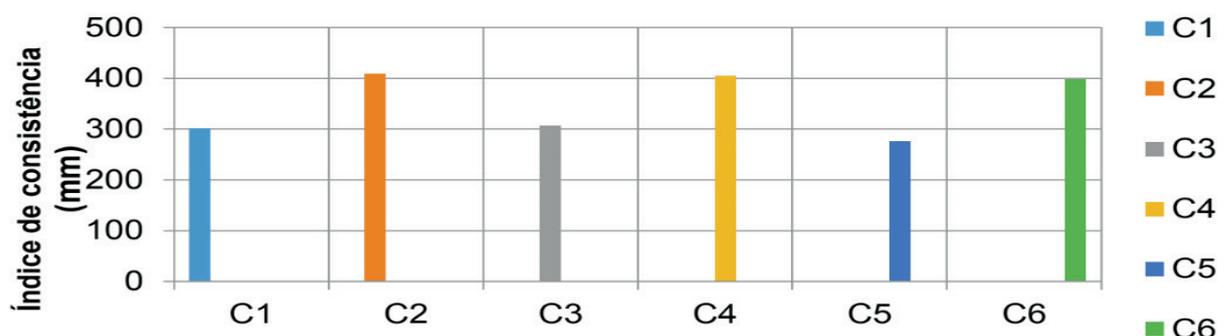


Figura 10 - Resultados de espalhamento das composições C1 a C6.

Considerando as composições C1, C3 e C5, que não continham aditivos químicos SP e P, verificou-se que o melhor comportamento de C3 em comparação com C1 com um pequeno aumento no resultado do espalhamento em 1,7%. Considerando as composições C2, C4 e C6, que continham misturas químicas SP e P, verificou-se que o melhor comportamento foi de C4 em relação a C2, com pequena diminuição no resultado do espalhamento em 0,7%.

Os resultados de espalhamento obtidos nos testes da mesa vibratória manual aplicada nas composições testadas C7 a C12 podem ser vistos no gráfico mostrado na Figura 11.

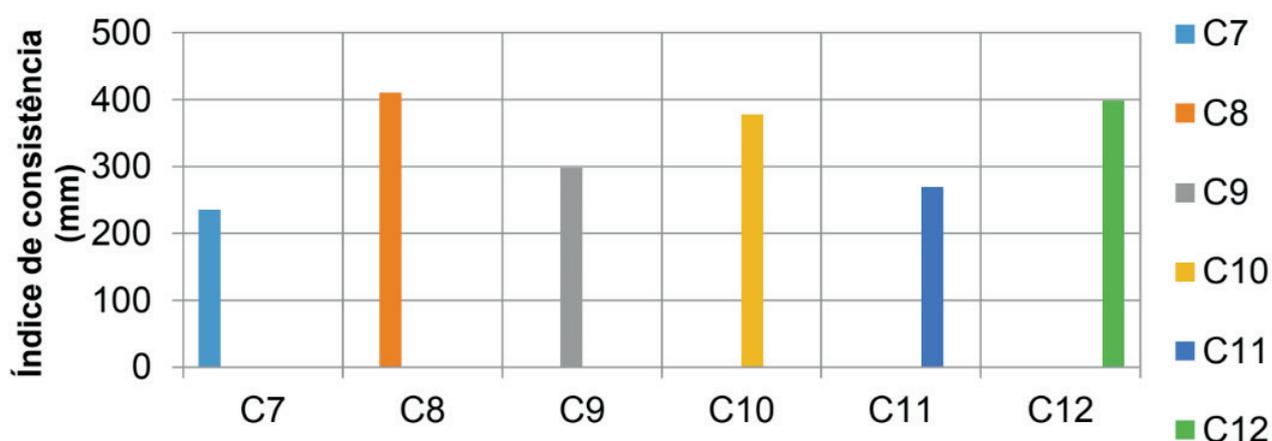


Figura 11 - Resultados de espalhamento das composições C7 a C12.

Considerando as composições que não apresentaram aditivos químicos SP e P, verificou-se que o melhor comportamento foi de C9 e C11, em comparação com C7, com um aumento no resultado de espalhamento em 26%. Ao considerar as composições que continham SP e P, verificou-se que o melhor comportamento foi de C8, com pequena diminuição no resultado do espalhamento em C12 de 3% e em C10 de 8%. Como esperado, o teste foi claramente sensível à presença de aditivos químicos.

3.2 Estado endurecido

3.2.1 Resistência à compressão

Os resultados dos testes de resistência à compressão são mostrados na Figura 12 (a) para as composições sem o uso de SP e P, e na Figura 12 (b) para composições com o uso de aditivos químicos SP e P.

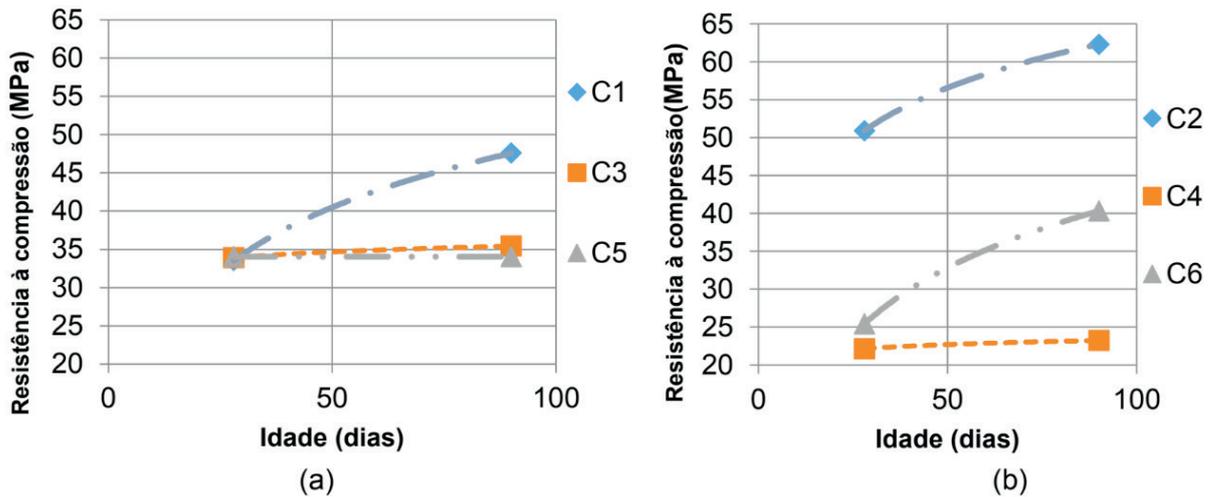


Figura 12 - (a) Resultados sem aditivos químicos; (b) Resultados usando aditivos químicos.

A partir dos resultados apresentados no gráfico da Figura 12 (a), verificou-se que até os 28 dias de idade, as três composições sem aditivos químicos apresentaram valores de resistência à compressão semelhantes. Entretanto, aos 90 dias de idade, a composição de referência C1 apresentou um resultado melhor que C3 e C5, 38,9% de crescimento em relação à resistência média destas composições. Ao analisar os resultados apresentados no gráfico da Figura 12 (b), na qual as três composições tiveram a presença de aditivos químicos, verificou-se que para as duas idades testadas, a composição de referência C2 apresentou a maior resistência à compressão. Contudo, as composições C4 e C6 apresentaram menores valores de resistência à compressão para todas as idades testadas, onde o desempenho de C4 foi de cerca de 37% em relação a C2 e de 58% em relação a C6 aos 90 dias, mas aos 28 dias, foi de 44% e 87%. Considerando a resistência à compressão, a aplicação de R_{seco} promoveu redução da resistência à compressão quando comparado ao outro resíduo testado. Destaca-se a compatibilidade da associação de resíduos com os aditivos químicos SP e P, onde foi possível identificar a melhoria do desempenho da curva de resistência à compressão com o aumento da idade da argamassa.

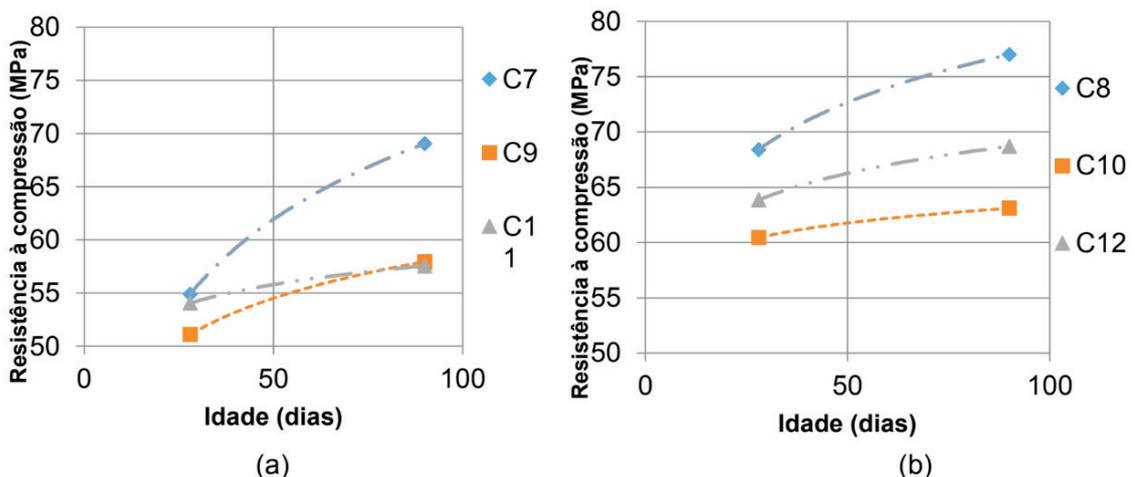


Figura 13 - (a) Resultados sem aditivos químicos; (b) Resultados usando aditivos químicos.

Os resultados dos testes de resistência à compressão são mostrados no gráfico da Figura 13 (a) para as composições sem o uso de SP e P, e na Figura 13 (b) para composições com o uso de SP e P. A partir dos resultados apresentados no gráfico da Figura 13 (a), verificou-se que até os 28 dias, as três composições sem aditivos químicos estavam com valores de resistência próximos. No entanto, aos 90 dias de idade, a composição de referência C7 apresentou um resultado melhor que C9 e C11, 13,9% de crescimento em relação à resistência média destas composições. Ao avaliar os resultados apresentados no gráfico da Figura 13 (b), onde as três composições tiveram a presença das misturas químicas, verificou-se que para as duas idades testadas, a composição de referência C8 apresentou a maior resistência à compressão. Contudo, as composições C10 e C12 apresentaram menores valores de resistência à compressão para todas as idades testadas, onde o desempenho de C10 foi de 82% em relação ao C8 e C12 o desempenho foi de cerca de 89% em relação ao C8.

3.2.2 Absorção por capilaridade

Os gráficos mostram os resultados dos valores médios encontrados para a absorção por capilaridade em g/cm^2 , de 60 dias. Todos os resultados apresentaram coeficiente de variação inferior a 5%. Com isso, o resultado final foi o resultado médio entre as duas amostras com a menor variância entre elas. A Figura 14 (a) mostra o gráfico das composições que não tiveram a presença dos aditivos químicos SP e P. A Figura 14 (b) mostra o gráfico para as composições tendo a presença dos aditivos químicos SP e P.

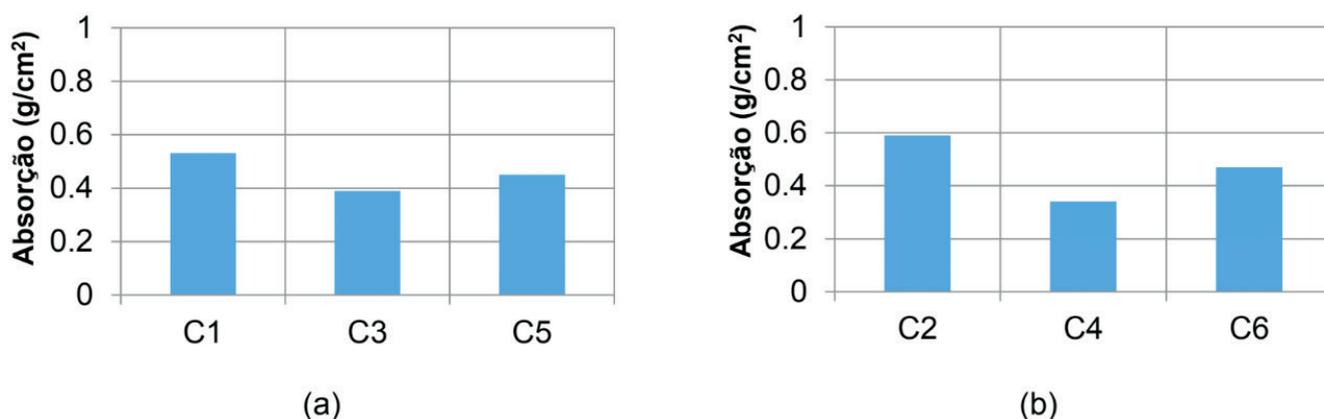


Figura 14 - (a) Resultados sem aditivos químicos; (b) Resultados usando aditivos químicos.

Verificou-se que os dois resíduos quando adicionados nas composições com e sem SP e P, quando comparados com C1 e C2, composições de referência sem qualquer adição de resíduo, promoveram redução da absorção de água por capilaridade com melhor desempenho para R_{seco} , seguido de R_{cinza} .

A Figura 15 mostra os resultados dos valores médios encontrados para a absorção

por capilaridade em g / cm², idade de 60 dias. A Figura 15 (a) mostra o gráfico das composições que não tiveram a presença dos aditivos químicos SP e P. A Figura 15 (b) mostra o gráfico das composições tendo a presença dos aditivos químicos SP e P.

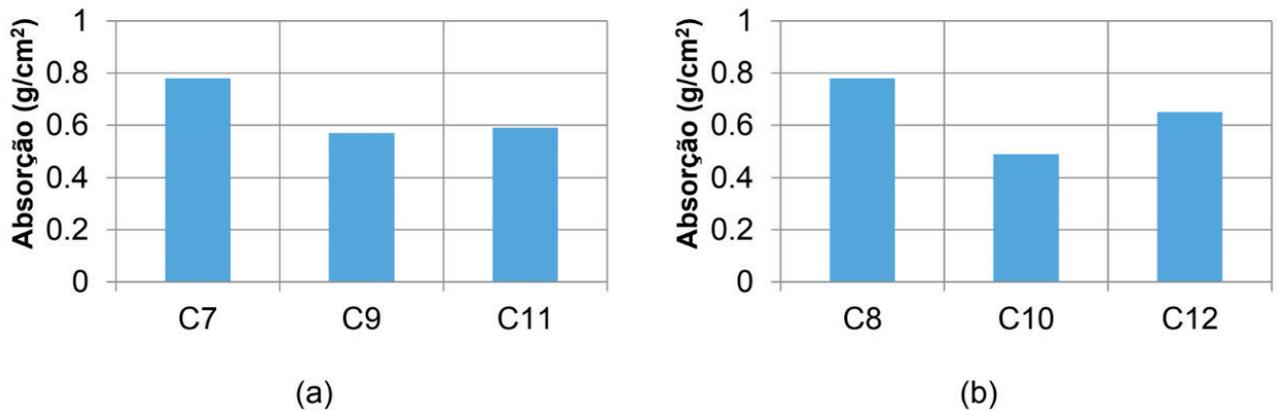


Figura 15 - (a) Resultados sem aditivos químicos; (b) Resultados usando aditivos químicos.

Compararam-se os resultados de R_{seco} e R_{cinza} . Ambos promoveram redução da absorção de água por capilaridade com melhor desempenho para R_{seco} (C9 e C10), seguido de R_{cinza} (C11 e C12). Os resultados são semelhantes, com tendência para uma menor absorção de água por capilaridade nas composições que incorporam resíduos, em particular nas composições com R_{seco} .

3.2.3 Ascensão Capilar

Os gráficos apresentam os resultados dos valores médios encontrados para o aumento capilar como uma porcentagem do valor medido em centímetros em relação à altura de 10 cm, para a idade de 60 dias. A Figura 16 (a) mostra o gráfico das composições que não continham os aditivos químicos SP e P: C1, C3 e C5. A Figura 16 (b) mostra o gráfico das composições contendo os aditivos químicos SP e P: C2, C4 e C6.

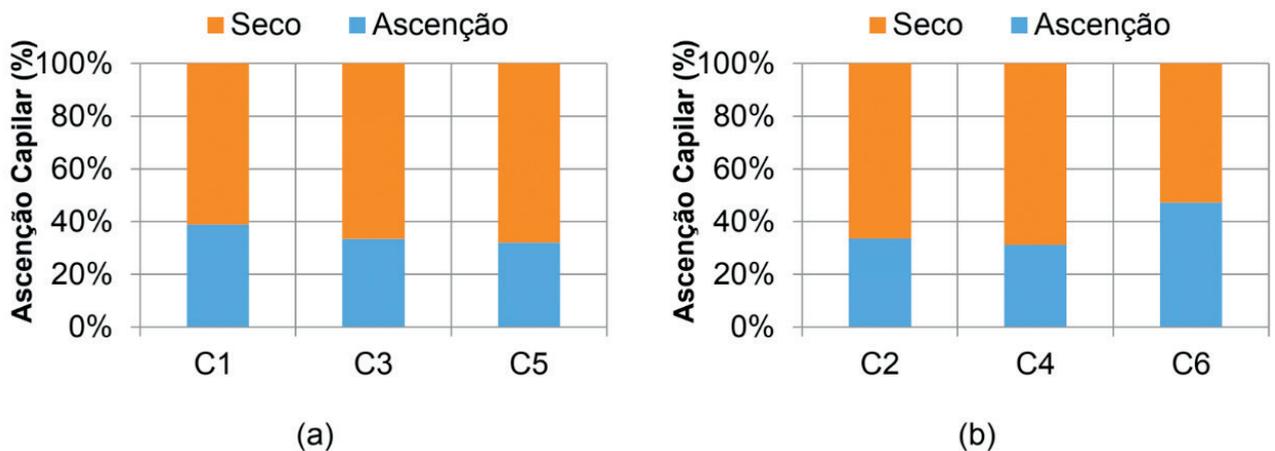


Figura 16 - (a) Resultados sem aditivos químicos; (b) Resultados usando aditivos químicos.

Ao analisar o gráfico da Figura 16 (a), onde todas as composições não possuíam aditivos químicos, verificou-se um melhor desempenho de R_{cinza} e uma pequena redução do desempenho de R_{seco} . Verificou-se que o resíduo R_{seco} , conforme a Figura 16 (b), quando comparado ao C2, trouxe um desempenho ligeiramente melhor com a redução do aumento capilar, enquanto o R_{cinza} aumentou 25% o aumento capilar em relação a C2.

Os gráficos abaixo apresentam os resultados dos valores médios encontrados para o aumento capilar como uma porcentagem do valor medido em centímetros em relação à altura de 10 cm, para a idade de 60 anos. dias. A Figura 17 (a) mostra o gráfico das composições que não continham as misturas químicas SP e P. A Figura 17 (b) mostra o gráfico das composições contendo as misturas químicas SP e P.

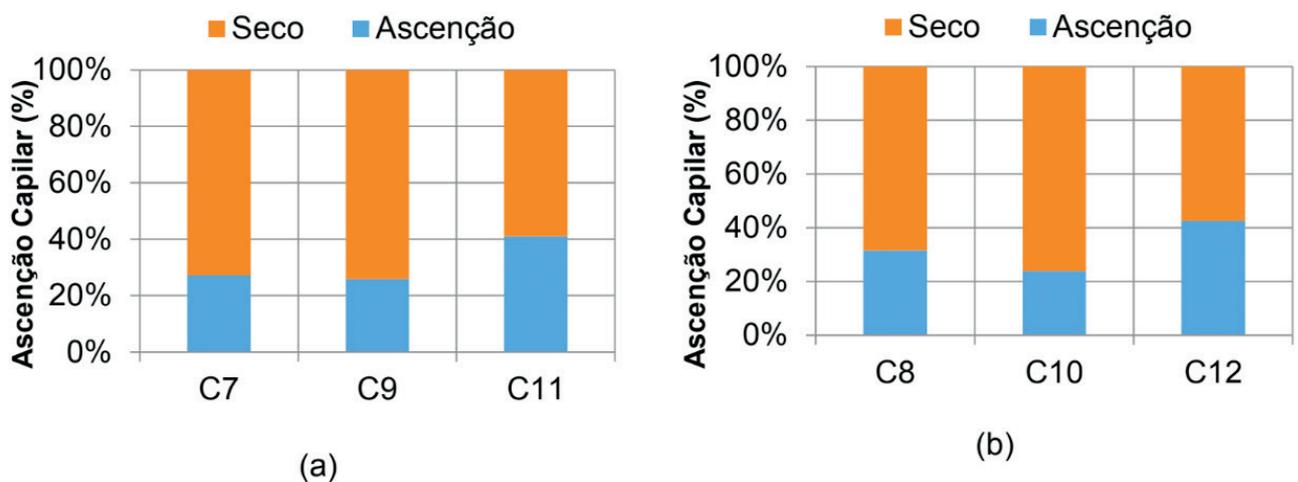


Figura 17 - (a) Resultados sem aditivos químicos; (b) Resultados usando aditivos químicos.

Ao analisar o gráfico da Figura 17 (a), verificou-se um melhor desempenho de R_{seco} e redução do desempenho de R_{cinza} quando relacionado a C7. Verificou-se que o resíduo R_{seco} , conforme Figura 16 (b), quando comparado ao C8, apresentou melhor desempenho com redução do aumento capilar, enquanto que R_{cinza} aumentou em 35% em relação a C8. Os resultados são, em geral, de acordo com a análise feita anteriormente para as Figs. 14 e 15, observando que existe uma tendência para as composições com R_{cinza} serem superiores às das composições de referência.

3.2.4 Índice de vazios

Os gráficos apresentam os resultados dos valores médios encontrados para o índice de vazios, em porcentagem (%), para a idade de 60 dias. A Figura 18 (a) mostra o gráfico das composições sem a presença dos aditivos químicos SP e P. A Figura 18 (b) mostra o gráfico das composições com a presença de SP e P.

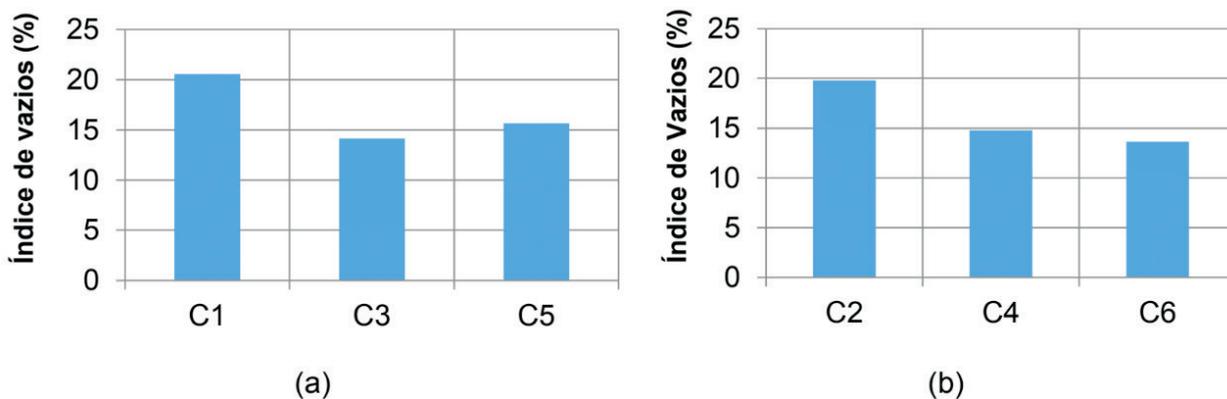


Figura 18 - (a) Resultados sem aditivos químicos; (b) Resultados usando aditivos químicos.

Analisando a Figura 19 (a), onde os resíduos foram testados sem SP e P, quando comparados a C1, R_{seco} apresentou melhores resultados que R_{cinza} . Quando adicionado às composições com aditivos químicos SP e P, quando comparado a C2, verificou-se que os dois resíduos promoveram redução do índice de vazios com desempenho equivalente entre eles; estes foram os melhores resultados para R_{cinza} , depois para R_{seco} . Ao analisar a Figura 19 (b), R_{seco} e R_{cinza} apresentaram desempenho superior à composição C2. A presença de SP e P não alterou significativamente o índice de vazios. Os gráficos apresentam os resultados dos valores médios encontrados para o índice de vazios de ar para as composições apresentadas na Tabela 3, em porcentagem (%), para a idade de 60 dias. A Figura 19 (a) mostra o gráfico das composições sem os aditivos químicos SP e P. A Figura 19 (b) mostra o gráfico das composições com a presença de SP e P.

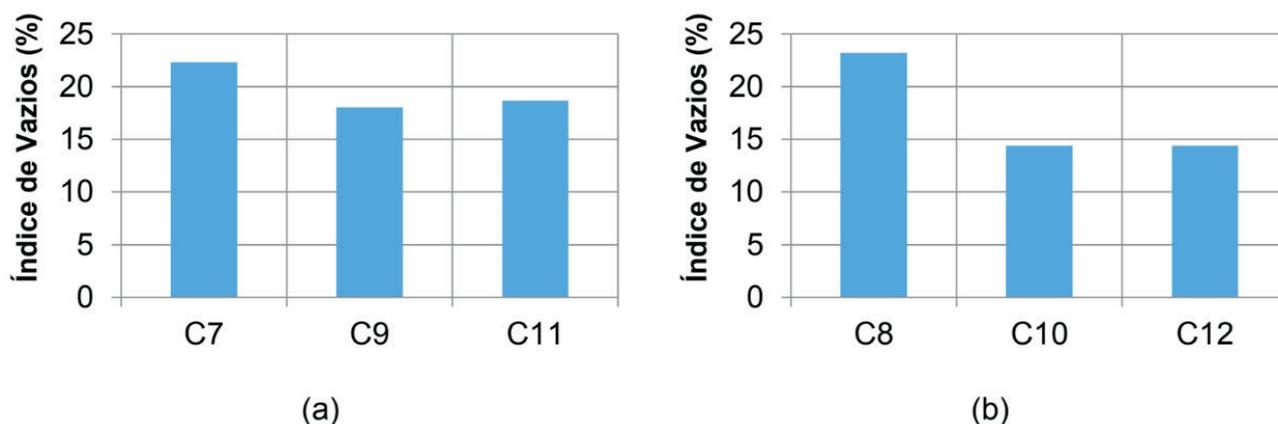


Figura 19 - (a) Resultados sem aditivos químicos; (b) Resultados usando aditivos químicos.

Verificou-se que os dois resíduos quando adicionados nas composições sem aditivos químicas SP e P, quando comparados a C7, composição de referência sem adição de resíduo, promoveram redução do índice de vazios com desempenho equivalente entre eles, tendo sido o melhor resultado para R_{seco} . Ao analisar a Figura 19 (b), R_{seco} e R_{cinza} apresentaram desempenho superior à composição C8. O comportamento das composições

com R_{seco} e R_{cinza} em relação às composições de referência é semelhante, além da troca de cimento e da mudança da razão a / l . No entanto, há uma pequena mudança de desempenho entre os resíduos R_{seco} e R_{cinza} , especialmente com a presença de SP + P. As composições mais fluidas resultaram em argamassas endurecidas mais compactas com menos volume de vazios. Isto é mostrado (Fig. 18) uma vez que os vazios de ar das composições C10 e C12 eram, em comparação com C9 e C11, inferiores.

4 | CONCLUSÕES

A partir dos resultados encontrados, foi possível estabelecer os seguintes indicativos:

- Houve mudanças previsíveis de comportamento das composições com resíduo quando confrontadas com os valores encontrados para as composições de referência, sem resíduos, adotadas;
- Com relação ao tempo de pega, verificou-se que o R_{seco} , quando aplicado sem a presença de aditivos químicos, apresentou um tempo de pega inicial mais longo quando comparado às demais composições;
- Ao analisar o índice de consistência, verificou-se a viabilidade dos dois resíduos estudados, tanto nas composições que não continham SP e P, quanto nas composições com os aditivos químicos;
- Para a resistência à compressão, os dois resíduos estudados apresentaram comportamento semelhante. Embora as resistências à compressão em todas as idades estudadas tenham sido inferiores à composição de referência, não houve redução significativa, havendo ainda viabilidade técnica para o uso dos resíduos;
- Os testes de durabilidade demonstraram que há viabilidade técnica no uso dos dois resíduos, especialmente quando aplicados com os aditivos químicos SP e P;
- O principal objetivo da pesquisa foi verificar a viabilidade do uso de um resíduo gerado pela utilização de outro resíduo, como é o caso do bioetanol celulósico da cana-de-açúcar. Consideramos esse objetivo alcançado, pois não há outros estudos na comunidade científica usando este mesmo resíduo;
- Por fim, os resultados mostraram que houve viabilidade técnica para a aplicação dos resíduos estudados, incentivando a continuidade da pesquisa com o uso de novas composições, porcentagem de reposição, testes e variáveis de análise.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 65**: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro. 2003.

____ **NBR 7215**: Cimento Portland - Resistência a Compressão. Rio de Janeiro. 1996.

____ **NBR 7222**: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2011.

____ **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro. 2005.

____ **NBR 9779:** Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro. 2012.

____ **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro. 2002.

Ataie, F. F., & Riding, K. A. **Use of bioethanol byproduct for supplementary cementitious material production.** Construction and Building Materials, 2014, 51, 89-96.

Betat, E.F.; *et. al.* **Concretos produzidos com resíduos do beneficiamento de ágata: avaliação da resistência à compressão e do consumo de cimento.** RM. 2009, 14, 1047-1060.

Biomass Magazine. **Scientists build stronger, greener concrete with lignin.** Disponível em: <http://biomassmagazine.com/articles/8756/scientists-build-stronger-greener-concrete-with-lignin> (acessado em 1 de maio de 2017).

Calado, C.; *et. al.* **Aplicação de lignina para adição ao cimento em argamassas de composições de concreto.** 59 Congresso Brasileiro do Concreto. Bento Gonçalves, IBRACON, Out-Nov 2017.

Camões, A.; Aguiar, B.; Jalali, S., **Estimating Compressive Strength of Concrete by Mortar Testing,** In Proceedings of INCOS'05, International Conference on Concrete for Structures, University of Coimbra, Portugal, 7-8 July 2005, S. Lopes, I. Pinto, L. Bernardo, L. Oliveira and R. Carmo ed., pp. 121-127, <http://hdl.handle.net/1822/4864>.

CBIC. **Produção e consumo de cimento no Brasil.** Disponível em: <http://www.cimentoverdedobrasil.com.br/producao-e-consumo-de-cimento-no-brasil/> (acessado em 2 de Outubro de 2017).

Daczko, J. **Mortar Testing for Estimating Strength.** Concrete International, ACI, 1999, p. 63-67

ECYCLE. **Etanol celulósico é alternativa mais sustentável na produção de combustível por meio de biomassa.** Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/35/1600-etanol-celulosico-e-alternativa-mais-sustentavel-na-producao-de-combustivel-por-meio-de-biomassa.html> (acessado em 7 de novembro de 2018).

Lucas, D.; Benatti, C.T. **Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil.** RAMA. 2008, 1, 405-218.

Milanez, A.Y.; *et. al.* **De promessa a realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar: uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública.** BNDES Setorial. 2015, 41, 237-294.

Raízen. **Tecnologia em energia renovável: etanol de segunda geração.** Disponível em: <https://www.raizen.com.br/energia-do-futuro-tecnologia-em-energia-renovavel/etanol-de-segunda-geracao> (acessado em 10 de julho de 2018).

ESTUDO DO USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) DE MACEIÓ, COMO AGREGADO RECICLADO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E ASSENTAMENTO

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 03/04/2020

Raone Bruno de Oliveira Silva

Engenheiro Civil, Centro Universitário CESMAC

Maceió – Alagoas

<http://lattes.cnpq.br/6874443503181170>

Renato Antônio Santos Rolim

Engenheiro Civil, Centro Universitário CESMAC

Maceió – Alagoas

Marcos André Melo Teixeira

Mestre Eng. Civil, Tribunal Regional Eleitoral de Alagoas

Maceió – Alagoas

<http://lattes.cnpq.br/1079730623613352>

Pedro Gustavo dos Santos Barros

Mestre Eng. Civil, Ministério da Economia

Maceió – Alagoas

<http://lattes.cnpq.br/1278997003040330>

RESUMO: Um dos maiores responsáveis pela extração e consumo dos recursos naturais é o setor de construção civil. Na mesma proporção, é também um dos que principalmente respondem pela geração de resíduos sólidos, sendo os de construção e demolição (C&D) os mais significativos. A reciclagem é um caminho indispensável a

médio e longo prazo. Fazer a inserção destes rejeitos na cadeia produtiva da construção civil é uma solução para a minimização do volume de entulho gerado, além do fato que o seu reaproveitamento é uma medida viável para a redução de custos. Contudo, o resíduo de construção e demolição (RCD) varia de acordo com a cultura e necessidade de cada região, fato que implica quanto a possível viabilidade em seu reaproveitamento e, por consequência, reciclagem. Então, foi questionado se o RCD gerado em Maceió possui viabilidade, potencial e funcional, quanto ao seu uso como agregados reciclados em argamassas de revestimento e assentamento. A resposta foi dada mediante análise da composição gravimétrica de quatro amostras coletadas de entulho em distintos bairros da cidade, comprovando a sua aptidão para o uso proposto. Posteriormente, realizou-se buscas por estudos que avaliaram o comportamento das argamassas de revestimento e assentamento que utilizam agregados de RCD em sua composição. Comprovou-se então a sua viabilidade técnica e ambiental, sendo essa uma excelente alternativa para a reutilização do RCD.

PALAVRA-CHAVE: Resíduo de Construção e Demolição (RCD). Argamassa de Revestimento e Assentamento. Reciclagem.

STUDY OF THE USE OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE (CDW) FROM MACEIÓ, AS RECYCLED AGGREGATES IN COATING AND SEALING MORTARS

ABSTRACT: One of the major responsible for the extraction and consumption of natural resources is the construction sector. In the same proportion, it is also one of those that mainly respond for the generation of solid residues, being those of construction and demolition (C&D) the most significant. Recycling is an indispensable path in the medium and long term. Inserting these wastes into the civil construction productive chain is a solution to minimize the volume of rubbish generated, besides the fact that its reuse is a viable measure for reducing costs. However, the construction and demolition waste (CDW) varies according to the culture and need of each region, which implies the possible feasibility in its reuse and, consequently, recycling. It was then questioned whether the CDW generated in Maceió has potential and functional feasibility for its use as recycled aggregates in coating and settlement mortars. The answer was given by analyzing the gravimetric composition of four samples collected from rubble in different districts of the city, proving their suitability for the proposed use. Afterwards, it was searched the studies that assessed the performance of coating and settlement mortars that use aggregates of construction and demolition residues in their composition. Its technical and environmental viability proved to be an excellent alternative for the reuse of CDW.

KEYWORDS: Construction and Demolition Waste (CDW). Coating and settlement mortars. Recycling.

1 | INTRODUÇÃO

Um dos maiores responsáveis pela extração e consumo dos recursos naturais é o setor de construção civil. Na mesma proporção, é também um dos que principalmente respondem pela geração de resíduos sólidos, sendo os de construção e demolição (C&D) os mais significativos.

A destinação correta para tais rejeitos seriam em aterros específicos após uma pré-avaliação quanto a um possível reuso ou reaproveitamento. Quando descartado das construções, como material praticamente inerte, o entulho causa ônus e problemas associados ao seu volume, que geralmente é bastante significativo, chegando a ocupar em torno de 50% do volume total dos aterros públicos de algumas cidades brasileiras (IPT, 2000).

Em meio às inúmeras obras de incentivo à habitação popular, reforços no processo de recuperação e ampliação da infraestrutura brasileira, há a necessidade de um controle maior quanto às sobras desse setor, uma vez que o seu expressivo volume diminui a vida útil dos aterros sanitários e a disponibilidade de espaços para bota-foras está cada menor.

A reciclagem é um caminho indispensável a médio e longo prazo, contudo, os agregados reciclados de RCD (resíduo de construção e demolição) geralmente são utilizados somente em atividades de pavimentação e em obras públicas, que tem a

capacidade de absorver o equivalente a 30% do total de resíduos gerados (SILVA, SILVA, s.d.).

Nesse sentido, a utilização de agregados reciclados em argamassas de revestimento e assentamento surge como alternativa para atender à enorme demanda de materiais inertes utilizados nestes serviços, uma vez que esse material apresenta desempenho adequado, conforme vários trabalhos publicados sobre o tema (PINTO, 1998).

Além disso, o seu uso promove a diminuição de custos, ajuda a solucionar parte do problema de destinação final deste material e contribui para a melhoria das condições ambientais do país (SANTANA *et al.*, 2001).

A cidade de Maceió possui atualmente mais de 1 milhão de habitantes, a expansão imobiliária na capital alagoana é crescente, apresentando como consequência um elevado índice de geração de resíduos da construção civil, necessitando, assim, de medidas urgentes de controle, de gerenciamento e soluções adequadas em caráter permanente para os resíduos já mencionados.

A inserção desses rejeitos na cadeia produtiva da construção civil é uma solução para a minimização do volume de entulho gerado, além do fato que a sua transformação em agregado é uma medida viável para a redução de custos da construção.

Contudo, os citados resíduos variam de acordo com a cultura e necessidade de cada região, fato que implica quanto a possível viabilidade em seu reaproveitamento e, por consequência, reciclagem. Assim, foi questionado se os resíduos de construção e demolição gerados em Maceió possuem viabilidade potencial quanto ao seu uso como agregados reciclados em argamassas de revestimento e assentamento.

2 | METODOLOGIA

A metodologia utilizada na parte inicial deste projeto tratou-se de pesquisa científica descritiva, analisando e interpretando os dados obtidos em livros, periódicos, revistas técnicas, dissertações, e entre outros meios, de forma a compor o referencial teórico da pesquisa.

A segunda etapa do projeto contemplou ações de campo, onde foram feitas coletas de amostras dos resíduos de construção e demolição em diferentes pontos da cidade de Maceió para realização da caracterização.

Para caracterizar os resíduos de construção e demolição, quanto a sua composição, foi utilizada a metodologia da determinação gravimétrica, se valendo do processo de quarteamento instituído pela NBR NM 27/2001 – “Agregados – Redução da mostra de campo para ensaio de laboratório”. Foram obtidas amostras de diversos locais da cidade, sendo procedida a caracterização e registro do local de retirada da amostra; estas foram retiradas com base na NBR 10.007/2004 – “Amostragem de resíduos sólidos”, que fixa os requisitos exigíveis para amostragem de resíduos sólidos.

Para a caracterização granulométrica do resíduo utilizou-se a metodologia trazida na NBR NM 248/2003 – “Agregados – Determinação da composição granulométrica”, que prescreve o método para determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto.

De posse desses primeiros resultados, a pesquisa definiu se os rejeitos estudados possuíam a capacidade para reciclagem. Comprovada a exequibilidade, o projeto realizou buscas por estudos que identificavam quais são as principais propriedades das argamassas de revestimento e assentamento, assim como avaliaram o comportamento daquelas que utilizam agregados de RCD em sua composição comparadas com o das ditas convencionais.

3 | RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

3.1 A geração e os impactos do RCD

A cidade de Maceió encontra-se em intensa urbanização, e em virtude de tal crescimento desordenado, nota-se diariamente um aumento na geração de resíduos de construção e demolição (RCD), que são frequentemente destinados ao aterro sanitário, onde os resíduos são convertidos apenas em material para base e sub-base em obras de pavimentações, ou então dispostos em depósitos clandestinos, leitos de rios, vias ou calçadas, terrenos baldios, entre outros locais impróprios.

Sem possuir um investimento e incentivo maior para o seu reaproveitamento e reciclagem, o citado rejeito também acarreta em impactos econômicos. Levando-se em conta o seu expressivo volume, os gastos necessários quanto ao seu devido manejo e tratamento são altos, e são, principalmente, assumidos pelo Poder Público.

Outro ponto a ser considerado, é que “por não apresentarem mau cheiro, em um primeiro momento os resíduos de construção civil (RCC) parecem não oferecer riscos à saúde, o que é uma ideia equivocada. Dependendo da sua composição podem existir materiais nocivos, há também a poluição visual, a degradação da área urbana e o fato de ser um atrativo para animais vetores de doenças (SILVA, TEIXEIRA, 2012)”.

3.2 Classificação do RCD

Segundo a Resolução 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), 2004, os resíduos de construção civil são provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc; comumente chamado de entulho de obras, caliça ou metralhas.

Por sequência reaproveitamento e reciclagem, faz-se necessário uma divisão por classes, onde a citada resolução refere-se da seguinte forma:

Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) de construção demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassas e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

Classe B – são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso;

Classe C – são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;

Classe D – são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas, reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Em se tratando da destinação, a resolução referida completa:

Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros;

Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo disposto de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;

Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas;

Classe D: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

3.3 Caracterização e variação do RCD

A caracterização consiste na etapa em que após classificação, é conhecido o quantitativo e a espécie de cada material que compõe o RCD. Ela pode ser realizada mediante análise de parâmetros químicos ou físicos. A caracterização física auxilia, por exemplo, ao reconhecimento daquele componente que possui maior colaboração quanto ao volume de descarte; enquanto que a química identifica possíveis nocividades do entulho. Por seguinte, ambas são importantes para o preparo de estudos que tratem da reaplicação e da reciclagem para com os rejeitos pesquisados.

Deve-se considerar que o estágio em que a edificação se encontra é outro agente

causador de mudanças quanto ao tipo e a quantidade do resíduo gerado. Para Almeida e Albuquerque, 2008, a distinta variação entre a composição física e a quantidade dos resíduos de construção e demolição entre as cidades se deve a diversos fatores, que possuem peculiaridades às circunstâncias locais como: avanço econômico e tecnológico da região; demanda por novas construções; nível de desenvolvimento da indústria da construção civil local; qualidade e treinamento da mão de obra disponível; técnica de construção e de demolição empregada; adoção de programas de redução de perdas e desperdícios e da melhora da qualidade; adoção de processos de reciclagem com reutilização dos materiais predominantes disponíveis na região.

3.4 Gerenciamento do RCD

A Resolução CONAMA 307, através de critérios e procedimentos, expõe orientações para o gerenciamento de resíduos sólidos. Esse gerenciamento envolve ações, de modo direto ou indireto, em atividades relacionadas à coleta, transporte, tratamento, destinação e disposição finais ambientalmente adequadas dos rejeitos.

Isso faz com que outras pessoas, físicas ou jurídicas, estejam envolvidas com o manejo do RCC. Contudo, a resolução é clara e objetiva ao indicar que a responsabilidade pelo RCC é do gerador. Mesmo assim, os demais envolvidos ainda possuem as suas obrigações e também respondem pelas próprias ações e/ou inclusive as dos outros.

Embora a responsabilidade pela destinação correta dos resíduos seja do gerador, seja ele público ou privado, de acordo com a resolução CONAMA nº 307 de 2004, pequenos geradores não respeitam essa determinação, causando situações de deposição desse material em vias públicas, terrenos baldios ou a beira de córregos. Essa degradação da paisagem urbana estimula a criação de pequenos lixões a céu aberto que contribuem para a proliferação de vetores de doenças e o entupimento dos sistemas de drenagem (FILHO, TORRES, 2012).

Desse mesmo modo, o município responsabiliza-se, junto aos Estados, com a elaboração de um Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil, que deverá fornecer informações quanto às obrigações de pequenos e grandes geradores de RCC e a parte documental quanto à liberação de áreas, públicas ou privadas, aptas para o manejo e destinação ambientalmente adequados dos rejeitos em questão.

Através do Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil as construtoras devem se basear na preparação de seu Projeto de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil (PGRCC). Por sua vez, o PGRCC deve levar em consideração ações que busquem soluções para o RCC produzido sob perspectiva do desenvolvimento sustentável e, primeiramente, difundir a não geração de resíduos.

3.5 Reciclagem do RCD

Em se tratando do Brasil, o mercado da reciclagem de entulho anda a passos lentos. Apenas algumas práticas relacionadas ao reaproveitamento e reciclagem são aplicadas

dentro do canteiro; as mais comuns são a utilização do material de escavação para reaterros e a destinação de materiais que não possuem utilidade direta na obra, mas são passíveis para a reciclagem fora do canteiro, para centros de reciclagem.

O ideal seria se a reutilização e reciclagem na obra do RCD fossem práticas constantes e incorporadas ao dia a dia das construtoras como parte integrante do planejamento e execução das obras. Porém, no Brasil essa prática ainda é vista como uma sobrecarga de trabalho e até mesmo como empecilho para o bom andamento dos serviços e seus prazos (LIMA, LIMA, s.d.).

Outro ponto que evidencia a situação desfavorável à temática está relacionado aos procedimentos típicos na demolição convencional, onde os materiais são removidos de modo geral e não por etapas em que haja uma separação por categoria, fato que possibilita, desde já, a segregação por classe e um resíduo livre de contaminação.

A reciclagem de resíduos da construção civil agrega valor ao entulho e reduz significativamente o volume da deposição de rejeitos, aumentando o tempo útil de vida dos aterros e minimizando também a exploração de recursos naturais.

De acordo com Silva e Teixeira (2012), instituir incentivos fiscais para as empresas que beneficiam os RCCs, as chamadas Usinas de Reciclagem, é uma das maneiras de estimular a reutilização e a reciclagem deste material, onde tais incentivos devem ser no âmbito dos impostos municipais e estaduais, possibilitando uma ação conjunta entre os entes governamentais e potencializando os ganhos ambientais e sociais, pois, conseqüentemente irão surgir novos postos de empregos, nestas novas empresas.

Ainda segundo os últimos autores citados, os entes governamentais devem maximizar as suas ações de fiscalizações, não só para empresas que transportam os RCCs, mas também para as empresas geradoras, pois tal atuação assegura um material de qualidade superior, totalmente segregado, oportunizando uma taxa maior de reciclagem deste resíduo.

4 | AS ARGAMASSAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

4.1 Definições, composições e uso

Segundo Baía e Sabbatini (2001), entre vários componentes que constituem uma edificação, as argamassas fazem parte das vedações verticais e horizontais; e, assim como os demais elementos básicos de uma edificação, deve cumprir as suas funções específicas para contribuição do desempenho final da obra.

A NBR 13281/2005 define argamassa como “Mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada)”.

Para que as argamassas tenham um adequado desempenho é necessário primeiro que se tome conhecimento para qual finalidade a mesma terá. De posse dessa informação é possível obter a sua composição e dosagem (traço), visto que os materiais e proporções de seus componentes implicam diretamente quanto ao seu desempenho

A composição de uma argamassa está relacionada à que tipo de materiais serão necessários para sua preparação; enquanto que a dosagem está ligada as proporções desses componentes, sendo a dosagem comumente conhecida por traço. O traço é medido em volume e sempre é indicado com base do volume de aglomerante para o agregado. Parâmetros físico-químicos também são levados em consideração de modo que assegurem as propriedades da argamassa preparada.

O traço em peso nos daria segurança absoluta quanto à qualidade da argamassa e quantidade no consumo e apropriação de custos. Todavia, é impraticável no canteiro de obra.

Os traços das argamassas são tradicionalmente indicados em volumes.

Assim, uma argamassa de cimento e areia 1:3 significa que no seu preparo entra um volume de cimento para cada três volumes de areia. Quanto a esta é imprescindível que se adicione a informação sobre o seu teor de umidade, ou se se trata de areia seca. E isso devido ao fenômeno do inchamento da areia em função do teor de umidade (FIORITO, 1994).

Por esse motivo as argamassas industrializadas tornaram-se comuns nos canteiros de obras, visto que as dosagens e composição são garantidas por seus fabricantes. Mesmo com essas garantias, quando as argamassas são aplicadas em revestimentos a elaboração de projetos dentro do mesmo segmento é imprescindível.

Conforme Baía e Sabbatini (2001), o projeto do revestimento é de suma importância para que se alcance o melhor desempenho deste revestimento, significando um aumento na qualidade e produtividade, redução das falhas, desperdícios e custos.

Os autores completam que esse projeto deve ser preparado considerando um conjunto de informações do revestimento desejado junto às condições quais serão sujeitas, tendo por fim todas as definições quanto às características de sua forma de produção, além das características dos materiais a serem empregados.

4.2 Funções e classificação

A classificação das argamassas pode vir a ser feita por diferentes parâmetros. Segundo Costa (2010), elas podem estar divididas de acordo com a sua finalidade, aplicação, propriedades especiais, tipo de aglomerante, teor de aglomerantes, quantidade de aglomerantes, natureza do aglomerante, consistência e forma de preparo.

Para este trabalho definiremos apenas quanto a finalidade; logo, as argamassas se separam em:

- a. em revestimento de piso, contrapiso;

- b. assentamento, em alvenaria, revestimentos cerâmicos (argamassas colantes);
- c. rejuntamento, revestimentos cerâmicos, rochas ornamentais;
- d. argamassa armada;
- e. recuperação de estruturas, como a argamassa de reparo.

Para Baía e Sabbatini (2001), as argamassas de revestimento são responsáveis por importantes funções, na qualidade de: proteger os elementos de vedação da edificação da ação direta de agentes agressivos; auxiliar as vedações a efetuar suas funções, como por exemplo, isolamento termoacústico e a estanqueidade à água e aos gases; regularização da superfície dos elementos de vedação, servindo de base regular e adequando o recebimento de outros revestimentos ou tornar-se o acabamento final; contribuir para a estética da fachada.

Ainda de acordo com os autores mencionados acima, não cabe ao revestimento com argamassa ocultar imperfeições abusivas da base, muitas vezes desaprumada e desalinhada devido à má execução na fase de estrutura e alvenarias, visto que tal prática compromete o desempenho adequado e real das funções do revestimento.

4.3 Propriedades das argamassas

Para desenvolver um adequado desempenho, as argamassas devem manifestar, simultaneamente, uma reunião de propriedades tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Para Baía e Sabbatini (2001), através do entendimento dessas propriedades e conhecimento dos fatores que influenciam a sua obtenção é possível prever o comportamento das argamassas em diferentes situações.

Conforme os últimos autores mencionados, as principais propriedades da argamassa no estado fresco são: massa específica e teor de ar, trabalhabilidade, retenção de água, aderência inicial e retração na secagem; enquanto no estado endurecido: aderência, capacidade de absorver deformações, resistência mecânica, resistência ao desgaste e durabilidade.

4.4 Produção e propriedades das argamassas com agregados reciclados

Segundo Almeida e Albuquerque, 2008, depois do concreto, o uso de argamassa composta por agregados reciclados vem se tornando um importante aliado na reciclagem de RCD; por seqüência, nota-se o crescente estudo sobre a utilização de RCD em argamassas e concreto onde a substituição de agregados naturais é feita por agregados reciclados de forma parcial e inclusive total.

Essas reciclagens são possíveis quando há predominância de resíduos classe A; ricos em compostos cerâmicos, argamassas e concreto. A substituição do agregado natural pelo agregado reciclado se deve através da trituração do entulho até que chegue a

granulometria semelhante ao composto natural. Enquanto que os estudos são realizados mediante ensaios que avaliam os comportamentos das argamassas compostas por resíduos recicláveis, elaboradas em diferentes traços e distintas proporções, comparadas as argamassas ditas convencionais diante as suas propriedades físicas e mecânicas nos estados fresco e endurecido.

Levy (1997) realizou experimentos utilizando quatro tipos de materiais que compõem o entulho, processando-os em moinho de rolo. Foram, então, produzidos 8 diferentes tipos de argamassas com o material processado. A partir desses estudos, foi observado que a utilização de agregados reciclados permitiu uma redução de 30% no consumo de cimento da argamassa e um incremento nas propriedades mecânicas, em função do teor de materiais cerâmicos presentes no entulho. Os resultados desse trabalho demonstram que a utilização do agregado reciclado miúdo para a produção de argamassas apresenta vantagens, principalmente pela redução no consumo de cimento.

Hamassaki; Sbrighi; Florindo (1996) avaliaram a influência do agregado reciclado nas argamassas, partindo de um traço referência 1:6 (cimento: areia, em volume) com uso de cal. Esses estudos mostram um incremento na resistência à compressão das argamassas aos 28 dias, quando é usado o agregado reciclado. Não foi avaliada a influência do agregado reciclado na retenção de água, uma vez que a cal interfere significativamente nessa propriedade.

Silva *et al.* (1997) estudaram quatro traços experimentais de argamassas com adição de agregado reciclado numa obra de Salvador. Essas argamassas apresentaram comportamento satisfatório no estado fresco e endurecido, evidenciando uma redução no consumo de cimento.

Recentemente, Miranda (2000) analisou parâmetros que podem prevenir a fissuração de revestimentos de argamassas que contêm agregado reciclado. Avaliou, para tal, fatores relativos ao tipo de entulho, sua proporção nas argamassas e o tipo de técnica construtiva utilizada para esses revestimentos (SANTANA, *et al.*, 2001).

Percebe-se então que a produção de argamassas com agregado reciclado não apresenta diferenças significativas das argamassas convencionais. Pois, a depender das propriedades analisadas, os estudos realizados encontraram desempenho melhor nas argamassas compostas com material reciclado, onde inclusive Santana, et al., (2001), destaca que 50% seja o teor mais indicado para substituição do agregado natural pelo recuperado.

No estado fresco, as argamassas com adição de agregado reciclado apresentaram consistência adequada. Entretanto, à medida em que se aumentou o teor de agregado reciclado, houve uma significativa perda de água ao longo do tempo, o que diminuiu a trabalhabilidade durante o processo de aplicação e acabamento.

No estado endurecido, as argamassas com agregado reciclado apresentaram desempenho adequado, destacando-se a resistência a tração, superior ao limite estabelecido na NBR 13749, e a absorção de água por capilaridade e sob baixa pressão, inferior à das argamassas base [...] (SANTANA, *et al.*, 2001).

Ainda assim, verifica-se também a importância de alguns cuidados necessários quanto ao manuseio de agregado reciclado em argamassas, ou para outra finalidade. O controle de absorção de água é um exemplo visto que o material reciclado já possui certa

porcentagem de pozolana em sua composição. Outro ponto determinante relaciona-se com as características do entulho, que pode apresentar variações quanto a sua composição ao longo do tempo ou de acordo com a sua região de origem.

Tal fato aponta como é importante à busca de critérios que caracterizem com maior precisão a matéria resultante da reciclagem do RCD, fornecendo assim maior entendimento quanto ao seu comportamento mediante ao seu uso, diante da apresentação de diferentes composições quando o entulho for rico em algum componente específico.

5 | ANÁLISE DO ENTULHO GERADO EM MACEIÓ: ESTUDO EXPERIMENTAL

A fim de conduzir o conhecimento necessário ao desenvolvimento deste estudo e responder o problema proposto, foram realizadas algumas coletas de RCD gerados em Maceió para posterior caracterização e análise gravimétrica.

Para este fim aplicou-se a caracterização física. Na qual, como dito anteriores, essa prática traduz o percentual de cada componente dos resíduos em relação ao peso total da amostra analisada e ajuda a identificar aqueles componentes que possuem um volume mais significativo quanto aos demais.

5.1 Metodologia utilizada

O desdobramento desta etapa da pesquisa se fez por meio de: escolha do universo amostral, definição do método para a caracterização dos resíduos e a realização do ensaio de espalhamento com argamassa composta por agregado reciclado de RCD.

Para a escolha do universo amostral foram definidos 04 (quatro) bairros cujas amostras de resíduos representariam a geração de resíduos de construção e demolição do município de Maceió. A Figura 1 apresenta dois dos pontos de descarte onde houve a coleta das amostras. A imagem da lateral esquerda refere-se ao bairro Poço, nas proximidades do prédio do Serviço Social do Comércio (SESC); enquanto que a imagem da lateral direita exibe o bairro do Farol, nas dependências da sede da Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL).



Figura 1 – Pontos de descartes onde houve coleta de amostras para caracterização (Arquivo nosso (2013))

A escolha dos bairros teve como critério suas diferenças socioeconômicas e a manifestação, em maior ou menor intensidade, quanto ao número de obras presentes na região. Outras amostras foram coletadas, mas foram descartadas por apresentarem um alto grau de contaminação com matéria orgânica. A identificação das amostras é mostrada em resumo no Quadro 1 abaixo:

AMOSTRA	BAIRRO	RUA	PONTO DE REFERÊNCIA
1	Barro Duro	Avenida Juca Sampaio	Auto Posto Bariloche
2	Poço	Rua da Vitória	Próximo ao SESC Poço
3	Farol	Rua do Sossego	CASAL
4	Feitosa	Avenida Governador Lamenha Filho	Residencial Artemísia

Quadro 1 – Identificação dos pontos de coleta das amostras (Elaborado pelos autores (2013))

Em cada local de coleta foram utilizados: saco de náilon, pá, fita crepe e caneta piloto. A coleta consistiu em homogeneizar o entulho antes de efetuar a coleta, recolher aproximadamente 20 quilogramas de RCD em cada ponto de descarte, em seguida lacrar o saco de náilon com fita crepe e anotar com a caneta piloto o número da amostra correspondente ao local da coleta na fita.

As amostras coletadas foram encaminhadas para o laboratório do Centro Universitário CESMAC (Centro de Estudos Superiores de Maceió), para levantamento de sua composição gravimétrica. Para esse momento, os seguintes equipamentos foram utilizados: peneira metálica com bandeja, colher de pedreiro, baldes de 15 litros, bacias plásticas, e balança.

Dentro do laboratório foram realizados os seguintes procedimentos: homogeneização e quarteamento da amostra; escolha de duas parcelas da amostra quarteada resultando um peso de aproximadamente 10 quilogramas; peneiramento manual da amostra, com peneira que separa agregado graúdo e miúdo com dimensão de 50x50cm de tela com 4,8 milímetros, apresentado na Figura 2 (esquerda); segregação dos materiais graúdos constituintes em grupos reciclável para o uso da pesquisa (argamassa, cerâmicos, concreto) e rejeitos (solos, gesso, papel, plástico e madeira), também apresentados na Figura 2 (direita).

Ainda em laboratório, ocorreu a pesagem individual de cada constituinte, anotação dos valores pesados; e posteriormente cálculo dos respectivos percentuais e da composição gravimétrica.

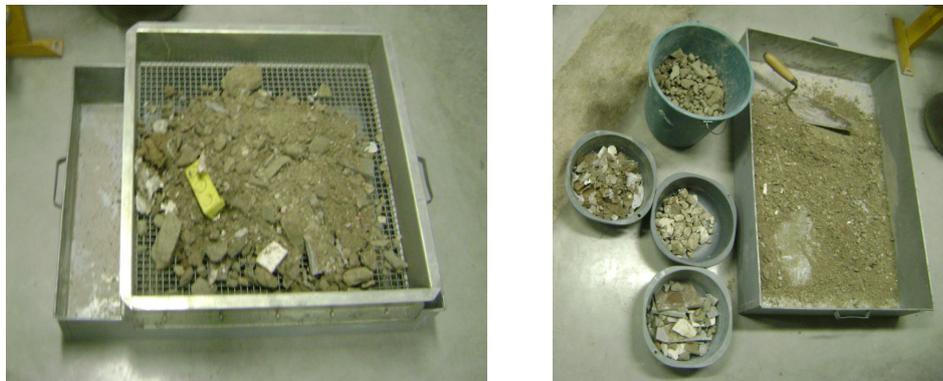


Figura 2 – Peneiramento da amostra coletada (esquerda) e segregação do entulho por componente (direita - Arquivo nosso (2013))

É importante salientar que tanto o quarteamento quanto a segregação do entulho por classes foram feitos apenas de forma visual e manual, sem uso de demais tecnologias. Inclusive, denominou-se “outros” os demais componentes como: papel, plástico, pedaços de vidro ou metais, fios, madeira e materiais orgânicos.

5.2 Composição gravimétrica

As amostras coletadas apresentaram os resultados seguintes (Figuras 3 a 8):

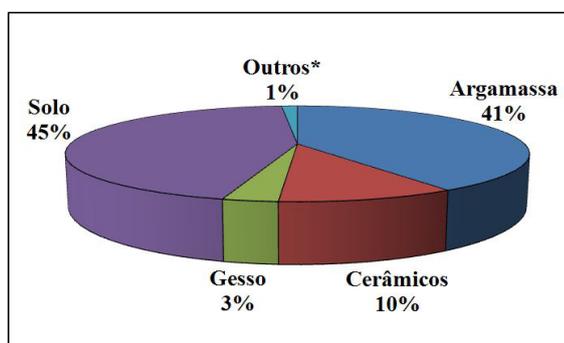


Figura 3 – Composição gravimétrica: Amostra 1 (Elaborado pelos autores (2013))

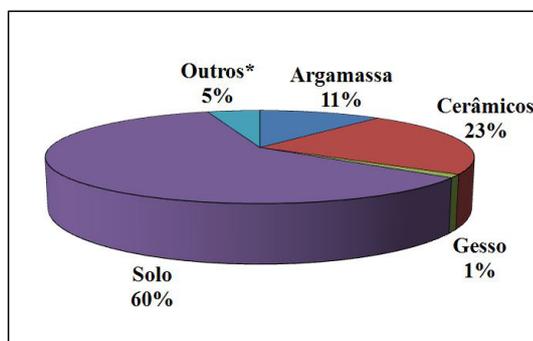


Figura 4 – Composição gravimétrica: Amostra 2 (Elaborado pelos autores (2013))

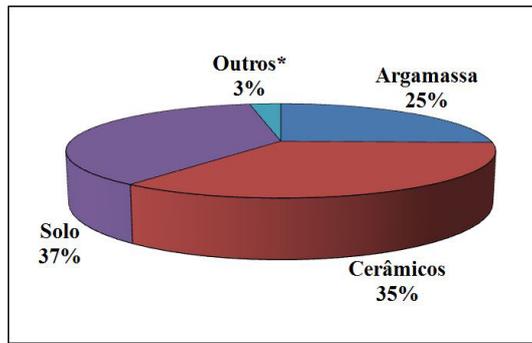


Figura 5 – Composição gravimétrica: Amostra 3 (Elaborado pelos autores (2013))

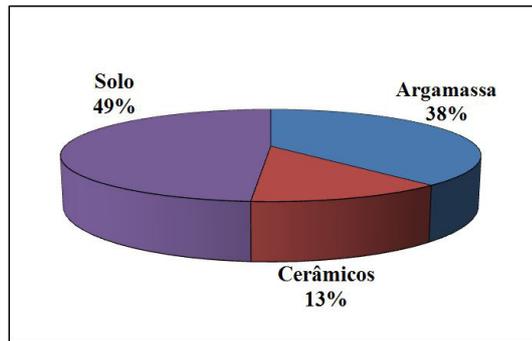


Figura 6 – Composição gravimétrica: Amostra 4 (Elaborado pelos autores (2013))

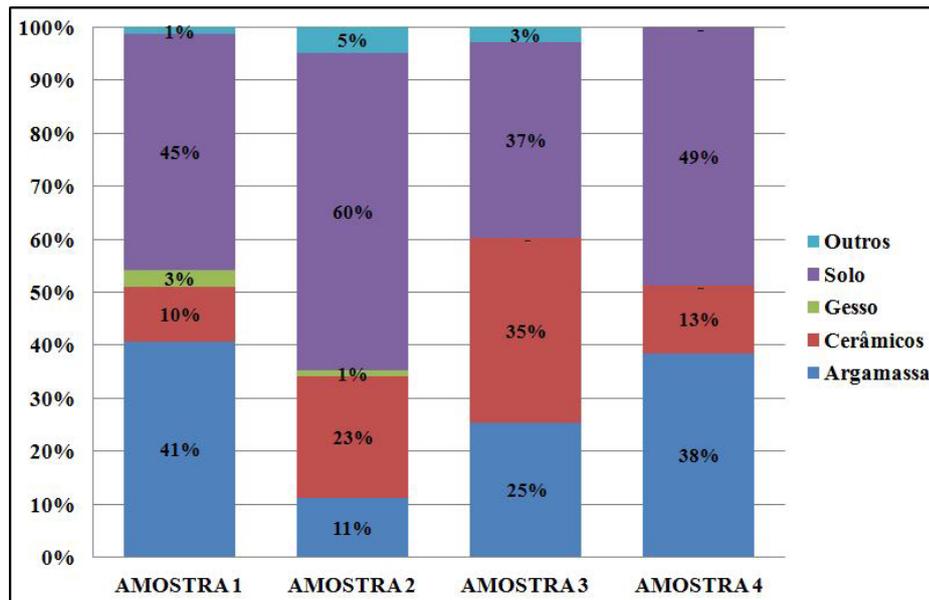


Figura 7 – Comparativo entre as composições das amostras (Elaborado pelos autores (2013))

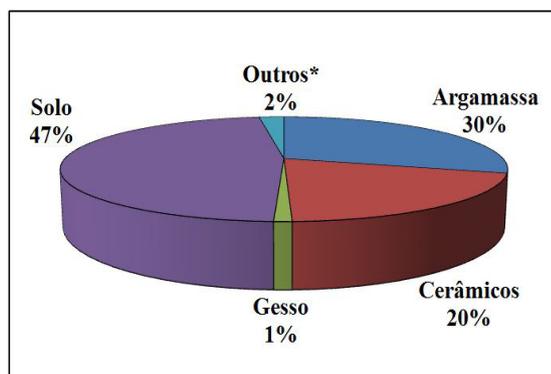


Figura 8 – Composição gravimétrica média das amostras (Elaborado pelos autores (2013))

5.3 Conclusão dos resultados

Diante dos gráficos elaborados com os resultados das composições gravimétricas é possível confirmar a aptidão do uso do entulho gerado na capital alagoana como agregado para argamassas de revestimento e assentamento.

Através da Figura 8, apresentada acima, é possível encontrar um resumo e o comparativo entre as quatro amostras coletadas. Com exceção da Amostra 2, as demais apresentam na sua composição maior concentração dos componentes oriundos de argamassa e compostos cerâmicos, elementos que são selecionados para a trituração e origem do material agregado reciclado de RCD.

Contudo, vale lembrar que as amostras coletadas foram retiradas diretamente das disposições encontradas nas ruas da cidade de Maceió. Esse fato possibilita diretamente em uma variação caso as amostras fossem retiradas propriamente nos canteiros de obras. Assim, como merece ser destacado que a realização dos experimentos foi apenas física e sem uso de tecnologia alguma.

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O volume de RCD gerado na cidade de Maceió possui um significativo potencial para reciclagem. Os resultados encontrados na composição gravimétrica deste trabalho tornam possível tal afirmação e são reforçados pelas pesquisas. Apesar disso, o percentual de reaproveitamento de RCD varia de acordo com a política de gestão dos resíduos adotada nas construtoras, já que, nas obras de reforma e na construção informal a prática é desconhecida.

A falta de conhecimento por parte dos geradores informais quanto às normas e leis referentes aos cuidados que se deve ter com os resíduos de construção e demolição acarreta na disposição inadequada desses rejeitos. O descarte feito em locais impróprios muitas vezes implica na contaminação do entulho e conseqüentemente mais ônus para o tratamento e posterior reciclagem. Quando os resíduos são segregados desde a origem, vão apresentar um maior percentual para reaproveitamento futuro.

É urgente a necessidade de incentivar uma efetiva educação ambiental e o surgimento de centrais ou usinas de reciclagem de RCD na cidade de Maceió, quer sejam implantadas por iniciativa privada ou pelo poder público a fim de amenizar os problemas oriundos do grande volume de entulho.

Referente à reciclagem dos resíduos de construção e demolição percebe-se que não é algo recente para o mundo, visto que há históricos de tal prática após a segunda guerra mundial, enquanto que no Brasil este segmento ainda se apresenta como um mercado incipiente.

Quanto à utilização do RCD reciclados em argamassas de assentamento e

revestimento, inicialmente pretendia-se a elaboração de ensaios que analisassem o comportamento das argamassas convencionais comparadas as que fossem preparadas com diferentes proporções de agregados reciclados em sua composição.

Contudo não foi possível realizar os ensaios porque os equipamentos necessários aos testes não estavam disponíveis ao uso no laboratório da instituição. A prensa hidráulica estava sem funcionamento, não podendo romper os corpos de provas, e a mesa de espalhamento estava em manutenção, não sendo possível verificar a consistência das argamassas estudadas.

Mesmo assim, buscou-se na literatura de livros, artigos, dissertações, revistas técnicas e afins, identificar a viabilidade funcional e possíveis empecilhos da utilização de agregados de RCD reciclados em argamassas de assentamento e revestimento. Comprovou-se então a sua viabilidade técnica e ambiental, sendo essa uma excelente alternativa para a reutilização do RCD, diminuindo os impactos ambientais, sociais e econômicos decorrente do acúmulo desses resíduos em aterros sanitários ou depósitos inadequados.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ana Paula B. de; ALBUQUERQUE, André Freitas de. **A utilização de resíduos cerâmicos de blocos de construção reciclados na fabricação de argamassas de assentamento**. Monografia (Graduação) – Centro Universitário CESMAC. Maceió, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281** – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, ABNT: 2005.

BAÍA, Luciana Leone Maciel; SABBATINI, Fernando Henrique. **Projeto e execução de revestimento de argamassa**. Coleção primeiros passos da qualidade no canteiro de obras, 2.ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2001.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 307/2002** – Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da Construção Civil. 2002.

COSTA, Marienne do Rocio de Melo Maron da. – **Tecnologia de argamassas**. Projeção Visual. 2010. 81 Diapositivos: color. Em: <http://www.dcc.ufpr.br/wiki/images/8/85/TC034_Argamassas_Marienne.pdf>. Acesso em: 12 mai 2013.

FILHO, João Alexandre Paschoalin; TORRES, Levi. **Manual de Programa de Qualidade Abrecon/ UNINOVE – Q1**. Convênio: Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição – Abrecon/ Universidade Nove de Julho – UNINOVE. São Paulo, 2012.

FIORITO, Antonio J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. São Paulo: Pini, 1994.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Lixo municipal**: Manual de gerenciamento integrado. 2. Ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

LIMA, Rosimeire Suzuki; LIMA, Ruy Reynaldo Rosa. **Resíduos Sólidos**. Série de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar do Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Paraná – CREA-PR.

Em: <<http://www.crea-pr.org.br/crea3/blog/cadernos/residuos.pdf>>. Acesso em: 27 abr 2013.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Manual de uso dos resíduos de construção reciclados**. São Paulo: I&T, 1998.

SANTANA, M. J. A., CARNEIRO, A. P. e SAMPAIO, T. S. **Uso do Agregado Reciclado em Argamassa de Revestimento**. Salvador: EDUFBA, 2001.

SILVA, Eder Melo da Trindade; SILVA, Antônio Sérgio Ramos da. **Utilização de RCD reciclado como agregado na produção de argamassa de assentamento**. Em: <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=2&cad=rja&ved=0CC8QFjAB&url=http%3A%2F%2Finfo.ucs.br%2Fbanmon%2FArquivos%2FArt3_0082.doc&ei=l6FEUZxmL67C4APaoYCwDQ&usg=AFQjCNFkh1B4nlyASWejvrOugqvsJJNrIQ&sig2=_c1mn0c2SfmLMicA5AANcw&bvm=bv.43828540,d.eWU>. Acesso em: 13 mar 2013.

SILVA, Raone Bruno de Oliveira; TEIXEIRA, Marcos André de Melo. **Análise da gestão dos resíduos sólidos de construção e demolição, na cidade de Maceió, após a implantação do aterro sanitário da cidade**. Artigo. Centro Universitário CESMAC. Maceió, 2012.

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE REJEITO DE MINÉRIO DE COBRE DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS

Data de aceite: 01/06/2020

Data de Submissão: 02/04/2020

Vinicius Lemos Pereira

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará,
Faculdade de Engenharia Civil
Marabá – Pará
<http://lattes.cnpq.br/3121096213406534>

Douglas Martins Sousa

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará,
Secretaria de Infraestrutura
Marabá – Pará
<http://lattes.cnpq.br/9816394490680528>

Alan Monteiro Borges

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará,
Departamento de Materiais de Construção Civil
Marabá – Pará
<http://lattes.cnpq.br/3697783631620731>

Lygia Maria Policarpio Ferreira

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará,
Departamento de Materiais de Construção Civil
Marabá – Pará
<http://lattes.cnpq.br/9330364336746799>

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo a reutilização de rejeito de minério de cobre proveniente da mina do Sossego, localizada na província mineral de Carajás-PA, como

substituição parcial do agregado miúdo na produção de argamassas de baixo custo. A substituição prevê a redução do uso de recursos naturais na produção de argamassa convencional, promovendo a consequente redução de impactos ambientais causados pela disposição deste resíduo. A análise granulométrica do rejeito de cobre foi realizada e evidenciou predominância de fração areia em relação aos demais tamanhos de grãos. Assim, visando a utilização da maior quantidade de rejeito possível, o estudo utilizou porcentagens de 50%, 60% e 70% de substituição do agregado miúdo por rejeito de cobre na produção das argamassas. Ensaios de compressão uniaxial, compressão diametral e absorção de água por capilaridade, para idades de cura equivalentes a 14 e 28 dias, foram realizados em conformidade com as normas vigentes. Posteriormente, os resultados foram comparados com uma mistura de controle, sem adição de rejeito. Adicionalmente, foi realizada análise de difração de raios X para caracterização do rejeito de cobre. Os resultados obtidos apresentaram propriedades aceitáveis de acordo com a norma. Desta forma, é possível dizer que o rejeito de cobre apresenta potencial para ser substituto parcial de agregados miúdos na produção de argamassas de baixo custo, garantindo dessa

maneira, a redução do impacto ambiental do rejeito disposto de forma ambientalmente inadequada, além da diminuição da exploração de recursos naturais para produção de argamassas.

PALAVRAS-CHAVE: Rejeito de Cobre, Argamassa, Resistência Mecânica, Baixo Custo, Sustentabilidade.

EVALUATION OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MORTARS WITH ADDITION OF COPPER ORE TAILINGS FROM CARAJÁS PROVINCE

ABSTRACT: In this work, the objective is to reuse copper tailings from the Sossego mine, located in the Carajás-PA mineral province, as a partial replacement of the small aggregate in the production of low cost mortars. In addition, the replacement provides for the reduction of the use of natural resources in the production of conventional mortar and environmental impacts by the disposal of this residue. The granulometric analysis of the copper tailings showed predominance of sand fraction in relation to the other grain sizes. Thus, the study used percentages of 50%, 60% and 70% of replacement of the small aggregate by copper tailings in the production of mortars, to perform standardized tests of uniaxial compression, diametrical compression and capillary water absorption, which were performed with 7 and 28 days of the healing of the specimens. Subsequently, the results were compared with a control mixture with 0% of tailings. In addition, X-ray diffraction analysis and scanning electron microscopy were performed to characterize the copper tailings. The results obtained showed acceptable properties according to the norm, since the copper waste had the potential to be a partial substitute of small aggregates in the production of low cost mortars, thus guaranteeing the reduction of the environmental impact of the waste disposed in an environmentally inadequate way, besides of the exploitation of natural resources for the production of mortars.

KEYWORDS: Copper tailings, mortars, mechanical strength, low cost, sustainability.

1 | INTRODUÇÃO

Uma enorme quantidade de resíduo é produzida a partir das atividades de mineração, porém o destino desses materiais sem valor econômico nem sempre é ecologicamente adequado. O reaproveitamento dos resíduos gerados por atividades de mineração tem grande importância no cenário ambiental e socioeconômico, pois o aproveitamento desse material pode promover antecipada recuperação das áreas utilizadas como depósito de rejeitos, levando a um menor impacto ambiental. A crescente demanda por bens minerais, em conjunto com seus depósitos de rejeitos com altos teores de metais, aliada à crescente demanda por agregados no setor da construção civil, faz surgir a necessidade de novas alternativas para atender esses setores que possuem relevância no desenvolvimento econômico e qualidade de vida da população (TRINDADE et al., 2015).

O rejeito de cobre é obtido através do beneficiamento do minério de cobre. Trindade

et al. (2015) descreve o tratamento de minério de cobre como um processo constituído pela separação física dos minerais de interesse, calcopirita e bornita, da ganga, que não apresenta valor econômico, como os feldspatos e quartzo, entre outros. Segundo Bridge (2000), o rejeito consiste em um conjunto de rocha britada, água e pequena quantidade de reagentes. Após o rejeito ser disposto em barragem, com o tempo, a fração líquida se separa da sólida. Além disso, os resíduos da fase de fundição consistem em partículas de poeira, gases como óxido de enxofre e nitrogênio, e uma escória sólida recuperada do forno. Em seu trabalho, Iglesia (2006 apud THOMAS et al., 2013) explica que a quantidade de cobre contida no rejeito despejado possui grande impacto sobre a composição da comunidade bacteriana de solos expostos ao rejeito, e os resultados do experimento apresentaram uma quantidade de bactérias significativamente menor em relação aos solos não expostos à poluição por metais presentes no rejeito.

As análises granulométricas do rejeito de cobre da mina de Camaquã por Trindade (2015), apresentaram predominância da fração areia em comparação aos demais tamanhos de grãos. A representatividade das porções de Silte nas amostras são significativas, em contrapartida, as frações de argila e cascalho são muito reduzidas. A caracterização mineralógica realizada por técnicas de Difração de Raios-X (DRX) do rejeito de cobre da mina do Sossego na pesquisa de Nascimento et al. (2014) evidenciou a presença dos seguintes minerais: Actinolita, Albita, Biotita, Clinocloro e Quartzo. Os quais, de acordo com Sousa et al. (2018), exercem influência direta nas propriedades de rigidez dos concretos e argamassas, quando utilizados em substituição parcial de areia natural por rejeito de cobre.

Na pesquisa de Sousa et al. (2018), onde foi realizada a substituição parcial de até 45% do agregado miúdo por rejeito de cobre na produção de concreto, os resultados apresentaram até 15% de aumento de resistência mecânica do concreto produzido quando comparado ao traço de referência. Nos estudos de Thomas, Damare e Gupta (2013), a substituição parcial alcançou até 60% aumento de resistência mecânica do concreto, para diferentes relações de água cimento. Onuaguluchi e Eren (2012) realizaram um estudo objetivando a reutilização do rejeito de minério de cobre como aditivo em argamassas de cimento, obtendo resultados de maior resistência mecânica e resistência à abrasão, como influência dessa adição.

Desta forma, o presente trabalho busca estudar o reaproveitamento do rejeito de minério de cobre da mina do Sossego através da substituição parcial de agregado miúdo na produção de argamassas, visando a diminuição da demanda de agregados naturais na indústria da construção civil. Por fim, é ainda objetivo desse trabalho contribuir com a redução de impactos ambientais provocados tanto pela disposição do rejeito de cobre nas barragens da mineradora, quanto da exploração da areia natural como matéria prima no setor da construção civil.

2 | MATERIAIS E METODOLOGIA

2.1 Materiais

Os materiais utilizados no programa experimental foram cimento CP II E, cujas características químicas, físicas e mecânicas estão de acordo com a NBR-16697 (ABNT, 2018), areia natural e rejeito de minério de cobre, este último proveniente da mina do Sossego, localizada na província mineral de Carajás.

2.2 Metodologia

2.2.1 Caracterização da matéria prima

O rejeito de minério de cobre foi caracterizado segundo sua granulometria e difração de raios X (DRX); a areia, por sua vez, foi caracterizada segundo sua granulometria. O ensaio granulométrico para os dois materiais seguiu em conformidade com o disposto na NBR 7181 (ABNT, 2016).

Para a realização da análise de DRX do rejeito de cobre foi separada uma amostra de 10 g, compreendendo faixa granulométrica menor que 0,075 mm. Após realizada a análise, foi utilizado o programa High Score® na leitura dos dados, com o auxílio da base de dados ICSD - Inorganic Crystal Structure Database.

2.2.2 Fabricação e caracterização dos corpos de prova

Conforme proposto, foram elaboradas quatro proporções diferentes de mistura para a argamassa de revestimento de cimento, com porcentagens de substituição de 50 %, 60 % e 70 % de areia por rejeito de cobre. Uma mistura de controle, sem adição de rejeito, foi utilizada para comparação dos resultados; a relação água-cimento de 0,5 foi adotada. O rejeito foi peneirado com a finalidade de obtenção da fração de areia fina, com módulo de finura de 1,33. A Tabela 1 contém a discriminação das amostras em relação ao teor de substituição.

A fabricação dos corpos de prova seguiu as especificações da NBR 7215 (ABNT, 2019), com utilização de misturador mecânico. Após a homogeneização da argamassa, as misturas foram compactadas em moldes cilíndricos com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, previamente preparados com desmoldante. 24 horas após a compactação, os corpos de prova foram imersos em água saturada em cal e ensaiados com idades de cura de 14 e 28 dias.

Amostra	Rejeito (%)	Quantidade de CP's
RMC 0	0	18
RMC 50	50	18
RMC 60	60	18
RMC 70	70	18

Tabela 1 – Discriminação das Amostras em função do teor de substituição.

A Tabela 2 apresenta o traço de referência adotado, segundo a NBR 7215, para argamassas compostas por uma parte de cimento e três de areia, além dos respectivos traços de substituição de 50%, 60% e 70%.

Traço	Cimento	Areia	Rejeito	a/c
RMC 0	1	3	0	0,5
RMC 50	1	1,5	1,5	0,5
RMC 60	1	1,2	1,8	0,5
RMC 70	1	0,9	2,1	0,5

Tabela 2 – Traços adotados na fabricação de corpos de prova.

2.2.2.1. Compressão uniaxial

A determinação da resistência à compressão uniaxial dos corpos de prova, tanto de controle quanto com diferentes porcentagens de substituição do agregado miúdo por rejeito, seguiram as especificações da NBR 7215. Para realização do ensaio, os corpos de prova foram centrados rigorosamente em relação ao eixo de carregamento, e receberam aplicação de carregamento constante.

2.2.2.2. Compressão diametral

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos foi realizado conforme a NBR 7222 (ABNT, 2010); os corpos de prova foram colocados de forma que o plano axial coincidisse com o eixo de aplicação da carga.

2.2.2.3 Absorção de água por capilaridade

Os ensaios de absorção de água por capilaridade seguiram as especificações da NBR 9779 (ABNT, 2012). Um recipiente com água foi usado para realizar o ensaio de absorção, onde os corpos de prova foram apoiados sobre suportes na base inferior do recipiente para não tocar o fundo. Os corpos de prova foram imersos de modo que o nível de água permanecesse constante em 5 mm acima da face inferior, evitando assim a molhagem de outras superfícies.

3 | RESULTADOS

3.1 Caracterização da matéria prima

3.1.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica do rejeito de minério de cobre evidenciou predominância da fração areia, com dimensões entre 0,5 a 0,106 mm, em relação aos demais tamanhos de grãos. Ao comparar os resultados de avaliação granulométrica do rejeito de cobre e da areia natural, foi possível notar a presença de uma quantidade significativa de particulado fino para o rejeito, característica justificada pelo próprio processo de beneficiamento do minério de cobre. A Tabela 4 apresenta os resultados da análise granulométrica da areia e do rejeito, além das peneiras utilizadas no ensaio.

Número Peneira ABNT	Abertura Peneira (mm)	Agregado Miúdo		Rejeito de Cobre	
		% Retida	% Passante	% Retida	% Passante
14	1,18	3,23	95,79	4,21	95,79
40	0,5	46,94	49,83	19,44	76,36
45	0,355	14,63	35,2	5,29	71,07
70	0,212	33,32	1,88	33,59	37,47
120	0,125	1,64	0,24	19,55	17,93
140	0,106	0,09	0,15	8,06	9,87
200	0,075	0,06	0,09	5,36	4,51
Fundo	< 0,075	0,09	0	4,51	0

Tabela 4 – Resultado da análise granulométrica do agregado miúdo e rejeito de minério de cobre.

3.1.2 Difração de raios X

A análise de difratometria do rejeito de cobre comprovou a predominância dos seguintes minerais: Quartzo (SiO_2), representado pelo Padrão 01-085-0794 e ICSD 27826, Clinocloro de sistema cristalino monoclinico com Padrão 01-079-1270 e ICSD 066258, Actinolita com Padrão 01-085-2157 e ICSD 79832, Albita ($\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$) com Padrão 01-080-1094 e ICSD 068913 e a Magnetita (Fe_3O_4) com Padrão 01-082-1533 e ICSD 75627. A Figura 1 apresenta a organização cristalina dos minerais, a partir do difratograma obtido.

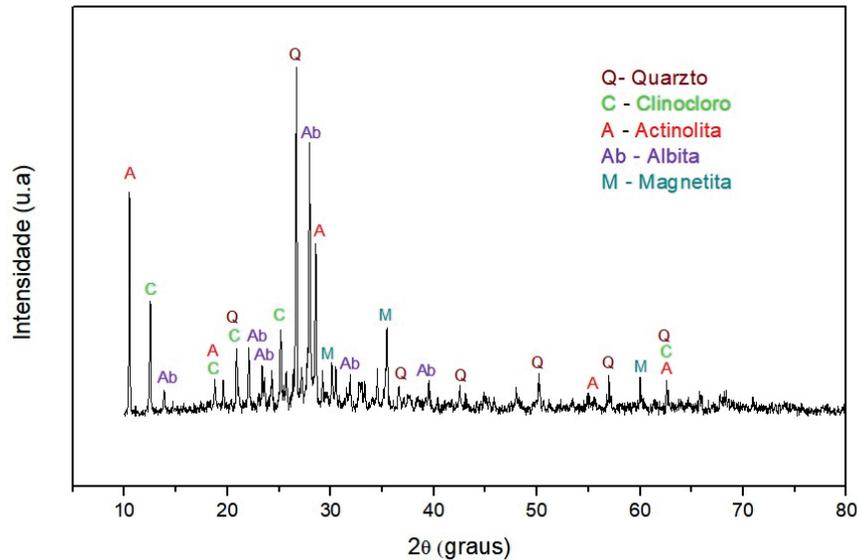


Figura 1 – Difratograma do rejeito de minério de cobre

3.2 Compressão uniaxial

Os resultados de resistência à compressão uniaxial obtidos nos testes mecânicos, realizados conforme NBR 7215, para 14 e 28 dias de cura, são apresentados no Gráfico 1.

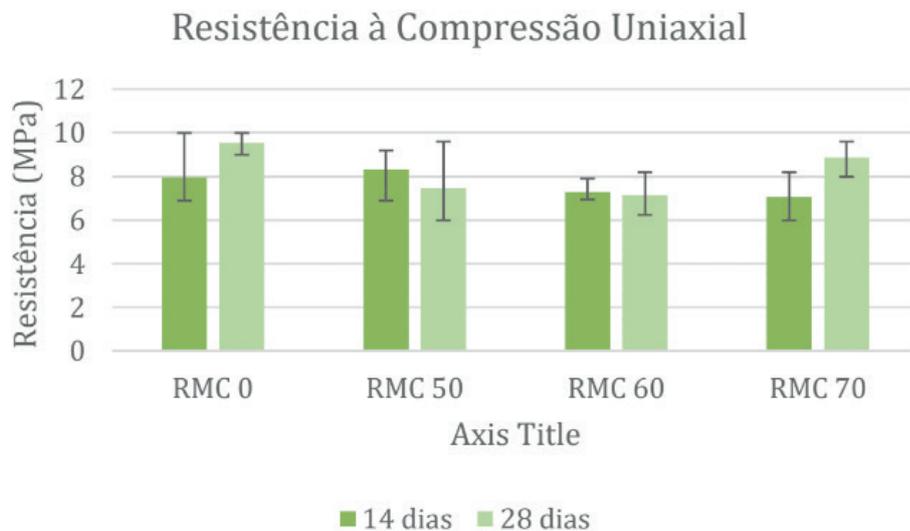


Gráfico 1 – Resultados da resistência à compressão diametral aos 14 e 28 dias de cura.

De maneira geral, considerando o desvio padrão, observa-se que houve pouca variação da resistência mecânica à esforços de compressão uniaxial com a adição do rejeito de minério de cobre, se comparado ao traço de referência. Para 14 dias de cura observou-se que, para os teores de substituição das amostras RMC 60 e RMC 70, houve uma redução na média da resistência respectivamente de 8,54% e 11,03%, quando comparado à média de RMC 0. Aos 28 dias, tanto as amostras de RMC 50 quanto de RMC 70 se mantiveram na média em relação a amostra de controle RMC 0. No entanto, o comparativo das amostras de RMC 60 apresentaram resultados 13,07% menores, para

a idade de cura.

3.3 Compressão diametral

De maneira geral, os resultados de resistência à compressão diametral mostraram-se satisfatórios, se comparados aos resultados de compressão uniaxial. Os resultados desse ensaio são apresentados no Gráfico 2, e mostram uma variação entre 15 e 20 MPa de resistência. Aos 14 dias de cura as amostras de RMC 60 e RMC 70 apresentaram um ganho satisfatório de resistência em relação à média das amostras de controle RMC 0, com cerca de 5,98% de aumento na resistência mantendo-se igualmente equiparado. Para 28 dias de cura, os resultados apresentaram-se diferentes, evidenciando um decréscimo da resistência à tração por compressão diametral. Esse resultado pode ser justificado com base na composição mineralógica do rejeito, conforme apresentado pelo difratograma de raios X, onde parte do particulado apresenta características de minerais mais rígidos, desta forma, quanto maior o percentual de rejeito na mistura, menor a resistência a tração da argamassa.

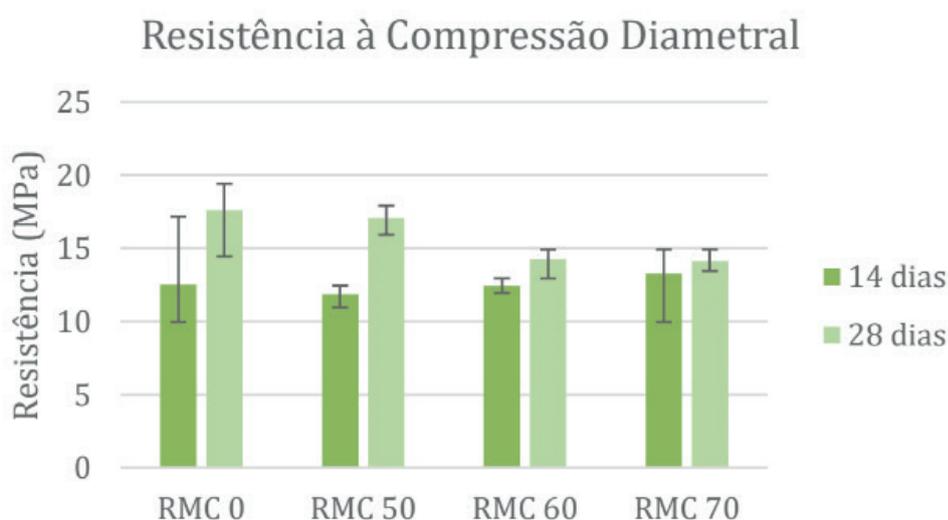


Gráfico 2 – Resultados da Resistência à Compressão Diametral aos 14 e 28 dias de cura.

3.4 Absorção de água por capilaridade

A evolução da absorção por capilaridade aos 14 e 28 dias de cura é apresentada nas Tabelas 5 e 6, respectivamente. A média de ascensão capilar aumentou com o aumento do teor de rejeito. Esse fato é justificado, principalmente em função da faixa granulométrica do rejeito utilizado (0,063 a 0,25 mm). A baixa presença de particulado fino desfavoreceu a compactação e o preenchimento de espaços vazios, permitindo uma maior transferência de umidade por capilaridade. Neste caso, a utilização de argamassa com substituição de 50% de areia por rejeito seria a condição mais adequada para aplicação em ambientes externos. As imagens apresentadas na Figura 2 confirmam a evolução da ascensão de água por capilaridade.

Resultados 14 dias					
Média de Absorção	Absorção após 3h (g/cm ²)	Absorção após 6h (g/cm ²)	Absorção após 24h (g/cm ²)	Absorção após 48h (g/cm ²)	Absorção após 72h (g/cm ²)
RMC 0	0,46	0,52	0,64	0,69	0,74
RMC 50	0,36	0,45	0,62	0,69	0,77
RMC 60	0,47	0,57	0,75	0,82	0,92
RMC 70	0,66	0,71	0,84	0,89	0,94

Tabela 5 – Resultados de absorção de água por capilaridade aos 14 dias de cura.

Resultados 28 dias						
Média de Absorção	Absorção após 3h (g/cm ²)	Absorção após 6h (g/cm ²)	Absorção após 24h (g/cm ²)	Absorção após 48h (g/cm ²)	Absorção após 72h (g/cm ²)	Média da Ascensão Capilar (cm)
RMC 0	0,37	0,43	0,59	0,65	0,67	4,5
RMC 50	0,72	0,79	0,89	0,92	0,95	6,33
RMC 60	0,72	0,83	0,96	1	1,01	6,23
RMC 70	1,13	1,21	1,33	1,36	1,36	8,28

Tabela 6 – Resultados de absorção de água por capilaridade aos 28 dias de cura.

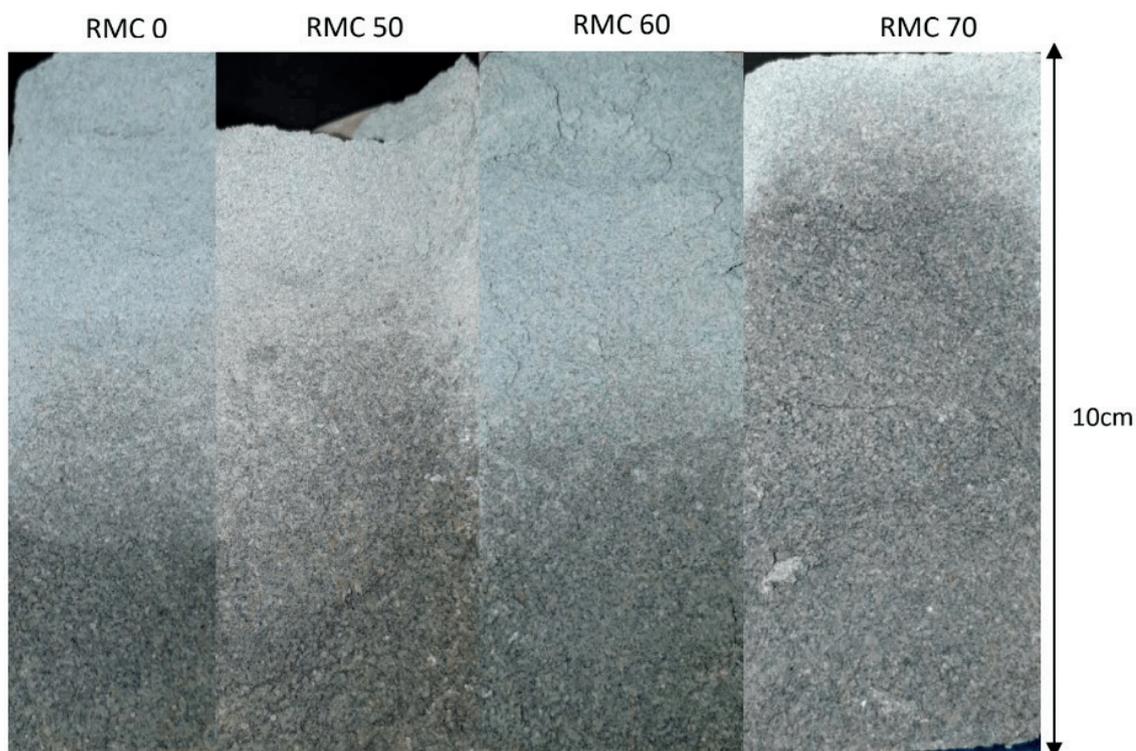


Figura 2 – Evolução da ascensão de água por capilaridade nos corpos de prova com 10 cm de diâmetro.

4 | CONCLUSÃO

A disposição inadequada do rejeito de minério de cobre, aliada ao número de barragens de rejeito ao redor do mundo e a crescente demanda na exploração de agregados naturais para o setor de construção civil, leva a uma grande preocupação ambiental. Os casos

recentes de rompimento de barragens, não só levam a uma ampliação da busca por alternativas viáveis para melhorar a segurança dessas barragens, como também a busca por maneiras viáveis de reaproveitamento dos rejeitos estocados.

Dessa maneira, considerando que o objetivo principal do trabalho é reaproveitar o máximo de rejeito possível, os resultados obtidos mostram a possibilidade de aplicação da argamassa para teores de 50% de substituição parcial do agregado miúdo por rejeito de cobre na constituição. A utilização de teores maiores que 50%, por sua vez, precisa ser melhor estudada e avaliada, em diferentes mecanismos de fabricação, visando a melhor compreensão sobre os mecanismos de influência na resistência envolvidos.

REFERÊNCIAS

NBR 7215: **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndrico**. Rio de Janeiro, 2019.

NBR 16697: **Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

NBR 7222: **Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndrico**. Rio de Janeiro, 2010.

NBR 9779: **Argamassas e concretos endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade**. Rio de Janeiro, 2012.

NBR 7181: **Solo – Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.

DE OLIVEIRA TRINDADE, A., et al. **Caracterização dos rejeitos das minas do Camaquã para reaproveitamento sustentável**. Revista Monografias Ambientais, v. 14, p. 116-132, 2015.

BRIDGE, G. **The social regulation of resource access and environmental impact: production, nature and contradiction in the US copper industry**. Geoforum, v. 31, n. 2, p. 237–256, maio 2000.

THOMAS, B. S.; DAMARE, A.; GUPTA, R. C. **Strength and durability characteristics of copper tailing concrete**. Construction and Building Materials, v. 48, p. 894–900, nov. 2013.

NASCIMENTO, J. C. et al. **Caracterização de resíduos sólidos da barragem de rejeitos da mina do sossego (Canaã dos Carajás-PA)**. Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n. 2, p. 7586-7593, 2015.

ONUAGULUCHI, O.; EREN, Ö. **Recycling of copper tailings as an additive in cement mortars**. Construction and Building Materials, v. 37, p. 723–727, dez. 2012.

SOUSA, D.M. et al. **Influência da utilização de rejeito de cobre em substituição parcial do agregado miúdo na produção de concreto**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 60., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**. Foz do Iguaçu: IBRACON, 2018.

GERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM JOÃO PESSOA: ESTUDO COMPARATIVO DO FLUXO DE ENTRADA NA USIBEN ENTRE OS PERÍODOS 2009/2010 E 2015/2018

Data de aceite: 01/06/2020

Ubiratan Henrique Oliveira Pimentel

UFPB: Universidade Federal da Paraíba, CT:
Centro de Tecnologia: DECA: Departamento de
Engenharia Civil e Ambiental
ubiratan_hop@ct.ufpb.br

Gilson Barbosa Athayde Junior

UFPB: Universidade Federal da Paraíba, CT:
Centro de Tecnologia: DECA: Departamento de
Engenharia Civil e Ambiental
gilson@ct.ufpb.br

Cristine Helena Limeira Pimentel

IFPB: Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia da Paraíba.
ristine.pimentel@ifpb.edu.br

Samyr Sampaio Freire

EMLUR, Empresa Municipal de Limpeza Urbana
samyrstf@hotmail.com

RESUMO: Os resíduos provenientes da indústria da construção civil têm crescido visivelmente, em todo o mundo, não sendo diferente na cidade de João Pessoa, capital do estado da Paraíba. Tal fato constitui uma grave problemática ao setor da construção civil, aos órgãos fiscalizadores, à população e ao meio ambiente. Ocorre que, os resíduos poderiam ser reutilizados ou reciclados nos próprios

canteiros de obras das construções onde são gerados, e o seu correto gerenciamento minimizaria a sua saída, contribuindo para a redução da degradação do meio ambiente e, conseqüentemente, reduzindo o consumo de matérias primas naturais, muitas delas insubstituíveis. Neste trabalho, apresenta-se os resultados comparativos de uma investigação sobre a geração dos Resíduos da Construção Civil (RCC) da classe A originados na cidade de em João Pessoa, entre os períodos de 2009/2010 e 2015/2018, analisando-se o percentual de crescimento na entrega dos mesmos na Usina de Beneficiamento dos resíduos da construção e demolição de João Pessoa (USIBEN).

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos da construção civil; geração de RCC; USIBEN.

CONSTRUCTION WASTE GENERATION IN JOÃO PESSOA: COMPARISSON BETWEEN THE PERIODS 2009/2010 AND 2015/2018

ABSTRACT: Construction wastes generation have been increasing in the world and it is not different in João Pessoa, the capital of Paraíba state. This increase is an important issue for the construction industry, government, society and environment. These CW could be reused or

recycled in the constructions sites where they are generated and their correct management minimises their output, promoting environmental protection and diminishing the consumption of natural resources, some of them non-renewable. In this paper, a comparison of CW (class A) generation in the city of João Pessoa between two periods: 2009/2010 and 2015/2018. It was analysed the percentage of increasing of CW that entered USIBEN.

KEYWORDS: construction waste; CW generation; USIBEN.

1 | INTRODUÇÃO

A população mundial tem crescido acentuadamente, desde o advento da Revolução Industrial, principalmente, após a Segunda Guerra Mundial. Juntamente ao desenvolvimento das atividades econômicas e ao neocapitalismo, cresceu a Indústria da Construção Civil (ICC), com consequências preocupantes, como a rápida e elevada geração de resíduos sólidos.

O crescimento da indústria da construção civil contribui para o desenvolvimento urbano, normalmente trazendo benefícios para a sociedade. Mas, sem o controle adequado, pode acarretar efeitos prejudiciais significativos e preocupantes, gerando resíduos nas obras, os quais, quando mal administrados, ao saírem dos canteiros de obras, são depositos em locais inadequados, agredindo o meio ambiente.

Os resíduos da construção civil (RCC) podem causar os seguintes impactos ambientais negativos: consumo desnecessário de recursos naturais, degradação ambiental e problemas de saúde pública. O gerenciamento inadequado dos RCC acarreta a necessidade de ações corretivas, que, muitas vezes, poderiam ser minimizadas, caso houvesse inicialmente ações preventivas.

Os altos índices de perdas existentes na ICC implicam no maior consumo de matérias primas naturais, ocasionando dessa forma o aumento no tráfego, pelo excesso de transporte dos mesmos, das jazidas à obra de destino, gerando transtornos e custos adicionais. Essas perdas são causadas, na maioria dos casos, pela falha nos projetos, nos detalhes, nas especificações dos materiais, na gestão durante a fase de execução das tarefas nas construções, além do uso inadequado dos materiais e, muitas vezes, de baixa qualidade. Tais falhas afetam diretamente o meio ambiente.

Athayde Jr *et al.*, (2004) e Sobral (2012) comprovaram a viabilidade econômica da operação dos sistemas de operação implantados na USIBEN, que por serem sistemas novos de trabalho, recém implantados, necessitam maior atenção, para que a gestão possa apresentar sucesso. É importante salientar ainda que a mesma ainda contribui com enormes benefícios ambientais, tais como a redução na poluição visual além do aumento considerável na vida útil dos aterros existentes.

A cidade de João Pessoa tem crescido bastante nos últimos anos e, como consequência deste crescimento acentuado, os RCC da cidade têm aumentado bastante,

sendo observado, em alguns pontos da cidade, o acúmulo de tais resíduos. Sabe-se que geração de entulho é diretamente proporcional ao crescimento e ao desenvolvimento econômico de uma sociedade (TESSARO ET AL, 2012). Outro fator marcante é que a humanidade torna-se cada vez mais urbana e, segundo Teixeira (2010), a produção de resíduos cresce proporcionalmente à urbanização.

Parte dos RCC não está sendo destinada à Usina de Beneficiamento dos resíduos da construção e demolição de João Pessoa (USIBEN), mas sim a pontos de deposições clandestinas, contrariando a legislação vigente. Para Moraes (2006), o descarte inadequado do RCC é um dos maiores problemas na gestão dos municípios, pois ocasiona impactos significativos no meio ambiente urbano, o que pode comprometer a paisagem, o tráfego de pedestres e veículos, a drenagem urbana, além de atrair resíduos não inertes que contribuem para a multiplicação de vetores de doenças.

A gestão dos RCC requer a realização de um diagnóstico local, identificando aspectos referentes a esses resíduos tais como origem, taxa de geração, agentes envolvidos na geração e coleta, destinação final, entre outros, que podem colaborar na tomada de decisões para o atendimento da resolução vigente.

Nesse contexto, entende-se necessária a realização desse estudo para elaborar ações visando primeiramente à minimização da geração dos RCC e, também, à reutilização, reciclagem e destinação adequada, possibilitando, assim, uma redução nos custos de construção e também nos impactos ambientais causados por essa atividade. Sendo assim, este trabalho objetiva analisar a evolução da geração de resíduos da construção no município de João Pessoa, PB, de forma a colaborar com a gestão desses resíduos e para que futuras ações possam ser tomadas com vistas ao atendimento das normas vigentes e, em consequência, para contribuir na preservação do meio ambiente.

2 | OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar a USIBEN, do município de João Pessoa, explicando os processos de transformação lá utilizados e fazer uma análise comparativa do recebimento dos RCC, durante dois períodos 2009/2010 e 2015/2018.

3 | METODOLOGIA

3.1 A usina de beneficiamento de resíduos da construção e demolição (USIBEN) da cidade de João Pessoa/PB

No final do ano de 2007 foi instalada na cidade uma usina de Reciclagem denominada Usina de Beneficiamento dos Resíduos de Construção e Demolição (USIBEN), pela Prefeitura Municipal da cidade de João Pessoa sob a responsabilidade da Empresa

Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR), autarquia de limpeza urbana municipal ((PIMENTEL, 2013). A localização da USIBEN encontra-se na Figura 1.

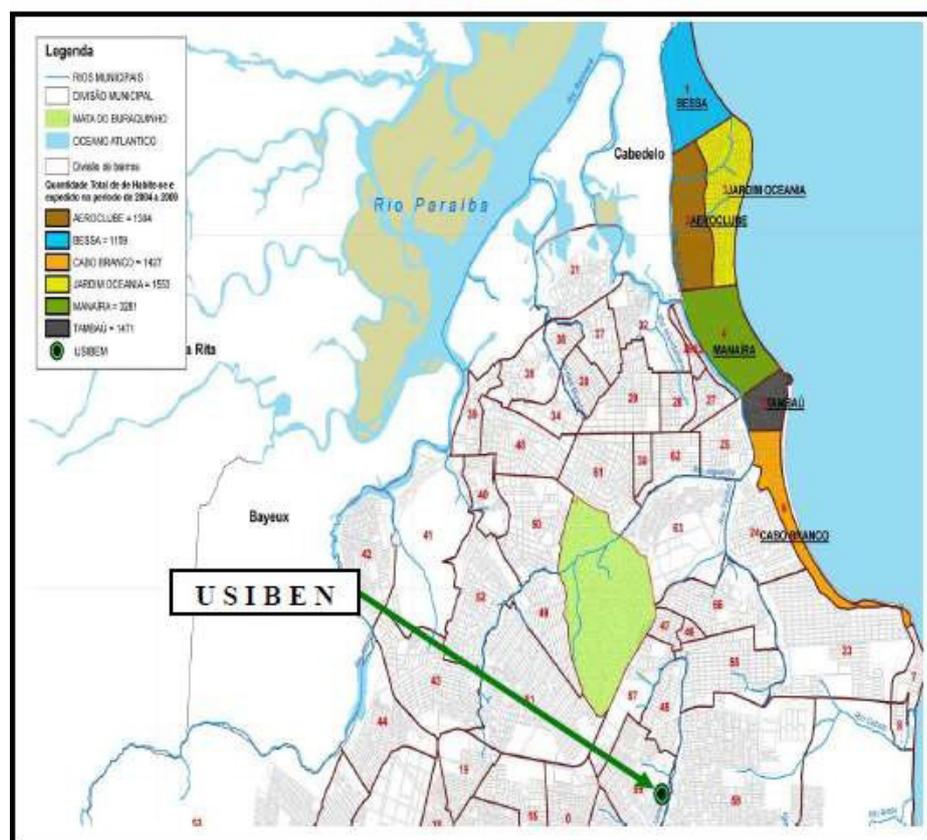


Figura 1. Mapa de localização da UIBEN

A USIBEN é mostrada na Figura 1, recebe os RCC da classe A gratuitamente dos grandes e pequenos geradores na cidade de João Pessoa, para transformá-los em material para as obras públicas da PMJP.

Na Figura 1, observa-se a cidade de João Pessoa com os limites dos bairros e a indicação dos seis bairros mais populosos, que cresceram bastante nos últimos anos, que foram estudados e apresentados neste trabalho, quais sejam Bessa, Aeroclube, Jardim Oceania, Manaíra, Tambaú e Cabo Branco, e ainda se verifica a localização da USIBEN, apresentando a distância existente entre os bairros estudados e a usina de beneficiamento de RCC.

A USIBEN é uma planta de tratamento de primeira geração de RCC classe A. O equipamento instalado na mesma possui uma capacidade de reciclar 20 t de RCC por hora, o que corresponde a 160t por dia de produção, transformando-os em brita, cascalhinho, pó de pedra, que serão utilizados na Prefeitura Municipal de João Pessoa, no melhoramento de ruas não pavimentadas no município.

3.2 O processo de funcionamento da uSIBEN

O processo de funcionamento da USIBEN é constituído de dois fluxos de

processamento para o beneficiamento de RCC reciclados cerâmicos, Figura 2, fluxo produtivo 01, e o outro RCC reciclados de concreto Figura 3.

Os RCC recebidos na usina são identificados quanto à origem, tipo e volume, por meio de informações dados pelo condutor. Em seguida, é encaminhada para a área de estocagem e segregação conferindo o material classe A, cerâmico e concreto etc.

Posteriormente o material irá para o setor de britagem, onde, em um moinho ocorrerá a redução de tamanho dos mesmos; em seguida, são peneirados e separados em baias, com diâmetros menores, possibilitando desta forma o futuro uso; em seguida o material é destinado a um alimentador vibratório por um transportadores mecanizados, destinando os materiais aos locais da estocagem.

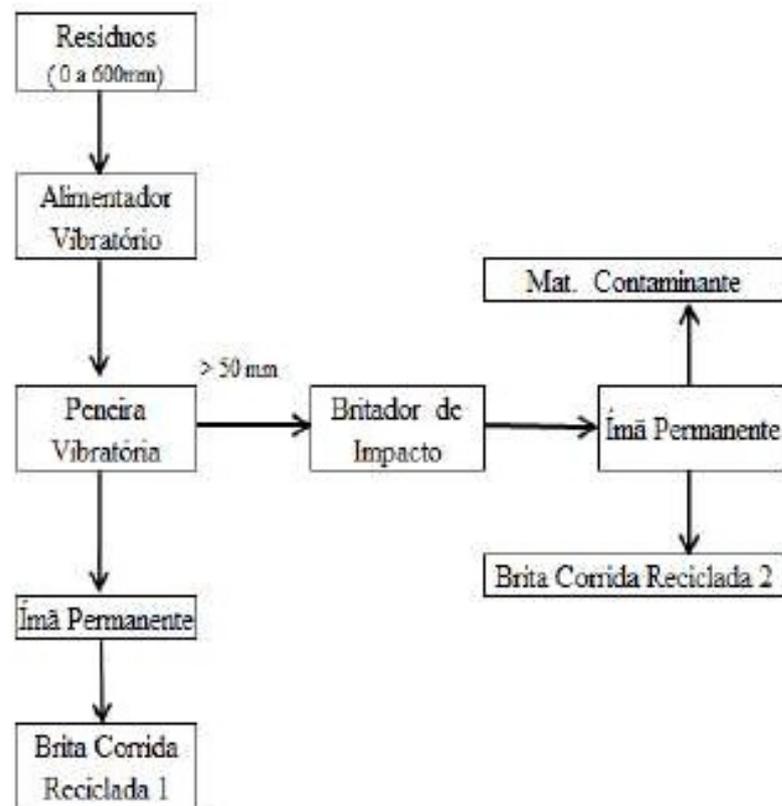


Figura 2. Fluxo Produtivo de materiais cerâmicos

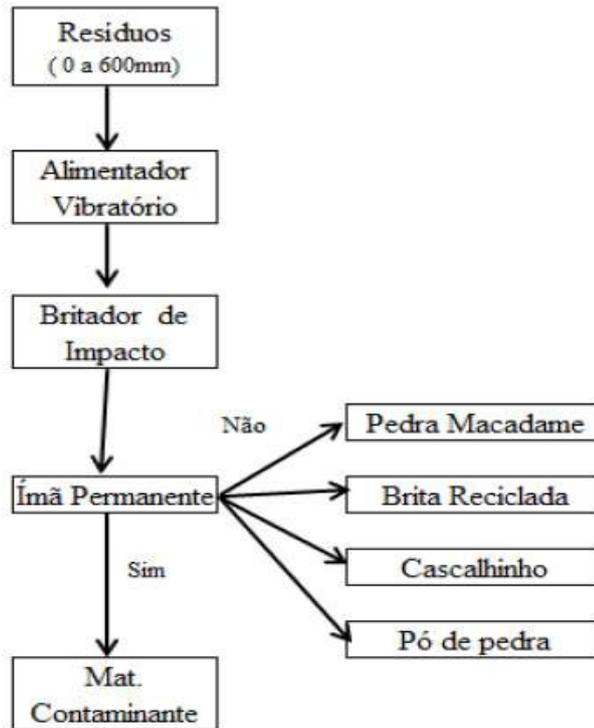


Figura 3. Fluxo produtivo de concreto



Figura 4. Área de estocagem e segregação do material

O material recebido irá para o setor de britagem (Figura 4), onde, em um moinho ocorrerá a redução de tamanho dos mesmos; em seguida, são peneirados (Figura 5) e separados em baias, com diâmetros menores, possibilitando desta forma o futuro uso; em seguida o material é destinado a um alimentador vibratório por um transportadores mecanizados (Figuras 5 e 6) destinando os materiais aos locais da estocagem.

Dessa forma, a reciclagem do RCC (classe A) na USIBEN é feita utilizando-se os seguintes equipamentos:

- a. Alimentadores vibratórios;
- b. Britadores / rebitadores;
- c. Transportadores de correia;
- d. Separadores magnéticos;

e. Peneiras vibratórias.

A usina é constituída das seguintes áreas de trabalho:

a) Área de recebimento, estoque e segregação do material: nessa etapa, ocorre a conferência da metragem, a inspeção visual, a segregação e a nebulização do material recebido;

b) Concentração: após o recebimento, o material deve ser separado em seus diferentes componentes. Utiliza-se a seleção manual (catação) e a magnética. Esta etapa também pode ocorrer após a cominuição.

c) Cominuição (Figura 7): esta operação também é chamada de britagem e tem por objetivo reduzir o material a um diâmetro inferior. Nesta etapa o equipamento utilizado na USIBEN é um britador de impacto (martelos).



Figura 5. Britador de RCC



Figura 6. Esteira transportadora

Para o caso específico da USIBEN, todo o material reciclado é utilizado no consumo de algumas das obras da própria PMJP, principalmente, nas sub-bases de pavimentos.

A introdução de novos produtos no mercado, principalmente constituídos por agregados reciclados é bastante difícil, pois é necessário assegurar a qualidade e preços.

Lima (1999) mostra que a reciclagem dos RCC apresenta vantagens ambientais e econômicas, reduzindo gastos com a retirada de entulhos das obras, reduzindo a quantidade de agregados a ser comprada e também reduzindo a quantidade de aglomerantes à ser comprado, pois as argamassas com reciclados usam menos aglomerantes. Estes benefícios são distribuídos por todos: construtores, órgãos públicos, população e principalmente o meio ambiente.

Atualmente, o uso mais comum para os agregados reciclados tem sido na própria indústria da construção civil, na regularização de terrenos, na produção de blocos de concreto para vedação e divisão dos vãos, na confecção de argamassas, nas regularizações e confecção de contra pisos e ainda nas sub-bases de pavimentos.

John (2000) afirma que existe um grande obstáculo no uso desses produtos, que é a questão cultural, porque a sociedade ainda não está consciente e confiante quanto aos mesmos, achando que os mesmos são de qualidade inferior aos convencionais, concepção essa assumida pela sociedade. Tal situação poderá ser alterada através de uma maior responsabilidade na execução dos serviços, aplicando-se uma fiscalização mais rigorosa durante essas execuções e ainda um maior respeito e dedicação quanto à educação ambiental. Segundo o mesmo autor, os benefícios trazidos pelo uso dos produtos reciclados vão além do acima citado, pois irá contribuir para a redução dos custos das edificações e contribuir para a geração de empregos, aumentando a competitividade da economia.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3 Volume de RCC recebidos na USIBEN

Neste item serão apresentados os quantitativos de RCC recebidos pela USIBEN nos dois períodos especificados nos objetivos.

A Tabela 1 mostra o volume de RCC mensal recebido na USIBEN, durante os anos de 2009 e 2010 respectivamente, indicando neles alguns pontos de paralisação e ajustes dos equipamentos, quando assim não recebiam os RCC; já para o ano de 2010, foi encerrado no mês de maio, pois foi quando se conclui esta pesquisa e os levantamentos de campo.

MATERIAL RECEBIDO NA USIBEN					
PERÍODO DE 2009 A 2010					MÉDIA 2009/2010
ANO	2009 (ton)	2010 (ton)			
TOTAL	23.297,30	31.704,60			27.500,95
PERÍODO DE 2015 A 2018					MÉDIA 2015/2018
ANO	2015 (ton)	2016 (ton)	2017 (ton)	2018 (ton)	
TOTAL	34.760,50	29.129,40	23.460,80	23.750,90	27.775,40

Tabela 1. Entrada de Material na USIBEN, e média dos anos estudados

É importante salientar que os resíduos entregues a USIBEN entre 2017/2018 foram bem inferiores ao período 2015/2016, e isso se deu devido a crise na construção civil que

reduziu bastante a construção e consequentemente a geração de, RCC.

5 | CONCLUSÃO

O recebimento dos RCC na USIBEN durante o período 2009/2010 apresentou uma média de 27.500,95 t/ano, para uso e transformação na empresa. Já no período 2015/2018, o recebimento dos RCC na USIBEN apresentou uma média de 27.775,40t/ano para o uso e transformação na empresa.

Durante os seis anos analisadas mesmo havendo o crescimento da população anual, a média dos RCC entre os dois períodos foi aproximadamente a mesma, o que significa que apesar de a população ter crescido, os RCC gerados permaneceram aproximadamente estáveis. Isto pode ser explicado parcialmente pela desaceleração da indústria da construção civil no segundo período.

REFERÊNCIAS

- ATHAYDE JÚNIOR, G. B; FERRARI JÚNIOR, M.J.; DINIZ, M.D.; BORLINI, F.R.; PAULA, E.A.; COSTA, A.S.V.; SONCIM, S.P.; ALMEIDA, M.O. **Reciclagem de entulhos em Governador Valadares: uma alternativa viável.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. 2004, Florianópolis – SC.
- JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** 2000. 113f. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (PCC), São Paulo, 2000.
- LIMA, J. A. R.de. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos.** São Carlos, 1999. 246 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MORAIS, G. M. D. **Diagnóstico da Deposição Clandestina de Resíduos de Construção e Demolição em Bairros Periféricos de Uberlândia: subsídios para uma gestão sustentável.** Uberlândia, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.
- PIMENTEL, U. H. O. **Análise Da Geração de Resíduos Da Construção Civil Da Cidade De João Pessoa/Pb;** Tese de doutorado Universidade Federal da Bahia, Salvador/Ba 2013
- SOBRAL, R. F.C. **Viabilidade econômica de usina de reciclagem de resíduos de construção civil; Estudo de caso da USIBEN – João Pessoa / PB. João Pessoa, 2012.** Dissertação. Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. UFPB.
- TEIXEIRA, C. A. G. **Jogando Limpo: estudo das destinações finais dos resíduos finais dos resíduos sólidos da construção civil no contexto urbano de Montes Claros. Montes Claros, 2010.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2010.
- TESSARO, Alessandra Buss; DE SÁ, Jocelito Saccol; SCREMIN, Lucas Bastianello. **Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS.** Ambiente Construído, v. 12, n. 2, p. 121-130, 2012.

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO NA MICROBACIA DO ARROIO BARRAÇÃO, MUNICÍPIO DE GUAPORÉ-RS

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 29/04/2020

Fernando Frigo Migliorini

Universidade do Vale do taquari – UNIVATES
Lajeado – RS

RESUMO: O Brasil vivencia um déficit de infraestruturas e atividades no que se refere ao saneamento básico, causando uma interferência na qualidade de vida da população. A ausência de coleta, transporte e tratamento de esgotos acaba por disseminar diversas doenças, e também afetando a qualidade dos recursos hídricos. Deste modo, será realizado o estudo de concepção para a implantação da rede coletora de esgoto, no município de Guaporé/RS. Compreendendo que esta área não possui sistema coletivo de esgotamento sanitário, em que os esgotos são dispostos à tratamento individual, rudimentares, e até mesmo lançados em corpos receptores sem nenhum tipo de tratamento. Este trabalho se propõe a analisar a melhor alternativa de traçado para as redes e dimensionar o sistema de coleta e transporte dos efluentes sanitários gerados na microbacia do Arroio Barracão.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento, Esgotamento sanitário, dimensionamento, redes coletoras, Canalização.

DIMENSIONING OF A SANITARY SEWAGE SYSTEM IN THE MICROBACIA OF ARROIO BARRAÇÃO, MUNICIPALITY OF GUAPORÉ-RS

ABSTRACT: Brazil experiences a deficit in infrastructure and activities that does not refer to basic sanitation, causing an interference in the population's quality of life. The absence of collection, transport and treatment of photographs ends up spreading several diseases and also affects the quality of water resources. In this way, the project study for the implementation of the sewage collection network will be carried out in the municipality of Guaporé / RS. Understand that this area does not have a collective system of sanitary sewage, in which exams are discarded for individual treatment, rudiments and even thrown in receiving bodies without any type of treatment. This work can analyze the best tracking alternative for networks and dimensioning or a system for collecting and transporting sanitary effluents generated in the Arroio Barracão watershed.

1 | INTRODUÇÃO

A constituição brasileira assegura o direito ao saneamento básico, através da Lei Federal 11.445 estabelecida em janeiro de 2007, que institui as atividades abrangidas pelo saneamento básico. Sendo este definido como um conjunto de serviços com infraestrutura de tratamento e posterior distribuição de água, coleta e tratamento de esgotos, controle de águas pluviais, e também a coleta e destinação de resíduos sólidos. A lei ainda determina a obrigatoriedade da elaboração de um plano de saneamento básico pelos municípios, onde visa a qualidade de vida dos habitantes.

Através da Lei 11.445/2007, foi determinado um instrumento que viabiliza o planejamento e a prestação de serviços, para assegurar a saúde pública. Mas devido a necessidade de grandes investimentos nesta área, se torna precária a garantia de condições ao acesso e de qualidade dos serviços, gerando com isso, um enorme déficit no processo de inserção ao saneamento. Onde no âmbito da esfera pública, deve assegurar os serviços citados acima, de maneira que a sociedade possa usufruir de forma digna esses elementos que são cruciais a sobrevivência humana (SANTANA, 2014).

Tiscoski (2009) relata que os serviços de saneamento estão conectados com a melhora da qualidade de vida, juntamente com a proteção ao meio ambiente. Porém o acesso universal aos benefícios do saneamento é ainda uma meta a ser obtida por toda a sociedade, que demanda um envolvimento mutuo dos segmentos sociais em conjunto com o poder público.

A escassez de saneamento básico resulta em diversas falhas de infraestrutura urbana e habitação, juntamente com outros casos que tornam agravante a questão socioambiental das cidades, deixando as condições de vida mais precárias, para a maioria da população (SOUZA, 2002). No Brasil, o saneamento básico é aceito como um serviço de política social, essencial para a saúde pública e ambiental. Tornando-se assim uma meta social por ser indispensável à vida humana e a proteção ao meio ambiente, evidenciando seu caráter público e o Estado mantendo o dever a sua promoção (FUNASA, 2006).

No que se refere a cidade de Guaporé, conforme pesquisas do IBGE (2010), 64% dos domicílios urbanos da cidade contavam com rede geral ou pluvial de esgoto, 33% possuíam fossa séptica, e somente 2% tinham fossa rudimentar ou com o despejo em rios e lagos. Destaca-se que a rede geral se refere a rede pluvial mista e não abrange necessariamente um tipo de destinação apropriada para o esgotamento sanitário.

Conforme o PMSB (2017), precisa-se saber que a drenagem pluvial do município junta o recebimento do sistema de esgotos sanitários, isso quer dizer que, o sistema é misto. Ainda, o sistema de drenagem pluvial foi ampliado ao longo do tempo, não tendo um projeto global de dimensionamento, resultando em redes subdimensionadas e sem as

devidas atualizações com a realidade, bem como com o crescimento da cidade. Logo, o dimensionamento da rede pluvial precisaria considerar as vazões de esgotos mais vazão das chuvas, que não se constatou. Além disso, no estudo feito, a vazão de esgoto que colabora para a drenagem pluvial é de aproximadamente de 5.424.000 L/dia, provocando uma sobrecarga ainda maior para as redes de microdrenagem.

Conferiu-se ainda a existência de aporte de efluente industrial, tratado e não tratado, lançado diretamente na rede pluvial. Este volume não pôde ser estimado por ser uma atividade ilegal, não sendo impossível a contabilização do real acréscimo de efluentes industriais na rede de microdrenagem. Existem graves falhas na infraestrutura, conservação e manutenção, com pontos de deterioração dos materiais, e também condutos pluviais com problemas de assoreamento, lançamento de lixo e presença de resíduos. Esses fatores são agravados por conta do crescimento da cidade, dos desmatamentos para a urbanização, do aumento do grau de impermeabilização do solo, das ocupações impróprias em localidades sob influência das águas, bem como da erosão (PMSB, 2017).

De maneira geral, o sistema que existe na cidade, faz com que as águas corram por meio de inclinações contidas nas ruas, conduzindo-as para a sarjeta, e por meio da força gravitacional, correm pelas laterais destas vias, tomando a direção das bocas de lobo ou caixas coletoras com grades, sendo transportadas por meio de tubos subterrâneos para áreas baixas, desaguando em um curso hídrico (PMSB, 2017).

A cidade de Guaporé não possui sistema coletivo de tratamento de efluentes (esgoto). O esgotamento sanitário da cidade é do modelo individual, ou seja, efetivado em cada lote habitacional, onde conforme Von Sperling (1995), os sistemas individuais são propícios para residências unifamiliares. E hoje em dia, além do sistema individual estabelecido em cada lote habitacional, está sendo feita a exigência em loteamentos novos para a colocação da rede coletora de esgoto, do modelo separador absoluto (rede seca), pois, até a implantação do sistema coletivo de tratamento, esta permanecerá inutilizada, feita somente como espera.

Analisando o caso, fica evidente a importância de novos estudos de saneamento básico, especialmente em questão de esgotamento sanitário, que necessitam de investimentos sustentáveis e que promova a melhora da qualidade de vida dos habitantes e à preservação do meio ambiente.

Portanto, este trabalho propõe uma visão viável e técnica de um sistema de esgotamento sanitário da cidade de Guaporé, visto que a cidade conta apenas com sistema de esgotamento sanitário do tipo individual, viabilizando esta pesquisa, pois a cidade cresceu demasiadamente nas últimas décadas, comportando um sistema coletor avançado.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme Telles (2014), a rede coletora de esgoto é constituída por um conjunto de condutos conectados entre si, cobrindo as ruas do local a que serve, podendo ser nomeadas de redes simples as que são constituídas de uma canalização única por rua, ou ainda, sendo denominadas de redes duplas, as que possuem canalização distribuída uma em cada calçada, onde que em cada nó, ou ponto de singularidade é colocado um órgão acessório como um poço de limpeza nas cabeceiras. Após a definição do tipo de rede que será adotada, há uma série de cálculos a serem feitos para que desta maneira seja possível realizar o dimensionamento da rede coletora, o passo a passo pode ser verificado no fluxograma representado na Figura 01:

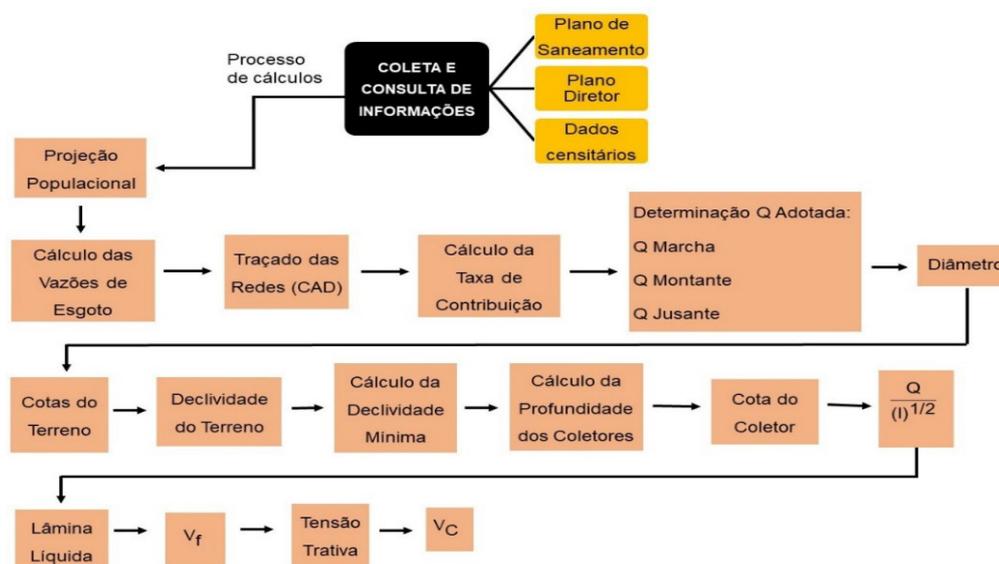


Figura 01: Fluxograma da ordem de realização do estudo de concepção.

Fonte: Autoria própria (2019).

Para obter uma compreensão do tema realizou-se um levantamento dos conceitos indispensáveis para um novo plano de redes coletoras de esgotos sanitários. Utilizando as normas da ABNT NBR 9648/1986, NBR 9649/1986, NBR 14486/2000 como base, juntamente com a Lei 11445/2007, bem como livros para pesquisas e o Plano Diretor elaborado para o Município de Guaporé.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizou-se o estudo de concepção para a projeção do sistema num período de 20 anos, estimando o crescimento da população de acordo com o censo do IBGE para a quantidade de habitantes que irão utilizar a rede de esgotos.

O projeto da rede coletora foi elaborado de acordo com as características de

implantação, seguindo como base o projeto urbanístico, levantamentos topográficos e planialtimétricos da área, bem como curvas de níveis da microbacia do Arroio Barracão. Sendo a coleta de esgoto do tipo separador absoluto, orientado em função das condições de escoamento por gravidade, dimensionada para atender a vazão inicial e final de projeto.

O projeto segue diretrizes da CORSAN, onde a rede foi dimensionada usando tubos de PVC com diâmetro mínimo de 150 mm, sempre atendendo a lâmina d'água mínima de $Y/D = 0,75$ e com uma tensão trativa de 1,0 Pa, garantindo a autolimpeza das tubulações. Os cálculos farão uma previsão da taxa de infiltração de 0,0001 l/s.km para a rede coletora, e uma vazão mínima por trecho de 1,5 l/s recomendada pela NBR 9649.

4 | CONCLUSÃO

Tendo por base a bibliografia consultada e materiais e informações coletadas nos órgãos públicos do município, foi possível realizar o diagnóstico da situação do esgotamento sanitário em Guaporé para posteriormente realizar um estudo de concepção.

Conclui-se que o presente trabalho serve de base para a posterior realização do projeto executivo e implantação do sistema de esgotamento no município, colaborando para o progresso da infraestrutura de saneamento básico em Guaporé e, por conseguinte, para garantir a recuperação do meio ambiente e qualidade de vida dos habitantes.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 05 de jan. de 2007**. Estabelece Diretrizes Nacionais Para O Saneamento Básico; Altera As Leis nos 6.766, de 19 de Dez. de 1979, 8.036, de 11 de Mai. de 1990, 8.666, de 21 de Jun. de 1993, 8.987, de 13 de Fev. de 1995; Revoga A Lei no 6.528, de 11 de Maio de 1978; e Dá Outras Providências. Brasília, 2007.

SANTANA, Henrique Batista de. **A Importância do Saneamento Básico na Área Urbana do Município de São João do Rio do Peixe, com um Enfoque no Esgotamento Sanitário**. 2014. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Geografia, Universidade Federal da Campina Grande, Cajazeiras - PB, 2014.

TELLES, J. R. **Dimensionamento de Rede de Esgoto Sanitário Considerando o Uso de Diâmetros não Progressivos Calculados com o Programa SANCAD**. Palhoça, 2014. Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL, 2014.

TISCOSKI, C.L.; Brasil. Sec. Nacional de Saneamento Ambiental Programa de Educação Ambiental e Mobilização Social em Saneamento. **Caderno metodológico para ações de educação ambiental e mobilização social em saneamento**. Brasília, 2009.

ANÁLISE DE ESTUDO DO RECALQUE DE EDIFICAÇÃO SITUADA EM ZONA SUL DA CIDADE DE QUITO - EQUADOR

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 09/03/2020

Alexis Enríquez León

Escuela Politécnica Nacional, EPN

Quito, Equador

RESUMO: O setor Turubamba, no sul de Quito, foi afetado pelo fenômeno de remoção de massas, causando fissura, inclinação e recalque em edificações. Este artigo baseia-se no relatório oriundo do estudo de estabilidade da “Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos”, utilizando-se o edifício na “Agencia Sur del Registro Civil, Identificación y Cedulación”, que se encontrava em franco colapso. Caracterizou-se o solo mediante o U.S.C.S, medindo umidade, limites de consistência, granulometria e características físico-mecânicas. Foram encontradas colunas colapsadas, fissuras e rachaduras. Em conclusão, o dano estrutural se relaciona com deslocamento horizontal e vertical excessivo da cimentação inadequada. Considerando-se o risco da utilização da infraestrutura e da população deste tipo de zonas, os governos locais devem trabalhar para proporcionar cidades mais seguras, conforme o

objetivo 11 para o desenvolvimento sustentável das Nações Unidas.

PALAVRAS-CHAVE: solo, recalque, risco, subsidência.

CASE OF STUDY OF THE SUBSIDENCE OF A CONCRETE BUILDING LOCATED IN THE SOUTHERN AREA OF QUITO - ECUADOR

ABSTRACT: The Turubamba zone, in the southern of Quito, has been affected by a mass removal phenomenon, causing fissures, inclinations and subsidence in buildings. This article is based on the report from the stability study of the “Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos” in “Agencia Sur del Registro Civil, Identificación y Cedulación”, building which is currently in rapid collapse. The soil was characterized by an U.S.C.S., measuring moisture, consistency limits, grain size, and physical-mechanical characteristics. Analyzing the building, collapsed columns, fissured and cracks in floors were found. In conclusion, structural damage was directly related to excessive vertical and horizontal displacement to foundation. Considering the risk for the infrastructure and population of these types of areas, local governments must work to make cities safe according the Goal 11 for sustainable

development of the United Nations.

KEYWORDS: soil, settlement, risk, soil, subsidence.

1 | INTRODUÇÃO

Este estudo trata-se de recopilação da análise dos resultados de ensaios utilizados como referência para este informe, objetivando-se a apresentação de um caso de estudo dos riscos à infraestrutura de concreto armado construída sobre solos pouco competentes, realizado em 2013 pela “Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos”, no setor de Turubamba, situado no sul da cidade de Quito, no edifício denominado “Agencia Sur del Registro Civil, Identificación y Cedulación” que apresenta risco iminente de desabamento devido a fatores geológicos que afetam toda a área, podendo ocasionar colapso total das estruturas ali presentes (Yáñez, 2016). Essa zona foi atingida por fenômeno de remoção em massa, o que gerou fissuras, inclinações, instabilidades e recalques em edificações.

Devido às características geotécnicas do setor, que deveria ser conservada como área de proteção, o mau uso dos solos para construção e estabelecimento da população no local, geraram alterações sobre o nível freático, tornando-o superficial, sendo agravado pelo tráfego promovido por circulação de veículos de grande porte, o que provocou sobrecarga no solo (Yáñez, 2016).

Risco é a probabilidade das consequências prejudiciais e perdas esperadas, como mortes, lesões, deterioração ambiental, resultado de interações entre ameaças naturais e antropogênicas, ou seja, o risco está relacionando com a probabilidade de sofrer danos. Portanto, a formulação do risco é diretamente proporcional tanto à ameaça como a vulnerabilidade, que pode ser definida como condições determinadas por processos e fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais que aumentam a exposição e suscetibilidade de uma comunidade ao impacto negativo das ameaças (Cardona, 2003).

A população que estava assentada nesse território era de aproximadamente 8 mil pessoas, ocupando cerca de 15 hectares. Tendo-se em vista a redução dos riscos para essa população através de intervenções dirigidas com o propósito de diminuir o impacto das ameaças, por meio de medidas estruturais e não estruturais para a proteção das construções, realizou-se o estudo da área para fortalecimento institucional, educacional e preparação da comunidade para a regulação do uso dos solos, entre outras possibilidades (Demoraes, 2005). Na figura 1 é localizada a zona de estudo.



Figura 1: Mapa do distrito Metropolitano de Quito.

Fonte: Adaptado de Yáñez, 2016.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para a análise da estabilidade de edificações construídas nessa área, foi realizado estudo da estabilidade utilizando-se um edifício pertencente ao governo, denominado “Agencia Sur del Registro Civil, Identificación y Cedulación”, por determinação da “Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos”, no setor de Turubamba, situado no sul da cidade de Quito, com área de edificação estudada de 11.269,36 m² onde estão localizados três edifícios chamados: prédio Sur - Archivo Jurídico, predio Centro - Archivo Provincial e prédio Norte - Archivo Nacional, os quais contam com um andar com altura de entrepiso de 3 metros, com laje nervurada de 20 cm de espessura, o sistema estrutural é constituído de concreto armado. Atualmente em franco colapso, sendo aproximadamente 200 edificações com problemas semelhantes (SNGR, 2013). Na figura 2 encontra-se a localização do prédio estudado no sul de Quito.



Figura 2: Localização do prédio estudado.

Fonte: Adaptado de Demoraes, 2005.

A zona de estudo está situada dentro do aquífero no sul de Quito, localizado na bacia do rio Machángara. O material litológico presente na área corresponde a um depósito de cinzas da formação Cangahua (solo antigo e endurecido) de permeabilidade média e porosidade intergranular, a qual apresenta características favoráveis para a construção, por ser uma rocha branda e que apresenta valores de coesão que variam de 0,5 a 0,15 MPa (Guerrón, 2012).

Durante o estudo, foram executadas 20 perfurações à percussão, com ensaio de penetração, Standard Penetration Test (SPT) cada metro, segundo a norma ASTM D 1586-11. Caracterizou-se o solo da zona nos locais das perfurações realizadas, mediante o sistema de classificação unificada dos solos (Unified Soil Classification System - USCS), de acordo com a norma ASTM D-2487, medindo a umidade natural, densidade natural, limites de consistência e granulometria. Além disso, foram realizados ensaios triaxiais não consolidado não drenado, segundo a norma ASTM D-2850 e corte direto pela norma ASTM D-3080.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Sabe-se que a cidade de Quito é afetada por recalques desde 1900, estudos mostram que isso se deve ao resultado do crescimento urbano não planejado, o qual produziu drástica mudança nos sistemas de drenagem natural levando ao limite da falha dos solos com pouca resistência (FUNEPSA, 2015).

Evidencia-se no edifício estudado, “Agencia Sur del Registro Civil, Identificación y Cedulación”, a presença de solos brandos e soltos. Para a caracterização geotécnica dos

materiais existentes, recorreu-se à informação obtida das perfurações, estudo geofísico e toda a informação sísmica, geológica e hidrogeológica conhecida da área.

3.1 Fatores de Instabilidade do setor

Historicamente, a região é denominada zona lacustre, rica em lodo. Estudos atuais determinam a ameaça, vulnerabilidade e riscos, que indicam importantes deformações destes solos (SNGR, 2013).

Os recalques lentos encontram-se afetando os terrenos de solos brandos e suaves existentes no setor, devido a mudanças de tensões induzidas no terreno pelo descenso do nível freático, processos lentos de dissolução e lavagem de materiais.

Esses processos foram acelerados pela atividade antrópica, incluindo a contaminação de aquíferos por derrame de hidrocarbonetos. Como consequência à perda de água, existe descida da cota da superfície e do recalque que afetam a zona, que também se deve às construções realizadas sobre aterros sanitários e encostas, exploração de água subterrânea e aumento do número de pisos nas construções informais e sem orientação técnica.

A região também está sujeita à atividade sísmica que é produzida devido à presença da falha geológica de Quito, sendo considerada área de ameaça média, apresentando terreno instável, com materiais pouco ou não fraturados por atuações naturais muito intensas, assim com a ação de precipitação da zona (IG, 2007).

Os resultados dos ensaios de classificação do edifício governamental, como representado na tabela 1, refletem a predominância de solos argilosos, com porcentagens de areia pumítica. Em menor escala se apresentam solos limosos, argilosos limosos, todos com apreciável porcentagem de areia com baixa plasticidade. Todos os solos se apresentam com conteúdo de umidade de alta à saturada, seu conteúdo de umidade natural é, em geral, maior que o limite plástico e próximo ao limite líquido.

Material	Umidade (%)	Densidade natural (T/m ³)	Coesão (T/m ²)	Ângulo de fricção (°)
Turfa	138.0	1.0	1.5	0.0
Limo argiloso orgânico preto	33.4	1.3	0.2	5.0
Argila limo arenoso café amarelado	27.3	1.7	0.7	14.0
Limo argiloso arenoso cinza esverdeado	27.8	1.7	0.6	27.0

Tabela 1: Classificação dos solos.

Fonte: SNGR, 2013.

Os resultados representam as diferenças marcadas nas características geotécnicas

desses solos, que vão desde desfavoráveis para a turfa, a razoavelmente boas para o lodo argiloso arenoso de base.

Dos resultados dos ensaios de penetração standard, apresentados na tabela 2, se evidencia a presença de solos brandos e soltos, com valores N menor que 6, assim como a presença de solos competentes, densos e rígidos, com valor de N maior que 30 (Abad, 2012). Os valores entre 1 e 6, correspondem aos solos saturados, orgânicos, de alta compressão, turfa com diferentes porcentagens de matéria orgânica (Soriano, 2013). Os valores maiores são representativos de solos orgânicos com diferentes graus de consolidação. Os solos podem classificar-se como profundos e muito consolidados (Poliotti *et al.*, 2007). Segundo a classificação NEC-SE-DS Peligro sísmico., o solo pode classificar-se como do tipo D que tem um V_s (velocidade média da onda de cisalhamento do solo sobrejacente ao semi-espaço) entre 180 e 360 m/s (NEC, 2015).

Zona	Litologia	Espessura (m)	N de SPT
Zona 1	Argila e limo: arenosos de cor café escuro a enegrecido, de consistência média, mediano conteúdo de umidade.	2.3	6-8
Zona 2	Argila e limo arenosos pumítico, de cor café amarelado, de consistência semi endurecida a endurecida, saturado, com alto conteúdo de umidade.	5.0	9-22
Zona 2A	Limo orgânico vegetal, negro, com abundantes raízes, muito suaves, de alta umidade e saturada, com níveis de areias e cinzas. (Turfa)	11 (P11)	1-5
		4 (P10)	
Zona 3	Argila e Limo arenoso de cor cinza esverdeado, de consistência dura a rígida, de umidade média a saturada.	1 - 4	25-57

Tabela 2: Zonas geotécnicas.

Fonte: SNGR, 2013.

3.2 Geologia estrutural

Quito está situada dentro de região sísmica, com tectonismo ativo, as estruturas geológicas estão apresentadas pelo Sistema de Falhas de Quito na figura 3. Na zona de estudo do projeto, foram identificadas séries de alinhamentos que podem corresponder a grandes fraturas ou micro falhas que tem relação com a direção das grandes falhas de Quito (Aguiar, 2013).

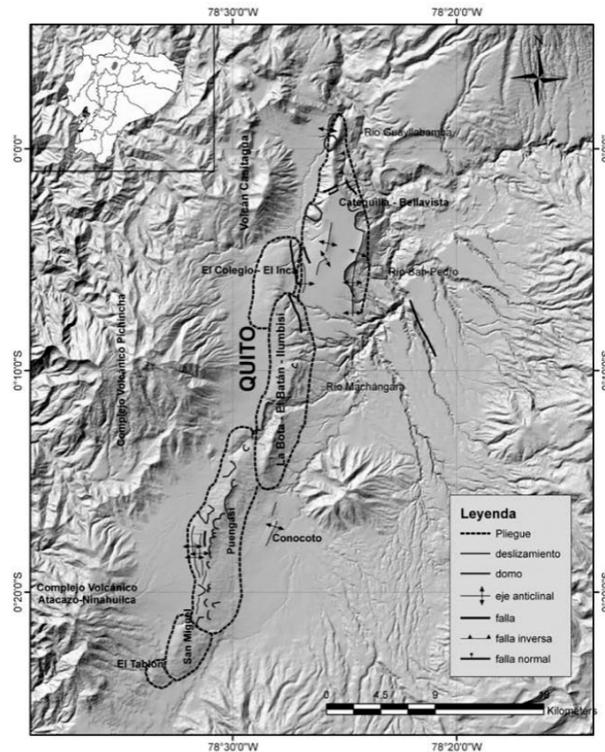


Figura 3: Sistemas de Falhas de Quito.

Fonte: IG, 2007.

3.3 Modelo hidrogeológico

A zona de estudo se encontra dentro da área de influência definida como aquífero sul, que foi definido com área de acumulação de aproximadamente 40 km² e de recarga de 51 km².

Para a análise hidrogeológica, pode-se considerar que a zona apresenta alto conteúdo de umidade, e se é considerado o nível freático sendo o nível de água medido durante a execução das perfurações, pode-se assegurar que a zona tem um alto nível de água, de pelo menos 1 a 5 metros.

O comportamento do nível freático é normal, ou seja, é mais profundo quanto mais se aproxima do ponto de drenagem mais próximo.

3.4 Discussão

Após análise das edificações da área, concluiu-se que não foi utilizado o sistema de construção adequado para a área, resultando na falha dos assentamentos de toda a zona, que atualmente encontra-se ocupado pela população.

Os valores de tolerância de assentamentos são de no máximo 3 cm segundo a norma vigente na época, e foram encontrados de 15 a 30 cm, em sua maioria, estando aquém do valor que deveria ser cumprido (SNGR, 2013).

Os níveis de desempenho de elementos estruturais e não estruturais foram seriamente afetados, gerando alto grau de vulnerabilidade da edificação, sendo encontrados danos severos e em estado progressivo, podendo-se presumir colapso em pouco tempo.

O dano estrutural está relacionado diretamente com deslocamento excessivo devido à cimentação inadequada para a construção, sendo a causa das deformações que ocasionam danos em elementos estruturais e não estruturais, ocasionando que esses deslocamentos passem de inelásticos controláveis a incontroláveis (SNGR, 2013). A figura 4, mostra com referência à linha vermelha, o recalque da estrutura no térreo, com uma inclinação de aproximadamente 3° , onde a coluna apresenta uma inclinação excessiva e perigosa.



Figura 4: Inclinação de elementos estruturais;

Fonte: SNGR, 2013.

A zona estudada não segue o padrão de desenho tomando-se como base intervalos lineares de curvatura, onde há deslocamentos severos, neste caso, a estrutura trabalha com limite linear geométrico. Foram encontradas colunas colapsadas, paredes com desprendimento, rachaduras excessivas em pisos com medidas de 4x15 cm e falhas não estruturais (SNGR, 2013). Na figura 5, mostra-se o claro recalque e inclinação não uniforme, como consequência tem-se rachaduras excessivas ou totais no piso.



Figura 5: Rachaduras excessivas em pisos.

Fonte: SNGR, 2013.

Finalmente, nas tabelas 4 e 5 resume-se o resultado dos ensaios onde basicamente são mostradas as variações dos limites de consistência, segundo a sondagem e também, a coesão relativamente baixa com ângulo de fricção nulo (P-11), demonstrando-se as propriedades desses solos brandos e soltos.

Poço Nº	Prof. (m)	Umidade Natural (%)	Densidade natural (T/m ³)	Granulometria (%)			LL (%)	LP (%)	IP (%)	SUCS
				Nº 4	Nº 40	Nº 200				
P-11	3.0	58.3		98.2	80.0	51.3	76.6	49.2	27.3	MH
	10.0	145.8	1.01	99.2	87.5	64.8	372.0	265.3	106.7	-
	13.0	32.5		99.8	89.5	48.4	-	-	-	SM
P-12	2.0	27.4		98.5	86.4	64.0	31.5	19.3	12.2	CL
	4.0	20.1		100.0	95.0	67.3	26.0	19.2	6.8	CL-ML
	8.0	29.8		97.7	68.8	30.8	37.7	34.4	3.3	SM

Tabela 4: Resumo dos resultados dos ensaios.

Fonte: SNGR, 2013.

Poço Nº	Prof. (m)	SUCS	TRIAXIAL UU			
			Densidade (T/m ³)	Umidade (%)	Coesão (T/m ²)	Fricção (°)
P-11	3.0	MH				
	10.0	-	1.01	138.2	1.5	0
	13.0	SM				
P-12	2.0	CL				
	4.0	CL-ML				
	8.0	SM				

Tabela 5: Resumo dos resultados dos ensaios.

Fonte: SNGR, 2013.

4 | CONCLUSÕES

Este estudo baseou-se na recopilación de dados de informes pertencentes a “Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos”, no ano de 2013, utilizando-se edifício denominado “Agencia Sur del Registro Civil, Identificación y Cedulación”. Os dados obtidos foram analisados e ordenados de forma a organizar-se as conclusões possíveis do estado da edificação no ano em questão.

É importante mencionar que a avaliação da vulnerabilidade física por ameaça sísmica dessa área é de suma importância, pois a ocorrência de tais eventos poderia levar à processo de liquefação do solo, o que geraria recalques súbitos e potencialmente mortais.

Por razões de alto custo de possíveis reabilitações do edifício em questão, priorizando-se a segurança a estrutura foi desocupada, justificando-se através dos resultados técnicos

que demonstraram alto risco de desabamento.

A problemática de subsidência no setor, resulta na combinação de vários fatores com a presença de solos limosos orgânicos, areias finas saturadas dentro de um ambiente lacustre, material de enchimento não tecnificado, ação antrópica relacionada com o mau uso do solo, construções informais que não respeitam as técnicas apropriadas e construção da infraestrutura pública como coletores que causam alterações sob o nível freático.

Entre a combinação de fatores expostos no problema, pode-se destacar os resultados do ângulo de fricção nula (0°) das amostras ensaiadas a uma profundidade de 10 m, também foram obtidos que os esforços de coesão variando entre 0.2 a 1.5 T / m² não são totalmente favoráveis para fundações tradicionais, mais ainda em se tratando de um prédio para uso público.

REFERÊNCIAS

ABAD, I. **Interpretación de los Ensayos Geotécnicos en Suelos**. Gráficas Muriel. Madrid, 1ª ed., 2012, 628p.

AGUIAR, R. **Microzonificación sísmica de Quito**. Universidad de Fuerzas Armadas ESPE. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Quito, 2013, 212p.

CARDONA, O. **Teoría del Riesgo y Desastres. Curso de Educación Superior Gestión Integral de Riegos y Desastres. Guía de Estudio**. Argentina, 2003, 86p.

DEMORAES, F. **Movilidad, elementos esenciales y riesgos. IRD-MDMQ, IFEA. Colección Quito Metropolitano**, n.º 26. Quito, 2005, 227p.

FUNEPSA, CÍA, LTDA. **Actualización de la zonificación por amenaza de deslizamiento en el Distrito Metropolitano de Quito**. Quito, 2015, 101p.

GUERRÓN, A. **Análisis de la influencia del porcentaje de finos en la capacidad de carga admisible de la cangahua en la ciudad de Quito**. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Escuela Politécnica Nacional. Ecuador, 2012. 151p.

IG. – Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. **Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador. Serie: El riesgo sísmico en el Ecuador**. Corporación Editora Nacional. Ecuador, 2007, 101p.

NEC – NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN. **NEC-SE-DS Peligro Sísmico**. Quito, 2015, 135p.

POLIOTTI, M & SIERRA, P. **Consolidación unidimensional de suelos**. Universidad Nacional de Rosario. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Argentina, 2007. 41p.

SNGR – SECRETARÍA NACIONAL DE GESTIÓN DE RIESGOS. **Informe técnico de inspección provincia de Pichincha - Quito, sector Turubamba**. Quito, 2013. 43p.

SORIANO, C. **Aplicación del ensayo de penetración estándar en la determinación de parámetros geotécnicos de suelos granulares**. Revista de Investigación - Escuela de Ingenieros Militares, ISSN 2145-3144, p.1-8, 2013.

YÁNEZ, M. **Evaluación del riesgo por subsidencia en la zona de Turubamba, sur de Quito, como aporte al diseño de un plan integral de gestión de riesgos del Distrito Metropolitano de Quito.** Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Escuela Politécnica Nacional. Equador, 2016. 147p.

PATOLOGIA EM LAJES MACIÇAS DE EDIFÍCIO EMPRESARIAL

Data de aceite: 01/06/2020

Bruno Matos de Farias

Mestre em Desenvolvimento Local; Professor de Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estácio de Sá – UNESA - bmfarias@gmail.com

Ronaldo Garcia da Costa

Acadêmico de Engenharia Civil – UNESA - rogacosta@hotmail.com

Rebecca Alves da Silva

Acadêmica de Engenharia Civil – UNESA - rebeccaalves.s@hotmail.com

José Ricardo Cardoso Domingues

Acadêmico de Engenharia Civil – UNESA - ricardo.engenhariacivil@outlook.com

RESUMO: Na elaboração de projetos arquitetônicos, particularmente das edificações, engenheiros e arquitetos defrontam-se com diversas alternativas que dizem respeito à escolha do tipo de laje. Constitui-se, pois, numa importante decisão, que poderá representar sensíveis resultados no custo e qualidade da edificação. O objetivo deste trabalho é apresentar as manifestações patológicas observadas de uma laje de cobertura em uma determinada construção localizada no Estado do Rio de Janeiro por meio de uma pesquisa de campo. A metodologia do estudo

é qualitativa, exploratória. Como resultado da pesquisa temos uma laje de concreto armado maciça, com idade próxima dos trinta anos parcialmente coberta, revestida em sua parte superior por manta asfáltica e uma camada de argamassa. Ficando, portanto, a mesma exposta às ações do tempo como intempéries e condições climáticas. Na parte inferior, esta cobre um corredor de área comum de acesso entre dois prédios, onde a sua superfície não recebeu nenhum tipo de revestimento. Como acabamento no local, foi aplicado um forro na parte inferior do pavimento, o que impediu qualquer monitoramento visual da degradação ocorrida, devido a não existência de uma rotina de vistoria ou manutenção preventiva em lajes do complexo em questão. Para análise da estrutura foi realizada a inspeção visual da laje em estudo. Para tanto, foi feita a inspeção pela face superior da laje e as manifestações patológicas foram identificadas. Ambientalmente, a relevância do tema é ainda maior, visto o acelerado processo de degradação do meio ambiente, de esgotamento dos recursos naturais e da perda de qualidade de vida, como por exemplo, o aquecimento global, causado pelo uso indiscriminado das matérias primas e dos processos industriais envolvidos na construção civil. Por fim, evidencia-se que o

programa de manutenção foi negligenciado, além de ser constituída por um traço de concreto insuficiente e em deformidade de materiais e cujo processo de execução também incorreu em vícios construtivos.

PALAVRA-CHAVE: laje maciça; patologia; edifício empresarial

PATHOLOGY ON MASSIVE SLABS OF CORPORATE BUILDING

ABSTRACT: In the elaboration of architectural projects, particularly of the buildings, engineers and architects are faced with several alternatives that relate to the choice of the type of slab. It is therefore an important decision that can represent sensitive results in the cost and quality of the building. The purpose of this work is to present the pathological manifestations observed from a roof slab in a certain construction located in the state of Rio de Janeiro by means of a field survey. The methodology of the study is qualitative, exploratory. As a result of the research we have a massive reinforced concrete slab, aged close to thirty partially covered, coated in its upper part by Manta asphalt and a layer of mortar. Thus getting the same exposed to the actions of weather as weather and climatic conditions. At the bottom, this covers a common area corridor of access between two buildings, where its surface has not received any type of coating. As an on-site finish, a liner was applied at the bottom of the pavement, which prevented any visual monitoring of the degradation, due to the lack of a routine inspection or preventive maintenance on slabs of the complex in question. For analysis of the structure was carried out the visual inspection of the slab in study. To do so, the inspection was made by the top face of the slab and the pathological manifestations were identified. Environmentally, the relevance of the theme is even greater, seen the accelerated process of degradation of the environment, depletion of natural resources and loss of quality of life, such as global warming, caused by the indiscriminate use of materials and industrial processes involved in civil construction. Finally, it is evident that the maintenance program was neglected, besides being constituted by a trace of insufficient concrete and deformity of materials and whose execution process also incurred constructive addictions.

KEYWORDS: Solid slab; Pathology Business Building.

1 | INTRODUÇÃO

A Patologia das Estruturas é definida como sendo o campo da Engenharia que se ocupa do motivo da aparição de anomalias, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas. Ambientalmente, a relevância do tema é ainda maior, visto o acelerado processo de degradação do meio ambiente, pela falta de consciência humana, de esgotamento dos recursos naturais e da perda de qualidade de vida, como por exemplo, o aquecimento global, causado pelo uso indiscriminado das matérias primas e dos processos industriais envolvidos na construção civil.

A patologia na construção civil ocorre quando uma construção apresenta defeitos

ou então, quando ela não atende mais as funções para as quais foi projetada e em consequência desse fato, deve-se ser feito um conserto. Dessa forma, o reparo de uma patologia possui a finalidade de recuperar essa função.

A estrutura de um edifício é composta por diferentes tipos de elementos estruturais, que têm como função principal suportar as cargas a que está sujeita a edificação. Para o cálculo, inicialmente, deve ser considerada a NBR8681/84 (ABNT, 1984) que fixa as condições exigíveis na verificação da segurança das estruturas e estabelece as definições e critérios de quantificação das ações e das resistências a considerar no projeto das estruturas de edificações.

Quanto às cargas, a norma brasileira, NBR6120/80 (ABNT, 1980), classifica-as em permanentes (g) e acidentais (q). As cargas permanentes são constituídas pelo peso próprio da estrutura, pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes. As cargas acidentais são aquelas que podem atuar sobre as estruturas de edificações em função do seu uso (pessoas, móveis, materiais diversos, veículos, etc.). Esta classificação é complementada pela NBR-6118/82 (ABNT, 1982), com a discriminação de outras variáveis que devem ser consideradas, pois podem produzir esforços importantes na estrutura. São elas: ação do vento, variação de temperatura, retração, deformação lenta, choques, vibrações e esforços repetitivos, influência do processo de construção com deslocamento de apoio.

As lajes podem ser caracterizadas como estruturas laminares, normalmente planas e horizontais, solicitadas predominantemente por cargas normais ao seu plano médio e que dividem pavimentos. O seu formato é variável, desenvolvendo-se sobre elas (exceto em algumas coberturas) as atividades normais em um edifício. Rocha (1986) afirma que: “Para suportar as cargas verticais transmitidas a um plano horizontal (piso dos edifícios), empregando-se como material o concreto armado, executa-se uma placa deste material monolítico, a qual tem a denominação de laje”.

No que diz respeito à confecção de lajes, presume-se que a sua utilização aconteceu ao final da década de 20, conforme citado por VASCONCELOS (1985):

“Os pavimentos superiores já começam a apresentar lajes maciças de concreto, em substituição a soalhos de madeira... Nos edifícios de médio porte e nas poucas edificações com mais de cinco pavimentos são predominantes às estruturas de aço que vão cedendo lugar às de concreto armado, nos dois casos utilizando-se lajes de concreto armado e vedações de alvenaria de tijolos. Por volta de 1935 já são também utilizadas as primeiras 'lajes mistas' constituídas por vigotas de concreto sobre os quais se apoiam blocos cerâmicos, seguidos de capeamento de concreto com armação.”

Apolo (1979) divide as lajes em função da sua capacidade de resistência durante a sua execução. São denominadas resistentes semi-resistentes e não resistentes. As resistentes são aquelas capazes de suportar por si só as cargas a que estão submetidas. As semi-resistentes necessitam de uma complementação de concreto, a fim de poderem resistir aos esforços de compressão existentes em sua superfície superior. Finalmente,

os vãos resistentes necessitam do auxílio de materiais “temporários”, para poderem ser executadas. As lajes feitas inteiramente na obra, ou seja, a armadura é montada e o concreto é lançado no próprio local da obra.

O objetivo deste trabalho é apresentar as manifestações patológicas observadas de uma laje de cobertura em uma determinada construção localizada no Estado do Rio de Janeiro por meio de uma pesquisa de campo.

2 | LAJES MACIÇAS

As lajes maciças são executadas totalmente na obra, em concreto armado, proporcionam uma aparência semelhante à de um material monolítico. A NBR-6118/82 (ABNT, 1982), prescreve que a sua espessura deve ser maior que:

- a) 5 cm em lajes de cobertura não em balanço;
- b) 8 cm em lajes de piso e em balanço;
- c) 12 cm em lajes destinadas à passagem de veículos. Em lajes cogumelos, esses limites devem ser elevados respectivamente para 12cm, 15cm e 18cm.

2.1 Pontos Altos da Laje Maciça

As lajes maciças têm sua fundamental influência no dimensionamento do suporte de peso, na sustentação além de intensificar seu uso por oferecem como vantagens:

- Facilidade no lançamento e adensamento do concreto;
- Possibilidade do emprego de telas soldadas, reduzindo o tempo de colocação do mesmo;
- Facilidade e vencer grandes vãos;
- Segurança na execução da concretagem;
- Maior rigidez ao conjunto da estrutura;
- Não necessidade de área para depósito de material inerte;
- Possibilidade de descontinuidade em sua superfície;
- Acabamento liso na parte inferior;
- Certa rapidez na execução;
- Economia financeira.

2.2 Riscos da Laje Maciça

Foram observadas manifestações patológicas decorrentes da degradação dos elementos construtivos que agravaram as causas, como por exemplo, ressecamento de impermeabilizações com mantas asfálticas, falta de qualificação na execução da laje, outras por ausência de manutenção, como entupimento de condutores de águas pluviais e ainda manifestações devido à deterioração do concreto levando a processos de corrosão

do aço. Ainda foram observados alguns vícios de construção, como a incorreta ancoragem dos sistemas de impermeabilização e o mau posicionamento das ferragens.

2.3 Apresentam como desvantagens da Laje Maciça

- Alto consumo de madeira para formas e escoramento;
- Maior geração de resíduos;
- Maior peso;
- Tempo de execução das fôrmas e tempo de desforma muito grandes;
- Uso de concreto onde ele não é solicitado.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do estudo tem abordagem qualitativa e exploratória apresentando um estudo de caso. Como resultado da pesquisa temos uma laje de concreto armado maciça, com idade próxima dos trinta anos parcialmente coberta, revestida em sua parte superior por manta asfáltica e uma camada de argamassa.

Trata-se de uma laje de concreto armado maciça, com idade próxima há trinta anos, parcialmente coberta, revestida em sua parte superior por manta asfáltica e uma camada de argamassa, ficando por tanto, a mesma exposta a ações do tempo como variações do tempo e condições climáticas. Na parte inferior cobre um corredor de área comum de acesso entre dois prédios, onde a sua superfície não recebeu nenhum tipo de revestimento. Como acabamento no local foi aplicado um forro na parte inferior do pavimento, o que impediu qualquer monitoramento visual da degradação ocorrida, devido a não existência de uma rotina de vistoria (manutenção preventiva) em lajes do complexo em questão. Laje degradada pelo intemperismo e deficiência na execução do projeto. A laje tem área total de 29,45 m², sendo sua extensão de 9,50 m e 3,10 m de largura.



Figura 01: Vista da face inferior da laje (Próprio Autor (2018))

Com o intuito de se identificar as causas das anomalias na laje maciça, adotou-se como metodologia a inspeção visual, relatórios fotográficos a qual procurou detectar as causas aos processos de deterioração do concreto.

Tais definições podem ser resumidas e entendidas a seguir:

Causas extrínsecas:

- Deficiência de concretagem – Transporte, lançamento, junta de concretagem, adensamento e cura.
- Inadequação de escoramento e formas.
- Deficiências nas armaduras – Má interpretação de projetos, insuficiência de armaduras, mau posicionamento, cobrimento insuficiente, dobramento inadequado, deficiência na ancoragem, deficiência nas emendas, má utilização de anticorrosivos.
- Utilização incorreta de materiais de construção – fCK inferior ao especificado, aço diferente do especificado, falha em sondagens, utilização de agregados reativos, utilização de inadequada de aditivos, dosagem inadequada do concreto.
- Inexistência de controle de qualidade.
- Falhas Humanas durante a utilização (ausência de manutenção).

Causas Naturais:

- Causas próprias à estrutura porosa do concreto.
- Causas químicas – reações internas expansibilidade do cimento.
- Causas físicas – variação da temperatura, insolação, vento e água.
- Causas biológicas: a decomposição, entre outros.

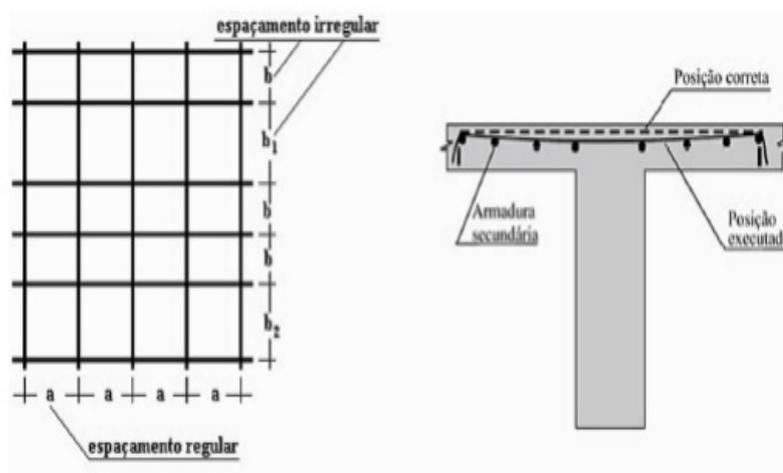


Figura 02: Espaçamento irregular e armadura irregular (Souza e Ripper (1998))

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A classificação de agressividade do ambiente à estrutura é utilizada para prevêê riscos aos elementos estruturais e para garantir um bom desempenho durante a vida útil do projeto que se relacionam com ações químicas e físicas a fim de garantir a estrutura de concreto, estabilidade e segurança.

A norma VBR 6118:2004 possui prescrições que visam preservar a estrutura de concreto armado. A agressividade da estrutura de concreto deverá ser classificada de acordo com o quadro 1.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1 2}	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial ^{1 2}	
IV	Muito Forte	Industrial ^{1 3}	Elevado
		Respingos de maré	
1 Pode-se admitir um micro clima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviços de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).			
2 Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou em regiões onde raramente chove.			
3 Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.			

Quadro 1: Classe de agressividade ambiental (ABNT NBR – 6118 (2004))

Nas estruturas de concreto, o cobrimento adequado das armaduras em questão são os principais mecanismos para garantir a durabilidade do material, além de proteger os vergalhões de aço. Qualquer falha nesse processo acarreta a armadura a suportar agressividades do meio ambiente. O que vem a diminuir a capacidade de suportar a carga da estrutura.



Figura 03: Falta cobertura de armadura (Próprio Autor (2018))

Classe de agressividade 2 – Moderada / Cobrimento das armaduras “recomendada” – Laje de concreto armado: 25 mm / Pilar e viga de concreto armado: 30 mm

As barras de aço apresentam usualmente o comprimento em torno de 12 m. Em elementos estruturais de comprimento superior a 12 m, como vigas e pilares, por exemplo, torna-se necessário fazer a emenda das barras. A NBR 6118/14 apresenta a emenda das barras, segundo um dos seguintes tipos:

- a) por traspasse (ou transpasse);
- b) por luvas com preenchimento metálico, rosqueadas ou prensadas;
- c) por solda;
- d) por outros dispositivos devidamente justificados.

No caso das emendas do tipo luva e solda, o concreto não participa da transmissão de forças de uma barra para outra, podendo as emendas ser dispostas em qualquer posição. No caso da emenda por traspasse é necessário que o concreto participe na transmissão dos esforços. Nesta apostila serão mostradas apenas as características das emendas por traspasse, que são bem mais comuns na prática das estruturas de concreto. Consideram-se como na mesma seção transversal que superpõem ou cujas extremidades mais próximas estejam afastadas de menos que 20% do comprimento do trecho de traspasse.



Figura 04: Ancoragem e espaçamento da armadura inadequada (Próprio Autor (2018))

4.1 Falta de cobrimento de armaduras (Ausência padrão granulométrico)

A brita 1 – Malha 24 milímetros é o produto mais utilizado pela construção civil, muito apropriado para fabricação de concreto para qualquer tipo de edificação de colunas, vigas e lajes assim como em diversas aplicações na construção de edificações de grande porte.

Na laje em questão foi detectada uma não conformidade granulométrica. Causando um falso preenchimento, deixando o ponto em questão sem resistência a qual foi dimensionada a laje.

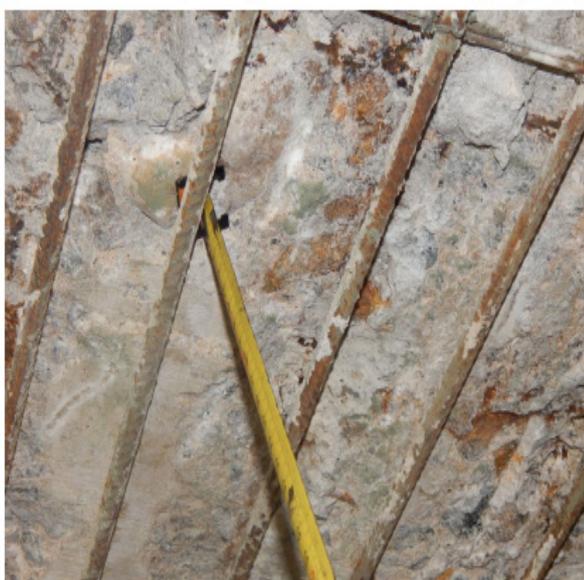


Figura 05: Ausência de padrão granulométrico (Próprio Autor (2018))

A manifestação patológica por falta de cobrimento de armaduras pode ser apresentada por:

- Impurezas nos materiais: madeira inserida na argamassa de proteção.
- Juntas de concretagem sem vedação e localizadas em pontos suscetíveis como descarga de coletores de águas pluviais.

- Falhas de ancoragem da manta asfáltica – instalação de equipamentos que não tem uma captação adequada de drenagem.
- Falhas de acabamento conduzindo as águas pluviais para nichos de acúmulo e um recolhimento de água pluvial mal dimensionado.



Figura 06: Ausência de padrão granulométrico (Próprio Autor (2018))

Medida corretiva proposta para falta de cobrimento de armaduras:

- Retirada das impurezas e preenchimento com argamassa polimérica.
- Limpeza das juntas e preenchimento com material betuminoso; desvio da captação de águas pluviais.
- Limpeza das juntas e preenchimento com material betuminoso; desvio da captação de águas pluviais.
- Refazer a camada de proteção para corrigir o caimento.



Figura 07: Desnível negativo no recolhimento de águas pluviais

Fonte: Próprio Autor, 2018

Manifestação patológica na cobertura de proteção

- Fissuração e trincamento da argamassa de proteção mecânica pela ação da temperatura.
- Desenvolvimento de vegetação acarretando em quebra do sistema de impermeabilização, entupimento de condutores de água pluviais.



Figura 08: Cobertura de proteção (Próprio Autor (2018))

4.2 Manifestação patológica com Ausência de proteção

- Ausência de proteção dos pontos de captação – detalhamento do projeto.



Figura 09: Ausência de ralo de proteção e recolhimento de água pluvial (Próprio Autor (2018))

4.3 Manifestação patológica por ausência de ralo de proteção e recolhimento de água pluvial

- Presença de taliscas de madeira inseridas na massa do concreto.
- Mau posicionamento de armaduras por falta de espaçadores – corrosão de armaduras.

- Camada de revestimento com vários pontos de cal em contato com armadura – corrosão de armaduras.



Figura 10 – Presença de talisca de madeira (Próprio Autor (2018))

4.4 Medida corretiva proposta para presença de talisca de madeira

- Retirada das impurezas e preenchimento com argamassa polimérica.
- Limpeza das armaduras; proteção por meio de pintura epóxi e revestimento com argamassa polimérica.
- Limpeza das armaduras; proteção por meio de pintura epóxi e revestimento com argamassa polimérica.



Figura 11 – Ausência de vibração na hora da concretar (Próprio Autor (2018))

4.5 Manifestações patológicas por presença de umidade

- Manchas de umidade na face inferior, formação de lodo no contorno dos captadores de águas pluviais;

- Destacamento de revestimento pelo excesso de umidade e lixiviação dos silicatos do concreto.



Figura 12: Presença de umidade (Próprio Autor (2018))

4.6 Medida corretiva proposta por presença e silicatos o concreto

- Reações internas: carbonatação, penetração cloretos, expansibilidade, etc.



Figura 13: Presença de silicatos (Próprio Autor (2018))

Por meio da inspeção visual realizada constatou-se que a principal causa da deterioração da estrutura de concreto é oriunda da ausência de preparo do executor com o material e de alguns vícios de construção. Podem ser citadas como causas principais.

- Ressecamento da manta asfáltica e falhas nas ancoragens das mesmas;
- Recobrimento insuficiente das armaduras;
- Porosidade excessiva do concreto;
- Ausência da manutenção preventiva e adequada da estrutura quer seja pela porosidade, quer seja pela presença de fissuras e trincas na camada de cobertura.

- Deficiência nos pontos coletores de águas pluviais.

5 | CONCLUSÃO

Conforme verificado in loco, são muitos os problemas que ocorrem nas estruturas e poderiam ser evitados caso houvesse cuidados maiores na execução do projeto, na especificação e utilização dos materiais, no uso adequado da estrutura, melhor preparo e orientação da mão de obra na sua manutenção preventiva, podendo assim evitar ou mesmo retardar a necessidade de retrabalhos ou reforço das estruturas. Constatou-se também que a correta escolha da técnica a ser utilizada numa recuperação estrutural, garantirá o sucesso do trabalho realizado.

Estabelecer um único diagnóstico que proporcione a identificação e classificação de ocorrências é uma condição fundamental para a correção adequada das possíveis anomalias observadas. Porém, designar uma única metodologia de inspeção e diagnóstico é impossível, pois a construção de um edifício envolve diversos fatores de caráter construtivo e executivo, circunstâncias pertencentes a cada obra.

REFERÊNCIAS

AECWEB. **Patologia do concreto**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/concreto-armado-e-solucao-duravel-e-economica_6993_0_1> Acesso em: 2 de maio de 2018

APOLO, Gerônimo Lozano. **Forjados y Losas de Piso – Forjados Unidireccionales**. Espanha: Ediciones G. L. A, 1979.

ARAÚJO, H. N. **Intervenção em obra para implantação do processo construtivo em alvenaria estrutural**: um estudo de caso. Florianópolis, 1995. 117 p. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) - Curso de pós-graduação em engenharia civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 (1982)**. Projeto e execução de obras de concreto armado: procedimento. Rio de Janeiro: 1982. 76p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 (2014) Informação e documentação: Projeto de Estrutura de concreto - procedimentos**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120 (1980). Informação e documentação: Referências**. Rio de Janeiro, ABNT, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681 (1984). Informação e documentação: Ações e Seguranças nas Estruturas**. Rio de Janeiro, ABNT, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681 (1985). Informação e documentação: Barras e Fios de Aço destinados a Armaduras de Concreto Armado**. Rio de Janeiro, ABNT, 1985.

MATCONSUPPLY. **Patologia na construção civil o que é e como tratar**. Disponível em: <http://matconsupply.com.br/patologia-na-construcao-civil-o-que-e-e-como-tratar/>. Acesso em: 12 de maio 2018

NAPPI, S. C. B. **Análise comparativa entre lajes maciças, com vigotes pré-moldados e nervuradas.** Florianópolis, 1993. 85p. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção) - Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

RIPPER, Teoro. **Racionalização da Construção.** São Paulo: Nobel, 1986.

ROCHA, A. M. **Concreto Armado**, vol. 3. São Paulo, Ed. Nobel, 1986.

ROMAN, H. R., MUTTI, C. N., ARAÚJO, H. N. **Alvenaria estrutural: conceitos básicos.** 1a edição. Florianópolis: BLOCAUS pré-fabricados LTDA. 27p.

SOUZA, V. C. M.; CUNHA, A. J. P. (1994). **Lajes em Concreto Armado e Protendido.** Niterói, Ed. Da Universidade Federal Fluminense, 580p.

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

VASCONCELOS, Carlos Augusto. **O Concreto no Brasil: recordes, realizações, história.** São Paulo: Copiare, 1985.

VERÇOZA, Ênio José. **Materiais de Construção.** Porto Alegre: Sagra, 1975.

LEVANTAMENTO DE PATOLOGIAS EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DE VIAS URBANAS DE MACAPÁ-AP

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 28/03/2020

Beatriz da Silva de Brito

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Amapá
Macapá – Amapá
<http://lattes.cnpq.br/2502895068599910>

Alinne Emely dos Santos Duarte

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Amapá
Macapá – Amapá
<http://lattes.cnpq.br/6351704882329732>

Paulo Victor Prazeres Sacramento

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Amapá
Macapá – Amapá
<http://lattes.cnpq.br/5222175959847381>

Ruan Fabrício Gonçalves Moraes

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Amapá
Macapá – Amapá
<http://lattes.cnpq.br/1796880689730675>

Orivaldo de Azevedo Souza Junior

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Amapá
Macapá – Amapá
<http://lattes.cnpq.br/2869692139575635>

RESUMO: As condições de vias urbanas é um fator que afeta diretamente a dinâmica de uma cidade, especialmente a capital de um estado, como é o caso da cidade de Macapá-AP. Este artigo tem como objetivo avaliar a funcionalidade das vias pavimentadas desta cidade, com ênfase nas patologias e sistemas de drenagem, utilizando-se como parâmetros referenciais as normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. Neste sentido, foi realizado um levantamento do histórico de construção das vias, das condições atuais de rolamento, bem como um estudo de avaliação subjetiva para atribuir o Valor de Serventia Atual - VSA, de acordo com a Norma 009 (DNIT, 2003). Os resultados deste trabalho mostraram uma elevada incidência de patologias, principalmente do tipo “painéis” e trincas, além de problemas de drenagem de águas pluviais. Quanto à avaliação subjetiva para avaliar as condições das vias, o VSA classificou as vias, em sua maioria, em condições ‘regular’ e ‘péssimo’. A partir da análise dos dados, pôde-se concluir que as condições das vias geram um grau acentuado de desconforto, especialmente nas vias de acesso principal, onde o fluxo é intenso. Além do mais, os serviços de recuperação não são executados de forma adequada,

ocasionando efeitos frequentes de ondulações. Portanto, é fundamental que seja realizada uma recuperação dos pavimentos na cidade de Macapá-AP, em função do desenvolvimento do estado e do conseqüente aumento populacional, a fim de evitar prematuros e recorrentes problemas nas vias da cidade.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação funcional. Drenagem em pavimentos. Pavimentos. Macapá.

SURVEY OF PATHOLOGIES ON FLEXIBLE PAVEMENTS OF URBAN ROADS IN MACAPÁ-AP

ABSTRACT: The conditions of urban roads is a factor that directly affects the dynamics of a city, especially the capital of a state, as is the case of the city of Macapá-AP. This article aims to evaluate the functionality of the paved roads of this city, with emphasis on pathologies and drainage systems, using as reference parameters the standards of the National Department of Transport Infrastructure - DNIT. In this sense, a survey of the track construction history, current rolling conditions, and a subjective evaluation study were performed to assign the Current Service Value (VSA), according to Standard 009 (DNIT, 2003). The results of this work showed a high incidence of pathologies, mainly of the type “pans” and “cracks”, besides problems of drainage of rainwater. Regarding the subjective evaluation to evaluate the conditions of the roads, the VSA classified the roads, for the most part, in ‘regular’ and ‘terrible’ conditions. From the analysis of the data, it was possible to conclude that the conditions of the roads generate a marked degree of discomfort, especially in the main access routes, where the flow is intense. What’s more, recovery services do not perform properly, resulting in frequent ripple effects. Therefore, it is fundamental that a recovery of the pavements be performed in the city of Macapá-AP, due to the development of the state and the consequent population increase, in order to avoid premature and recurring problems in the city roads.

KEYWORDS: Functional assessment. Pavement drainage. Pavements.

1 | INTRODUÇÃO

Macapá é um município brasileiro, capital do estado do Amapá e o principal centro econômico, cultural e político deste estado. Situa-se a sudeste e é a única capital estadual brasileira que não possui interligação por rodovias a outras capitais, sendo os meios de transporte aéreo e hidroviário as únicas alternativas de locomoção.

Este trabalho tem como objetivo principal realizar uma avaliação funcional da situação das vias pavimentadas da cidade de Macapá-AP, verificando aspectos como condições dos pavimentos e drenagem. Além disso, de maneira específica, visa mostrar as diferentes patologias encontradas, os serviços de recuperação e drenagem urbana, bem como avaliar as condições dos pavimentos a fim de mostrar a situação em que se encontram e sugerir melhorias tanto na parte de pavimentação, quanto na parte de recuperação e restauração. Efetuou-se também uma avaliação subjetiva dos pavimentos

flexíveis fazendo-se uso da Norma 009 (DNIT, 2003), dando os Valores de Serventia Atual de algumas das vias.

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Pavimentos

De acordo com Silva (2005), pavimento, é a estrutura constituída sobre um terreno de fundação, conhecido como subleito, a qual deverá resistir à ação das cargas de roda dos veículos e às ações do tempo, como por exemplo, a variação térmica e higrométrica.

2.1.1 Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos

O pavimento flexível é aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, DNIT 2006). Os pavimentos Flexíveis são compostos de subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento asfáltico.

O pavimento semi-rígido, segundo Silva (2005), é aquele em que a camada de revestimento é de asfalto, a base é de material cimentício e a sub-base é de material granular ou solo. [...]. Este pavimento é constituído de subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento.

2.1.1.1 Patologias em Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos

As patologias ou defeitos surgem nos pavimentos devido as grandes solicitações de tráfego e as condições ambientais, vindo a degradar o pavimento e causar desconforto aos usuários. Algumas das patologias recorrentes em pavimentos flexíveis e semi-rígidos são citadas na Norma 005 (DNIT, 2003) – Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos (Terminologia).

2.1.1.1.1 Fendas

As fendas são aberturas na superfície asfáltica, sendo classificadas como fissuras quando a abertura é perceptível a olho nu à uma distância inferior a 1,5 m ou como trincas quando a abertura é superior à das fissuras (Bernucci *et al*, 2008). No caso das trincas, estas podem ser isoladas (transversal, longitudinal ou de retração) ou interligadas (tipo “couro de jacaré” ou tipo “bloco”).

2.1.1.1.2 Afundamento

Segundo a Norma 005 (DNIT, 2003), o afundamento é uma deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de

solevamento, podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação.

2.1.1.1.3 Ondulação ou corrugação

Caracterizam-se por ondulações transversais ao eixo da via e acontecem nas camadas de desgaste constituídas por revestimento superficial (RIBEIRO, 2017).

2.1.1.1.4 Escorregamento

Este tipo de patologia acontece devido ao movimento horizontal do revestimento ocasionado pelos esforços tangenciais transmitidos pelos eixos dos veículos e produzem uma ondulação curta e abrupta na superfície do pavimento em forma de meia lua (MANUAL DE RESTAURAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS, DNIT 2006).

2.1.1.1.5 Exsudação

Machado (2013) relata que a exsudação ocorre quando se encontra excesso de material betuminoso na superfície do pavimento, comumente na trilha de roda.

2.1.1.1.6 Desgaste

Este tipo de defeito é decorrente do arrancamento do agregado presente no pavimento, bem como é capaz de provocar esforços tangenciais devido ao tráfego.

2.1.1.1.7 Panela ou Buraco

Segundo Adlinge & Gupta (2015), são falhas progressivas que acontecem no pavimento. [...] Os buracos são formados quando o pavimento se desintegra sob a carga de tráfego, devido à força inadequada em uma ou mais camadas do pavimento, geralmente acompanhada pela presença de água.

2.1.1.1.8 Remendo

Os remendos são decorrentes do preenchimento de painéis por uma ou mais camadas de asfalto, podendo ser denominado de remendo superficial quando sua correção acontece somente na superfície do revestimento da via ou remendo profundo quando há a substituição do revestimento e, por ventura, de uma ou mais camadas inferiores ao pavimento, como por exemplo, a base e sub-base. Este tipo de serviço é chamado de “tapa-buraco”. A Tabela 1 mostra o Anexo A da norma 005 (DNIT, 2003) com as patologias, suas codificações e, no caso das fendas, a classe de severidade.

FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS		
Fissuras				FI	-	-	-
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	“Jacaré”	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solocimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3
	Trincas Interligadas	“Bloco”	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-	-	FC-3
	OUTROS DEFEITOS						
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito				ALP
		da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito				ATP
	de Consolidação	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito				ALC
		da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito				ATC
Ondulação/Corrugação - Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base							O
Escorregamento (do revestimento betuminoso)							E
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento							EX
Desgaste acentuado na superfície do revestimento							D
“ Painéis ” ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores							P
Remendos		Remendo Superficial					RS
		Remendo Profundo					RP

Tabela 1 - Anexo A da Norma 005 (DNIT, 2003) – Fendas e Outros Defeitos.

A respeito das trincas isoladas, a norma 005 (DNIT, 2003) menciona que, FC-1 são trincas que possuem abertura maior que a das fissuras e menores que 1,0 mm; FC-2 são trincas com abertura maior a 1,0 mm e não possui erosão nas bordas e, FC-3 são aquelas trincas com abertura maior que 1,0 mm e possuem erosão nas bordas. No caso das trincas interligadas, estas possuem apenas as classes FC-2 e FC-3.

2.1.2 Pavimentos Rígidos

De acordo com o Manual de Pavimentação (DNIT, 2006), os pavimentos rígidos são aqueles em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado, como por exemplo, um pavimento constituído por lajes de concreto de cimento Portland. As camadas que compõem o pavimento rígido são: subleito, sub-base e placa de concreto.

2.1.2.1 Patologias em Pavimentos Rígidos

De acordo com o Manual de Pavimentos Rígidos – Versão Preliminar (DNIT, 2004), os defeitos mais comuns nesse tipo de pavimento estão normalmente ligados ao emprego de técnicas executivas e materiais inadequados, aliados à ausência de uma manutenção rotineira requerida para esse tipo de estrutura. Os defeitos pertinentes aos pavimentos rígidos são citados na Norma 061 (DNIT, 2004) – Pavimento Rígido: Defeitos (Terminologia). Pode-se citar como exemplos de defeitos em pavimentos rígidos, o alçamento de placa e a fissura de canto.

2.2 Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos

Segundo o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006, p. 35)

A restauração é mais uma arte do que uma ciência. Com exceção de alguns métodos para reforço de pavimentos, onde há equações ou modelos que definem as espessuras de recapeamento, deve ser utilizada em cada projeto de Restauração, uma série de procedimentos analíticos e critérios de engenharia para se definir a medida adequada de restauração.

Alguns métodos de restauração de pavimentos são:

- Camada de Reforço Estrutural;
- Fresagem;
- Camada Anti-reflexão de Trincas;
- Remendo Superficial e Remendo Profundo;
- Tapa-Buraco;
- Whitetopping.

2.3 Sistema de Drenagem e Sua Ligação Com as Patologias em Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos

O sistema de drenagem é um componente essencial na pavimentação de uma via, pois é através dele que a água da chuva não se acumula e evita transtornos aos transeuntes, porém, na prática o sistema dificilmente é bem executado. O acúmulo de água no pavimento pode ser a causa do surgimento de patologias como buracos, haja vista que, a passada de veículos provoca grandes solicitações no pavimento, fazendo

com que esta se infiltre e cause o surgimento inicialmente de trincas que, posteriormente evoluirão para as panelas. Existem três tipos de sistemas de drenagem, nos quais são:

- Drenagem superficial: se utiliza guias, sarjetas, calhas, com objetivo de interceptar as águas provenientes das chuvas, e têm como deságue corpos receptores, como rios, córregos e outros (OLIVEIRA, 2013);
- Drenagem Subsuperficial: esse sistema de drenagem tem por finalidade coletar e remover a água que se infiltra no pavimento (SILVA, 2005);
- Drenagem Profunda: segundo Silva (2005), tem por finalidade coletar e remover a água do lençol freático (subterrâneo) ou de qualquer fluxo d'água subterrâneo para fora da área drenada.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Realizaram-se levantamentos técnicos em vias pavimentadas das zonas norte, sudoeste e central da cidade de Macapá, com o objetivo de analisar a quantidade de patologias presentes, as condições do sistema de drenagem e sua interferência no surgimento de defeitos, bem como averiguar se as vias estão em boas condições de uso e se seguem as recomendações normativas. A Tabela 2 mostra as áreas analisadas e as vias escolhidas para se realizar as avaliações.

Zona Norte	Zona Central	Zona Sudoeste
Rua Vereador Júlio Pinto Pereira	Rua Eliezer Levy	Rua Pedro Siqueira Um
Rua Sebastião Queiroz	Avenida Procópio Rola	Rodovia JK
Avenida Veiga Cabral	Avenida Raimundo Álvares da Costa	Rua José Luís Barata 2
Avenida Wanderely Fernandes	Avenida Ernestino Borges	Rua Lucimar Del Castilho

Tabela 2: Zonas e Vias Analisadas.

Para executar os levantamentos técnicos foram utilizados objetos cartográficos (como mapas), sistema de georreferenciamento e elementos de aferição. Com o auxílio dos instrumentos efetuou-se a medição das patologias e as análises na cidade de Macapá. Com o uso da trena foram medidos os buracos e comprimento de trincas e fissuras, nos quais também foram utilizados o paquímetro e fissurômetro para medição da espessura e, com a régua metálica, foram verificados os afundamentos.

3.1 Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos – Procedimentos (Norma 009 (DNIT, 2003))

Nesta etapa, procedeu-se uma avaliação dos pavimentos de determinadas vias, de

acordo com a Norma 009 (DNIT, 2003), que orienta sobre o método a ser empregado na avaliação subjetiva da superfície dos pavimentos flexíveis e semi-rígidos fazendo-se uso do Valor de Serventia Atual – VSA, responsável por indicar o grau de conforto e suavidade ao rolamento proporcionado pelo pavimento.

De acordo com a Norma 009 (DNIT, 2003), a avaliação deve ser realizada por um grupo de avaliadores seguindo os critérios do Anexo A da própria norma. Nesta ficha, são anotadas as observações necessárias no decorrer do trecho percorrido, como por exemplo, a presença de ondulações e buracos que poderão provocar desconforto aos usuários e são dadas notas que variam de 0-5 sendo 0 (zero) considerado um VSA péssimo e 5 (cinco) um VSA ótimo. Também são anotados, nome da rodovia, N° do avaliador e data.

Subsequente a avaliação da superfície do pavimento, efetua-se o cálculo do Valor de Serventia Atual, alcançado através da Equação 1, presente na norma citada.

$$VSA = \frac{\sum X}{n} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

- VSA: Valor de Serventia Atual;
- $\sum X$: Somatória do Valor de Serventia Atual individuais atribuídos por cada membro do grupo;
- n: número de membros do grupo de avaliação.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através da identificação visual das patologias e análise em alguns trechos da cidade de Macapá, identificaram-se algumas tipologias referentes aos defeitos. Dentre as patologias averiguadas, a espessura das trincas e fissuras variou entre 0,3 mm e 19 mm; os buracos (panelas) variaram entre 0,16 m e 1,0 m, chegando, em alguns casos, a 2,5 m e 4 m; e os afundamentos variaram, em relação ao comprimento, entre 0,50 m e 6 m.

4.1 Levantamentos das patologias

4.1.1 Zona Central

Na Zona Central da cidade constatou-se que há uma grande quantidade de patologias nas vias averiguadas, onde as mais comuns são as fendas de diferentes espessuras (exemplificada pela trinca mostrada na Figura 1), buracos (Figura 2) e remendos, presentes principalmente na Rua Eliézer Levy. Devido à grande quantidade de veículos que circulam nesta via, sendo eles leves, como carros e motos, e pesados, como ônibus, não houve o uso dos equipamentos de aferição nas patologias. As principais patologias achadas

nas vias do centro da cidade foram trincas, fissuras, remendos, ondulações, desgastes e buracos.



Figura 1 – Fenda do tipo trinca - Av. Procópio Rola (Autores (2018))



Figura 2 – Buraco – Av. Ernestino Borges (Autores (2018))

Na Figura 3 é possível verificar que, na Rua Eliézer Levy, as patologias com maior percentual são trincas e painelas. Na Avenida Procópio Rola, como mostra a Figura 4, o defeito do tipo trinca é quase 50% maior do que os demais. Na Figura 5 analisa-se que 61% das patologias presentes na Avenida Raimundo Álvares da Costa são remendos; já a Figura 6 revela que na Enerstino Borges 36%, ou seja, a maior percentagem é de trincas.



Figura 3 – Gráfico da Porcentagem de Patologias Presentes na Rua Eliézer Levy (Autores (2018))



Figura 4 – Gráfico da Porcentagem de Patologias Presentes na Avenida Procópio Rola (Autores (2018))



Figura 5 – Gráfico da Porcentagem de Patologias Presentes na Avenida Raimundo Álvares da Costa (Autores (2018))

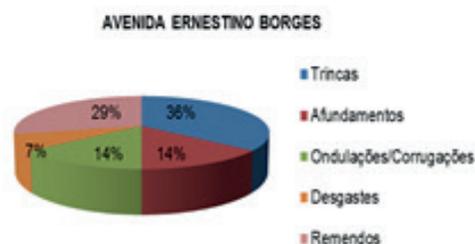


Figura 6 – Gráfico da Porcentagem de Patologias Presentes na Avenida Ernestino Borges (Autores (2018))

4.1.2 Zona Norte

Em análises realizadas nas vias da zona norte, observou-se a presença de desgaste, afundamento plástico local (Figura 7) e, na Figura 8 verifica-se a presença de um buraco.



Figura 7 – Afundamento Plástico Local – Rua Vereador Júlio Pinto Pereira (Autores (2018))



Figura 8 – Buraco ‘‘Panela’’ com Erosão nas Bordas – Rua Sebastião Queiroz (Autores (2018))

Na Figura 9 constata-se que foram encontrados cinco tipos de patologias na Rua Vereador Júlio Pinto Pereira; já a Figura 10, pertinente a Avenida Veiga Cabral, nota-se que 37% das patologias são trincas. Com relação a Rua Sebastião Queiroz, como mostra a Figura 11, encontraram-se somente dois tipos de defeitos, sendo 57% panelas e 43% trincas. Sobre a Avenida Wanderley Fernandes, também foram encontrados dois tipos de patologias, das quais 78% e 22% representam as panelas e trincas, respectivamente. Este último percentual é mostrado na Figura 12.



Figura 9 – Gráfico da Porcentagem de Patologias na Rua Vereador Júlio Pinto Pereira (Autores (2018))

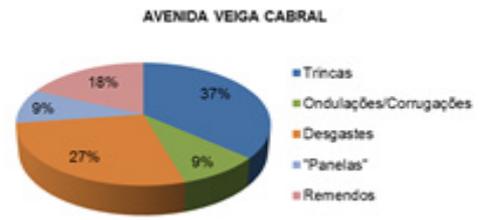


Figura 10 – Gráfico da Porcentagem de Patologias na Avenida Veiga Cabral (Autores (2018))



Figura 11 – Gráfico da Porcentagem de Patologias na Rua Sebastião Queiroz (Autores (2018))

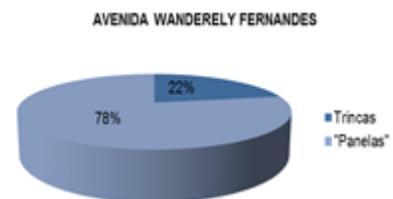


Figura 12 – Gráfico da Porcentagem de Patologias na Avenida Wanderely Fernandes (Autores (2018))

4.1.3 Zona Sudoeste

A Zona Sudoeste foi a área onde se constatou a maior quantidade de patologias do tipo panela ‘‘buraco’’, mas ainda assim, encontram-se outras como fissuras (Ex.: Figura 13), trincas (Ex.: Figura 14), afundamento e desgaste.



Figura 13 – Fissuras – Rua Pedro Siqueira Um (Autores (2018))



Figura 14 – Trinca – Rua Pedro Siqueira Um (Autores (2018))

A Rua Lucimar Del Castilho apresentou a maior porcentagem de “panelas”, como mostra a Figura 15. A Figura 16 demonstra que, na Rua Pedro Siqueira Um, 66% são panelas e os outros 34% dividem-se em trincas, afundamentos e remendos. A respeito a Rodovia JK (Figura 17), repara-se que se encontraram diferentes patologias, dentre elas estão trincas, desgastes e panelas; no que concerne a Rua José Luís Barata 2 (Figura 18), avalia-se que apenas efetuaram-se levantamentos de dois tipos de patologias, onde 86% são panelas e 14% afundamentos.



Figura 15 – Gráfico da Porcentagem de Patologias na Rua Lucimar Del Castilho (Autores (2018))



Figura 16 – Gráfico da Porcentagem de Patologias na Rua Pedro Siqueira Um (Autores (2018))

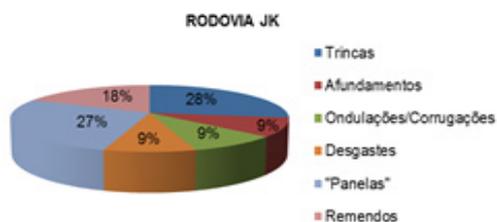


Figura 17 – Gráfico da Porcentagem de Patologias na Rodovia JK (Autores (2018))

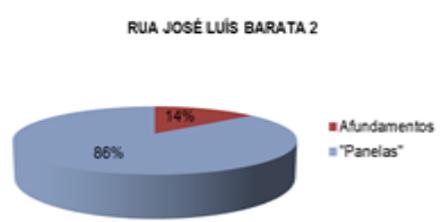


Figura 18 – Gráfico da Porcentagem de Patologias na Rua José Luís Barata 2 (Autores (2018))

Ao final das análises, chegou-se à conclusão de que a quantidade de patologias presentes na cidade de Macapá é muito grande, pois se constatou defeitos dos mais variados tipos e tamanhos, o que acaba prejudicando a circulação de veículos nestas áreas e acarreta gastos maiores na manutenção, além de tornar o tráfego lento, principalmente em ruas e avenidas principais. A Figura 19 mostra que, por via de regra, a zona com maior

quantidade de patologias é a sudoeste, seguida da zona central e zona norte. Já a Figura 20 mostra o percentual de incidência de cada uma das patologias identificadas nos locais inspecionados.

PERCENTUAL DE PATOLOGIAS NAS ZONAS ANALISADAS

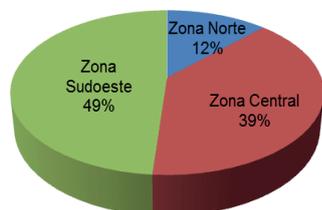


Figura 19 – Gráfico do Percentual de Patologias nas Zonas Analisadas (Autores (2018))

ÍNDICE DE PATOLOGIAS EM TODAS AS VIAS ANALISADAS

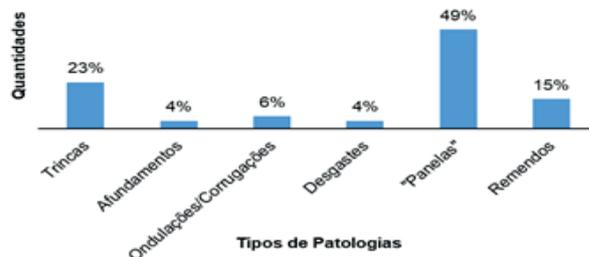


Figura 20 – Percentual de Incidência das Patologias nas Vias Analisadas (Autores (2018))

4.1.4 Resultados e Dados Obtidos Com a Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis

Optou-se por fazer uso dos métodos de avaliação subjetiva sugeridos pela Norma 009 (DNIT, 2003) para avaliar as condições dos pavimentos na cidade de Macapá. As vias escolhidas para verificação do Valor de Serventia Atual – VSA foram a Rua General Rondon, Rua Eliézer Levy e Rua Odilardo Silva, sendo que as duas primeiras foram percorridos 4 (quatro) trechos de 600 m e a terceira, 2 (dois) trechos de 600 m. Para averiguar o VSA, utilizou-se a ficha de avaliação subjetiva apresentada no Anexo A da norma 009 (DNIT, 2003) e fizeram-se as análises citadas.

4.1.4.1 Rua General Rondon

Através da avaliação dos trechos percorridos na Rua General Rondon, se chegou ao seu Valor de Serventia Atual. Os 4 (quatro) trechos avaliados somam um total de 2400 metros, situados entre a Avenida Feliciano Coelho e Avenida Marcílio Dias. A Figura 21 mostra a sua demarcação.

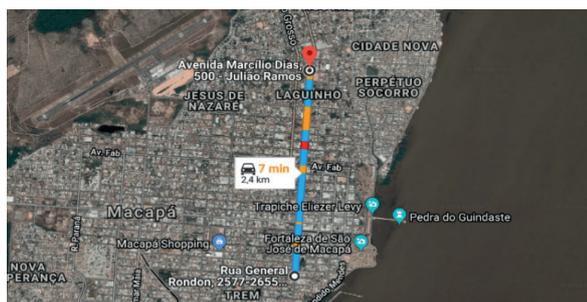


Figura 21 – Trajeto Percorrido na Rua General Rondon (Google Earth (2018))

Durante a avaliação subjetiva, averiguou-se que a Rua General Rondon, nos primeiros 1.000 metros apresenta um trecho bem crítico com relação a quantidade de patologias, principalmente ondulações e remendos, das quais proporcionaram desconforto. Devido a isso, o Valor de Serventia Atual dado a via foi de 2,22, sendo classificada de acordo com a norma 009 (DNIT, 2003) como regular.

4.1.4.2 Rua Eliézer Levy

As condições de rolamento da Rua Eliézer Levy provocaram desconforto durante o trajeto de avaliação, pois a maior parte do trecho avaliado contava com ondulações, significando condições ruins de tráfego. Portanto, ao se realizar o cálculo, foi obtido como resultado o valor de 0,74, sendo o VSA da via classificado como péssimo. A Figura 22 mostra o trecho avaliado.

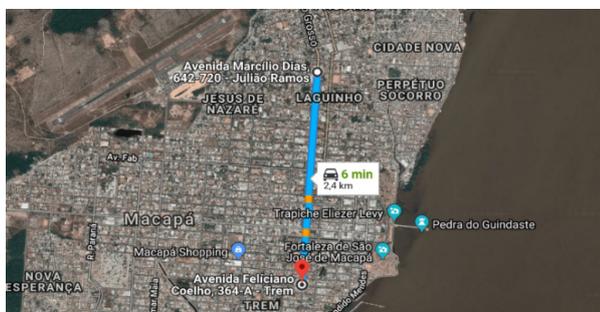


Figura 22 – Trajeto Percorrido na Rua Eliézer Levy (Google Earth (2018))

4.1.4.3 Rua Odilardo Silva

A Rua Odilardo Silva está entre as que mais apresentaram desconforto durante o trajeto de avaliação, pois se averiguou que, na maior parte do trajeto, a via apresentou ondulações, bem como pequenas “panelas”. Sendo assim, no cálculo do Valor de Serventia Atual o resultado obtido foi de 0,62 classificando-o, portanto, como péssimo. A Figura 23 mostra o trecho percorrido.

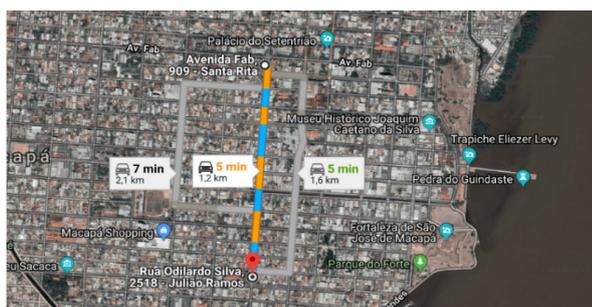


Figura 23 – Trajeto Percorrido na Rua Odilardo Silva (Google Earth (2018))

No geral, nota-se que a situação de serventia das vias da cidade de Macapá é bem crítica, pois as vias encontram-se com péssimas condições de tráfego e proporcionam desconforto aos utentes, fato este comprovado na averiguação das patologias mostradas anteriormente.

4.2 Levantamentos do Sistema de Drenagem

Com relação ao sistema de drenagem na zona central de Macapá, fazendo-se análise visual, dos locais examinados, pôde-se observar que a mesma é regular, pois há poucos pontos de alagamento no decorrer das vias em questão, que contam com bocas de lobo nas laterais. Além das bocas de lobo, observou-se a presença de poços de visita ao longo dos trechos avaliados, que objetivam fazer a ligação das bocas de lobo à rede coletora, permitindo as mudanças de direção, declividade e diâmetros dos tubos da rede, facilitando, o acesso para realização de possíveis limpezas e inspeções.

As Zonas Norte e Sudoeste também possuem pontos onde há sistema de drenagem, porém ainda se observou que a drenagem nestas áreas é precária, encontrando-se alguns locais de alagamentos em períodos chuvosos.

É importante mencionar também que, o fato de Macapá possuir um sistema de drenagem deficiente pode facilitar o surgimento de patologias, pois o acúmulo de água nessas vias juntamente com as solicitações vindas da movimentação de veículos acarreta a infiltração das camadas inferiores, provocando desta forma, o aparecimento de trincas, fissuras e etc.

5 | CONCLUSÃO

Diante dos levantamentos e análises realizadas, a cidade de Macapá necessita evoluir com relação à funcionalidade das vias, dado que muitas apresentam as mais variadas patologias, sendo algumas destas responsáveis por afetar estruturalmente as camadas inferiores. É importante que a construção e manutenção das ruas, avenidas e rodovias acompanhem o crescimento populacional e ofereçam segurança aos usuários, tanto na parte de pavimentação em si como com relação ao sistema de drenagem adequado e eficaz.

Os levantamentos mostraram que há um número considerável de patologias na cidade apesar de serem realizados serviços de manutenção das vias como o de tapa buracos, por exemplo, mas ainda assim estes serviços são inadequados. Os valores de serventia confirmaram que é importante que essas vias passem por reparos visando a correção das patologias ou, principalmente, haja um novo serviço de asfaltamento, pois muitas das ruas e avenidas apuradas, passaram por esse serviço na época em que o Amapá era território federal e a partir daí só aconteceram correções. Por isso, sugere-se que sejam feitas análises para saber quais serviços realmente devem ser efetuados

nas vias e, principalmente, sejam seguidas as recomendações normativas, o que dará durabilidade aos serviços.

REFERÊNCIAS

ADLINGE, S. S; GUPTA, A.K. **Pavement Deterioration and its Causes. Journal of Mechanical & Civil Engineering (IOSR-JMCE)**. Shivaji University: India, 2015.

BERNUCCI, Liedi et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 3ª Reimpressão. Rio de Janeiro: Petrobrás/Abeda, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 005 – Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos (Terminologia)**. Rio de Janeiro, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 009 – Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos (Procedimento)**. Rio de Janeiro, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 061 – Pavimento Rígido: defeitos (Terminologia)**. Rio de Janeiro, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT – Manual de pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT – Manual de pavimentos rígidos – versão preliminar**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT – Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro, 2006.

MACHADO, Denise. **Avaliação de normas de identificação de defeitos para fins de gerência de pavimentos flexíveis**. Dissertação EESC. USP. São Paulo, 2013.

OLIVEIRA, Natália. **Saneamento ambiental no estado do Amapá e a ocorrência de Doenças**. Trabalho de conclusão de curso apresentado Universidade Federal do Amapá. Macapá, 2013.

RIBEIRO, Thiago. **Estudo descritivo das principais patologias em pavimento flexível**. Revista científica multidisciplinar núcleo do conhecimento. 4ª ed. Ano 02, vol. 01. pp 733-754, Julho, 2017.

SILVA, Paulo. **Manual de patologia e manutenção de pavimentos**. 2ª ed. São Paulo: PINI, 2005.

AVALIAÇÃO OBJETIVA E SUBJETIVA EM SUPERFÍCIE DE PAVIMENTO FLEXÍVEL EM TRECHO URBANO – ANÁLISE DA DISTÂNCIA ENTRE ESTAÇÕES DE AVALIAÇÃO EM SUBTRECHOS HOMOGÊNEOS

Data de aceite: 01/06/2020

Gustavo da Silva Schiavon

Graduado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Estácio Ribeirão Preto – Ribeirão Preto/ SP.

gustavo-schiavon@hotmail.com

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo a realização de avaliação objetiva da superfície de pavimento flexível em trecho urbano de acordo com a NORMA DNIT 006/2003 – PRO, sendo analisada a distância entre as estações de avaliação em subtrechos homogêneos para posteriormente comparar os resultados dos Índices de Gravidade Global (IGG) encontrados com o Valor de Serventia Atual (VSA) obtido no mesmo trecho.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação Objetiva; Avaliação Subjetiva; Pavimento Flexível.

OBJECTIVE AND SUBJECTIVE EVALUATION OF FLEXIBLE PAVEMENT SURFACE IN URBAN AREAS - ANALYSIS OF THE DISTANCE BETWEEN EVALUATION STATIONS IN HOMOGENEOUS SUB-STRETCHES

ABSTRACT: The objective of this work is to

carry out an objective evaluation of the flexible pavement surface in an urban stretch in accordance with NORMA DNIT 006/2003 - PRO, doing the analysis about the distance between the evaluation stations in homogeneous sub-stretches, than to compare the results according to the Global Severity Index (IGG) found with the Current Service Value (VSA) obtained in the same section.

KEYWORDS: Objective Evaluation; Subject Evaluation; Flexible Pavement.

1 | INTRODUÇÃO

O conceito de uma via urbana com boa qualidade fundamenta-se, basicamente, em dois aspectos: conforto e segurança ao usuário. Quando o pavimento de uma via já alcançou o final da sua vida útil ou possui um valor de serventia muito aquém do esperado, isso acarreta em riscos de acidentes, prejuízos financeiros (ao usuário e ao Município) e constante desconforto.

São inúmeros os defeitos encontrados nas vias de Ribeirão Preto, e suas causas são as mais diversas, como final de vida útil do pavimento, má execução na construção, condições climáticas, carga excessiva de

tráfego etc.

É necessário que sejam feitas, regularmente, avaliações nessas vias, para que se possa determinar o grau de severidade em que seus defeitos se encontram; é preciso conhecer o seu verdadeiro estado superficial e estrutural, para que se possa acompanhar a serventia que esta via tem, bem como seu acompanhamento ao longo dos anos.

Neste sentido, cabe destacar o conceito de Gerência de Pavimentos, por onde são determinadas as corretas intervenções no pavimento, como estas intervenções devem ser executadas e o momento certo em que devem ser realizadas, visando o melhor retorno possível aos recursos investidos.

Este trabalho representa o ponto de partida para que seja iniciada uma Gerência do Pavimento de Ribeirão Preto, sendo realizadas duas avaliações básicas que servem como complemento para avaliações de severidade e estruturais. Estas avaliações, objetiva e subjetiva, servem para que se conheça o estado funcional da superfície do pavimento flexível, sendo os defeitos inventariados, gerando, ao final, o conceito da via; quanto à avaliação subjetiva, a informação, que diz respeito ao conforto ao rolamento da via, vem diretamente do usuário, que analisa a serventia que o pavimento ainda possui.

1.1 Defeitos em Pavimentos Flexíveis

Para que uma boa recuperação do pavimento de uma via seja executado, é preciso que sejam identificados os defeitos que esta possui, e, para este trabalho, foram utilizadas como referências apenas as normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (terminologias e procedimentos) tanto para padronização de identificação de defeitos quanto para a realização das avaliações objetiva e subjetiva.

1.1.1 Fenda

É qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se sob diversas formas. Sejam elas:

1.1.1.1- Fissura

Fenda de largura capilar existente no revestimento, posicionada longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via, somente perceptível a vista desarmada de uma distância inferior a 1,50 m (ainda não causam problemas funcionais ao revestimento, não sendo assim consideradas quanto à gravidade nos métodos atuais de avaliação das condições de superfície.)

1.1.1.2- Trinca

Fenda existente no revestimento, facilmente visível a vista desarmada, com abertura superior à da fissura, podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada ou trinca

interligada.

1.1.1.2.1- Trinca Isolada

- a. Trinca Transversal: trinca isolada que apresenta direção predominantemente ortogonal ao eixo da via. Quando apresentar extensão de até 100 cm é denominada trinca transversal curta. Quando a extensão for superior a 100 cm denomina-se trinca transversal longa.
- b. Trinca Longitudinal: trinca isolada que apresenta direção predominantemente paralela ao eixo da via. Quando apresentar extensão de até 100 cm é denominada trinca longitudinal curta. Quando a extensão for superior a 100 cm denomina-se trinca longitudinal longa.
- c. Trinca de Retração: trinca isolada não atribuída aos fenômenos de fadiga e sim aos fenômenos de retração térmica ou do material do revestimento ou do material de base rígida ou semi-rígida subjacentes ao revestimento trincado.

1.1.1.2.2- Trinca Interligada

- a. Trinca tipo “Couro de Jacaré”: conjunto de trincas interligadas sem direções preferenciais, assemelhando-se ao aspecto de couro de jacaré. Essas trincas podem apresentar, ou não, erosão acentuada nas bordas.
- b. Trinca tipo Bloco: conjunto de trincas interligadas caracterizadas pela configuração de blocos formados por lados bem definidos, podendo, ou não, apresentar erosão acentuada nas bordas.

1.1.2 Afundamento

Deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de solevamento, podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação.

1.1.2.1- Afundamento Plástico

Afundamento causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhado de solevamento. Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado afundamento plástico local; quando a extensão for superior a 6 m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento plástico da trilha de roda.

1.1.2.2- Afundamento Consolidado

Afundamento de consolidação é causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito sem estar acompanhado de solevamento. Quando ocorre em extensão de até 6 m é denominado afundamento de consolidação local; quando a extensão for superior a 6m e estiver localizado ao longo da trilha de roda

é denominado afundamento de consolidação da trilha de roda.

1.1.3 Ondulação ou Corrugação

Deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento.

1.1.4 Escorregamento

Deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua.

1.1.5 Exsudação

Excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante através do revestimento.

1.1.6 Desgaste

Efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego.

1.1.7 Panela ou Buraco

Cavidade que se forma no revestimento por diversas causas (inclusive por falta de aderência entre camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas), podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas.

1.1.8 Remendo

Panela preenchida com uma ou mais camadas de pavimento. Os remendos podem ser profundos ou superficiais.

1.1.8.1- Remendo Profundo

Aquele em que há substituição do revestimento e, eventualmente, de uma ou mais camadas inferiores do pavimento. Usualmente, apresenta forma retangular. Geralmente são realizados após intervenções nos sistemas de saneamento.

1.1.8.2- Remendo Superficial

Correção, em área localizada, da superfície do revestimento, pela aplicação de uma camada betuminosa. Processo mais utilizados nas operações “tapa- buracos”.

1.2 Avaliação Objetiva de superfície de pavimento flexível pelo cálculo do IGG

A avaliação objetiva compreende no levantamento dos defeitos superficiais do pavimento, ou seja, avalia a condição da superfície da via, e, atribuindo a estes defeitos valores numéricos, é possível que se classifique o estado geral da superfície do pavimento.

A Norma DNIT 006/2003 – PRO, estabelece um método de levantamento dos defeitos e atribuição do Índice de Gravidade Global (IGG), que precede avaliações com relação à estrutura do pavimento.

Para o levantamento dos defeitos, que é feito de forma amostral, são utilizadas planilhas para anotações das ocorrências, material de demarcação e treliça metálica para medida dos afundamentos em trilhas de roda dos trechos demarcados.

A divisão dos trechos e subtrechos homogêneos a serem avaliados, bem como as demarcações das superfícies de avaliação, são realizadas de acordo com a Norma DNIT 007/2003 – PRO.

Depois de levantados os defeitos no pavimento (suas frequências absolutas) e medidos os afundamentos nas trilhas de roda, os tipos diferentes de defeitos recebem um fator de ponderação (relacionado ao seu peso para a avaliação, conforme mostra a Tabela 1), gerando, para cada tipo de defeito estabelecido, sua frequência relativa na via e, como resultado, o Índice de Gravidade Individual (IGI), que, somados, resultam no Índice de Gravidade Global (IGG).

Ocorrência Tipo	Codificação de ocorrências de acordo com a Norma DNIT 005/2002-TER “Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia” (ver item 6.4 e Anexo D)	Fator de Ponderação fp
1	Fissuras e Trincas Isoladas (FI, TTC, TTL, TLC, TLL e TRR)	0,2
2	FC-2 (J e TB)	0,5
3	FC-3 (JE e TBE) NOTA: Para efeito de ponderação quando em uma mesma estação forem constatadas ocorrências tipos 1, 2 e 3, só considerar as do tipo 3 para o cálculo da frequência relativa em percentagem (fr) e Índice de Gravidade Individual (IGI); do mesmo modo, quando forem verificadas ocorrências tipos 1 e 2 em uma mesma estação, só considerar as do tipo 2.	0,8
4	ALP, ATP e ALC, ATC	0,9
5	O, P, E	1,0
6	EX	0,5
7	D	0,3
8	R	0,6

Tabela 1 – Fator de Ponderação

Fonte: Norma DNIT 006/2003 – PRO(2003)

A Tabela 2 mostra a planilha de calculo do IGG conforme Norma DNIT 006/2003 – PRO.

Importante destacar que o calculo do IGG não leva em consideração a severidade

em que os defeitos se encontram, ele apenas os quantifica.

RODOVIA: PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)						Data:	Folha:
TRECHO:						Estaca ou Quilômetro	Estaca ou Quilômetro
SUB-TRECHO:						REVESTIMENTO TIPO:	
Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	Observações
1	Trincas isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR				0,2		
2	(FC - 2) J, TB				0,5		
3	(FC - 3) JE, TBE				0,8		
4	ALP, ATP, ALC, ATC		X		0,9		
5	O, P, E		X		1,0		
6	EX		X		0,5		
7	D		X		0,3		
8	R		X		0,6		
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TRE	TRE =	TRI =	F =	1 A () 1 B ()		
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	TREv =	TRIV =	FV =	2 A () 2 B ()		
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		n =	Σ IND. GRAVID. IND. = IGG				Conceito
1A) IGI = $\bar{F} \times 40$ quando $\bar{F} \leq 30$						2A) IGI = \bar{FV} quando $\bar{FV} \leq 50$	
1B) IGI = 40 quando $\bar{F} > 30$						2B) IGI = 50 quando $\bar{FV} > 50$	
						Operador	
						Cálculo	
						Visto	

Tabela 2 – Planilha Calculo do IGG

Fonte: Norma DNIT 006/2003 – PRO(2003)

Obtido o valor do IGG, é possível que se classifique o estado geral da superfície do pavimento, tomando como referência os indicadores estabelecidos pelo DNIT, como mostra a Tabela 3.

Conceitos	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

Tabela 3 – Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG

Fonte: Norma DNIT 006/2003 – PRO(2003)

1.3 Avaliação Subjetiva de superfície de pavimento flexível e o Valor da Serventia Atual (VSA)

Esta avaliação é baseada na serventia que o pavimento apresenta aos usuários, ou seja, a apreciação da superfície que influencia seu conforto ao rolamento. A avaliação para determinação do VSA é feita a partir de entrevista com usuários, através de fichas

padronizadas pela Norma DNIT 009/2003 – PRO que estão totalmente conscientes do propósito e das normas da avaliação. Enquanto o cálculo do IGG é realizado com dados coletados a pé, o VSA é obtido com a avaliação do usuário após percorrer o trecho em veículo de passeio padrão à velocidade próxima da permitida na via. Esta avaliação não leva em consideração defeitos que não afetem o conforto ao rolamento do usuário.

Todo pavimento quando da sua construção, apresenta seu máximo valor de serventia, que vai decrescendo ao longo do tempo devido ao próprio tempo, tráfego, clima, presença de água, má conservação etc. Muitos fatores contribuem para que este valor decresça de forma acentuada e prematura, como, por exemplo, entrada de água da chuva em pavimento que apresenta fissuras. Após manutenção, o VSA tem seu valor elevado e vai decrescendo novamente.

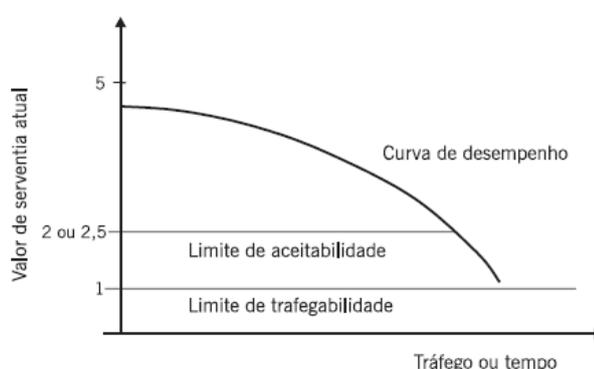


Gráfico 1 – Curva de desempenho da superfície do pavimento em função do tempo e tráfego

Fonte: Bernucci et al (2007)

O valor do VSA deve ser constantemente verificado para que se acompanhe a serventia que o pavimento vai perdendo ao longo do tempo.

Assim como o IGG, o VSA apresenta, como consta na Norma DNIT 009/2003 – PRO, os intervalos para que se classifique a serventia do pavimento da via. A Tabela 4 mostra os conceitos relacionados aos valores obtidos.

O valor final de VSA é obtido a partir da média aritmética dos valores coletados pelos usuários.

Padrão de conforto ao rolamento	Avaliação (faixa de notas)
Excelente	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.4 Trecho Avaliado

O trecho escolhido para a realização das avaliações objetiva e subjetiva foi a Rua Florêncio de Abreu, delimitada pelo Quadrilátero Central de Ribeirão Preto/SP, ou seja, entre as Avenidas Independência e Jerônimo Gonçalves. O trecho, que é um dos principais corredores de ônibus da cidade, apresenta 1400 m de extensão e tráfego intenso, por ser uma das vias coletora mais importante do Município.

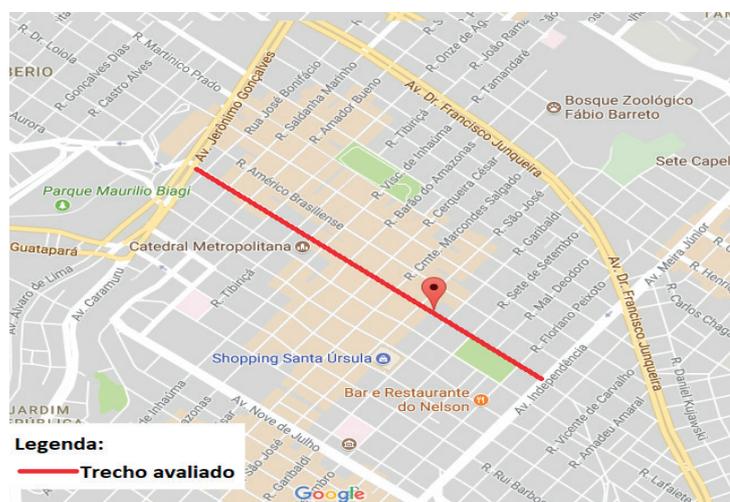


Figura 1 – Localização do trecho avaliado

Fonte: Google Earth (2012)



Figura 2 – Fotos que mostram o estado de deterioração da Rua Florêncio de Abreu

Fonte: Arquivo Pessoal (2017)

2.5 Divisão dos Subtrechos Homogêneos

O trecho escolhido foi dividido em três trechos homogêneos de 300m cada, e, posteriormente, cada trecho homogêneo foi subdividido em três subtrechos homogêneos de 100m cada, conforme Norma DNIT 007/2003 – PRO. A Figura 3 mostra como ficaram

as subdivisões desses trechos. De acordo com o DNIT, os subtrechos homogêneos devem ser avaliados em seu início, meio e fim, logo, como a divisão dos trechos homogêneos de 300m foram de três subtrechos de 100m, os trechos homogêneos foram avaliados por inteiro.

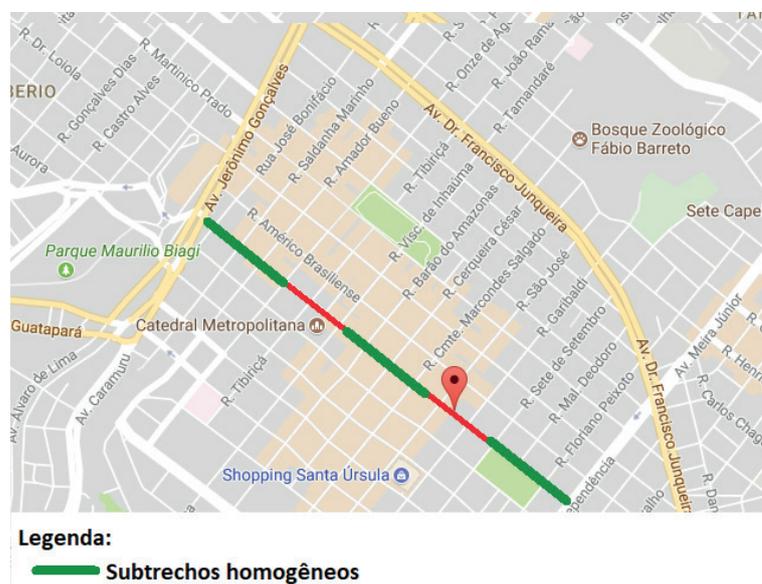


Figura 3 – Divisão dos subtrechos homogêneos

Fonte: Google Earth (2012)

2.6 Marcação das Superfícies de Avaliação

As superfícies de avaliação foram delimitadas, seguindo a Norma DNIT 007/2003 – PRO, pelas bordas da faixa de tráfego e por suas seções transversais, situadas, respectivamente a 3,0m antes e 3,0m após a estação considerada. A marcação de cada estação foi representada por um traço de 0,300m x 0,025m, coincidente com a seção transversal, tendo sua extremidade externa distante 0,06m da borda do revestimento da pista de rolamento.

O trecho escolhido, por se tratar de uma via urbana com faixa dupla e sentido único, é avaliado como sendo uma pista dupla, portanto, as estações foram distanciadas 20m entre si na faixa mais solicitada pelo tráfego, conforme descreve o DNIT.

Para análise destas distâncias e verificação se as mesmas são suficientes para que se avalie bem o pavimento de uma via urbana, já que a Norma DNIT se refere à trechos rodoviários, foram incluídas, para a pesquisa, estações de avaliação a cada 10m, ou seja, uma estação entre cada duas estações pré- estabelecidas por norma.

O levantamento dos defeitos e medidas dos afundamentos nas trilhas de roda, foram efetuados para os dois casos, a fim de se comparar os Índices de Gravidade Global (IGG) em cada situação e posterior comparação dos resultados. As marcações foram feitas com gesso para que a sinalização viária não fosse comprometida. A Figura 4 mostra como as marcações (desenhadas digitalmente para melhor visualização) para distâncias de 20m

e 10m, foram feitas.



Figura 4 – Marcação das estações (e superfícies) de avaliação distanciadas a cada 20m (em vermelho) e a cada 10m (em amarelo)

Fonte: Arquivo pessoal (2017)

2.7 Medidas das flechas nas trilhas de roda

As flechas nas trilhas de roda foram medidas, em milímetros, sendo considerado o ponto de máxima depressão no sulco formado em cada trilha (internas – TRI e externas – TRE). Foram medidos sob o centro de uma régua de 1,20m padronizada pelo DNIT, cujas especificações podem ser vistas na Figura 5.

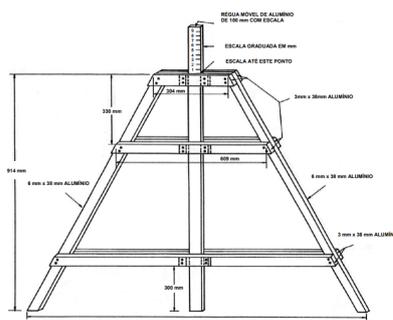


Figura 5 – Trelça para medição das flechas das trilhas de roda

Fonte: Norma DNIT 007/2003 – PRO (2003)

3 | RESULTADOS

3.1 Cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG)

Após inventariar os defeitos da superfície do pavimento da Rua Florêncio de Abreu, suas frequências absolutas, isto é, a quantidade de vezes que cada defeito foi verificado em cada uma das estações, foram lançadas na planilha de cálculo do IGG, obtendo suas

frequências relativas, que, multiplicadas por seus respectivos fatores de ponderação, resultaram no Índice de Gravidade Individual (IGI). Para os afundamentos nas trilhas de roda, foram calculadas a média dos valores encontrados e a variância desses valores. Somados os IGI's, foi obtido o IGG.

O cálculo da frequência relativa, média e variância dos valores das flechas TRI e TRE, bem como o cálculo do IGI e IGG, foram feitos a partir das fórmulas estabelecidas na Norma DNIT 006/2003 PRO, conforme mostrado abaixo.

a) Calculo da Frequência Relativa:

$$f_r = \frac{f_a \times 100}{n}$$

onde:

f_r - frequência relativa;

f_a - frequência absoluta;

n - número de estações inventariadas.

b) Calculo da média dos valores das flechas das trilhas de roda e variância desses valores:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

em que:

\bar{x} - média aritmética dos valores das flechas medidas (TRI e TRE);

x_i - valores individuais;

s - desvio padrão dos valores das flechas medidas (TRI e TRE);

s^2 - variância.

c) Calculo do IGI:

$$IGI = f_r \times f_p$$

onde:

f_r - frequência relativa;

f_p - fator de ponderação, obtido de acordo com a Tabela 1.

d) Calculo do IGG:

$$IGG = \sum IGI$$

Abaixo, resultado do IGG para estações distanciadas a cada 20 metros:

PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)					DATA: JUNHO/2017	FOLHA:
TRECHO: RUA FLORÊNCIO DE ABREU, ENTRE AS AVENIDAS INDEPENDÊNCIA E JERÔNIMO GONÇALVES - RIBEIRÃO PRETO SP					ESTACA OU QUILOMETRO	
TIPO DE REVESTIMENTO: FLEXÍVEL					0 ao 1400	
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Fator de Ponderação	Índice de Gravidade Individual	Observações
1	Trincas Isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	32	74,42	0,2	14,88	
2	(FC-2) J, TB	10	23,26	0,5	11,63	
3	(FC-3) JE, TBE	2	4,65	0,8	3,72	
4	ALP, ATP, ALC, ATC	18	41,86	0,9	37,67	
5	O, P, E	17	39,53	1,0	39,53	
6	EX	16	37,21	0,5	18,60	
7	D	16	37,21	0,3	11,16	
8	R	18	41,86	0,6	25,12	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER	6,12	-----	1,33	8,14	
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	1,91	-----	1,0	1,91	
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		43	Σ IND.GRAVID. IND. = IGG		172,38	Conceito
						PÉSSIMO

Tabela 5 – IGG obtido pela avaliação das estações distanciadas a cada 20 metros

E seguida, foi obtido o resultado do IGG para estações distanciadas a cada 10 metros, conforme mostra a Tabela 6.

PLANILHA DE CÁLCULO DO ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL (IGG)					DATA: JUNHO/2017	FOLHA:
TRECHO: RUA FLORÊNCIO DE ABREU, ENTRE AS AVENIDAS INDEPENDÊNCIA E JERÔNIMO GONÇALVES - RIBEIRÃO PRETO SP					ESTACA OU QUILOMETRO	
TIPO DE REVESTIMENTO: FLEXÍVEL					0 ao 1400	
ITEM	NATUREZA DO DEFEITO	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Fator de Ponderação	Índice de Gravidade Individual	Observações
1	Trincas Isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	60	71,43	0,2	14,29	
2	(FC-2) J, TB	21	25,00	0,5	12,50	
3	(FC-3) JE, TBE	6	7,14	0,8	5,71	
4	ALP, ATP, ALC, ATC	35	41,67	0,9	37,50	
5	O, P, E	28	33,33	1,0	33,33	
6	EX	31	36,90	0,5	18,45	
7	D	31	36,90	0,3	11,07	
8	R	35	41,67	0,6	25,00	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER	8,22	-----	1,33	10,93	
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	4,56	-----	1,0	4,56	
Nº TOTAL DE ESTAÇÕES		84	Σ IND.GRAVID. IND. = IGG		173,35	Conceito
						PÉSSIMO

Tabela 6 – IGG obtido pela avaliação das estações distanciadas a cada 10 metros

Como pode ser observado, o IGG, tanto para distâncias de 20 metros quanto para distâncias de 10 metros entre as estações de avaliação, resultou no mesmo conceito para a superfície do pavimento da Rua Florêncio de Abreu, que foi classificado como péssimo. Nota-se, ainda, que a diferença no valor do IGG, mesmo avaliando uma área muito maior do que a imposta pelo DNIT, foi mínima.

3.2 Verificação do Valor da Serventia Atual (VSA)

Após entrevista com cinco usuários, foi obtido o valor médio de VSA, conforme mostra a Tabela 7.

AVALIADORES					VSA MÉDIO	CONCEITO
1º	2º	3º	4º	5º		
3,00	2,00	2,50	2,00	2,70	2,44	REGULAR

Tabela 7 – Valores de VSA e conceito obtido para o pavimento

Nota-se que, através do valor do VSA do pavimento da Rua Florêncio de Abreu, o mesmo foi conceituado como regular.

4 | CONCLUSÕES

A distância entre as estações de avaliação estabelecida pelo DNIT é aplicável em trechos urbanos tanto quanto é para trechos rodoviários, não se fazendo necessária a cobertura de uma maior área de avaliação, desde que os subtrechos homogêneos sejam determinados corretamente. Com relação à avaliação subjetiva, alguns defeitos inventariados em avaliação objetiva com alta frequência relativa, não são perceptíveis ao usuário, como trincas e exsudação, por exemplo, não afetando o conforto ao rolamento, o que resultou em um melhor conceito nesta avaliação.

Apesar do valor do VSA ter resultado em um conceito regular para o pavimento, este valor está no limite de aceitabilidade, o que significa que, de qualquer forma, já é tempo de ações corretivas na via, já não sendo mais possível qualquer medida preventiva, e, caso nenhum tipo de manutenção seja realizado, o VSA irá atingir seu limite de trafegabilidade, o que significa que a única solução para melhora do estado deste pavimento será sua reconstrução.

É necessário que se tenha um plano estratégico periódico para a realização da manutenção, não somente nesta via, mas em todas as vias do Município, antes mesmo que se alcance seu limite de aceitabilidade. Manutenções preventivas garantem o retardo do decréscimo das condições da superfície do pavimento.

Vale lembrar que o valor de IGG é um critério complementar às outras avaliações necessárias para que se trace um bom projeto de restauração.

REFERÊNCIAS

Bernucci, L.B.; MOTTA, L.M.G.; CERATTI, J.A.P.; Soares, J.B. Pavimentação Asfáltica, Formação Básica para Engenheiros. Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto, ABEDA, 2007.

NORMA DNIT 005/2003- TER – Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos Terminologia. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2003.

NORMA DNIT-006/2003 – PRO – Avaliação objetiva da superfícies de pavimentos flexíveis e semi- rígidos. Procedimento. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2003.

NORMA DNIT-007/2003 - PRO– Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho

homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi- rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos. Procedimento. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2003.

NORMA DNIT-009/2003 – PRO – Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi- rígidos. Procedimento. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2003.

IMPACTO NO NÍVEL DE SOLICITAÇÕES DOS PILARES POR DIFERENTES MODELOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 30/03/2020

Ray Calazans dos Santos Silva

Departamento de Engenharia de Estruturas –
EESC/USP
São Carlos – SP
<http://lattes.cnpq.br/5372629655559184>

Luan Reginato

Departamento de Engenharia de Estruturas –
EESC/USP
São Carlos – SP
<http://lattes.cnpq.br/2208311458254148>

Danilo Pereira dos Santos

Departamento de Engenharia de Estruturas –
EESC/USP
São Carlos – SP
<http://lattes.cnpq.br/4502949034201551>

RESUMO: A análise estrutural é a etapa do projeto em que são determinadas as solicitações atuantes nos elementos estruturais. Quando uma estrutura é solicitada por ações horizontais, os elementos de maior importância e responsável por resistir a estas solicitações são os pilares, pórticos ou sistemas de contraventamento. Dentre os modelos mais populares no meio técnico, tem-se os de viga

contínua, pórtico por pavimentos isolados, pórtico plano e pórtico espacial. Cada modelo tem características distintas e, diante disso, os projetistas devem conhecer as imprecisões de cada tipo de análise. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo a comparação entre os níveis de solicitação dos pilares para um edifício padrão, tendo variado o seu número de pavimentos e modelo de cálculo. As ações verticais foram aplicadas como recomenda a ABNT NBR 6120:1980, o desaprumo verificado pela ABNT NBR 6118:2014 e as ações horizontais provindas do vento pela ABNT NBR 6123:1988. Concluiu-se que o modelo de viga contínua conduz a resultados contra segurança especialmente no tratamento dos pilares internos, além disso, a não consideração de esforços horizontais e a influência dos pórticos adjacentes por determinados modelos provocou uma divergência nos resultados em relação ao pórtico de pavimentos isolados. Por fim, salienta-se a relativa convergência entre os resultados encontrados nos modelos de pórticos plano e espacial.

PALAVRA-CHAVE: Análise estrutural. Pilar. Viga contínua. Pórtico plano. Pavimentos isolados. Pórtico espacial.

IMPACT ON THE LEVEL OF INTERNAL FORCES OF THE COLUMNS BY DIFFERENT MODELS OF STRUCTURAL ANALYSIS

ABSTRACT: Structural analysis is the stage of the project in which the internal forces on the structural elements are determined. When there are horizontal forces in the structure, the elements of major importance and responsible for resisting these demands are the columns, frames or bracing systems. Among the most popular models in the technical literature, there are those of continuous beam, isolated floors, plane frame and space frame. Each model has distinct characteristics and, on the other hand, designers must know the inaccuracies of each type of analysis. Therefore, the present paper has as objective the comparison between the levels of internal forces of the columns for a standard building, having varied its number of floors and calculation model. Vertical forces were applied as recommended by ABNT NBR 6120:1980, the plumb verified by ABNT NBR 6118:2014 and the horizontal forces coming from the wind by ABNT NBR 6123:1988. It was concluded that the continuous beam model has results against safety, especially in the treatment of internal columns, in addition, the failure to consider horizontal forces and the influence of adjacent frames by certain models caused a divergence in the results in relation to the pavements isolated. Finally, we highlight the relative convergence between the results found in the plane and space frames models.

KEYWORDS: Structural analysis, Column, Continuous beam models, Isolated floor, 2D frame, 3D frame.

1 | INTRODUÇÃO

É comum referir-se à etapa de análise estrutural como o cálculo dos esforços atuantes na estrutura, entretanto esta compreensão pode ser entendida como uma metonímia, ou seja, aproxima-se a estrutura real pelo que na verdade é o seu modelo mecânico. Desta forma, a análise estrutural é feita a partir de idealizações mais próximas ou mais distantes da realidade, consistindo na investigação de um modelo matemático com maior ou menor robustez.

Esta distinção, não obstante a sua obviedade, necessita de ser frisada, pois a sua incompreensão conduz a graves erros de engenharia que, na melhor das hipóteses, acarreta prejuízos no tocante ao desempenho estrutural. E, nos casos mais severos, pode significar o colapso estrutural, como o ocorrido no Real Class, edifício de 35 pavimentos situado na cidade de Belém que, ainda em construção, deixou três vítimas fatais ao sucumbir diante de solicitações horizontais devidas ao vento que não estavam presentes no modelo de cálculo avaliado, conforme destacado por Ribeiro e Oliveira (2018).

Portanto, especial atenção deve ser dada ao modelo matemático empregado que, de acordo com Corrêa (1991), é fruto não só do arranjo estrutural proposto como também das idealizações do material e da cinemática dos elementos estruturais, das condições de contorno e das ações. Um problema clássico que ilustra este desafio é a interseção de

duas vigas em um ponto não apoiado, usualmente o modelo mecânico adotado assume que a viga de menor inércia apoiar-se-á sobre a de maior, entretanto um outro modelo, mais refinado, considerará a compatibilização das flechas. Os dois modelos conduzem a uma solução e o engenheiro deve estar apto a definir o nível de aproximação desejado.

Assim, é necessário que o projetista conheça as hipóteses associadas a cada modelo e os erros que cada uma delas incorporam à solução do problema analisado. Ainda sobre a ruína do Real Class, conforme registrado nos autos do processo, a defesa salienta que foi empregado o modelo de cálculo de pórtico por pavimentos e que não há comprovação de que este modelo coloque em risco a estrutura. Tal declaração depõe contra o engenheiro projetista, na medida em que torna claro o fato de que o modelo foi empregado sem que se soubesse as hipóteses simplificadoras associadas a ele, a saber, a não consideração das ações horizontais.

Diante disso, este trabalho demonstra, por meio de uma aplicação, o impacto que as simplificações advindas das hipóteses de viga contínua, pavimentos isolados e pórticos planos têm sobre a determinação dos esforços de um pilar típico de uma edificação de múltiplos pavimentos. Salienta-se que tais valores são comparados com a referência estabelecida por um modelo de pórtico espacial. E, como os modelos de viga contínua e pavimentos isolados não avaliam a participação das ações horizontais, seja por vento ou desaprumo, estes modelos serão restritos à avaliação da edificação com apenas 3 pavimentos, enquanto o modelo de pórtico plano também será avaliado para 11 pavimentos.

Os cálculos realizados neste trabalho consideraram as ações verticais por meio das prescrições da ABNT NBR 6120:1980 e as ações horizontais (vento) pela ABNT NBR 6123:1988. Os modelos mecânicos de viga contínua, pórtico plano foram calculados manualmente e por meio da análise matricial de estruturas através do software FTool v.3.01, respectivamente, enquanto os modelos de pavimentos isolados e pórtico espacial foram calculados por meio do AltoQi Eberick v. 8.

2 | MÉTODOS DE ANÁLISE AVALIADOS

Faz-se distinção entre duas abordagens, a primeira delas corresponde ao grupo composto pela viga contínua e modelo de pavimentos isolados, enquanto o segundo é representado pelos pórticos plano e espacial. A principal diferença é a não consideração das ações horizontais por parte do primeiro grupo. Assim, nesta seção serão feitas revisões teóricas a respeito destes modelos de análise para que sejam evidenciadas as diferenças entre eles.

2.1 Viga contínua

Neste modelo, os elementos estruturais são considerados de forma isolada para facilitar o processo manual de cálculo, no entanto os elementos são dependentes entre si

na transferência dos esforços. Kimura (2018) sugere que esta análise seja feita seguindo as seguintes etapas: i) os esforços e flechas das lajes são calculados a partir de tabelas baseado em diversos métodos aproximados, como as tabelas de Marcus e Czerny; ii) as cargas das lajes são transferidas para as vigas através das áreas de influência pelo método das charneiras plásticas (Figura 1.a); iii) os esforços e flechas nas vigas são calculadas com o modelo de viga contínua apoiada em pilares, sendo estes simulados por apoios simples (Figura 1.b); iv) a reação vertical obtida nos apoios é transferido para os pilares como cargas concentradas (Figura 1.c).

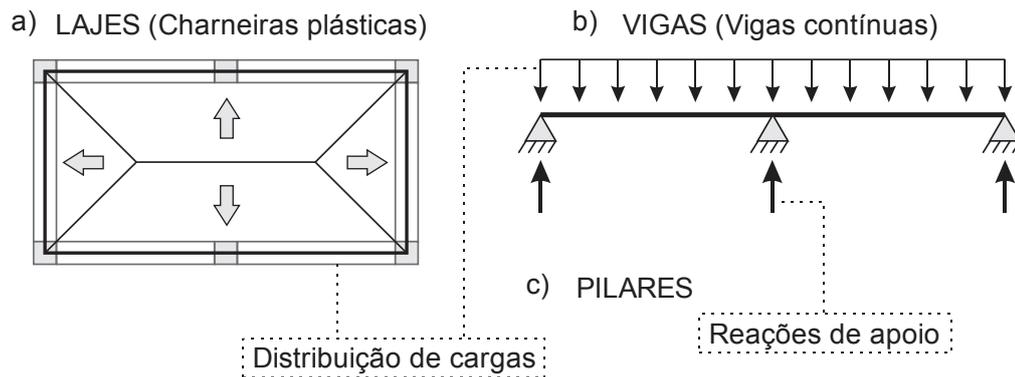


Figura 1 – Transferência de cargas entre os elementos. Fonte: Adaptado de Kimura (2018)

Em relação aos apoios para as vigas, Fontes (2005) destaca que podem ser considerados apoios simples, engastes ou apoios semirrígidos dependendo a rigidez e a precisão a ser implementada no modelo. Com a finalidade de aproximar o modelo à realidade, a NBR 6118 (ABNT, 2014) no item 14.6.6.1 faz as seguintes considerações:

- Não podem ser considerados momentos positivos menores que os que se obteriam se houvesse engastamento perfeito da viga nos apoios internos;
- quando a viga for solidária com o pilar intermediário e a largura do apoio, medida na direção do eixo da viga, for maior que a quarta parte da altura do pilar, não pode ser considerado o momento negativo de valor absoluto menor do que o de engastamento perfeito nesse apoio;
- quando não for realizado o cálculo exato da influência da solidariedade dos pilares com a viga, deve ser considerado, nos apoios extremos, momento fletor igual ao momento de engastamento perfeito multiplicado pelos coeficientes estabelecidos na Tabela 1:

Localização	Viga	Tramo superior do pilar	Tramo inferior do pilar
Coefficiente	$\frac{r_{inf} + r_{sup}}{r_{vig} + r_{inf} + r_{sup}}$	$\frac{r_{sup}}{r_{vig} + r_{inf} + r_{sup}}$	$\frac{r_{inf}}{r_{vig} + r_{inf} + r_{sup}}$

Tabela 1 – Coeficientes para solidarização dos pilares com a viga

Sendo $r_i = \frac{I_i}{l_i}$, onde r_i é a rigidez, I_i o momento de inércia e l_i o vão teórico do elemento i no nó considerado, conforme ilustrado na Figura 2.

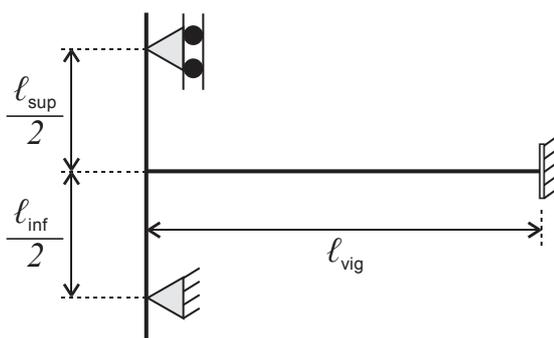


Figura 2 – Aproximação em apoios extremos

A partir dessas considerações, pode-se realizar a compatibilização de momentos na ligação do pilar com a viga ou sobrepor os diagramas considerando os momentos mais desfavoráveis para o dimensionamento.

Acrescenta-se que este modelo só incorpora as ações das cargas verticais e não leva em consideração os efeitos provocados por ações horizontais no edifício. Vale destacar que este modelo é muito utilizado para verificação manual dos resultados devido a sua simplicidade (KIMURA, 2018).

2.2 Pavimentos isolados

Conforme discutido na introdução deste trabalho, o modelo de pavimentos isolados foi aquele utilizado na análise do edifício Real Class, realizado por meio do AltoQI Eberick v. 6. O engenheiro projetista, conforme autos do processo, sustentou que esta opção estava pré-configurada no software de modo que ele apenas confirmou a caixa de mensagem que informava que os cálculos haviam sido efetuados com sucesso.

Ainda que os desenvolvedores deste software de análise e dimensionamento não sejam responsáveis solidários pela imperícia no uso das ferramentas por eles disponibilizadas, a partir da versão Eberick v.10 a opção de análise por meio do método dos pavimentos isolados só pode ser feita após a desconsideração do efeito do vento, das imperfeições globais e da não-linearidade geométrica, como indicado por Kirsten (2016).

A ideia por detrás do modelo de pavimentos isolados, como o próprio nome supõe,

é tratar a edificação de forma segmentada. Desta forma, inicia-se o cálculo da estrutura a partir do último pavimento, de forma isolada, considerando que seus pilares estão engastados. Na sequência, as reações calculadas no último pavimento são utilizadas como carregamento dos pilares do pavimento seguinte, que são representados com suas extremidades livres. Tal processo se dá de forma sucessiva até que a edificação seja calculada do último ao primeiro pavimento. A Figura 3 ilustra esta estratégia de cálculo.

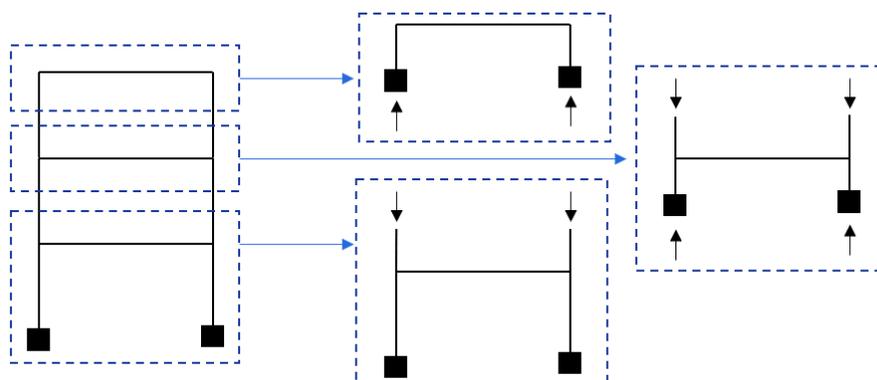


Figura 3 – Representação esquemática do modelo de pavimentos isolados.

Esta metodologia de cálculo é pertinente quando os esforços horizontais podem ser desprezíveis, pois representa um avanço no que diz respeito ao modelo de vigas contínuas na medida em que a rigidez da ligação viga/pilar pode ser melhor analisada. Além disso, quando tal método se popularizou, o fato de ser a solução de menor custo computacional dentre os modelos aplicados a estruturas aporticadas, tornava tal aplicação mais atraente.

Entretanto, a aplicação deste modelo requer cautela. Kirsten (2016) realizou um exercício interessante, ao comparar a solução por meio da técnica de pavimentos isolados e de pórticos espaciais aplicada a dois modelos tridimensionais nos quais os nós dos pilares eram rotulados. O resultado procurado foi o deslocamento horizontal na direção de menor inércia da edificação, tal valor foi de 1 cm para o modelo calculado por pavimentos isolados e de 10 cm para o modelo de pórtico espacial.

Ainda neste sentido, em seu trabalho Ribeiro e Oliveira (2018) modelaram numericamente o edifício Real Class, no intuito de avaliar a sua estabilidade global. Para isto lançaram mão do coeficiente γ_z e encontraram que este resultou em 1,7 para a estrutura dimensionada por meio da técnica de pavimentos isolados.

É evidente que não se quer com isto invalidar um modelo de cálculo, ao invés disso, se está a deixar evidente as suas limitações no tocante aos cálculos de estabilidade e à consideração de esforços horizontais, para que tal metodologia esteja restrita aos casos em que o projetista de fato julgar adequado.

2.3 Pórtico Plano

O modelo de pórtico plano representa um avanço em relação à análise por pavimentos isolados, uma vez que guarda a grande vantagem da melhor aproximação para a ligação viga/pilar, quando em comparação às vigas contínuas, mas descarta a simplificação de que o cálculo seja feito por etapas, pavimento por pavimento. Ao invés disso, toda a estrutura é contabilizada de forma monolítica, de modo que as ações horizontais podem ser acrescentadas à análise do pórtico.

Algumas adaptações foram propostas ao modelo de pórtico plano no intuito de aproximar tal representação das estruturas de concreto. Neste sentido pode-se destacar a adoção de trechos rígidos, úteis para a representação da mudança de eixo entre pilares, ou até de paredes estruturais com aberturas. A Figura 4 apresenta esta implementação.

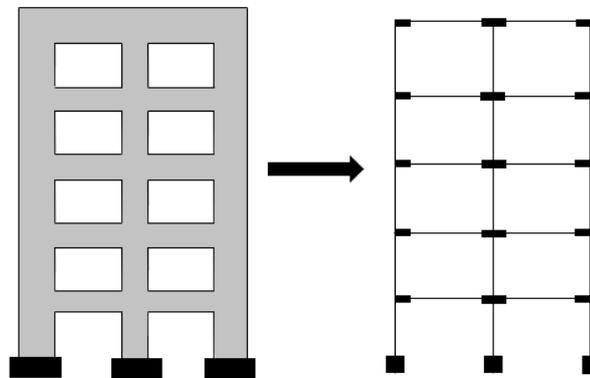


Figura 4 – Melhoria aplicada a pórticos planos: trechos rígidos.

Entretanto, ainda o aperfeiçoamento dos trechos rígidos não seja implementado, os modelos de pórticos planos se popularizaram, sobretudo para a avaliação dos esforços provocados pelo vento e verificação da estabilidade global.

Neste modelo os elementos estruturais são dotados de três graus de liberdade por nó, dois translacionais e um rotacional. Dessa forma, sua análise pode ser realizada em qualquer software dedicado à análise bidimensional de estruturas reticuladas.

Com a adoção de pórticos planos é possível a composição de carregamentos verticais e horizontais simultâneos, além disso também pode ser avaliada a contribuição de todos os pórticos alinhados frente às solicitações horizontais por meio de barras rígidas ligando tais estruturas em substituição das lajes dos pavimentos, como demonstrado na Figura 5.

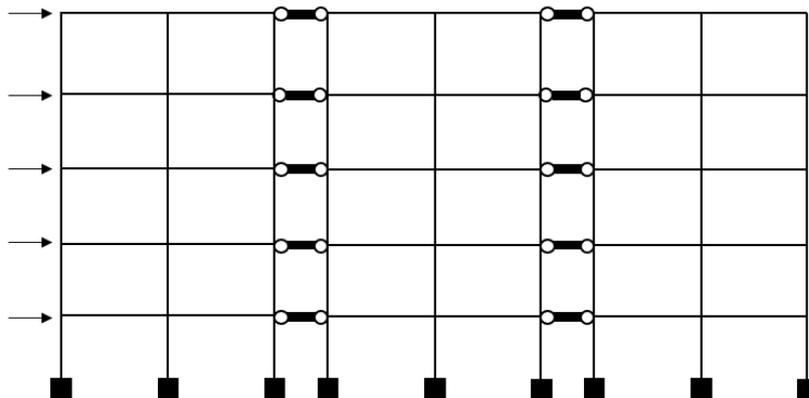


Figura 5 – Associação de pórticos planos por meio de barras rígidas biarticuladas.

A principal desvantagem desta abordagem é que ela só é válida para estruturas simétricas. Edificações com geometrias mais complexas necessitam de uma análise mais acurada, preferencialmente a partir da análise por pórtico espacial.

2.4 Pórtico Espacial

O pórtico espacial, conforme exposto por Kimura (2018), é o estado da prática em muitos escritórios de cálculo, seja para avaliação de estruturas de grande porte seja para as de pequeno. Diferentes abordagens podem ser realizadas para este modelo, a mais comum dentre elas é a adoção da hipótese do diafragma rígido, neste caso, as lajes são tomadas como indeformáveis em seu plano. Quando este for o caso, o modelo é inteiramente constituído de “barras gerais”, isto é, elementos de viga dotados de 6 graus de liberdade por nó, 3 translacionais e 3 rotacionais.

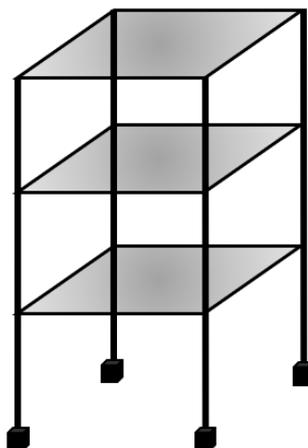


Figura 6 – Representação de um pórtico espacial.

Para o tratamento da hipótese de diafragma rígido é possível a adoção de um ponto no plano do pavimento, de localização arbitrária, cujos graus de liberdade são acoplados

aos demais nós do mesmo pavimento, de modo que os deslocamentos contidos no plano se mantêm relacionados. Outras estratégias também são aplicadas, como o enrijecimento lateral das vigas, adoção de elementos rígidos e até a restrição direta nos graus de liberdade da matriz de rigidez do sistema (CORRÊA, 1991; KIMURA, 2018).

3 | EDIFICAÇÃO AVALIADA

Neste estudo foi considerado um edifício residencial de múltiplos pavimentos em concreto armado adaptado de Araújo (2014), composto por: um térreo, uma cobertura e pavimentos-tipo variando de 1 a 9, totalizando um edifício variando de 3 a 10 pavimentos. O pavimento térreo tem altura de piso a piso de 3,80 m e os demais pavimentos de 2,80 m. Acrescenta-se que cada pavimento possui uma disposição simétrica dos elementos da estrutura.

A Figura 7 ilustra a planta de fôrma do lançamento estrutural, tendo vigas de 20x40 e 20x60 cm e pilares com 20x50 e 20x70 cm.

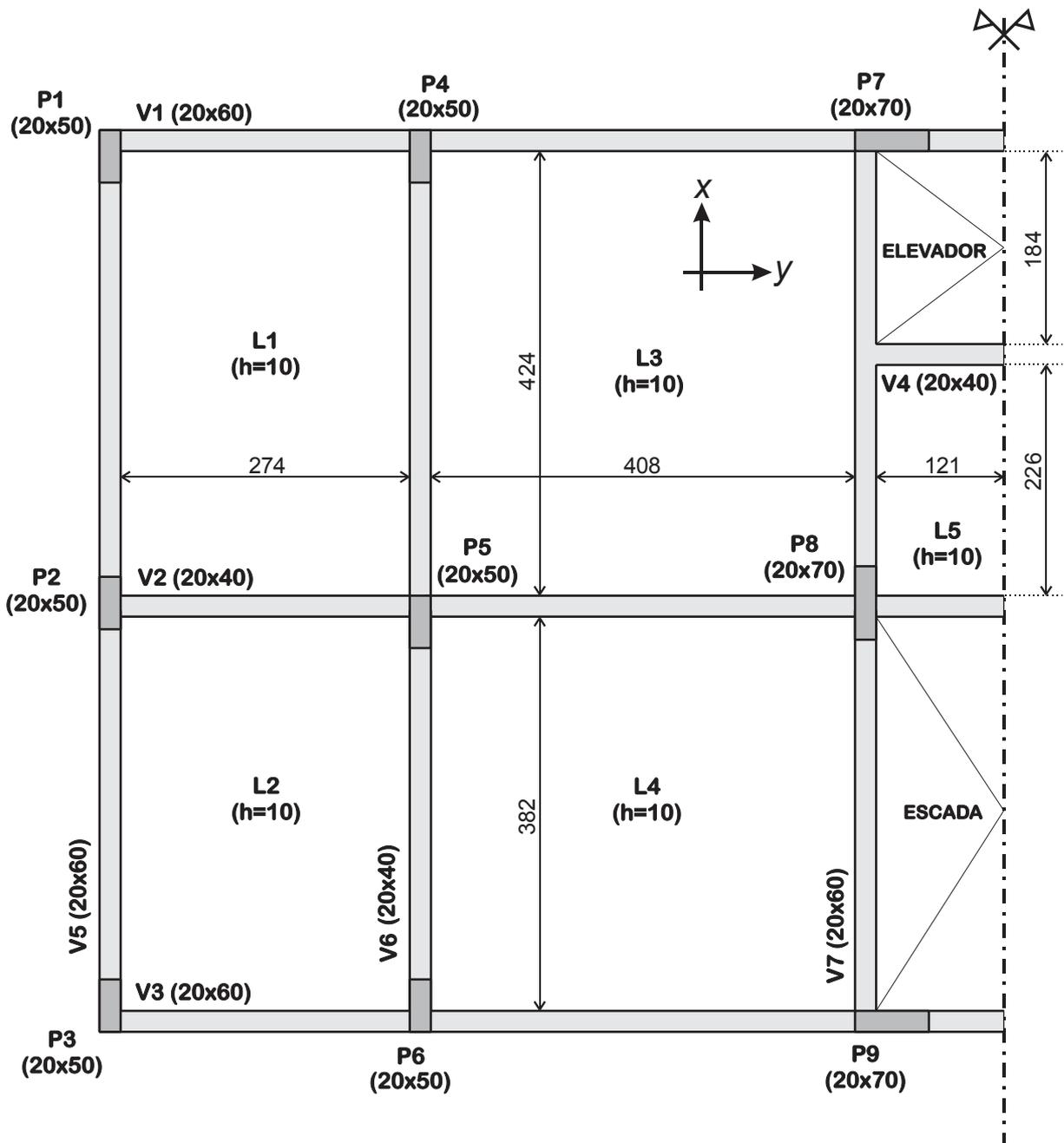


Figura 7 – Planta de fôrma

O concreto adotado para esta análise tem um $f_{ck} = 35$ MPa confeccionado com agregado graúdo de granito. O módulo de elasticidade do material foi adotado como recomenda a NBR 6118 (ABNT, 2014) resultando em um módulo secante de 29403 MPa.

Para as cargas verticais atuantes na estrutura foram adotados os valores da NBR 6120 (ABNT, 1980), resumidas na Tabela 2.

Cargas Permanentes (G)	
Descrição	Carga
Revestimento	1,0 kN/m ²
Peso específico do Concreto	25 kN/m ³
Peso específico da Água	10 kN/m ³

Peso específico do tijolo furado	13 kN/m ³
Cargas Acidentais (Q)	
Descrição	Carga
Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	1,5 kN/m ²
Despensa, área de serviço e lavanderia	2,0 kN/m ²
Escada sem acesso ao público	2,5 kN/m ²
Casa de Máquinas	7,5 kN/m ²

Tabela 2 - Resumo das cargas adotadas

As ações horizontais provenientes do vento e desaprumo foram consideradas pela NBR 6123 (ABNT, 1988) e NBR 6118 (ABNT, 2014), respectivamente.

Para o vento, a força a ser aplicada na estrutura é dada pela Equação 1, denominada força de arrasto.

$$F_a = C_a \cdot q \cdot A \quad \text{Equação 1}$$

Onde C_a é o coeficiente de arrasto determinado pela Tabela 10 da respectiva norma, onde foi considerado o edifício com seção constante ao longo da altura e vento de baixa turbulência. Destaca-se que para análise de cada direção do vento é considerado valores diferentes para o coeficiente de arrasto, assim como para cada redução da altura total do edifício; A é a área de influencia do pavimento, obtida pelo produto da altura de piso a piso com a largura do edifício perpendicular à ação do vento; q é a pressão dinâmica do vento dado pela Equação 2.

$$q = 0,613 \cdot V_k^2 \quad \text{Equação 2}$$

Sendo V_k a velocidade característica do vento, determinada pela Equação 3.

$$V_k = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot V_0 \quad \text{Equação 3}$$

Os valores de S_1 , S_2 , S_3 e V_0 são descritos na Tabela 3.

	Descrição	Valor adotado
V_0	Velocidade básica do vento: Adotado para a cidade de Aracaju/SE com valor determinado através do mapa de isopletras.	30 m/s
S_1	Fator topográfico: Adotado um terreno situado em um local plano.	1,0

S_2	Fator que leva em consideração a rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura da incidência do vento: Para a rugosidade foi adotado a categoria IV (Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados), para as dimensões da edificação foi adotado Classe A quando a máxima dimensão da edificação for menor que 20 m e Classe B quando for maior, e a altura de incidência do vento é analisado em cada altura do pavimento (z).	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Classe A: } 0,86 \left(\frac{z}{10} \right)^{0,120} \\ \text{Classe B: } 0,833 \left(\frac{z}{10} \right)^{0,125} \end{array} \right.$
S_3	Fator que leva em consideração o uso da edificação e sua vida útil: o valor adotado foi para edificações para hotéis e residências	1,0

Tabela 3 – Valores estatísticos adotados para o cálculo da velocidade característica do vento

Para o desaprumo, a NBR 6118 (ABNT, 2014) sugere a adoção de um ângulo θ_a simulando a falta de verticalidade da estrutura, em função do número n de prumadas de pilares, dado pela Equação 4.

$$q_a = q_1 \sqrt{\frac{1 + 1/n}{2}} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$$q_1 = \frac{1}{100\sqrt{H}} \quad \text{Equação 5}$$

Sendo H a altura total do edifício e θ , não deve ser menor que 1/300 e não maior que 1/200.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) permite a desconsideração do desaprumo quando esta for menor que 30% da força da ação do vento.

Neste estudo, a força equivalente provinda do desaprumo foi cerca de 20% da força de vento, com isso, considerou-se apenas as ações de vento.

4 | RESULTADOS

A comparação realizada entre os quatro modelos não esteve restrita às definições mecânicas, de modo que o processo também considerou as prescrições normativas, aplicando as combinações críticas apropriadas a cada um deles.

Desta forma, inicialmente foram avaliadas todas as combinações possíveis. Esta avaliação conduziu os modelos de pórtico plano e pórtico espacial à combinação crítica de $1,4G + 1,4V + 0,7Q$, em que G representa as cargas permanentes, V as ações variáveis principais (ação do vento) e Q as ações variáveis secundárias (sobrecargas). Nos modelos de viga contínua e pavimentos isolados, como as solicitações horizontais não são consideradas, a combinação crítica diferiu da anterior, tendo sido caracterizada por $1,4G + 1,4Q$, em que Q é a única ação variável avaliada e faz referência à sobrecarga.

As análises apresentadas nos itens seguintes são divididas em dois grupos, no primeiro deles os modelos de viga contínua e pavimentos isolados são introduzidos às análises, na avaliação de 3 pavimentos, para os quais o efeito da força do vento tem

a sua importância diminuída. Por último, se encontram os modelos que consideram as cargas verticais e horizontais em conjunto, ou seja, pórtico plano e pórtico espacial. Nesta seção foram variados o número de pavimentos no intuito de observar o impacto desta modificação entre estes resultados.

4.1 Modelo com 3 pavimentos

Para os modelos de viga contínua e pavimentos isolados não foi realizada uma variação do número de pavimentos, ao invés disso, analisou-se apenas uma única edificação de três pavimentos. O momento máximo de cada pilar associado aos dois modelos de cálculo é apresentado nos diagramas das Figura 8 e Figura 9.

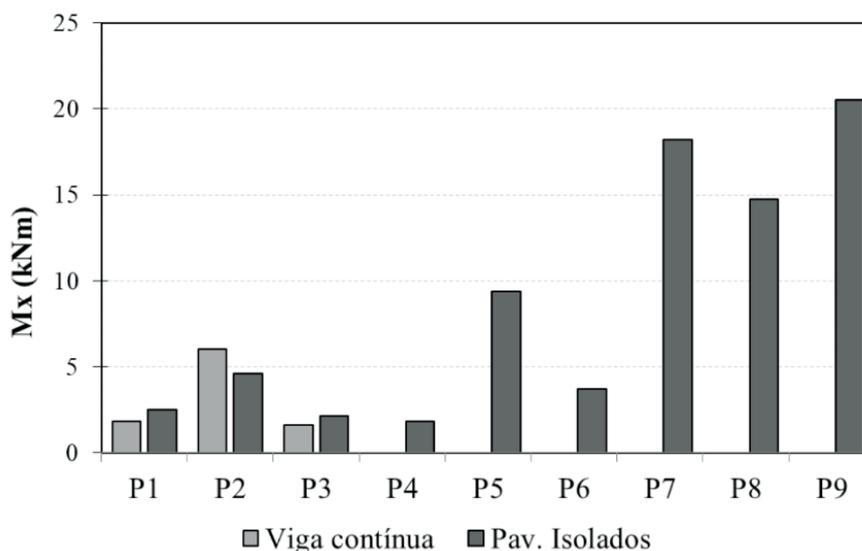


Figura 8 – Comparação entre os momentos máximos em torno de X para o edifício de três pavimentos com os modelos de viga contínua e pavimentos isolados.

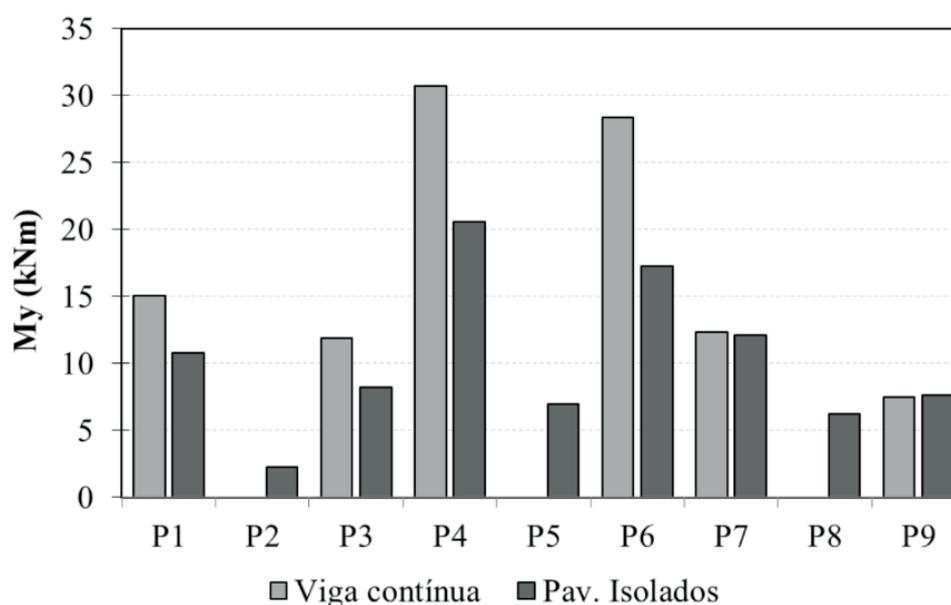


Figura 9 - Comparação entre os momentos máximos em torno de Y para o edifício de três pavimentos com os modelos de viga contínua e pavimentos isolados.

4.2 Modelo até 10 pavimentos

A avaliação variando o número de pavimentos para os pórticos planos e espacial foi organizado sob a forma de diagramas no intuito de representar o aumento da solicitação em cada pilar para edificações de diferentes números de pavimentos. A Figura 10 e a Figura 11 apresentam estes resultados.

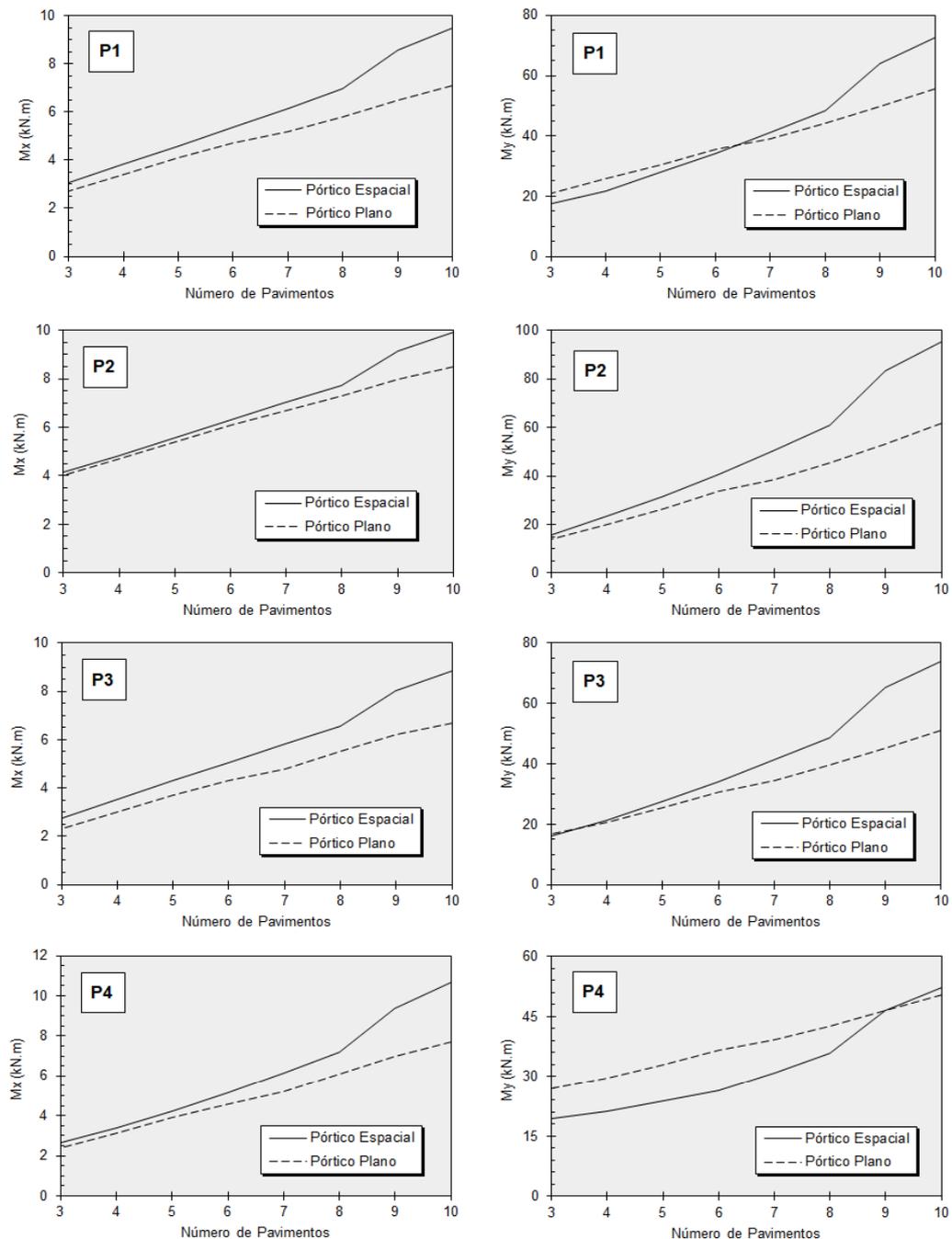


Figura 10 - Comparação entre os momentos máximos nos pilares variando o número de pavimentos do edifício para os modelos de pórtico espacial e pórtico plano.

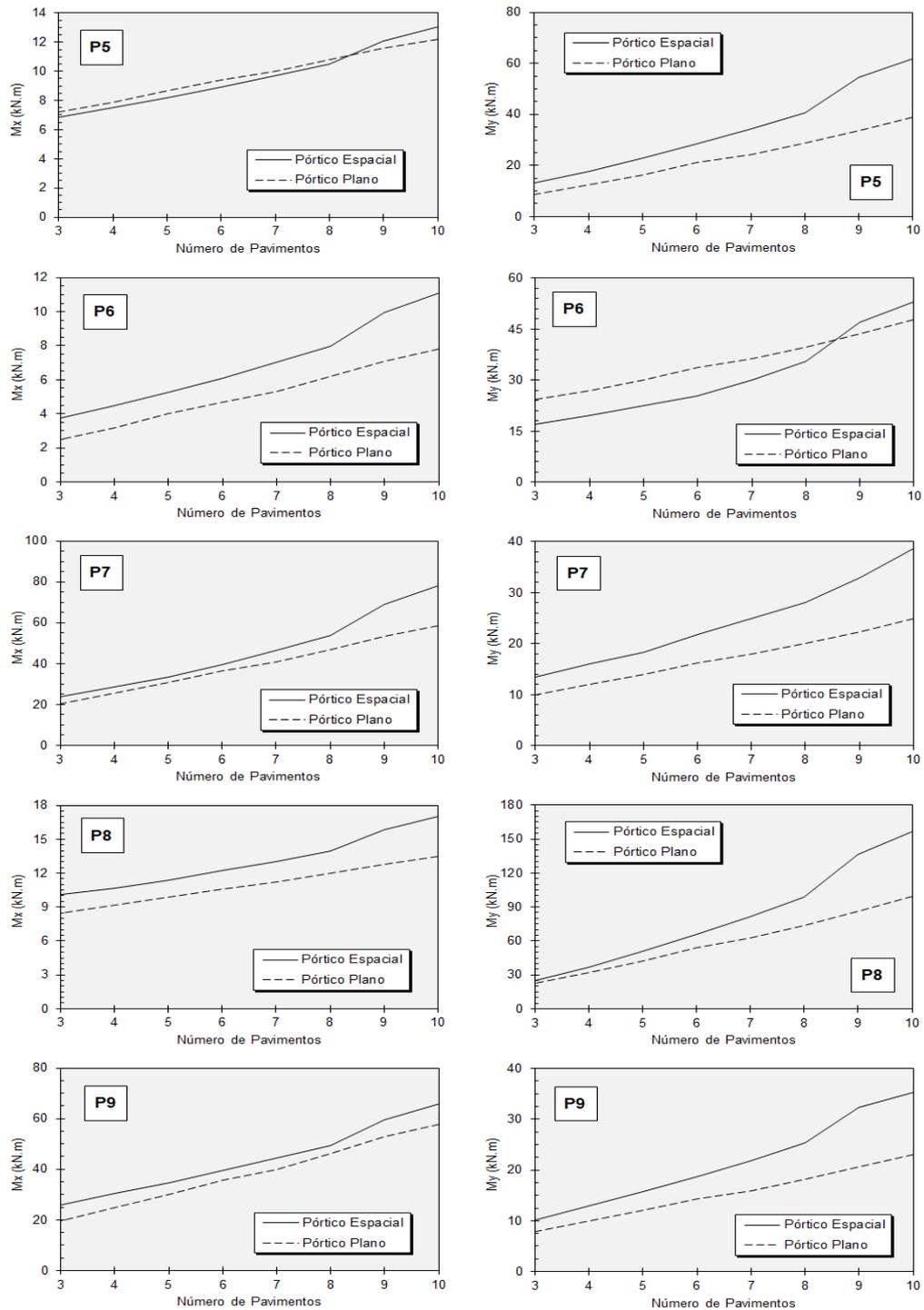


Figura 11 - Comparação entre os momentos máximos nos pilares variando o número de pavimentos do edifício para os modelos de pórtico espacial e pórtico plano

5 | CONCLUSÃO

No intuito de avaliar o impacto que a metodologia de cálculo possui sobre os resultados auferidos, neste trabalho foram aplicados os métodos da viga contínua, pavimentos isolados, pórtico plano e pórtico espacial a uma estrutura típica de concreto armado, tendo sido variados o seu número de pavimentos, com o propósito de investigar a alteração dos momentos fletores máximos identificados nos pilares em cada modelo. Salienta-se que o carregamento da estrutura se deu em obediência às normas brasileiras.

A partir dessas análises foi possível sublinhar as observações que abaixo se seguem.

- Os modelos de viga contínua e pavimentos isolados, como já se supunha no início destas avaliações, apresentam solicitações muito inferiores àquelas identificadas nos modelos de pórtico plano e pórtico espacial. Deste modo, tal limitação deve ser utilizada como critério quando da adoção destes modelos de cálculo.
- Os modelos de viga contínua, em relação ao pórtico espacial, apresentaram resultados ainda mais discrepantes na avaliação dos pilares internos. Isto se justifica, pois, este modelo não contabiliza a rigidez dos pilares nos nós internos das suas vigas.
- Em geral, a solução em pórticos planos apresentou resultados relativamente próximos aos obtidos através do pórtico espacial. Tal relação foi especialmente identificada para as edificações de até 8 pavimentos, cuja maior diferença esteve pouco abaixo dos 26%.
- O pórtico espacial, conforme referenciado na literatura, é o que se tem de mais avançado no estado da prática para as edificações usuais. Entretanto, recomenda-se para trabalhos futuros, que os seus resultados sejam comparados à modelos espaciais que considerem as não linearidades física e geométrica inerentes a uma edificação de grande porte em concreto armado.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR6118**: Projeto de estruturas em concreto armado - Procedimento. Rio de Janeiro. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR6120**: Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações. Rio de Janeiro, 1980.
- BRASIL. Tribunal de Justiça do Estado do Pará. **8ª Vara Criminal de Belém**. Número do processo: 0008206-71.2011.8.14.0401. 2011.
- CORRÊA, Márcio Roberto Silva. **Aperfeiçoamento de modelos usualmente empregados no projeto de sistemas estruturais de edifícios**. 342 p. Tese Doutorado- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1991.
- FONTES, Fernando Fernandes. **Análise estrutural de elementos lineares segundo a NBR 6118:2003**. 120p. Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2005.
- KIMURA, Alio. **Informática aplicada a estruturas de concreto armado**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.
- KIRSTEN, A. Comparativo entre os modelos “Pórtico espacial” e “Pavimentos isolados” na análise de estruturas. **AltoQi Base de Conhecimento**. 8 de março de 2016. Disponível em: <<http://faq.altoqi.com.br/content/243/1637/pt-br/comparativo-entre-os-modelos-“pórtico-espacial”-e-“pavimentos-isolados”-na-análise-de-estruturas.html>>. Acesso em: 02/05/2019.
- OLIVEIRA, D. R. C. D.; RIBEIRO, R. J. D. C. The Collapse of Real Class building. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, Volume 11, nº 2, p. 357-388. 2018.

SAPATAS: COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DE CÁLCULO ANALÍTICO POR MEIO DAS BIELAS-TIRANTES E O MEF (2D)

Data de aceite: 01/06/2020

Denise Itajahy Sasaki Gomes Venturi

Doutorando em Engenharia Civil (UFPE),
Gerente de Engenharia - Alumini Engenharia Ltda
sasaki.denise@gmail.com

Matheus Rangel Venturi

Graduando em Engenharia Civil (UNIP), Técnico
em Projetos - Alumini Engenharia Ltda
matheusventuri@hotmail.com

RESUMO: Pode-se verificar que as sapatas são elementos de fundação direta corriqueiros e de grande utilização nos empreendimentos. A maioria destes elementos pode ser dimensionada de forma simplificada, com base em métodos analíticos fundamentados na teoria da elasticidade (que leva em consideração a hipótese da relação constante entre tensões e deformações). O presente estudo tem como objetivo o desenvolvimento de uma comparação entre o método analítico das bielas e o Método dos Elementos Finitos (com simulações de aplicação direta de carga sobre uma placa e com simulação de aplicação de carga sobre um pedestal representado por um elemento linear) para a análise de fundações tipo sapata, rígidas e submetidas à flexão oblíqua. A comparação será realizada, basicamente, em função da

obtenção da tensão no solo e das armaduras de flexão. Não serão apresentados dados relativos aos recalques da sapata. O foco do trabalho concentra-se na investigação dos limites de aplicação dos métodos citados, de forma a estabelecer recomendações práticas que suportem o desenvolvimento racional de projetos (análises) com qualquer geometria. Os resultados serão apresentados no formato de tabelas e gráficos. De forma adicional, será apresentada ainda uma análise comparativa com a adoção de diferentes tipos de malha, no caso das análises por meio do método dos elementos finitos. As análises por meio dos elementos finitos serão realizadas com o auxílio do software STAAD.Pro (Bentley).

PALAVRA-CHAVE: Fundações / Sapatas / Elementos Finitos / Teoria da Elasticidade

FOOTING: COMPARISON BETWEEN ANALYTICAL CALCULATION METHOD USING CONNECTING ROD AND FEM (2D)

ABSTRACT: It can be verified that direct foundations are common and of great use in the enterprises. Most of these elements can be dimensioned in a simplified way, based on analytical methods based on elasticity theory (which takes into account the hypothesis

of the constant relation between tensions and deformations). The present study aims to develop a comparison between the analytical method of the connecting rods and the Finite Element Method (with simulations of direct load application on a plate and with simulation of load application on a pedestal represented by a linear element) For the analysis of direct foundations, rigid and submitted to oblique flexion. The comparison will be made, basically, as a function of obtaining the tension in the soil and the flexural reinforcement. No data on the repression of footing will be presented. The focus of the work is to investigate the limits of application of the mentioned methods, in order to establish practical recommendations that support the rational development of projects (analyzes) with any geometry. The results will be presented in the form of tables and graphs. In addition, a comparative analysis will be presented with the adoption of different types of mesh, in the case of analysis using the finite element method. The finite element analyzes will be performed with the help of STAAD.Pro (Bentley) software.

KEYWORDS: Foundations / Shallow Foundations / Finite Element / Elasticity Theory

1 | INTRODUÇÃO

A NBR 6122 (ABNT, 2010) define fundações superficiais (rasas ou diretas) como os elementos de fundação “*em que a carga é transmitida ao terreno pelas tensões distribuídas sob a base da fundação, e a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente à fundação é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação*”. Dentre os tipos de fundação direta, destacam-se as sapatas, com uso bastante comum nas construções e que são definidas, também pela NBR 6122 (ABNT, 2010) como um “*elemento de fundação superficial, de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração nele resultantes sejam resistidas pelo emprego de armadura especialmente disposta para esse fim*”.

Devido às facilidades de projeto e construção, estas fundações tem as suas etapas de projeto e construção subestimadas, ou seja, não são dadas as devidas atenções aos itens de dimensionamento e, posteriormente, de construção desses elementos.

Assim, este estudo busca apresentar uma comparação simples entre o método de cálculo analítico (método das bielas) e o Método dos Elementos Finitos (MEF), este último com a adoção de elementos de placa (para representar a base da fundação) e elementos lineares para representar o pedestal. O objetivo principal é apresentar peculiaridades de cálculo que não são devidamente consideradas no dimensionamento destes elementos, além de comparar os resultados obtidos com os métodos de dimensionamento escolhidos.

As comparações serão reduzidas à obtenção da tensão no solo para os dois métodos apresentados e para a análise da influência da malha, nos casos da análise por meio dos elementos finitos.

2 | DADOS DE ENTRADA

Por tratar-se de uma análise hipotética, algumas premissas foram estabelecidas para a determinação das geometrias e cargas atuantes nas sapatas que farão parte deste estudo.

2.1 Geometria

Em relação à geometria das sapatas quadradas, adotou-se as dimensões em planta de 100 cm x 100 cm, 150 cm x 150 cm e 200 cm x 200 cm para as bases das fundações, e de 30 cm x 30 cm, 45 cm x 45 cm e 60 cm x 60 cm para as dimensões do pedestal. A dimensão do pedestal foi calculada de forma a manter-se a relação de 0,30 entre a largura do pedestal e a largura da base da fundação.

Para as sapatas retangulares, partiu-se para combinações das dimensões das sapatas quadradas, o que resultou em sapatas retangulares com dimensões de 100 cm x 150 cm, 100 cm x 200 cm e 150 cm x 200 cm. Os valores de pedestais foram também combinados em relação às dimensões das sapatas quadradas, o que resultou em pedestais de 30 cm x 45 cm, 30 cm x 60 cm e 45 cm x 60 cm, respectivamente para as bases retangulares apresentadas.

Em relação à altura entre o ponto de aplicação de cargas (CC = Centro de Cargas) e a base de transferência de carga da estrutura para o solo, adotou-se os valores de 100 cm e 150 cm, com o valor de $h_a = 25$ cm (trecho acima do solo) e h_c (altura da base da sapata) de forma que a sapata seja considerada rígida (para h_a e h_c ver Figura 1).

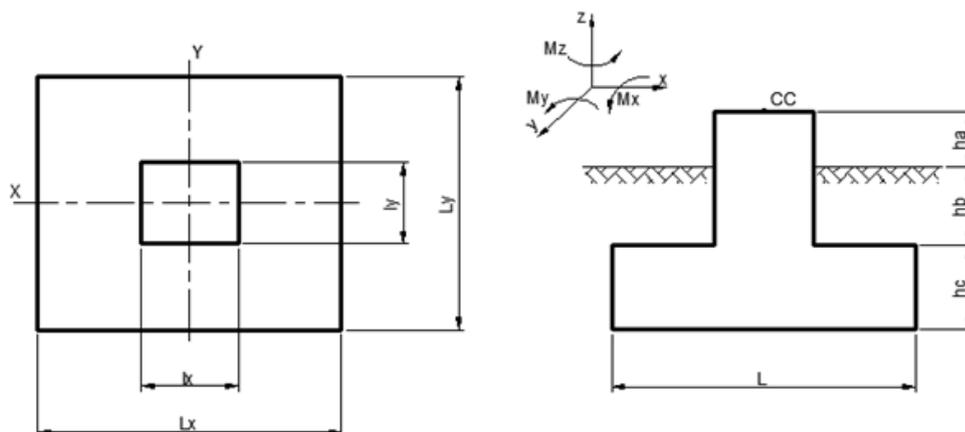


Figura 1 – Sapatas – Geometria e Aplicação de Cargas (Planta e Seção)

A Tabela 1 e a Tabela 2 apresentam a geometria das sapatas quadradas e retangulares, respectivamente, a serem analisadas neste estudo.

Ident.	Lx (cm)	Ly (cm)	lx (cm)	ly (cm)	ha (cm)	hb (cm)	hc (cm)
Q1	100	100	30	30	25	50	25
Q2	150	150	45	45	25	40	35
Q3	200	200	60	60	25	25	50
Q4	100	100	30	30	25	100	25
Q5	150	150	45	45	25	90	35
Q6	200	200	60	60	25	75	50

Tabela 1 – Geometria: Sapatas Quadradas

Ident.	Lx (cm)	Ly (cm)	lx (cm)	ly (cm)	ha (cm)	hb (cm)	hc (cm)
R1	100	150	30	45	25	40	35
R2	100	200	30	60	25	25	50
R3	150	200	45	60	25	25	50

Tabela 2 – Geometria: Sapatas Retangulares

2.2 Cargas Atuantes

As cargas atuantes nas sapatas a serem analisadas foram adotadas a partir das seguintes premissas:

- I. As ações atuantes levariam a sapata ao limite da tensão no solo, isto é, a tensão atuante no solo deveria ser igual (aproximadamente) à tensão admitida adotada no estudo ($1,0 \text{ kgf/cm}^2$);
- II. A carga vertical (N) aplicada, acrescida do peso próprio da sapata e do peso do solo sobre a sapata corresponderiam a aproximadamente 50% da tensão admissível do solo, isto é, aproximadamente $0,5 \text{ kgf/cm}^2$;
- III. A outra metade da tensão admissível do solo seria obtida a partir da combinação das ações (forças e momentos) atuantes;
- IV. Considerou-se que as forças e os momentos seriam iguais, em módulo, para as sapatas quadradas e, para as sapatas retangulares, as forças e os momentos manteriam a mesma relação de proporção que os lados da base das sapatas.

A Tabela 3 e a Tabela 4 apresentam as cargas atuantes adotadas com base nas premissas acima apresentadas para as sapatas quadradas e retangulares, respectivamente.

Ident.	Fx (tf)	Fy (tf)	N (tf)	Mx (tf.m)	My (tf.m)
Q1	0,20	0,20	3,50	0,20	0,20
Q2	0,70	0,70	7,50	0,70	0,70
Q3	1,70	1,70	13,00	1,70	1,70
Q4	0,15	0,15	2,50	0,15	0,15
Q5	0,55	0,55	5,50	0,55	0,55
Q6	1,30	1,30	9,50	1,30	1,30

Tabela 3 – Cargas Atuantes: Sapatas Quadradas

Ident.	Fx (tf)	Fy (tf)	N (tf)	Mx (tf.m)	My (tf.m)
R1	0,30	0,45	5,00	0,45	0,30
R2	0,40	0,80	6,50	0,80	0,40
R3	0,90	1,20	9,50	1,20	0,90

Tabela 4 – Cargas Atuantes: Sapatas Retangulares

3 I ANÁLISES

Conforme apresentado, este estudo será baseado na comparação dos resultados da análise das fundações a partir do método analítico (método das bielas) e o método dos elementos finitos (MEF)

3.1 Análise Analítica: Método das bielas

3.1.1 Generalidades

O método das bielas é um método bastante utilizado no dimensionamento de fundações diretas. A armadura da sapata é obtida a partir da tensão de tração, conforme apresentado na Figura 2.

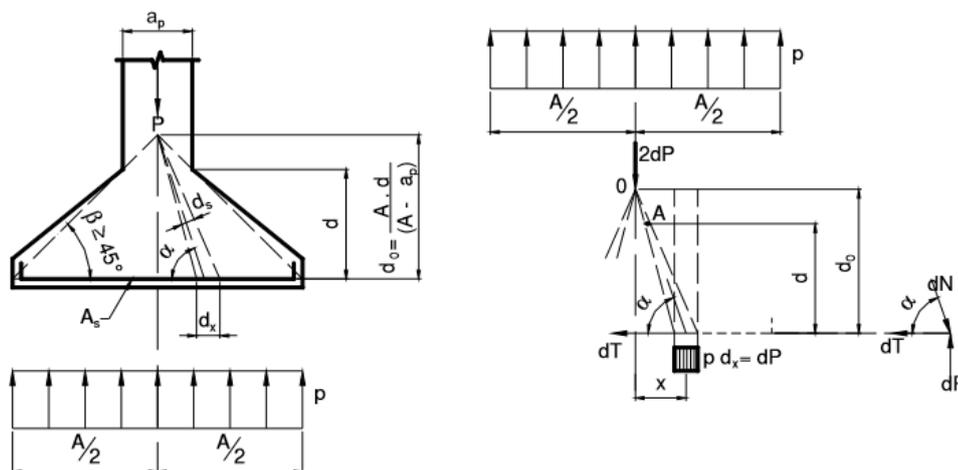


Figura 2 – Tensão de Tração, direção X: Método das Bielas

(Fonte: Bastos, 2012)

3.1.2 Formulação

A NBR 6118 (ABNT, 2014) considera como rígida a sapata que satisfaz à seguinte equação:

$$h \geq \frac{(L - l_p)}{3} \quad \text{Equação 1}$$

onde:

h : é a altura da sapata (h_c para as sapatas em estudo);

L : é a dimensão da sapata em uma determinada direção;

l_p : é a dimensão do pilar (pedestal) na mesma dimensão.

Assim, uma vez considerada rígida, “*pode-se admitir plana a distribuição de tensões normais no contato sapata-terreno, caso não se disponha de informações mais detalhadas a respeito*” (ANBT, 2014). Assim, a tensão no solo foi calculada a partir das equações da Resistência dos Materiais:

$$\tau = \frac{N}{A} \pm \frac{M_x}{W_x} \pm \frac{M_y}{W_y} \quad \text{Equação 2}$$

A Equação 2 desdobra-se em outras duas equações de interesse para a análise em questão:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \quad \text{Equação 3}$$

e

$$\tau_{m\acute{i}n} = \frac{N}{A} - \frac{M_x}{W_x} - \frac{M_y}{W_y} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

τ :	Tensão no solo;	M_x :	Momento atuante, em torno do Eixo x;
$\tau_{m\acute{a}x}$:	Tensão máxima atuante no solo;	M_y :	Momento atuante, em torno do Eixo y;
$\tau_{m\acute{i}n}$:	Tensão mínima atuante no solo;	W_x :	Módulo de Resistência, em x;
N :	Carga vertical atuante;	W_y :	Módulo de Resistência, em y.
A :	Área da base da fundação;		

O módulo de resistência (W), por sua vez, é dado por:

$$W_x = \frac{L_x \cdot (L_y)^2}{6} \quad W_y = \frac{L_y \cdot (L_x)^2}{6} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

L_x : Dimensão lateral da base da fundação, na direção X;

L_y : Dimensão lateral da base da fundação, na direção Y;

De acordo com Pfeil (1980), no caso de compressão com grande excentricidade a Equação 4 indicaria uma situação de pressão negativa em um dos bordos da fundação, o que é fisicamente impossível, pois não existe resistência à tração entre o terreno e a sapata. Para o autor, nessas condições, o equilíbrio é obtido a partir do diagrama linear de pressões atuando em apenas uma parte da seção, cujo cálculo pode ser facilitado com o apoio de ábacos e tabelas.

Nas situações em estudo, na presença de tensões de tração (Equação 4), a tensão máxima resultante será recalculada a partir da Equação 6:

$$\tau_{max} = \frac{k \cdot N}{A} \quad \text{Equação 6}$$

Sendo “k” um coeficiente para pressão máxima do solo, não considerando tensões de tração entre a fundação e o solo. Este coeficiente “k” é obtido a partir do cruzamento dos coeficientes C_x e C_y , em Pfeil (1980)¹:

$$C_x = \frac{M_y}{N \cdot L_x} \quad C_y = \frac{M_x}{N \cdot L_y} \quad \text{Equação 7}$$

O cálculo da tensão de tração na base da fundação, provocada pela compressão das bielas, é determinada a partir da Equação 8 (Velloso, 1996):

$$T = \frac{N^*(L - l_p)}{8 \cdot d} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

T : Tensão de tração, a ser calculada para as duas direções cartesianas X e Y;

N^* : Carga vertical aplicada, obtida a partir da tensão máxima do solo;

L : é a dimensão da sapata em uma determinada direção;

l_p : é a dimensão do pilar (pedestal) na mesma dimensão

d : altura útil.

A carga vertical atuante é obtida a partir da tensão máxima do solo, $\tau_{m\acute{a}x}$ (calculada a partir da utilização da Equação 3 em caso da ocorrência de tensões de compressão apenas, ou a partir da utilização da Equação 6, em caso de existência de tensões de tração):

$$N^* = \tau_{m\acute{a}x} \cdot A \quad \text{Equação 9}$$

3.1.3 Resultados

As análises por meio do método das bielas foram realizadas com o auxílio de uma planilha de cálculo elaborada para este fim, a partir da formulação indicada no item anterior.

1. Pfeil (1980) – Tabela 6.2.1.

A Tabela 5 e a Tabela 6 apresentam os resultados (principais) que serão utilizados para fins de comparação com a segunda análise a ser apresentada (por meio do MEF), respectivamente para as sapatas quadradas e para as retangulares.

Ident.	$\tau_{1,max}$ (kgf/cm ²)	$\tau_{1,min}$ (kgf/cm ²)	$\tau_{1,res}$ (kgf/cm ²)	Tx (tf)	Ty (tf)	Asc,x (tf)	Asc,y (tf)
Q1	0,991	0,031	0,991	4,337	4,337	1,396	1,396
Q2	0,999	0,003	0,999	9,832	9,832	3,166	3,166
Q3	1,012	-0,008	0,984	15,312	15,312	4,930	4,930
Q4	0,954	0,054	0,954	4,176	4,176	1,345	1,345
Q5	0,994	0,016	0,994	9,786	9,786	3,151	3,151
Q6	0,995	0,020	0,995	15,483	15,483	4,986	4,986

Tabela 5 –Resultados: Sapatas Quadradas

Ident.	$\tau_{1,max}$ (kgf/cm ²)	$\tau_{1,min}$ (kgf/cm ²)	$\tau_{1,res}$ (kgf/cm ²)	Tx (tf)	Ty (tf)	Asc,x (tf)	Asc,y (tf)
R1	0,981	0,021	0,981	4,292	6,438	1,382	2,073
R2	0,982	0,022	0,982	3,820	7,639	1,230	2,460
R3	0,974	0,014	0,974	8,521	11,362	2,744	3,658

Tabela 6 –Resultados: Sapatas Retangulares

3.2 Análise pelo Método dos Elementos Finitos (MEF)

3.2.1 Generalidades

O método dos elementos finitos (MEF) é um método matemático bastante difundido para a resolução de problemas estruturais (Mecânica das Estruturas) que permite modelar, com simplicidade, geometrias, condições de apoios e carregamentos.

De acordo com Buchanan (1994), O método dos elementos finitos representa uma solução numérica aproximada de um problema de valor limite, descrito por uma equação diferencial.

Contudo, é importante observar que, uma vez que o MEF produz soluções aproximadas, alerta-se que existe a necessidade de se efetuar uma análise cuidadosa dos resultados obtidos.

Uma vez que o foco desse estudo não é o MEF, não serão apresentados aqui conceitos e formulações utilizadas nas análises. Para um bom entendimento do assunto, sugere-se diversas bibliografias, entre elas Buchanan (1994)² e Alves Filho (2013).

3.2.2 Modelagem e Principais Considerações

A análise pelo MEF foi realizada com o auxílio do software comercial STAAD.Pro, da Bentley. A Figura 3 apresenta, de forma simplificada, a metodologia utilizada para criação
2. Schaum's outlines. Finite element analysis.

dos elementos finitos.

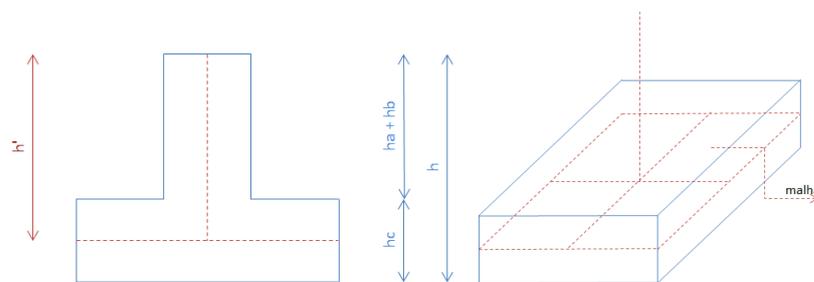


Figura 3 – Modelo considerado: divisão dos elementos em malhas (elementos menores).

As análises realizadas compreenderam as seguintes características principais:

- I. Base da fundação representada por meio de placas (elementos quadriláteros), com a quantidade de placas definida para cada modelo analisado;
- II. Pedestal representado por meio de elemento linear, também subdividido em outros elementos menores;
- III. Carga de solo aplicada por meio de carga distribuída por área, sem desconsiderar a área de influência do pedestal, para um peso específico de solo de $g = 1,8 \text{ tf/m}^3$;
- IV. Uma vez que a análise geotécnica e parâmetros do solo não são o foco deste estudo, será utilizado o coeficiente de $1.000.000 \text{ kg/m}^2/\text{m}$ para representar o meio elástico de suporte da fundação, para representar um meio com baixas deformações verticais, sem maiores explicações³;
- V. Combinação de cargas aplicada de forma simples, sem aplicação de qualquer coeficiente majorador (coeficiente de majoração será considerado no momento de dimensionamento da armadura);
- VI. Serão utilizadas apenas as saídas de dados referentes à tensão no solo (*base pressure*) e esforços atuantes (*stress and bending*);
- VII. O dimensionamento da armadura não será feito de forma automática pelo software e, sim, por meio de planilhas de cálculo auxiliares elaboradas com base na NBR 6118 (ABNT, 2014);
- VIII. A armadura de flexão será dimensionada para o momento máximo atuante, esforço este que será considerado uniforme em toda a estrutura.

A Figura 4 apresenta o fluxograma com o processo simplificado da sequência de atividades consideradas para a obtenção da Armadura, a partir dos resultados da análise pelo MEF.

3. Sugere-se a leitura de Pfeil (1980) para análise das molas a serem aplicadas à análise estrutural para simular o solo.

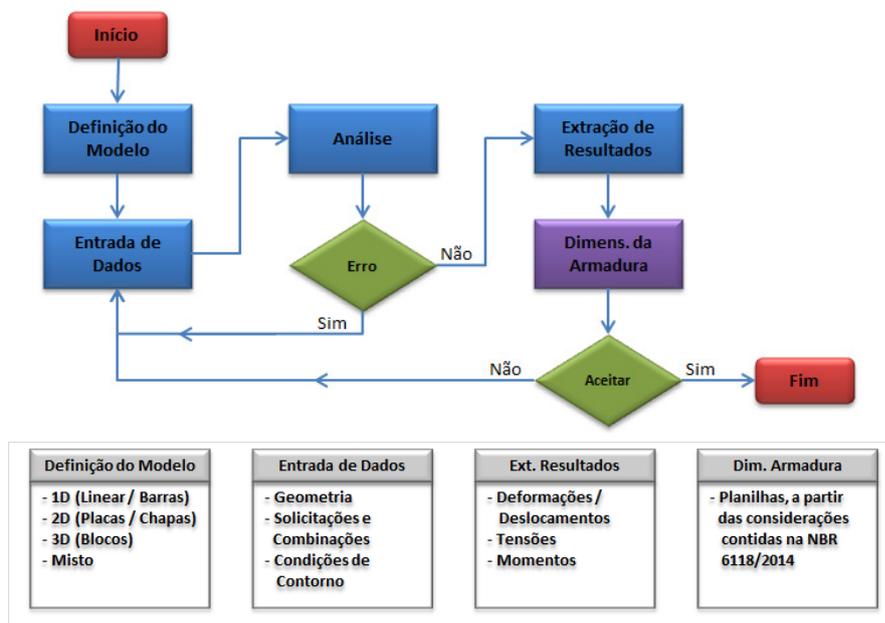


Figura 4 – Fluxograma: Obtenção da Armadura a partir da análise pelo MEF.

3.2.3 Simbologia, Extração e Interpretação dos Resultados

As figuras abaixo (Figura 5 e Figura 6) apresentam a simbologia a ser considerada para interpretação dos resultados obtidos por meio do software utilizado na análise.

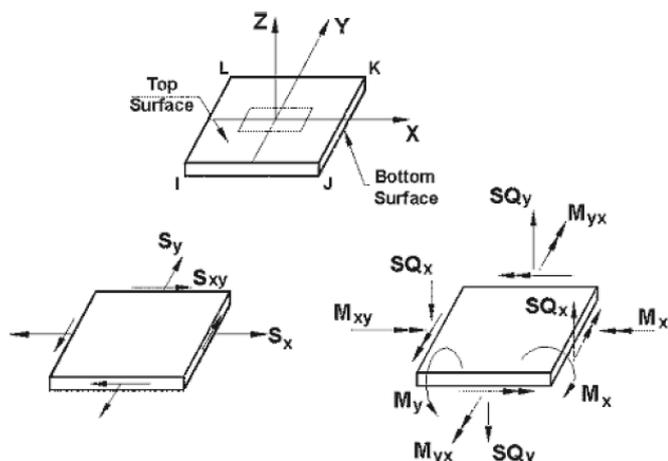


Figura 5 – STAAD.pro: Convenções de sinais para tensões e momentos em placas

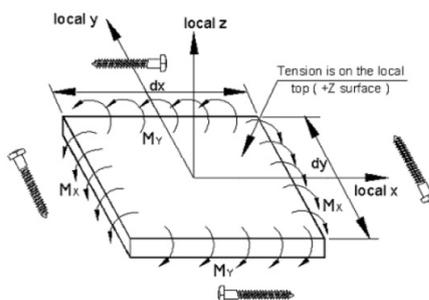


Figura 6 – STAAD.pro: Convenções de sinais para tensões e momentos em placas

3.2.4 Resultados

A Tabela 7 apresenta os resultados da análise realizada por meio do método dos elementos finitos, onde “n” é o número de placas utilizada na análise, “Lm,x” e “Lm,y” são as dimensões de cada placa no eixo correspondente, “t_{máx}” e “t_{mín}” são as tensões máximas e mínimas obtidas, “Mx” e “My” são os momentos máximos atuantes em uma placa específica e “Asx” e “Asy” são as áreas de aço para flexão calculadas conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014).

	n	Lm,x (cm)	Lm,y (cm)	t _{máx} (kgf/ cm ²)	t _{mín} (kgf/ cm ²)	Mx (ton.m)	My (ton.m)	As,x (cm ²)	As,y (cm ²)
100x100x100	4	50,000	50,000	0,679	0,358	0,141	0,161	0,227	0,260
	16	25,000	25,000	0,732	0,305	0,109	0,146	0,175	0,235
	64	12,500	12,500	0,751	0,286	0,090	0,140	0,145	0,226
	256	6,250	6,250	0,756	0,28	0,067	0,127	0,107	0,205
150x150x100	4	75,000	75,000	0,676	0,344	0,460	0,537	0,494	0,577
	16	37,500	37,500	0,730	0,289	0,353	0,492	0,379	0,529
	64	18,750	18,750	0,751	0,269	0,290	0,480	0,312	0,516
	256	9,375	9,375	0,756	0,263	0,211	0,440	0,226	0,473
200x200x100	4	100,000	100,000	0,680	0,340	1,076	1,248	0,771	0,894
	16	50,000	50,000	0,736	0,284	0,834	1,150	0,597	0,824
	64	25,000	25,000	0,757	0,263	0,694	1,121	0,497	0,803
	256	12,500	12,500	0,763	0,257	0,514	1,027	0,368	0,736
100x100x150	4	50,000	50,000	0,688	0,358	0,115	0,135	0,185	0,218
	16	25,000	25,000	0,742	0,303	0,090	0,127	0,145	0,205
	64	12,500	12,500	0,763	0,283	0,075	0,126	0,121	0,203
	256	6,250	6,250	0,768	0,277	0,057	0,117	0,091	0,189
150x150x150	4	75,000	75,000	0,688	0,358	0,382	0,451	0,410	0,485
	16	37,500	37,500	0,742	0,303	0,298	0,423	0,320	0,455
	64	18,750	18,750	0,762	0,283	0,250	0,419	0,268	0,451
	256	9,375	9,375	0,768	0,277	0,187	0,392	0,201	0,422
200x200x150	4	100,000	100,000	0,681	0,356	0,867	1,043	0,621	0,747
	16	50,000	50,000	0,735	0,302	0,672	0,993	0,481	0,711
	64	25,000	25,000	0,754	0,282	0,556	0,992	0,398	0,710
	256	12,500	12,500	0,76	0,277	0,409	0,936	0,293	0,670
100x150x100	4	50,000	75,000	0,671	0,350	0,138	0,528	0,111	0,425
	16	25,000	37,500	0,723	0,297	0,131	0,428	0,105	0,344
	64	12,500	18,750	0,743	0,278	0,114	0,395	0,092	0,318
	256	6,250	9,375	0,748	0,272	0,083	0,358	0,067	0,288

100x200x100	4	50,000	100,000	0,690	0,370	0,131	1,208	0,093	0,866
	16	25,000	50,000	0,743	0,316	0,150	0,930	0,107	0,666
	64	12,500	25,000	0,762	0,297	0,136	0,822	0,097	0,589
	256	6,250	12,500	0,768	0,292	0,101	0,724	0,073	0,518
150x200x100	4	75,000	100,000	0,949	0,439	0,296	1,787	0,212	1,281
	16	37,500	50,000	1,030	0,354	0,343	1,380	0,246	0,989
	64	18,750	25,000	1,07	0,323	0,313	1,223	0,224	0,877
	256	9,375	12,500	1,07	0,315	0,239	1,080	0,171	0,774

Tabela 7 – Resultados: MEF

4 | RESULTADOS DAS COMPARAÇÕES

4.1 Tensões no Solo

As estruturas em análise foram calculadas para a obtenção de uma tensão máxima no solo de $t_{\text{máx}} = 1,0 \text{ kgf/cm}^2$. A partir deste dado, verifica-se que, houve uma diferença de 25% a menor⁴, quando comparados os resultados do MEF com os obtidos pelo método analítico.

Uma outra comparação possível de ser realizada é a influência da malha nos resultados obtidos. A Figura 7 apresenta a comparação da tensão máxima para a sapata quadrada com dimensões de 100 cm x 100 cm (em planta) e altura total de 100 cm, para as quatro malhas analisadas (4, 16, 64 e 256 placas).

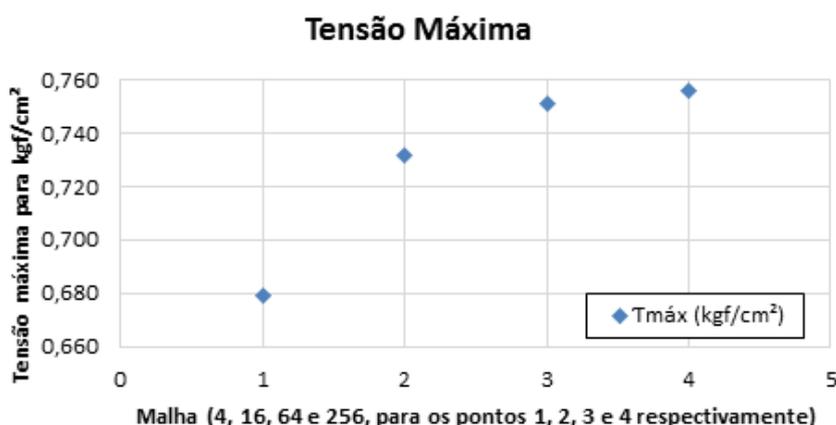


Figura 7 – Tensões máximas no solo, sapata 100 cm x 100cm x 100 cm

Pode ser verificado que a utilização de uma malha com mais elementos gerou uma diferença entre os valores de tensão máxima obtidos, aproximando-se mais da tensão limite adotada. Contudo, verifica-se também que o acréscimo no número de placas foi

4. Para a análise com uma malha mais refinada (maior número de placas).

gerando resultados distintos, mas que esta diferença caiu significativamente com o acréscimo de placas, ou seja, há um momento em que a alteração do número de placas impacta pouco significativamente nos resultados (esta seria, em tese, a malha “ideal” para a análise). Apesar da Figura 7 apresentar os resultados apenas da sapata 100 cm x 100 cm x 100cm, estes percentuais foram obtidos para as demais estruturas analisadas.

4.2 Armaduras

Em relação às armaduras, a diferença obtida foi significativa. Pode-se verificar o dimensionamento da armadura pelo método das bielas apresentou valores bem maiores que o dimensionamento a partir do momento fletor atuante. Contudo, para as análises realizadas, a armadura calculada ficou muito inferior à armadura mínima necessária por norma. Desta forma, uma outra análise que levasse às estruturas ao trabalho com esforços maiores que os mínimos seria necessária para a realização da comparação mais detalhada em relação à diferença das armaduras.

5 | CONCLUSÕES

Este estudo surgiu da mera curiosidade técnica dos autores. Por tratar-se de uma comparação simplista, muitos dados não foram considerados nas análises, principalmente em relação ao comportamento do solo.

Durante a sua elaboração, detectou-se que a grande dificuldade na realização de um estudo comparativo encontra-se na certeza da adoção de parâmetros equivalentes, apesar dos métodos distintos. Neste estudo, por mais simples que seja a análise, a dificuldade consistiu na representação de um elemento finito que se aproximasse da análise analítica, isto é, um elemento rígido sob um solo rígido de forma que a teoria de transferência linear da tensão da base da fundação para o solo fosse seguida também na análise por meio do elemento finito. Algumas outras peculiaridades como consideração ou não do offset (recurso de deslocamento do nó de ligação) e ou ponto de aplicação de carga surgiram e servem como pontos de atenção para estudos futuros.

Em relação à análise pelo método analítico, é importante observar que é uma análise simplificada, conservadora e que não leva em consideração os dados do solo. Assim, para estruturas mais robustas e de grande importância nos empreendimentos, sugere-se sempre a análise mais sofisticada para verificar outras condições, a exemplo das deformações (principalmente as diferenciadas).

Em relação às análises pelo método dos elementos finitos, algumas considerações e conclusões simplificadas podem ser apresentadas neste estudo, apesar de sua ampla divulgação em bibliografias diversas sobre o assunto:

- Conforme pode ser verificado a partir da análise das Figura 4 e da Figura 5, é de

extrema importância a padronização da orientação dos elementos finitos na análise, visto que os resultados são fornecidos a partir da orientação local dos elementos. A análise de uma estrutura com elementos desordenados torna-se muito mais complexa e a possibilidade de erros na interpretação dos resultados aumenta de forma significativa.

- Devido à maior facilidade para interpretação dos resultados por conta da padronização dos eixos locais, sugere-se a tentativa de se trabalhar sempre com elementos de placa quadrilaterais.
- Existem diversos softwares que realizam análises por meio do método dos elementos finitos e cada software possui a sua simbologia e convenção de sinais. Desta forma, a análise do manual técnico do software que será utilizado em cada análise é fundamental para uma correta interpretação dos resultados obtidos.
- Conforme pode ser visualizado pela análise da Tabela 07 e da Figura 07, a definição da malha influencia nos resultados obtidos. Contudo, a sensibilidade para adoção da malha a ser utilizada depende do software e do profissional que irá desenvolver as análises, bem como da importância da estrutura analisada. Uma estrutura mais simples e sem grande importância estrutural não precisa ter sua análise tão refinada.
- A definição da malha a ser utilizada, conforme apresentado no item acima, depende além da sensibilidade do operador, da capacidade de processamento do software utilizado e do recurso computacional disponível. Pode ser verificado, a partir da análise da Figura 07, que o ganho obtido (variação dos resultados) a partir do refinamento da malha tem um certo limite. Desta forma, nem sempre torna-se viável refinar muito uma malha e perder capacidade de processamento. Tratando-se de estruturas pequenas, refinar a malha (aumentar a quantidade de elementos) é algo fácil e simples. Contudo, quanto maior a estrutura a ser analisada, mais difícil torna-se este refino.
- Ainda em relação à malha utilizada, pode ser observado que a mudança da malha (isto é, a utilização de uma malha mais refinada) apresentou, para o caso dos momentos, uma inversão dos valores. Em termos práticos, essa inversão dos valores dos momentos indicaria a necessidade de utilização de armadura superior e inferior na estrutura analisada, visto que o momento ocorreria nas duas faces do elemento finito.

Em relação às comparações realizadas, não se tem como definir qual dos dois modelos analisados apresentou o melhor resultado. Para este tipo de conclusão, torna-se necessária a ampliação do estudo, ou seja, torna-se necessário a realização de diversas análises (para garantir a análise estatística) com estes métodos, além da utilização de outros métodos mais refinados (em 3 dimensões, por exemplo). Para estruturas isoladas, a utilização de métodos analíticos não representa grandes problemas.

Desta forma, este tudo apenas pretendeu apresentar os resultados de uma comparação realizada sem o aprofundamento dos critérios de solo e com a apresentação de poucos resultados.

Sugere-se, como continuação do estudo, uma análise mais profunda do tema, envolvendo a comparação com métodos de cálculo mais refinados e, se possível, estas

comparações devem ser realizadas com estruturas reais, construídas e instrumentadas de forma a possibilitar a análise dos resultados.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6122 – Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ALVES FILHO, A. **Elementos Finitos. A Base da Tecnologia CAE**. Editora Érica, 6ª edição. São Paulo, 2013.

BASTOS, P. S. S. **Sapatas de fundação**. Notas de aula. Unesp/Bauru. Agosto, 2012.

BUCHANAN, G. R. **Schaum's outline of theory and problems of finite element analysis**. McGraw-Hill, 1994.

CINTRA, J. C. A., AOKI, N., ALBIERO, J. H. **Fundações diretas: projeto geotécnico**. São Paulo, Oficina de Textos, 2011.

PFEIL, W. **Pontes em concreto armado**. 2ª edição. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1980.

VELLOSO, D. A. LOPES, F. R. **Fundações: vol. 1**. COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 1996.

VIGAS DE PONTES PROTENDIDAS ENTRE 20 E 40 METROS

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 24/03/2020

Leonardo Lunkes Wagner

Universidade Federal da Fronteira Sul, Programa de Pós-graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis, Cerro Largo - RS, <http://lattes.cnpq.br/7685184380691851>

Denizard Batista de Freitas

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Departamento de Engenharias e Ciências da Computação, Santo Ângelo – RS, <http://lattes.cnpq.br/1255144035579430>

RESUMO: A utilização de vigas em concreto protendido como solução de pontes torna-se uma alternativa simples e econômica quando necessita-se vencer vãos médios (PFEIL, 1988). Entretanto, sua utilização está atrelada ao conhecimento de projetistas sobre esta metodologia tanto para concepção de projetos, dimensionamento, refinamento e execução, principalmente em áreas mais afastadas dos grandes centros urbanos. Para isto propôs-se uma solução com quatro vigas “V” protendidas, onde foram simuladas em quatro ciclos de cálculo para vãos entre 20 e 40 metros e variação de dois metros, onde ao final, a partir

das dimensões impostas e variação de altura, atendendo aos critérios de relação entre vão e altura, excentricidade e tensões condizentes ao limite, definiu-se uma proposta de altura para seção “V” correspondentes a vãos de 20 a 40 metros.

PALAVRAS-CHAVE: Vigas protendidas. Vigas de pontes. Pontes protendidas. Dimensionamento protendido.

BRIDGE OF BEAMS PROTECTED BETWEEN 20 AND 34 METERS

ABSTRACT: The use of beams in prestressed concrete as bridge solution becomes a simple and economical alternative when it is necessary to overcome mean spans (PFEIL, 1988). However, its use is linked to designers' knowledge about this methodology, both for project design, sizing, refinement and execution, especially in areas further away from large urban centers. For this, a solution was proposed with four prestressed “V” beams, where they were simulated in four calculation cycles for spans between 20 and 40 meters and variation of two meters, where at the end, from the imposed dimensions and variation of height, considering the criteria of relation between span and height, eccentricity and tensions consistent with the

limit, a proposal of height for section “V” corresponding to the spans of 20 to 40 meters was defined.

KEYWORDS: Prestressed beams. Beams of bridges. Prestressed bridges. Prestressed sizing.

1 | INTRODUÇÃO

A utilização de estruturas de concreto protendido vem ganhando espaço nos canteiros de obras devido a sua capacidade de vencer maiores vãos com seções de menor dimensão e maior capacidade de carga quando comparadas ao concreto armado. No entanto, a sua utilização longe dos grandes centros não é tão significativa, isto deve-se à falta de profissionais com conhecimento e domínio desta tecnologia. Atrelado a isso, ocorre desconhecimento de softwares para auxílio no processo de dimensionamento.

A utilização de vigas pré-fabricadas protendidas permite a utilização de seções transversais variadas, ou seja, considerando um mesmo módulo resistente, para seções diferentes, levando a redução e racionalização dos materiais empregados em obras gerando uma maior economia. Conforme Pfeil (1991) os projetos com vigas pré-moldadas são muito econômicos para vãos de 15 a 30m em edifícios e de 20 a 40m para pontes.

Para preencher a lacuna de dimensionamento foram verificadas a usabilidade de uma solução em quatro vigas “V”, elaborando-se uma tabela com a definição de possível altura da seção a ser utilizada para vãos de 20 a 40m com variação de dois metros. Para isto, as mesmas passaram por quatro ciclo de cálculos através do dimensionamento teórico e verificação no software VPro.

2 | DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE PONTES EM CONCRETO PROTENDIDO

2.1 Concreto Protendido

As ideias de utilização de estruturas em concreto protendido não são novas. Os conceitos de protensão são utilizados desde a antiguidade. Conforme Pfeil (1991) aros metálicos eram aquecidos e utilizados para reforço de rodas de carretas, ao esfriar, ele ficava sob tensão, comprimindo a estrutura de madeira da roda. Barris de madeira com persiana metálicas, que quando apertadas criam um estado de compressão permitindo resistir às tensões periféricas produzidas pela pressão interna do líquido.

Conforme Leonhardt (2013) pontes em concreto protendido surgem a partir de 1938, tendo seu desenvolvimento interrompido pela guerra e somente após conquistar espaço, com vigas protendidas com vãos de até 230m.

Concreto protendido significa a introdução de esforços internos contrários aos atuantes (FAUCHART, 1975). A introdução dos esforços é feita por meio de cabos

adequadamente posicionados que são tracionados por mecanismos (macacos) e ancorados no próprio elemento estrutural de tal forma a manterem o esforço introduzido. Pfeil (1991, p. 1) define que “a protensão é um artifício que consiste em introduzir numa estrutura um estado prévio de tensões, capaz de melhorar sua resistência ou seu comportamento, sob diversas condições de carga”.

A NBR 6118:2014 no item 3.1.4 define elementos de concreto protendido como:

aqueles nos quais parte das armaduras é previamente alongada por equipamentos especiais de protensão, com a finalidade de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura, bem como propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no estado-limite último (ELU). (ABNT, 2014)

A inserção da força da protensão em estruturas pode variar de acordo com os critérios dos projetistas, local onde a mesma será executada, dentre outros fatores. Conforme a NBR 6118:2014, a protensão é dividida em três níveis: protensão completa, limitada ou parcial. “Conhecido o ambiente onde a estrutura será construída pode-se definir a intensidade da protensão a ser aplicada sem o risco de ter diminuída a vida útil dos elementos em relação ao que é esperado como normal”. (CARVALHO, 2012, p.241)

Segundo a NBR 6118:2014 a combinação das ações deve “ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura; a verificação da segurança em relação aos estados-limites últimos e aos estados-limites de serviço deve ser realizada em função de combinações últimas e de combinações de serviço [...]”.

2.2 Dimensionamento

O dimensionamento das estruturas em concreto protendido leva em consideração ações permanentes, variáveis e excepcionais. A metodologia de cálculo a ser utilizada e descrita no presente trabalho considera protensão completa. O dimensionamento a flexão baseia-se nos conceitos da NBR 6118:2014 e em metodologias adaptadas a partir da mesma, utilizadas na disciplina de concreto protendido definida por Freitas (2018), onde pode-se dividir este processo em três etapas básicas:

- Definição de cargas de utilização mais permanente e propriedades geométricas.
- Definição de demais elementos necessários ao dimensionamento, como excentricidade dos cabos, força de protensão, número de cordoalhas.
- Por fim, verificação do dimensionamento, através de verificação de tensões.

Estas três etapas são repetidas diversas vezes, adicionado das perdas de protensão, para que assim se obtenha uma estrutura funcional e econômica.

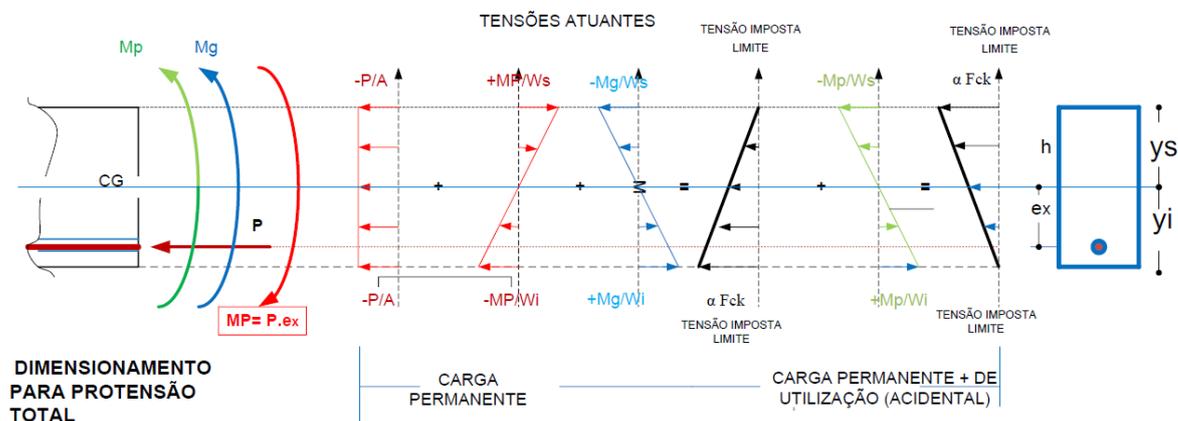


Figura 1 - Distribuição de tensões protensão total (FREITAS, 2018)

A metodologia utiliza por Freitas (2018), figura 1, onde, após a definição dos carregamentos acidentais, consegue-se definir o módulo resistente e assim a altura da seção a ser utilizada. A resistência limite do concreto é limitada a partir do coeficiente α , conforme Fauchart (1975), que varia de 0,4 a 0,6, tendo como finalidade minorar a resistência do concreto.

Ao determinar as propriedades da seção, após definição do módulo resistente, e seguindo as especificações da figura 1, consegue-se definir a força de protensão, observando a força limite dos cabos, aos quais devem ser minorados conforme a NBR 6118:2014, estabelece em seu item 9.6.1.2.1, onde:

- Para armadura pré-traçada deve respeitar o limite de $0,77f_{ptk}$ (resistência à tração a ruptura) e $0,85f_{pyk}$ (resistência ao escoamento convencional) para aços de baixa relaxação;
- Para armadura pós-tração deve-se respeitar o limite de $0,74f_{ptk}$ e $0,82f_{pyk}$ para aços de baixa relaxação;
- Para armadura pós-tração cordoalha engraxadas $0,80f_{ptk}$ e $0,88f_{pyk}$ para aços de baixa relaxação;

Assim definidos todos as forças, momentos e propriedades geométricas, consegue-se verificar as tensões restritas aos αf_{ck} para compressão e o limite de tração conforme a norma NBR 6118:2014. Teoricamente, por se tratar de uma estrutura em protensão completa deve-se primar pela inexistência da tração em qualquer situação em que a seção seja imposta.

Em seções de viga “V”, diferentemente de vigas retangulares, necessita-se de um tratamento diferenciado, devido ao seu módulo resistente. Isto deve-se as propriedades geométricas da mesma, pois, por não serem simétricas o comportamento estrutural modifica-se.

2.3 Pontes

Existem diversos tipos construtivos de pontes, contudo conforme autores como

Leonhardt (2013) e Marchetti (2008), pontes em vigas consistem no sistema mais fácil de executar. As vigas se apoiam em pilares, podendo estas, serem de um só vão, continua com dois ou mais apoios, sobre dois apoios com balanço e vigas apoiadas no balanço (vigas Gerber), entre outras. As vigas podem ser de aço, concreto armado, ou protendido, moldadas “in situ”, ou então, muitas vezes pré-fabricadas.

Conforme Leonhardt (2013) a escolha da seção transversal deve levar em consideração alguns fatores como tamanho do vão referido e sistema estrutural adotado, altura estrutural disponível ou esbeltez desejada, processos construtivos adotados, bem como equipamentos e meios disponíveis, economia dos processos escolhido e relação carga móvel: peso próprio.

A largura a ser adotada pela ponte sendo ela rural ou urbana, deve ser a largura total da estrada (pista + acostamentos) para melhor acondicionamento psicológico do motorista. Isto deve-se, segundo Pfeil (1990) que em pontes mais antigas reduzia-se a largura ou eliminando os acostamentos, produzindo um estrangulamento psicológico na estrada, o qual resulta em redução do escoamento do tráfego.

Conforme a NBR 7187:2003 em seu item 7.1.1 e 7.1.2 define, os pesos específicos a serem utilizados na avaliação das cargas devidas aos elementos estruturais, sendo respectivamente, os pesos específicos de 25kN/m^3 para elementos em concreto armado ou protendido e de 24kN/m^3 para a pavimentação, prevendo-se uma carga adicional de 2kN/m^2 para atender um possível recapeamento, que pode ser dispensada a critério do proprietário da obra ou em casos de grandes vãos.

Esta mesma norma dispõe das dimensões mínimas a ser consideradas nos elementos estruturais. O item 9.1.1 define que lajes maciças devem ter alturas mínimas de:

- a) lajes destinadas à passagem de tráfego ferroviário: $h \geq 20$ cm;
- b) lajes destinadas à passagem de tráfego rodoviário: $h \geq 15$ cm;
- c) demais casos: $h \geq 12$ cm.

E em seu item 9.1.4 Vigas, define que:

a) as vigas de seção retangular e as nervuras das vigas de seção T, duplo T ou celular concretadas no local, nas estruturas de que trata esta Norma, não devem ter largura de alma b_w menor do que 20 cm.

b) em vigas pré-moldadas de seção T ou duplo T, fabricadas em usina, com a utilização de técnicas adequadas e controle da qualidade rigoroso, a largura da alma b_w pode ser reduzida até o limite mínimo de 12 cm.

Já para as dimensões mínimas do revestimento asfáltico a ser realizado sobre lajes estruturais, conforme a norma DNIT 122:2009, quando já consideradas as inclinações transversais de 2%, aplica-se uma fina camada de concreto asfáltico, da ordem de 5,0cm.

3 | METODOLOGIA

A partir dos conhecimentos expostos sobre concreto protendido e pontes, desenvolveu-se o dimensionamento e verificação de vigas protendidas de pontes com vãos de 20 a 40m, em seção “V”, com dimensões fixas conforme figura 2, inserida em uma rodovia classe III, ondulada, com características descritas pelo DNER (1999) como duas faixas de rolamento de 3,3m e acostamentos laterais com dois metros, totalizando 10,6m.

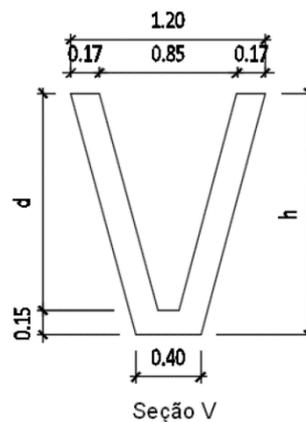


Figura 2 - Dimensões fixas seção “V”

Para o cálculo das vigas, considerou-se para o carregamento acidental o carro padrão TB 450 com suas cargas simplificadas, resultantes em 5kN/m para cargas distribuídas e em 60kN para cada uma das seis cargas concentradas. Para a carga permanente uma laje com 20cm de espessura ao longo de toda a seção transversal, com uma camada adicional de 5cm de revestimento asfáltico betuminoso.

Devido a utilização de solução com quatro vigas, a carga acidental necessita ser posicionada nas piores situações para a viga central e lateral. Para isso utilizou-se a linha de influência obtida a partir do software Ftool. Para a viga lateral, considerando a disposição mais desfavorável do carro padrão, resultou nos carregamentos conforme a figura 3.

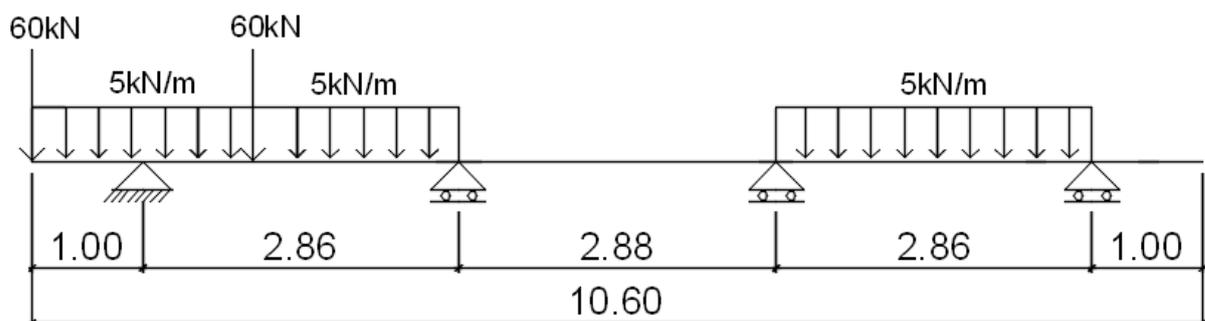


Figura 3 - Carregamento acidental viga lateral

Já para uma das vigas central, a pior posição do carro padrão resultou na disposição segundo a figura 4.

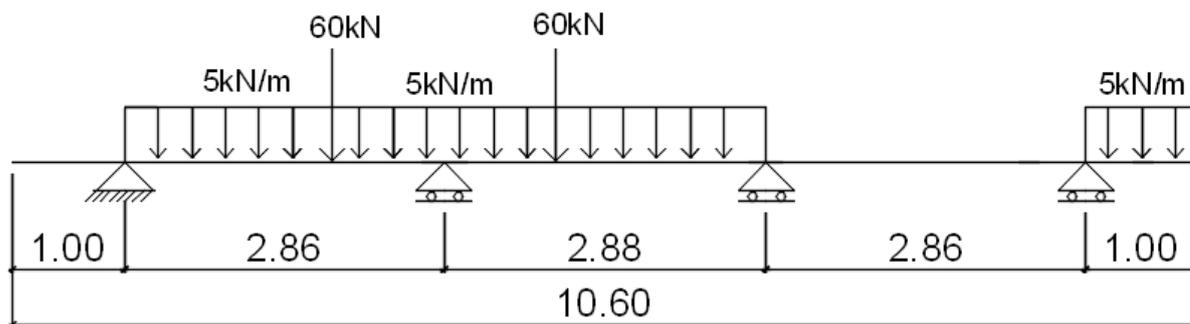


Figura 4 - Carregamento acidental viga central

A partir destas disposições obteve-se os carregamentos da seção transversal incidentes nas vigas central e lateral, apresentadas na tabela 1.

Carregamentos Para Quatro Vigas - Lateral (Retirado FTOOL)	
Acidental	12,5kN
Concentrados Acidental	120,7kN
Permanente Lajes, Proteções e Pavimento	16,7kN
Carregamentos Para quatro Vigas - Central (Retirado FTOOL)	
Acidental	17,6kN
Concentrados Acidental	97,8kN
Permanente Lajes, Proteções e Pavimento	17,6kN

Tabela 1 - Carregamentos

A partir dos carregamentos incidentes nas vigas, desenvolveu-se quatro ciclos de cálculo. Para o dimensionamento foi considerado um concreto com f_{ck} de 50MPa com um coeficiente minorador do concreto α de 0,55, resultando em αf_{ck} de 27,5MPa.

No primeiro ciclo, definiu-se teoricamente as propriedades geométricas necessárias da seção, onde a partir do módulo resistente calculado, definiu-se a altura, peso próprio da viga, demais propriedades geométricas necessárias, número de cordoalhas e força de protensão. Como itens de aceitação e padronização, a altura da seção deveria obedecer ao critério $v\tilde{a}o/15$ e $v\tilde{a}o/20$ e a excentricidade do cabo resultante se posicionar-se dentro da seção.

No segundo ciclo, foram verificadas as tensões a partir do arredondamento da altura da seção para múltiplos de cinco com duas casas de aproximação, e arredondamento do número de cordoalhas. Como critério de aceitação das seções, as mesmas deviam respeitaram a tensão de compressão do concreto limitada a 27,5MPa e de tração de 2,035MPa.

No terceiro ciclo inseriu-se as perdas, recalculando-se o número de cordoalhas necessárias, distribuindo-as em bainhas, com a junção máxima 12 cordoalhas. Após esta distribuição, as mesmas foram posicionadas na seção.

O quarto ciclo, correspondeu, a verificação das dimensões da seção propostas no Software VPro, analisando os Estados Limites de Serviço de fissuração (ELS-F), Estados Limites de Serviço de Descompressão (ELS-D) e o Estado Limite Ultimo no Ato de Protensão (ELU-ATO). Ao final destes quatro ciclos os dados foram compilados e tabelados em uma tabela referência para auxiliar no pré-dimensionamento de vigas.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Primeiro ciclo de cálculo

No primeiro ciclo de cálculo foram dimensionadas 22 seções sendo destas 11 laterais e 11 centrais. Na tabela 2 apresenta-se os dados do primeiro ciclo de cálculo para quatro vigas laterais.

4 Vigas V - Lateral								
				fck	50	α	0,55	
Vão	Altura (h)	h min	h máx.	Área	Y (CG)	Excent.	Aceitação	Motivo
20	1,173	1,000	1,333	0,4153	0,566	0,426665	Atende	
22	1,253	1,100	1,467	0,4422	0,607	0,478789	Atende	
24	1,332	1,200	1,600	0,4685	0,646	0,532939	Atende	
26	1,409	1,300	1,733	0,4944	0,685	0,589091	Atende	
28	1,485	1,400	1,867	0,5199	0,723	0,647263	Atende	
30	1,560	1,500	2,000	0,5452	0,761	0,707312	Atende	
32	1,634	1,600	2,133	0,5999	0,798	0,769609	Atende	
34	1,707	1,700	2,267	0,5947	0,835	0,833645	Atende	
36	1,779	1,800	2,400	0,6189	0,871	0,899914	Não Atende	Excent. superior ao limite
38	1,850	1,900	2,533	0,6429	0,907	0,968286	Não Atende	Excent. superior ao limite
40	1,922	2,000	2,667	0,6671	0,943	1,038186	Não Atende	Excent. superior ao limite

Tabela 2 - Quatro vigas - lateral: 1º ciclo de cálculo

A solução com quatro vigas laterais consegue atender a proposta, como solução de seção em vigas para os vãos de 20 a 34m. Para os vãos de 36 a 40m, a solução foi descartada pois a excentricidade excede o limite da seção.

Devido aos critérios impostos, algumas seções foram descartadas, no entanto, as mesmas, poderiam ter sua altura elevada, sem alterar as dimensões fixas, para assim serem verificadas no segundo ciclo e assim caso se não passantes nas tensões limites serem descartadas.

A tabela 3 apresenta-se os resultados de dimensionamento no primeiro ciclo

para a solução em quatro vigas, com posicionamento do carro padrão na posição mais desfavorável para a viga central.

4 Vigas V - central								
				fck	50	α	0,55	
Vão	Altura (h)	h min	h máx.	Área	Y (CG)	Excent.	Aceitação	Motivo
20	1,158	1,000	1,333	0,4105	0,559	0,433414	Atende	
22	1,244	1,100	1,467	0,4393	0,602	0,487039	Atende	
24	1,329	1,200	1,600	0,4677	0,645	0,542600	Atende	
26	1,413	1,300	1,733	0,4958	0,687	0,600124	Atende	
28	1,496	1,400	1,867	0,5237	0,729	0,659580	Atende	
30	1,578	1,500	2,000	0,5512	0,770	0,721055	Atende	
32	1,660	1,600	2,133	0,5788	0,811	0,784329	Atende	
34	1,741	1,700	2,267	0,6058	0,606	0,849590	Atende	
36	1,823	1,800	2,400	0,6332	0,893	0,916785	Não Atende	Excent. superior ao limite
38	1,902	1,900	2,533	0,6602	0,933	0,985882	Não Atende	Excent. superior ao limite
40	1,981	2,000	2,667	0,6872	0,973	1,056892	Não Atende	Altura min. e excent. excedida

Tabela 3 - Quatro vigas - central: 1º ciclo de cálculo

A solução com quatro vigas central, consegue atender bem aos critérios de altura e excentricidade de 20 a 34m como a viga lateral. As seções correspondentes aos vãos de 36 a 38m tem a excentricidade superior a seção. Já a seção correspondente ao vão de 40m, a sua altura é menor que a mínima e a excentricidade é excedida.

4.2 Segundo ciclo de cálculo

No segundo ciclo, verificou-se as tensões das vigas passantes, onde, primeiramente, a altura das seções foi ajustada para múltiplos de cinco, com duas casas decimais e o número de cordalhas ajustado para números inteiros. A tabela 4 apresenta o resultado do segundo ciclo de cálculo para a viga lateral.

4 Vigas - Lateral - 2º ciclo de cálculo									
				fck	50	α	0,55		
Vão	Altura	h min	h máx.	Área	Y (CG)	Excent.	nº de cord.	Aceitação	Restrições
4 Vigas V - Lateral									
20	1,20	1,000	1,333	0,4245	0,580	0,426665	32	Atende	
22	1,30	1,100	1,467	0,4579	0,630	0,478789	34	Atende	
24	1,35	1,200	1,600	0,4747	0,656	0,532939	36	Atende	Tensões
26	1,45	1,300	1,733	0,5082	0,706	0,589091	38	Atende	
28	1,50	1,400	1,867	0,5250	0,731	0,647263	40	Atende	Tensões
30	1,60	1,500	2,000	0,5586	0,781	0,707312	41	Atende	
32	1,65	1,600	2,133	0,5755	0,806	0,769609	43	Atende	
34	1,75	1,700	2,267	0,6091	0,857	0,833645	45	Atende	

Tabela 4 - Quatro vigas - lateral: 2º ciclo de cálculo

A tabela 5 apresenta-se os resultados do segundo ciclo para a viga central da solução com quatro vigas.

4 Vigas - Central - 2º ciclo de cálculo									
				fck	50	α	0,55		
Vão	Altura	h min	h máx.	Área	Y (CG)	Excent.	nº de cord.	Aceitação	Restrições
4 Vigas V - Central									
20	1,20	1,000	1,333	0,4245	0,580	0,433414	32	Atende	
22	1,25	1,100	1,467	0,4412	0,605	0,487039	34	Atende	Tensões
24	1,35	1,200	1,600	0,4747	0,656	0,542600	36	Atende	Tensões
26	1,45	1,300	1,733	0,5082	0,706	0,600124	38	Atende	
28	1,50	1,400	1,867	0,5250	0,731	0,659580	40	Atende	Tensões
30	1,60	1,500	2,000	0,5586	0,781	0,721055	42	Atende	Tensões
32	1,70	1,600	2,133	0,5923	0,832	0,784329	44	Atende	
34	1,75	1,700	2,267	0,6091	0,857	0,849590	46	Atende	Tensões

Tabela 5 - Quatro vigas - central: 2º ciclo de cálculo

A partir dos dados apresentados nas tabelas 4 e 5, observa-se que todas as seções atendem aos requisitos, porém com algumas restrições. Estas restrições estão em primazia no fato de que as tensões de compressão em algumas das seções excederam a tensão limite imposta de 27,5MPa. Este fato deve-se ao arredondamento do número de cordoalhas do cálculo teórico para um número inteiro, pois a quantidade teórica das mesmas, em algumas situações, considerando a cordoalha não inteira corresponde a menos de 75% da força de uma cordoalha majorada. Outra situação, deve-se ao fato de que ao arredondar a altura das seções, as mesmas conseguem absorver este aumento de tensões devido ao arredondamento das cordoalhas, não ultrapassando o limite das seções, no entanto, em algumas, este arredondamento é pequeno, de modo a não conseguir este efeito.

Porém, as seções que tem suas tensões fora dos limites da tensão imposta de 27,5MPa, obtida pela majoração da resistência do concreto de 50MPa, utilizado neste estudo, e seu coeficiente minorador α de 0,55, que varia de 0,6 a 0,4, a tensão, em todas as seções não passantes, fica dentro desta variação imposta pelo coeficiente minorado α . Sendo assim as seções foram consideradas aceitas.

4.3 Terceiro ciclo de cálculo

O terceiro ciclo de cálculo caracterizou-se, de maneira geral, pelo novo posicionamento da excentricidade nas seções, pois o mesmo alterou-se devido ao posicionamento das cordoalhas, após a inserção das perdas referentes a seção. Para o presente trabalho considerou-se para as perdas imediatas 12,4% e para as perdas deferidas 17,9%, obtida através da metodologia de cálculo indicado pela NBR 6118:2014 e calculado para uma

seção intermediária e considerada para as demais. Na tabela 6 apresenta-se os resultados do terceiro ciclo de cálculo para a viga lateral.

4 Vigas - Lateral - 3º ciclo de cálculo								
Vão	Altura	Área	Y (CG)	Excentricidade calculada	nº cord. s/perda	nº cord. c/perdas	nº de Bainhas	Excentricidade adotada
4 Vigas V - Lateral								
20	1,20	0,4245	0,580	0,426665	32	42	4	0,41
22	1,30	0,4579	0,630	0,478789	34	44	4	0,4604
24	1,35	0,4747	0,656	0,532939	36	47	4	0,4837
26	1,45	0,5082	0,706	0,589091	38	50	5	0,5393
28	1,50	0,5250	0,731	0,647263	40	52	5	0,5675
30	1,60	0,5586	0,781	0,707312	41	53	5	0,6193
32	1,70	0,5923	0,832	0,769609	43	56	5	0,6736
34	1,75	0,6091	0,857	0,833645	45	59	6	0,6391

Tabela 6 - Quatro vigas - lateral: 3º ciclo de cálculo

Na tabela 7 apresenta-se os resultados do terceiro ciclo de cálculo para a viga central.

4 Vigas - Central - 3º ciclo de cálculo								
Vão	Altura	Área	Y (CG)	Excentricidade calculada	nº cord. s/perda	nº cord. c/perdas	nº de Bainhas	Excentricidade adotada
4 Vigas V - Central								
20	1,2	0,4245	0,58	0,433414	32	42	4	0,41
22	1,25	0,4412	0,605	0,487039	34	44	4	0,4604
24	1,35	0,4747	0,656	0,5426	36	47	4	0,4837
26	1,45	0,5082	0,706	0,600124	38	50	5	0,5393
28	1,5	0,525	0,731	0,65958	40	52	5	0,5675
30	1,6	0,5586	0,781	0,721055	42	55	5	0,6221
32	1,7	0,5923	0,832	0,784329	44	57	5	0,6749
34	1,75	0,6091	0,857	0,84959	46	60	6	0,6356

Tabela 7 - Quatro vigas - central: 3º ciclo de cálculo

As seções central e lateral que não apresentaram a mesma altura, foram igualadas, entretanto, a maioria já estava com esta dimensão igual, devido ao posicionamento das vigas, propositalmente, carregar as vigas de modo a gerar seções com dimensões e características semelhantes.

Neste ciclo pode-se observar, principalmente nas seções correspondentes aos vãos maiores, que a excentricidade calculada teoricamente é diferente da adota, onde quando maior o vão, mais diferença há entre as mesmas.

4.4 Quarto ciclo de cálculo

O quarto ciclo caracterizou-se pela inserção dos dados das seções no software VPro e a verificação dos estados limites ELS-F, ELS-D e ELS-ATO.

Para a solução com viga “V” lateral e central, correspondente ao vão de 20m, a mesma ultrapassa o ELS-D, sendo considerada passante, somente com a redução de seis cordoalhas, passando de 42 para 36. Se mantida esta alteração a mesma deve ser protendida em duas fases segundo o ELU-ATO.

De 22 à 34m as vigas “V” lateral e central correspondentes atendem perfeitamente aos requisitos de ELS-F e ELS-D, sendo que todas devem ser protendidas em duas fases conforme o ELU-ATO.

4.5 Compilação de dados

Após o dimensionamento e verificação da seção “V”, com dimensões fixas conforme a figura 2, resultou-se na proposta, tabela 8, de altura em função do vão, para auxiliar no pré-dimensionamento de vigas protendidas com seção “V” similar a situação adotada.

4 Vigas		
vão	Formato	Altura
20	“V”	1,20
22	“V”	1,25
24	“V”	1,35
26	“V”	1,45
28	“V”	1,50
30	“V”	1,60
32	“V”	1,70
34	“V”	1,75
36	-	-
38	-	-
40	-	-

Tabela 8 - Proposta de alturas para viga “V” com solução em quatro vigas

5 | CONCLUSÃO

A partir dos dados analisados anteriormente pode-se concluir que considerando a seção e o posicionamento apresentado não se conseguiu atender a todos os vãos propostos. No entanto os vãos de 20 a 34m apresentam dados que podem ser utilizados como possível solução de vigas protendidas de pontes. As seções referentes aos vãos de 36 a 40m também podem ser utilizadas, onde, somente não apresentaram resultados satisfatórios no presente trabalho devido aos requisitos de aceitação impostos pelos mesmos.

Conclui-se também que, em determinados casos, a excentricidade calculada

teoricamente fica longe da excentricidade adotada, devido ao posicionamento dos cabos, sendo que isto acaba por deixar algumas seções no limite das tensões, sendo que neste caso recomenda-se aplicar um quinto ciclo de cálculo para refinamento da seção ou em casos mais extremos a remodelagem das dimensões da mesma, para que assim consiga-se atender plenamente os critérios.

A busca por referenciais para dimensionamentos de vigas protendidas pré-fabricadas varia conforme as necessidades impostas. Contudo as soluções com vigas em seção V necessitam de menos concreto que seções maciças, como vigas retangulares. O presente artigo não apresenta uma comparação direta entre estes tipos de seção, contudo retrata uma abordagem sobre uma alternativa a seção retangular.

AGRADECIMENTO

Ao apoio e incentivo do Grupo de Pesquisa em Desenvolvimento de Engenharia – GPDE – da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Santo Ângelo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações e segurança nas estruturas** – Procedimento. NBR 8681. Rio de Janeiro: ABNT, 2003

_____. **Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas**. NBR 7188. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **Cordoalhas de aço para estruturas de concreto protendido** – Especificação. NBR 7483. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

_____. **Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido** – procedimento. NBR 7187. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **Projeto de estruturas de concreto** - Procedimento. NBR 6118. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BRASIL. Ministério dos transportes. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Brasília, DF, 1999.

BRASIL. Ministério dos transportes. Pontes e viadutos rodoviários – **Estruturas de concreto armado** - Especificação de serviço. DNIT 122/2009- ES. Rio de Janeiro, 2009.

CARVALHO, Roberto Chust. **Estrutura em concreto protendido: Cálculo e detalhamento**. São Paulo: Pini, 2012.

CHOLFE, Luiz. **Concreto protendido: teoria e prática**. São Paulo: PINI, 2013.

FAUCHART, Jacques. *Initiation au calcul des structures – Béton et acier*. Paris: Editora Eyrolles, 1975.

FREITAS, D. B. **Estruturas de Concreto Protendido**: Notas de Aula. Departamentos das Engenheiras e

Ciências da Computação, URI – Santo Ângelo, Santo Ângelo: 2015.

FRITZ, Leonhardt. **Construções de concreto, vol. 5: concreto protendido**. Rio de Janeiro: Interciência, 2007.

FRITZ, Leonhardt. **Construções de concreto, vol.6: princípios básicos da construção de pontes de concreto**. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de concreto armado**. São Paulo: Blucher, 2008.

PFEIL, Walter. **Pontes em Concreto Armado: elementos de projeto, solicitações, dimensionamento**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1980.

PFEIL, Walter. **Concreto protendido, 1: introdução**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

PFEIL, Walter. **Concreto protendido: processos construtivos, perdas de protensão**. 3. ed. Rio de Janeiro: EDC, 1991.

PLANO DE MOBILIDADE URBANA – PMU: UMA BREVE ANÁLISE DA LEI 12.587/2012

Data de aceite: 01/06/2020

Rodrigo Marques do Nascimento

Instituto Federal do Norte de Minas – IFNMG,
Departamento de Ensino
Januária – Minas Gerais

Fábio Mendes Ramos

Instituto Federal do Norte de Minas – IFNMG,
Departamento de Ensino
Januária – Minas Gerais

Daniel Martins Nunes

Instituto Federal do Norte de Minas – IFNMG,
Departamento de Ensino
Januária – Minas Gerais

RESUMO: A ocupação rápida e desordenada aliada a falta de planejamento trouxeram inúmeras problemáticas aos municípios brasileiros. Dentre elas, destacam-se as relacionadas ao deslocamento de pessoas e mercadorias que, sobremaneira, acarretam em gasto de tempo elevado no trânsito pela população, sistemas de transportes que não atendem com acessibilidade e segurança satisfatórios e que não priorizam o transporte coletivo e o não motorizado. Dessa maneira, surge-se a necessidade de o Estado intervir através de ações planejadas para solucionar esses gargalos do transporte urbano. É nessa

perspectiva que legislações como Estatuto das cidades e a Lei 12.587/12, denominada de Plano Nacional de Mobilidade Urbana foram criadas. Essa tem por objetivo contribuir para o acesso universal à cidade e a concretização das condições que contribuam para efetivar princípios, objetivos e diretrizes da política de desenvolvimento urbano, por meio do planejamento e da gestão democrática do Sistema Nacional de Mobilidade Urbana. Nesse sentido, o presente trabalho analisa sucintamente o planejamento urbano no que tange a mobilidade das cidades por meio do estudo desta Lei. Através disso, o estudo conclui sinalizando sobre a importância do planejamento para o ordenamento urbano e sobre a baixa adesão dos municípios brasileiros as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana.

PALAVRAS-CHAVE: Planejamento urbano, mobilidade urbana, Lei 12.587/12, Plano de mobilidade.

URBAN MOBILITY PLANNING - UMP : A BRIEF ANALYSIS OF THE LAW 12.587/2012

ABSTRACT: The rapid and disorganized occupation allied to the lack of planning brought countless issues to brazilian cities. Among

them, are the ones related to population and commodity migration that, in special, result in a higher usage of time taken in population traffic, transportation systems that do not attend to satisfying safety and accessibility measures, that do not prioritize the collective and non motorized transports. This way, there comes a necessity for the State to intervene through planned actions to solve such problems in urban transportation. It's in this perspective that legislation such as The Cities Constitution and the law 12.578/2012, titled National Urban Mobility Plan were created. The latter has a goal of contributing to the universal access to a city and achieve the conditions helping effect goals, objectives and guidelines of urban development politics, though democratic management in the National Urban Mobility System. In this sense, this article analyses thoroughly the urban planning which affects city mobility via the study of the aforementioned legislation. Through this, the study concludes and reminds us about the importance of planning urban order and low accession to brazilian cities under the National Urban Mobility Politics guidelines.

KEYWORDS: Urban planning, urban mobility, law 12.587/2012, mobility plan.

INTRODUÇÃO

É notório atualmente o grande número de municípios brasileiros que sofrem com a desorganização e desestruturação do espaço urbano por consequência de uma ocupação populacional desordenada. Isso reflete, fundamentalmente, em cidades excludentes, insustentáveis, com desigualdades socioespaciais, pouca infraestrutura e mobilidade precária.

Atenha-se aqui aos problemas relacionados a mobilidade urbana, a circulação de pessoas e ao trânsito das cidades. Especificamente, eles se caracterizam em vias urbanas congestionadas, que priorizam o transporte individual em detrimento do coletivo e dos não motorizados, longos tempos de deslocamentos, sistemas de transporte público ineficientes e excludentes, refletindo em desconforto, pouca previsibilidade de horário, frota insuficiente, além da superlotação.

Visando mitigar essas problemáticas e antever outras que poderão atingir as cidades, surge-se o planejamento urbano, numa perspectiva holística e em busca da melhoria da qualidade de vida da população. Essa prática, quando embasada em realidades inerentes aos desejos dos cidadãos e compactuado aos recursos financeiros e jurídicos à disposição do gestor público é um antídoto para o caos urbano. (Araújo e Silva, 2003).

Elida Sá e Isa Brito acrescenta ainda:

[...] o planejamento permite que a população tome conhecimento dos destinos que os políticos desejam atribuir à cidade, participação das decisões ou tendo oportunidade de se opor a elas, evitando-se o fato consumado. Planejar é uma decisão política que deve ser lastreada na técnica, orquestrada para transformar a realidade existente, permitindo ao Estado se organizar para atingir, com eficiência e baixo custo, seus objetivos. (1997)

Nesse sentido, nota-se que as ações quando planejadas em conjunto com a

população, comunidade técnica e legisladores públicos surtem efeitos concretos, racionais e que realmente produzem melhoria na qualidade de vida das pessoas.

É nesse cenário que o presente trabalho analisa sucintamente o planejamento urbano no que tange a mobilidade das cidades por meio do estudo da Lei 12.587/2012 que institui a Política de Mobilidade Urbana para os municípios brasileiros. A mencionada Lei tem objetivo de criar diretrizes para ordenar a mobilidade urbana através do planejamento, a priorização do transporte público e dos meios não motorizados, a participação popular nas discussões sobre transporte, entre outras propostas que serão frutos de neste texto.

PLANEJAMENTO E MOBILIDADE URBANA

A princípio, vale destacar a consciência do Poder Público sobre a relevância do planejamento para o desenvolvimento das cidades ao criar aparatos legais para que as cidades se tornem um lugar sustentável, que cumpra sua função social e proporcione mobilidade.

Nessa perspectiva, em 2001, a criação da Lei 10.257, denominada de Estatuto das Cidades, dota os administradores públicos para instituir diretrizes na elaboração de planos que ordenem o crescimento das cidades. A saber: Plano Diretor, Plano Plurianual, Plano de Zoneamento e Parcelamento do Solo, entre outros. Além disso, a referida lei delega a União a competência para instituir diretrizes acerca do desenvolvimento urbano, incluindo-se habitação, saneamento e transportes urbanos.

Mediante esse Estatuto, o planejamento urbano não deve ocorrer de maneira isolada no contexto de uma cidade, priorizando apenas interesses individuais, mas sim em conjunto com os demais planejamentos estabelecidos na lei federal, principalmente aos que proporcionam mobilidade e acessibilidade a população. Corroborando com essa ideia, Pereira (2007) afirma:

O planejamento urbano deve priorizar os interesses coletivos e deve estar associado à estruturação do sistema de transporte público, que proporcione a acessibilidade à cidade, considerando as diferentes áreas onde se localizam as atividades de trabalho, educação, saúde, lazer, comércio e serviços. Quando a acessibilidade não é favorecida fortalece-se ainda mais a diferenciação socioespacial.

Em 2012 ocorre mais um avanço no que se refere as legislações sobre planejamento da mobilidade e transporte urbano com a criação da Lei 12.587 que institui a Política Nacional de Mobilidade Urbana. Na verdade é um marco para a política de transporte no Brasil, uma vez que o texto legislativo é fruto de décadas de discussões sobre o assunto e consagra temas importantes como: integração entre diferentes modais, sustentabilidade e universalidade no acesso à cidade. Além disso:

A Política Nacional de Mobilidade Urbana tem por objetivo contribuir para o acesso universal à cidade, o fomento e a concretização das condições que contribuam para a efetivação dos princípios, objetivos e diretrizes da política de desenvolvimento urbano,

A legislação Federal cria a obrigatoriedade a todos os municípios com população superior a 20 mil habitantes da elaboração do Plano de Mobilidade urbana com foco no transporte não motorizado e no planejamento da infraestrutura urbana destinada aos deslocamentos a pé e por bicicleta. Caso o município não cumpra com a legislação o mesmo ficará impedido de receber recursos federais relativos a mobilidade urbana até que seja criado o Plano, sendo que no prazo máximo de 10 anos há a necessidade de ser submetido a revisão, avaliação e atualizações.

É importante salientar o protagonismo exercido pela população nesse Plano de Mobilidade através da descrição e relato dos principais problemas vividos diariamente no que se refere a mobilidade. São eles que conhecem na prática o tempo de espera nos pontos de embarque, o tempo de ciclo e nível de conforto dos transportes coletivo, a qualidade das vias e onde erroneamente a infraestrutura prioriza os automóveis particulares em detrimento do coletivo e dos não motorizados.

Para assegurar essa participação popular o artigo 15 da Lei esclarece que a participação popular deve ser por meio de audiências, ouvidorias, meios de comunicação sistemáticos e órgão colegiados com representantes do Poder Público e operadores do Sistema. O artigo amplia ainda o direito da população na participação no Plano quando inclui a fiscalização e avaliação da Política de Mobilidade Urbana do município, demonstrando a importância de todos estarem atentos em relação ao que se planeja e a como se executa no que diz respeito a mobilidade urbana.

Decorrente dessas primícias, a Lei trata dos conteúdos mínimos a serem abordados nos Planos de Mobilidade Urbana das cidades, a saber:

CONTEÚDO MÍNIMO DO PLANO DE MOBILIDADE LEI 12.587/2012
Os PDMU devem contemplar:
os serviços de transporte público coletivo;
a circulação viária;
as infraestruturas do sistema de mobilidade urbana;
a acessibilidade para pessoas com deficiências e restrição de mobilidade;
a integração dos modos de transporte público e destes com os privados e os não motorizados;
a operação e o disciplinamento do transporte de carga na infraestrutura viária;
os polos geradores de viagens;
as áreas de estacionamentos públicos e privados, gratuitos ou onerosos;
as áreas e horários de acesso a circulação restrita ou controlada;
os mecanismos e instrumentos de financiamento do transporte público coletivo e da infraestrutura de mobilidade urbana;
a sistematização de avaliação, revisão e atualização periódica do Plano de Mobilidade Urbana em prazo não superior a 10 anos;

Dentre esses critérios mínimos destaca-se o que trata dos polos geradores de viagens ou de tráfego (PGT), uma vez que mostra a visão ampla da Lei ao se preocupar com gargalos específicos da mobilidade nunca antes contemplado por legislações urbanísticas. A princípio é necessário entender o que são esses polos. Segundo a Companhia de Tráfego de São Paulo (CET-SP), caracterizam-se como:

“(...) as edificações ou instalações que atraem um grande número de pessoas mediante a oferta de bens ou serviços, gerando por consequência um grande número de viagens, interferindo diretamente no tráfego em torno das mesmas e requerendo, também, um grande número de vagas de estacionamento e carga ou descarga.”(CET-SP, Decreto Municipal nº 15980/79.

Pode-se caracterizar como (PGT) os hospitais, escolas, shoppings centers, estádios, aeroportos, conjuntos residenciais, igrejas, indústrias, teatros, universidades, cinemas, entre outros. Observa-se que esses polos geram diretamente dois problemas que interferem na mobilidade urbana, quais sejam: congestionamento e intensa procura por estacionamento. Caso não haja um estudo específico para dimensionar a circulação ao entorno desses locais, a demanda de viagens e a procura por estacionamento o direito de deslocamento com segurança, conforto e qualidade das pessoas será prejudicado. Logo, percebe-se a necessidade de tratar dessa temática com ações específicas e planejadas.

Outra temática que se destaca é a integração dos modais de transportes sejam eles públicos ou privados, coletivos ou individuais e motorizados ou não. Essa medida permite, sobretudo, o aumento da acessibilidade a diferentes áreas da cidade atendidas pela rede de transporte. De acordo com o caderno PLANMOB que tem por objetivo orientar

municípios e estados para a construção de Planos de Mobilidade Urbana a implantação de sistemas integrados traz benefícios à rede de transporte coletivo, ampliando a mobilidade e a acessibilidade dos usuários e contribui para o aperfeiçoamento das redes através dos seguintes aspectos:

- Racionalização do uso do sistema viário nos corredores de tráfego, na área central e em subcentros;
- Possibilidade de uso de veículos de maior capacidade, reduzindo a frota em circulação e, conseqüentemente, os custos operacionais, a emissão de poluentes e solicitação do sistema viário;
- Redução do número de linhas em circulação nas áreas de tráfego congestionado, com reflexo na quantidade de veículos que demandam os pontos de parada em percurso ou nos terminais de retorno;
- Redução da ociosidade da frota operando em linhas sobrepostas, com reflexo nos custos da operação;
- Melhor articulação da rede de transporte coletivo, oferecendo mais opções de viagens para os usuários pela possibilidade de integração entre duas ou mais linhas, em estações de integração e pontos de conexão;

Através da análise da lei constata-se também que os municípios possuem respaldo jurídico para “tomar medidas ou adotar instrumentos de priorização aos meios não-motorizados e coletivos de transporte em detrimento ao individual”, “incentivo ao desenvolvimento científico-tecnológico e ao uso de energias renováveis e menos poluente”, “equidade no acesso dos cidadãos ao transporte público coletivo” e “eficiência, eficácia e efetividade na circulação urbana”. Salienta-se entre essas a priorização do transporte público coletivo e dos meios não-motorizados como principais modais para suprir a necessidade de viagens da população.

Essa priorização em relação ao transporte coletivo, é justificada devido sua capacidade de contribuir para diminuição de congestionamentos e níveis de poluição, de minimizar a construção de malha viária urbana e estacionamentos e de reduzir o uso da energia automotiva (Gomide, 2006).

Para Ferraz (2004):

De fundamental importância nas cidades é o transporte público coletivo. Em primeiro lugar por seu aspecto social e democrático, uma vez que o transporte público representa o único modo motorizado seguro e cômodo acessível às pessoas de baixa renda, bem como uma importante alternativa para quem não pode dirigir (crianças, adolescentes, idosos, deficientes doentes etc.), preferem não dirigir.

Além disso, o Caderno de Referência PlaMob aduz que quanto maior a participação do transporte coletivo e do transporte não motorizado em uma cidade, menor é o consumo de energia e a emissão de poluentes locais e gases de efeito estufa do sistema de mobilidade.

PANORAMA ATUAL DO TRANSPORTE PÚBLICO COLETIVO

Todavia, o cenário do uso do transporte coletivo no Brasil não segue condizente com a quantidade de benefícios que esse tipo de sistema é capaz de oferecer as pessoas e ao bom funcionamento das cidades. Numa pesquisa da Confederação Nacional dos Transportes e da Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, publicada na revista NTU Urbano, realizou-se um levantamento da quantidade de pessoas que utilizavam algum tipo de transporte coletivo para efetuar suas viagens no ano de 2006 e, posteriormente, em 2017 a fim de analisar a taxa de variação dos usuários desse serviço nas datas citadas.

RESPOSTA	2006	2017
Coletivo	60,0%	49,8%
Individual	40,0%	50,2%

Tabela 1 - Percentual de Transporte Coletivo e Individual (2006 e 2017)

Fonte: Pesquisa mobilidade da população urbana 2017.

Nota-se que a pesquisa de caráter amostral, realizada em 35 municípios, com 3.100 entrevistas trouxe dados não tanto satisfatórios sobre a mobilidade das cidades brasileiros. Num intervalo temporal de aproximadamente 10 anos mais de 10% da população deixou de usar transporte coletivo, sendo que o número dos que usam o transporte individual cresceu na mesma progressão.

Para entender a justificativa desse significativo decaimento do número de usuários do transporte coletivo a mesma pesquisa perguntou para 1.012 responsáveis pelo domicílio que deixaram de utilizar ônibus ou diminuíram o seu uso e fizeram substituição por algum outro meio, para investigar os motivos pelos quais levaram esses usuários a migrarem de modal. Constatou-se que a maioria deles saíram por falta de flexibilidade nos horários e nas rotas dos coletivos, preço elevado da tarifa, pouco conforto, elevados tempos de viagem, baixa confiabilidade em relação ao cumprimento dos horários, muitos se sentem inseguros por consequência da violência nesse tipo de transporte.

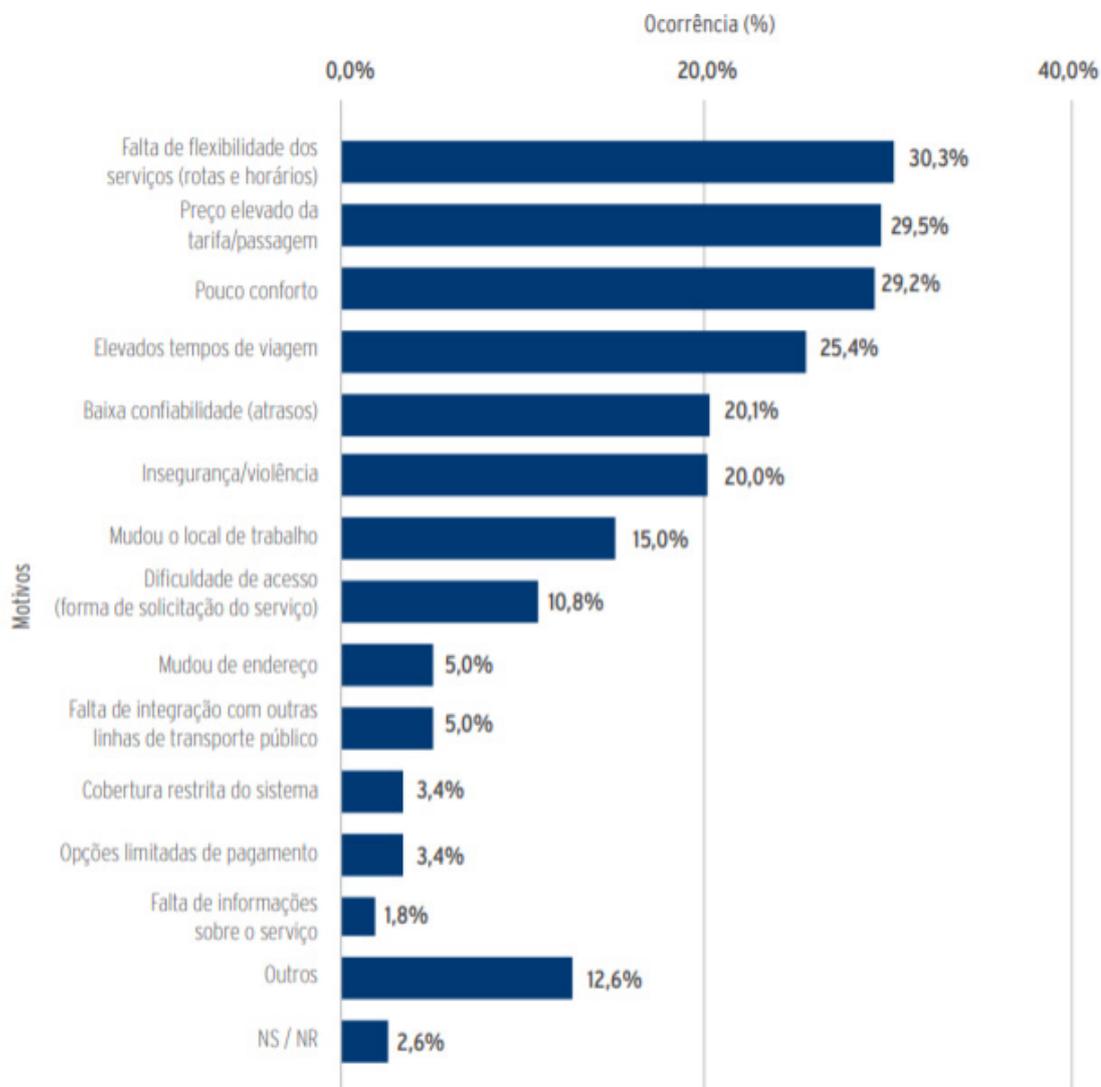


Figura 1: Motivos que provocaram a substituição do ônibus por outros modos (2017)

Fonte: Pesquisa mobilidade da população urbana 2017.

RESPONSABILIDADE DA UNIÃO, ESTADOS E MUNICÍPIOS NA LEI 12.587/12

Para haver o correto cumprimento na implantação de todos esses aspectos e demais elencados no escopo da Política Nacional de Mobilidade Urbana, o texto legislativo discrimina categoricamente a função da União, dos Estados e dos Municípios. A União, compete a assistência técnica e financeira, a capacitação de pessoas para elaboração dos Planos, o apoio, estímulo e fomento ao desenvolvimento técnico visando ao atendimento das diretrizes da Lei.

O artigo 17 trata das atribuições dos Estados que resume na intermediação entre os anseios dos municípios e os regulamentos e diretrizes federais. Destaca-se o poder do estado de propor política tributária específica e de incentivos para a implantação da Política Nacional de Mobilidade Urbana.

Aos Municípios, resta as funções de executar, regulamentar, avaliar e planejar diretamente as ações de transporte urbano. Afinal, é ele quem conhece os gargalos locais,

os anseios da população e os recursos disponíveis para melhorar a qualidade de vida dos moradores através do aperfeiçoamento da mobilidade no espaço urbano. Para tanto, o art 21 do capítulo V da Lei elenca diretrizes para que a gestão municipal desempenhe essas atribuições. A saber:

- I - a identificação clara e transparente dos objetivos de curto, médio e longo prazo;
- II - a identificação dos meios financeiros e institucionais que assegurem sua implantação e execução;
- III - a formulação e implantação dos mecanismos de monitoramento e avaliação sistemáticos e permanentes dos objetivos estabelecidos;
- IV - a definição das metas de atendimento e universalização da oferta de transporte público coletivo, monitorados por indicadores preestabelecidos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse sentido, conclui-se que as ações de planejamento são capazes de ordenar e disciplinar o crescimento do espaço urbano de modo a produzir desenvolvimento e minimizar problemas como de mobilidade e transporte urbano. Nesse intuito as legislações tais quais, Estatuto das Cidades e sobretudo o Plano Nacional de Mobilidade Urbana se revelam como aparatos eficientes e eficazes no campo do planejamento. Não basta, portanto, que essas ações se encerrem no âmbito teórico.

Lamenta-se que muitos municípios não cumpriram a obrigatoriedade legal de elaboração dos planos de mobilidade urbana no prazo estipulado para abril de 2015, tendo conseqüente prejuízo de impedimento de contratar recursos federais. Desse modo, em dezembro de 2016, a Lei Federal nº 13.406 estipulou novo prazo para a elaboração dos planos, abril de 2018.

Destarte, faz-se necessário que ações como: priorização dos transportes coletivos e não motorizados, inclusão popular no debate para melhoria da mobilidade, integração dos sistemas de transporte para racionalização e aumento da acessibilidade e a construção dos planos municipais de mobilidade urbana se façam realidade nas cidades brasileiras. É de suma importância também o alinhamento entre as ações dos gestores dos municípios, estados e união para que convirjam no objetivo comum da melhoria da mobilidade urbana.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. L. M.; SILVA, J. M. da. Estatuto da Cidade e o Planejamento Urbano-Regional. In: Revista Paranaense de Desenvolvimento. Curitiba, n. 105: p.57-74, jul./dez. 2003.

CADERNO PLANMOB PARA ORIENTAÇÃO AOS ÓRGÃOS GESTORES MUNICIPAIS NA ELABORAÇÃO DOS PLANOS DIRETORES DE MOBILIDADE URBANA. Ministério das Cidades: Brasília, DF, 2007.

FERRAZ, Antônio Clóvis “Coco” Pinto; TORRES, Isaac Guillermo Espinosa. Transporte Público Urbano: São Carlos: Rima, 2004.

Gomide, A. A. (2006). Mobilidade urbana, iniquidade e políticas sociais. Políticas sociais: **acompanhamento e análise**, 12,242-250.

LEI Nº 12.587, DE 03 DE JANEIRO DE 2012 QUE INSTITUI A POLÍTICA NACIONAL DE MOBILIDADE URBANA – PNMU, 2012.

PEREIRA, Sílvia Regina. MOBILIDADE ESPACIAL E ACESSIBILIDADE À CIDADE: Revista OKARA/ Programa de Pós-Graduação em Geografia. João Pessoa. v. 1, n. 1. p.43-76. 2007. Acesso: 10/04/2018Disponível: www.periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/okara/article/download/1246/925.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO, “Decreto nº 15.980, de 29 de Junho de 1979”, 1979. Disponível em: < <https://goo.gl/4u0snZ> >. Acesso em 10/04/2018.

Pesquisa mobilidade da população urbana 2017 / Confederação Nacional do Transporte, Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. - Brasília: CNT: NTU, 2017.

SÁ, Elida; BRITO, Isa. O planejamento como construção da cidadania. **Direito Ambiental**, São Paulo, v. 7, n. 2, jul./set. 1997.

NOVO LABORATÓRIO DO CURSO DE EDIFICAÇÕES DO IFPA

Data de aceite: 01/06/2020

Data de Submissão: 17/04/2020

Luciano Costa de Farias

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – Campus Bragança
Bragança – Pará

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6747613570223524>

Marcelo Martins Farias

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – Campus Bragança
Bragança – Pará

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7429258509994201>

Wellen Patrícia Farias dos Reis

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – Campus Bragança
Bragança – Pará

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1038110713634949>

Celestina de Lima Rezende Farias

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – Campus Bragança
Bragança – Pará

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3315516019032395>

Cleydimara Aquino de Brito

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – Campus Bragança
Bragança – Pará

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7847543092361069>

RESUMO: O Ministério da Educação coloca como requisitos estruturais mínimos para uma instituição ter o curso técnico em edificações possuir o laboratório de materiais de construção, o laboratório de mecânica dos solos e o laboratório de técnicas construtivas (canteiro de obras), segundo o Catálogo Nacional de Cursos Técnicos (CNCT). Porém hoje o curso de edificações do Instituto Federal do Pará (IFPA) – Campus Bragança conta somente com um laboratório de uso geral, que não tem uma estrutura adequada para a realização de aulas práticas, projetos de ensino e pesquisa. Com isto houve a proposta de se fazer o projeto arquitetônico de um novo laboratório para o curso. O presente trabalho tem como objetivo mostrar as etapas do desenvolvimento do projeto arquitetônico deste novo laboratório que teve como um dos seus grandes obstáculos à necessidade de adequá-lo a um espaço já construído de forma que não

prejudicasse as necessidades do curso. Para iniciar este projeto foram realizadas pesquisas bibliográficas, visitas técnicas e pesquisas por um projeto já pronto de um laboratório de edificações / engenharia civil, tudo isso serviu como referência para o desenvolvimento do novo laboratório. Após estas etapas concluídas foi dado início ao projeto no Auto CAD este passou por diversas mudanças já que foi necessário adequar as necessidades do curso ao ambiente já construído. Após todas as alterações necessárias o projeto final foi entregue para a direção do campus juntamente com um memorial descritivo. Com estes documentos em mãos a direção pediu o orçamento para uma empresa e o valor final do projeto foi de R\$ 228.668,42. É possível perceber que o projeto deste novo laboratório foi muito importante, pois possibilitou que a direção percebesse que o curso precisa de um novo laboratório adequado as suas necessidades.

PALAVRAS-CHAVE: Arquitetônico, Reforma, Memorial Descritivo.

NEW LABORATORY OF THE EDIFICATIONS COURSE OF IFPA

ABSTRACT: The Ministry of Education places as minimum structural requirements for an institution to have the technical course in edifications possess the laboratory of building materials, the laboratory of soil mechanics and the laboratory of construction techniques (construction site), according to the National Catalog of Courses Technicians (CNCT). However, today the building course of the Federal Institute of Pará (IFPA) - Campus Bragança has only one laboratory of general use, which does not have a suitable structure for practical classes, teaching and research projects. With this was the proposal to make the architectural design of a new laboratory for the course. The present work aims to show the stages of the development of the architectural project of this new laboratory that had as one of its great obstacles to the need to adapt it to a space already constructed in a way that did not harm the needs of the course. To start this project were carried out bibliographical research, technical visits and research for an already ready project of a building / civil engineering laboratory, all this served as a reference for the development of the new laboratory. After these steps were completed, the project was started in Auto CAD. This process has undergone several changes since it was necessary to adapt the course needs to the environment already built. After all necessary changes the final project was delivered to the campus address along with a descriptive memorial. With these documents in hand the direction asked the budget for a company and the final value of the project was of \$ 228,668.42. It is possible to realize that the project of this new laboratory was very important, because it made the management realize that the course needs a new laboratory adapted to their needs.

KEYWORDS: Architectural, Reform, Descriptive Memorial.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo o catálogo nacional de cursos técnicos, disponibilizado pelo Ministério da Educação (MEC), o curso técnico em Edificações precisa ter uma estrutura composta

por vários laboratórios, como por exemplo: o laboratório de materiais de construção, o laboratório de técnicas construtivas (canteiro de obras), laboratório de mecânica dos solos e outros.

Estes devem seguir normas de segurança e de utilização que visam garantir que todas as pessoas que o utilizem não venham a sofrer acidentes. Deste modo um laboratório deve ser projetado com todo o cuidado possível do projetista, já que uma falha deste pode vir a oferecer riscos a saúde das pessoas que forem utilizar o local.

Sendo assim toda a literatura disponível sobre segurança em laboratórios deve ser levada em conta, principalmente pelo fato de não se ter muitas fontes de literatura sobre a segurança em laboratórios de uso específico do curso de edificações.

2 | OBJETIVO GERAL

Apresentar o projeto arquitetônico do novo laboratório do curso de edificações, onde este altera o mínimo possível de um espaço já construído, de modo que o custo para a reforma seja o menor possível.

2.1 Objetivo Específico

- Exposição das etapas de elaboração do projeto arquitetônico do novo laboratório do curso de edificações do IFPA – Campus Bragança.
- Exposição das normas, de segurança e saúde no trabalho, utilizadas na elaboração do projeto.
- Descrição dos ambientes que compõe o novo laboratório.

3 | PROBLEMÁTICA

Atualmente no Instituto Federal do Pará – Campus Bragança, o curso de Edificações possui uma problemática relacionada ao seu laboratório, mostrado na figura 1, pois este não atende as principais necessidades do curso, de modo a não se ter um espaço apropriado para a realização de aulas práticas de algumas disciplinas como: mecânica dos solos, materiais de construção e outras. Sendo assim o laboratório é somente utilizado para a realização de atividades simples como ensaio de resistência a compressão, desenvolvimento de projetos de estágio envolvendo o software Auto CAD e também é utilizado como sala da coordenação do curso.



Figura 1 Laboratório Atual do Curso de Edificações do IFPA - Campus Bragança

Com este problema o professor Marcelo Martins Farias, propôs a quatro alunos, do curso técnico de edificações integrado do ano de 2015, que estes elaborassem o projeto arquitetônico de um laboratório mais adequado as necessidades do curso e dos professores, de modo que este seguisse as exigências do MEC e padrões de segurança. Pois os laboratórios são lugares onde se realizam tarefas específicas de uma determinada área do conhecimento. Desta forma, este difere de outros locais por ser necessário adotar procedimentos especiais nas atividades que lá se realizam e, por esta razão, este é um local de risco (Del Pino & Krüger, 1997, p. 6).

O presente trabalho irá abordar o desenvolvimento do projeto do laboratório do curso de edificações, sendo este adequado as necessidades do curso e dos professores, além de seguir normas para a preservação da saúde e segurança dos usuários.

A importância deste trabalho está diretamente ligada à necessidade de se expor o desenvolvimento de um projeto de laboratório voltado para a área de edificações, pois não há outros estudos voltados especificamente para esta área do conhecimento.

Para se obter um resultado satisfatório quanto aos requisitos de segurança empregados no projeto, foi utilizado como base para tais a NR 8 e alguns estudos sobre a segurança em laboratórios de química, devido a se ter uma escassez de normas e estudos sobre segurança em laboratório de edificações.

4 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para o início do projeto do novo laboratório de edificações foi realizado pesquisas bibliográficas sobre laboratórios específicos da área e sobre normas de segurança, foi usado também como referência artigos sobre a segurança em laboratórios de química devido ao fato de alguns riscos serem semelhantes e devido a se ter uma escassez de estudos relacionados à segurança em laboratórios específicos da área. Nesta pesquisa obtiveram-se algumas referências como: tipo de piso, as áreas necessárias dentro do laboratório e as dimensões das bancadas para equipamento.

Além da pesquisa bibliográfica também se realizou uma visita técnica ao laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará em Belém, figura 2, onde se obteve

como principais referências: as dimensões das bancadas, das baias para colocação de materiais, dos tanques para corpos de prova e da câmara úmida (está é utilizada para armazenagem de alguns materiais específicos que precisam de um armazenamento especial).



Laboratório de Engenharia Civil da UFPA



Área Suja do Laboratório de Engenharia Civil da UFPA

Figura 2 Laboratório de Engenharia Civil da UFPA – Retirada de Referências.

No mesmo período também se realizou uma visita ao laboratório da concreta Tabalmix, onde foi possível se ter referências de equipamentos e de dimensões do tanque para corpos de prova. Outra fonte de referências foi o projeto arquitetônico do laboratório de edificações do IFPA- Campus Abaetetuba.

Após a obtenção destas referências foi dado início ao planejamento do projeto arquitetônico, neste mesmo período surgiu a proposta de reutilização dos espaços da antiga Escola Agrícola, onde as salas de aula seriam reformadas, e as outras áreas como a biblioteca, o prédio administrativo e o refeitório seriam concedidos aos cursos que necessitassem de ampliação dos laboratórios, sendo assim estes espaços seriam reformados de acordo com o projeto apresentado pelo curso que quisesse pleitear tal espaço. A aprovação do projeto seria realizada através de uma Assembleia Geral composta por todos os docentes do Campus Bragança.

Com o surgimento desta proposta foi necessário se fazer adaptações no projeto, devido a se utilizar uma área já construída, que no caso era o antigo refeitório da Escola Agrícola, mostrado na figura 3, já que este espaço era o que mais se adequava as dimensões do novo laboratório.



a) Vista traseira do prédio do refeitório.



b) Vista frontal do prédio do refeitório.



c) interna do refeitório.

Figura 3 Prédio do Refeitório da Antiga Escola Agrícola

Em cima da planta baixa do refeitório, mostrada na figura 4, que já estava construído foi dado início as alterações, estas foram feitas de modo a se ter as mínimas modificações na planta original, pois um dos quesitos necessários para que o curso ganhasse o espaço

era o de ter o menor custo possível para a reforma do local. Mas algumas modificações foram necessárias para poder se adequar o espaço as necessidades do curso.

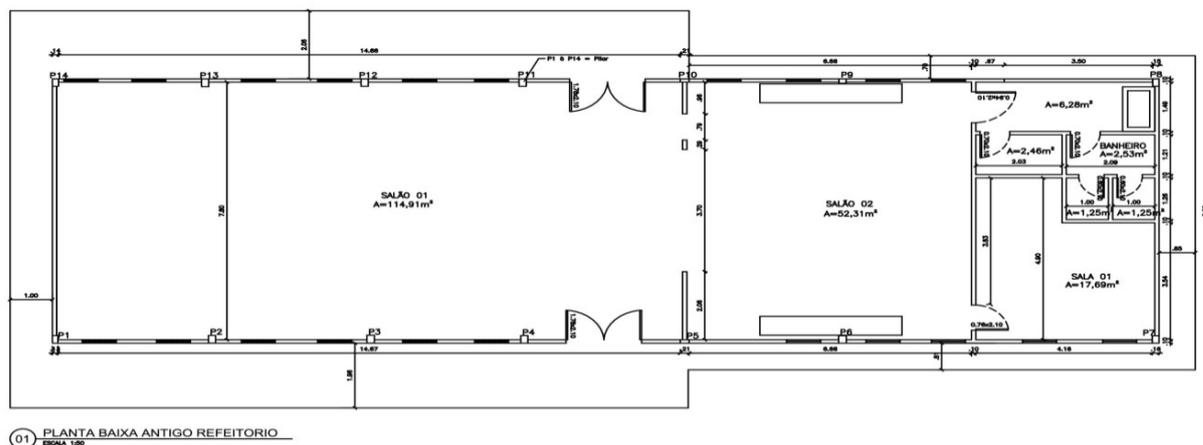


Figura 4 Planta Baixa do Antigo Refeitório

5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como mostra a figura 5, a área original passou a ser subdividida em outras, que são: a área suja, a sala de projetos/estágio, a sala dos professores, a sala da coordenação, o depósito de materiais e também dois banheiros. A única parte do projeto que não estava incluída dentro da área original é a sala do compressor, inclui-se esta durante a fase de desenho da planta baixa, devido ao compressor precisar de um computador auxiliar para obtenção dos gráficos de compressão dos corpos de prova, deste modo este não pode ser alocado na área suja devido a quantidade de poeira que haverá na mesma.

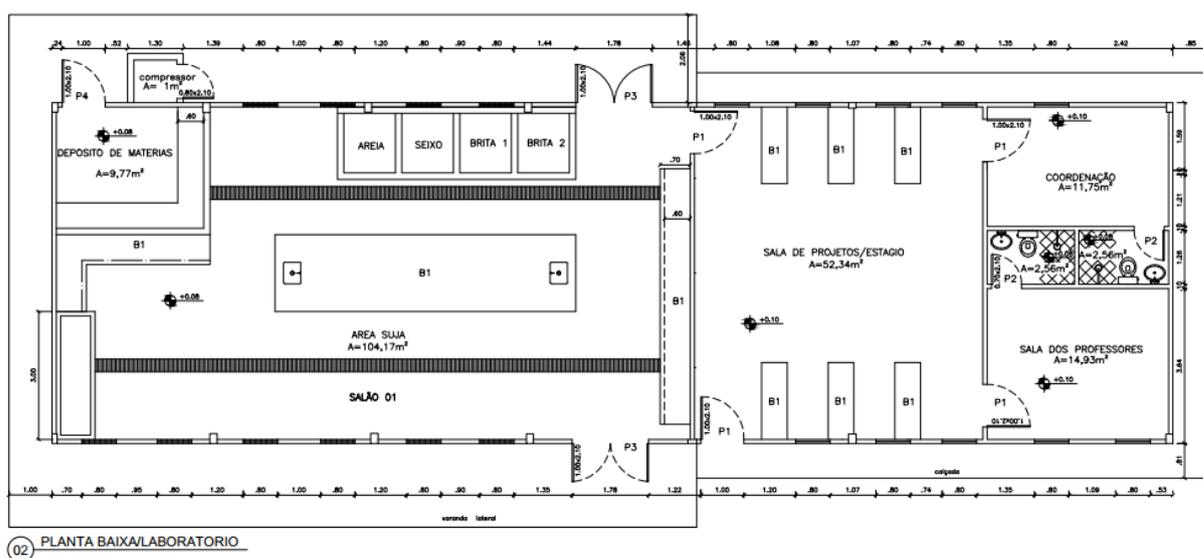


Figura 5 Planta Baixa do Laboratório

Após o projeto arquitetônico pronto e aprovado pelo professor Marcelo Martins

Farias, este foi levado a Assembleia Geral, esta decidiu que quem ficaria com espaço seria o curso de edificações. Com o projeto aprovado, passou a ser elaborado o memorial descritivo do mesmo, neste foram especificados o tipo de piso, a cor das paredes, as esquadrias, o forro e outros detalhes que seguem as normas e artigos consultados.

Com a finalização do memorial descritivo, este foi entregue a direção do campus juntamente com o projeto arquitetônico de reforma do local. Com estes documentos a direção geral solicitou a uma empresa, que continha um contrato (licitado) para reforma o orçamento para execução do serviço, deste modo o valor final entregue pela empresa foi de R\$ 228.668,42.

6 | CONCLUSÕES

Com a conclusão deste artigo foi possível perceber que o desenvolvimento do projeto do novo laboratório do curso de edificações foi muito importante para o curso e para o IFPA – Campus Bragança, pois somente com este projeto em mãos é que a direção do campus pode perceber que o curso necessita de um espaço mais adequado para a realização de aulas práticas e que o espaço atual está oferecendo um risco à segurança dos alunos e professores.

REFERÊNCIAS

- ARCURI, A.S.A; CAPITANI, E.M; MARCHI, M.R.R. **Método Físico Química para Alimentos**. Segurança em Laboratórios de Química. 4º Ed, 1º Ed. Digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. cap. XXIX, p. 896 – 919.
- BRASIL. MINISTÈRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Norma Regulamentadora N°8 (NR-8)**. 1978.
- BRASIL. MINISTÈRIO DA EDUCAÇÃO. **Catálogo Nacional de Cursos Técnicos**. 2016.
- CAPURRO, M.L. **Manual de Segurança**. Universidade de São Paulo – Instituto de Química. São Paulo, 2004.
- DEL PINO, J.C; KRÜGER, V. **Segurança no Laboratório**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Química. Rio Grande do Sul, 1997
- MONTEIRO, Nataly. **Estudo da Segurança do Trabalho no Laboratório de Construção Civil do IFSP – Campus Campos do Jordão**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. São Paulo, 2011

A QUALIFICAÇÃO DO PROFISSIONAL DE ENGENHARIA CIVIL NO MERCADO ATUAL E O SEU IMPACTO DE CUSTO PARA UMA EMPRESA FORMAL

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 24/04/2020

Rafaela Cardoso Galace

Programa de Pós-Graduação em Inovações
Tecnológicas (PPGIT)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR)
Campo Mourão – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/9257514430234670>

Flávia Aparecida Reitz Cardoso

Programa de Pós-Graduação em Inovações
Tecnológicas (PPGIT)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR)
Campo Mourão – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/2663975071704461>

RESUMO: Atualmente a forte crise econômica no Brasil vem afetando diretamente o setor da construção civil e trazendo milhares de desempregados desta indústria, inclusive profissionais de cargos técnicos, como os engenheiros civis atuantes e os recém formados. Em função disto, este estudo tem o intuito de mensurar o impacto financeiro para as empresas de construção civil em uma cidade do interior do Paraná, ao manter e/ou contratar

o profissional considerando sua capacitação adequada ao cargo ou a contratação de um profissional já habilitado a desempenhar as funções requeridas por ela. O estudo ainda reforçou a importância da atualização do setor diante da crise como ferramenta de diferenciação no mercado, acompanhando a revolução tecnológica mundial. Relacionou também o perfil do profissional do engenheiro civil, hoje disponível no mercado da construção que no geral não acompanha as inovações no segmento. Desta forma, foi verificado o custo desse profissional para a empresa, no intuito de visualizar melhor as alternativas do mercado frente à contratação de engenheiros civis. Foi possível concluir que é muito oneroso manter o profissional de engenharia civil em uma empresa e, portanto, mais interessante contratar esta mão-de-obra já apta às funções e expectativa do mercado do que ainda capacitá-lo internamente, já que implicaria em mais uma despesa, além do tempo até a qualificação.

PALAVRAS-CHAVE: inovação; inovação na construção; inovação na indústria; regime tributário; desemprego na construção.

THE QUALIFICATION OF THE CIVIL ENGINEERING PROFESSIONAL IN THE MARKET CURRENT AND ITS COST IMPACT FOR A FORMAL COMPANY

ABSTRACT: Nowadays, due to an intense economic crisis that Brazil is facing, the construction sector is being directly affected, causing the industry to reach high numbers in its unemployment rates, including in technical positions, such as active civil engineers and recent graduates. As a result, this study aims to measure the financial impact for civil construction companies in a city in the interior of Paraná, had by maintaining and/or hiring in company such professionals, considering their capacities for the job, or, by acquiring the services of a certified professional, that suits its necessities. The study also reaffirmed the sector need to update itself in the technological matter, using it as a tool to stand out in the market and combat the economic crisis. In addition, has related the profile of the available professional civil engineer in the construction labor market, which many times does not follow the latest innovation in the sector. Therefore, the cost of such professional for the company were checked, with objective of assure the best alternative that the market has in hiring civil engineers. It was possible to conclude that it is costive to keep a professional civil engineer in a company, and, it would be more interesting to hire this labor already fit to the job and markets requirements, over the option of training the professional internally, which imply in extra time and expense to achieve qualification.

KEYWORDS: innovation; construction innovation; industry innovation; tax regime; construction unemployment.

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil vem passando por uma forte crise econômica, no entanto, atualmente os mercados estão otimistas com a mudança de governo e políticas públicas. Como parte fundamental da economia nacional, a construção civil é um dos setores que mais sentiu e continua sentindo os impactos desta crise.

Alguns pesquisadores e empreendedores afirmam que o melhor cenário para oportunidades e crescimento é um ambiente desfavorável, de crise. Tal cenário pode estimular os processos de inovação, aflorar as melhores ideias, na medida em que surgem problemas a serem solucionados.

Neste sentido a inovação tem sido pauta de debates e discussões no ambiente empresarial já há bastante tempo. O termo foi relacionado ao desenvolvimento econômico ainda no século XX por alguns autores, como o renomado economista austríaco Joseph Alois Schumpeter em “A Teoria do Desenvolvimento Econômico” de 1984. Ele afirmou que os consumidores são doutrinados a desejar coisas novas ou diferentes das que habitualmente compram (Schumpeter, 1984).

O Manual de Oslo da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), que é considerado a principal fonte internacional de diretrizes para coleta e uso

de dados sobre atividades inovadoras da indústria, coloca a importância da inovação não somente como um caso específico e sim como a fonte principal do crescimento econômico em proporções nacionais (OCDE, 2006).

Já Steve Jobs, reconhecido como uma das mentes mais criativas e influentes do mundo da tecnologia e fundador da Apple, também fez menções sobre inovação no mundo dos negócios. No livro “A Cabeça de Steve Jobs” de Leander Kahney (2008), o autor relata inovação, na visão de Jobs, como sendo algo sistematizado e intencional. Não baseado em regras ou técnicas sutis que devem ser repassadas em um papel a todos os funcionários da empresa. Para ele a inovação deve fluir naturalmente na empresa, apenas pensando conscientemente em criar produtos excelentes.

Inovação, o ato ou efeito de inovar, tudo que é novidade, coisa nova, são as definições encontradas em dicionários para o termo inovação, porém, quando no âmbito empresarial tem sido conceituado por diversos autores de diferentes áreas.

Schumpeter (1984) definiu em suas palavras que “Inovação é a introdução de novos produtos, novos métodos de produção, a abertura de novos mercados, a conquista de novas fontes de fornecimentos e a adoção de novas formas de organização”.

Neste sentido, inovação também pode ser vista como uma oportunidade para serviços e negócios diferentes, mudança, ou ainda, uma ferramenta para empreendedores, considerada como algo que pode ser ensinado, aprendido e praticado como descreveu Peter Drucker, escritor, professor e consultor considerado o pai da administração moderna (Drucker, 1985).

Ter boas ideias é o primeiro passo para a inovação, porém o desenvolvimento e todo o processo que envolve a evolução da ideia em algo com aplicação prática, e não apenas com o intuito de abrir novos mercados, como também desenvolver diferentes formas de atender mercados já existentes é inovar (Tidd; Bessant, 2015).

De forma sucinta, inovação é a implementação de uma novidade ou melhoria considerável em produto que pode ser um bem ou serviço, ou ainda um processo, um método de marketing ou método organizacional (interno ou externo) (OCDE, 2006).

O entendimento da inovação como um processo é fundamental para inovar e gerenciar inovações, pois a tomada de decisão ocorre de acordo com o pensamento das pessoas e, portanto, as ações tomadas vêm da forma que enxergam as coisas (Tidd; Bessant, 2015).

Para ser considerada uma inovação é preciso avaliar o grau de novidade, que pode ser novo para a empresa, quando a inovação já existe ou é praticada por outras empresas, mas é nova na empresa em questão; nova para o mercado, da mesma forma, a inovação já é existente em outros segmentos, porém é novidade no mercado aplicado e; nova para o mundo, quando a empresa é pioneira na inovação em todos os mercados (OCDE, 2006).

Inovações podem ser em produtos, introduzindo um bem ou serviço novo ou melhorado significativamente e também podem ser de processo, marketing ou organizacional, que

consistem em implementar um novo método para cada um respectivamente. As atividades inovadoras de uma empresa estão relacionadas à variedade e estrutura de suas interações com suas diversas áreas e cada interação pode ligá-la a outras fontes de ampliação do conhecimento e desenvolvimento de inovações. A empresa, quase sempre, é o melhor local para pesquisas de inovações (OCDE, 2006).

A engenharia civil, diferente das demais engenharias, no Brasil não acompanha o movimento tecnológico da indústria como um todo. Os profissionais egressos no mercado tendem a sair de suas formações com uma perspectiva muito genérica e não atualizada na velocidade das tecnologias e inovações que vêm ocorrendo constantemente no setor.

Muitos podem ser os motivos, desde a mudança de cultura e mentalidade do setor, burocracia e qualificação dos profissionais envolvidos nos órgãos de regulação do segmento, entre outros, como para o próprio empresário os impactos de custos em qualificação do seu profissional.

Portanto, mesmo empresas consideradas inovadoras já tendem contratar profissionais atualizados e qualificados dentro da sua gama de atuação. Visto que frente à crise do setor, os recém formados e/ou desempregados de engenharia civil têm se dedicado cada vez mais em obter especializações e se submetido a salários, muitas vezes, não compatíveis aos seus currículos.

Então, esta pesquisa busca levantar o impacto financeiro para empresas de construção civil em Maringá no Paraná da contratação de um profissional de engenharia civil e sua qualificação dentro da empresa, frente à contratação de um profissional já habilitado a desempenhar as funções por ela requerida.

2 | A CONSTRUÇÃO CIVIL E O MERCADO INOVADOR

A construção é uma das indústrias menos inovadoras, principalmente pelo fato de ser um setor bastante pulverizado que tem uma representativa fatia do mercado formado por micro e pequenas empresas. Empresas estas que geralmente não têm estrutura compatível para investimentos em inovação (Schwark, 2006).

Na plataforma de conteúdo digital *Buildin*, a colunista Vanessa Farias pondera sobre o impacto da tecnologia e inovação na indústria da construção, visto que o setor é responsável por cerca de 10% do PIB mundial e ainda assim apresenta alta taxa de improdutividade e retrabalho (Farias, 2018).

De acordo com a publicação da Harvard Business Review no artigo “Wich Industries Are The Most Digital (And Why?)” a Construção Civil ocupa o segundo pior resultado na avaliação baseada na adoção de tecnologias (Gandhi; Khanna; Ramaswamy, 2016).

Frente à revolução industrial em curso, o tema que vem sendo chamado de Indústria 4.0, está fortemente presente em discussões e debates sobre o futuro da construção neste cenário. Vanderley M. John da EMBRAPII (Escola Brasileira de Pesquisa e Inovação

Industrial da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP/Poli USP) afirmou em encontro da Comissão de Materiais, Tecnologia, Qualidade e Produtividade (COMAT) e da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) que a construção civil tem a oportunidade de ajudar a formatar o futuro e que entre outras medidas, o mercado deve passar a medir mais as coisas, pois informação é tudo (CBIC, 2018).

Neste sentido, o desempenho das empresas, da indústria e conseqüentemente do impacto na economia é o que relaciona o interesse na mensuração do processo de inovação, e, este impacto reporta os efeitos sobre o faturamento concomitante às mudanças na produtividade e eficiência, trazendo para o setor, alguns dos considerados os principais incentivos para inovação: competição, demanda e mercados (OCDE, 2006).

Uma das barreiras mais difíceis de romper para a inovação seria a mudança nas crenças da maioria dos agentes do mercado, pois a mudança de mentalidade é o primeiro passo para um ambiente inovador (Schwark, 2006).

A CBIC junto a Fundação Getúlio Vargas (FGV) desenvolve periodicamente um estudo sobre o desempenho da produtividade na construção civil. A pesquisa afirma que, em longo prazo, a produtividade total dos fatores (PTF), considerada uma variável abrangente de todos os eventos que não podem ser atribuídos a quantidade de mão de obra ou capital físico dedicado, esteja fortemente ligada ao progresso tecnológico da empresa (CBIC; FGV, 2016).

As próprias mudanças que o mundo vem passando ratificam a necessidade de estar sempre à frente no mercado, o impacto das mudanças culturais e de valores tem sido um desafio para a indústria e, conseqüentemente, também para as academias que precisam formar os profissionais com as habilidades e competências esperadas pelo mercado. Haja vista que no momento atual, o alto índice de desemprego registrado no Brasil tem mostrado uma grande parcela de mão-de-obra com formação superior que o mercado não absorveu, seja por não necessidade de contratação ou retenção de despesas, como também, muitas vezes, simplesmente pelo perfil não adequado do profissional em questão.

Em fevereiro último, o Brasil abriu 173.139 vagas, segundo dados divulgados pelo Ministério da Economia. De acordo com o Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (CAGED), foi o terceiro mês consecutivo de saldo positivo nas contratações com carteira assinada e o melhor resultado para fevereiro desde 2014. Esse resultado está relacionado em boa parte à maior geração de empregos nos setores da indústria de transformação e construção civil. Ainda segundo dados do CAGED, a construção civil criou 11.097 postos, uma expansão de 0,56% neste período (Rosemberg, 2019).

A construção civil foi um dos mercados mais fortemente impactado e desacelerado com a crise econômica brasileira, porém vem se reestruturando lentamente e gerando empregos.

Quando se aborda a indústria da construção civil, historicamente, em todo o mundo, esta não se apresenta como inovadora. No Brasil não acontece de forma distinta, há

métodos construtivos ainda artesanais e dependentes exclusivamente da qualidade e produtividade da mão de obra que os desempenham, assim como planejamento e gestão dos processos começaram a ser considerados e ter importância no setor, há pouco tempo, infere-se que muitas vezes ainda ocorrem de maneira “forçada”, já que em alguns casos são exigências de organismos reguladores ou financiadores para que as construtoras prospectem suas obras.

A inovação na construção ainda ocorre de forma muito tímida, as empresas, muitas vezes, não possuem recursos financeiros e/ou intelectuais para investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), mas ainda é mais provável que a barreira cultural do setor seja o que mais influencie a falta de incentivos neste mercado para inovações. Entretanto, atribui-se muito a não modernização do setor ao próprio empresariado, porém, estariam os regulamentadores, bem como as academias formando profissionais da área aptos a desempenhar seus papéis frente a atual revolução tecnológica pela qual o mundo vem passando? A necessidade de adaptação para o setor da construção, na medida em que precisa se conectar e evoluir quanto aos processos, ferramentas, procedimentos, materiais, tecnologias, dentre outros aspectos utilizados até então, acompanham, muitas vezes, a evolução do governo frente a isso.

A tecnologia BIM (Building Information Modeling), em português, Modelagem da Informação da Construção, é um novo conceito quando se trata de projetos para construções. Onde diferente do desenho usual em 2D, uma mera representação planificada do que será construído, a modelagem com o conceito BIM trabalha com modelos 3D mais fáceis de assimilar e mais fiéis ao produto final. Nele, as multidisciplinas que envolvem uma construção são compatibilizadas e fornecem um banco de informações todo unificado, evitando falhas, que comumente só seriam identificadas já durante a execução e não na fase de projeto e planejamento (Gonçalves, 2018).

Hoje o BIM é o que há de mais inovador na construção na interface de projetos e planejamento, porém a maioria dos órgãos reguladores ainda não tem profissionais qualificados nesse sistema e, portanto, não exigem os projetos dentro destas plataformas, o que de certa forma acomoda os profissionais em migrar para o novo modelo, bem como ocorre nas academias que, muitas vezes, não possuem o corpo técnico atualizado frente às inovações, tão quanto a grade curricular que não sofre alterações com muita frequência e assim, não acompanham a evolução tecnológica no setor, já formando um profissional, de certa forma, obsoleto para o mercado.

Esse problema de compatibilidade entre o profissional que as academias estão formando e o que o mercado necessita, só contribui nos índices de desemprego, que cada vez aumenta entre os recém-formados em engenharia civil.

A indústria da construção civil, ainda mais frente à crise econômica, espera contratar sempre o melhor custo-benefício, buscando então um profissional completo e atualizado, e de preferência, a baixo custo, o que seria uma oportunidade aos egressos no mercado

de trabalho. Entretanto, a não qualificação adequada somada ao *déficit* de experiência, torna ainda mais difícil a absorção desse profissional pelo mercado, que acaba buscando um profissional já qualificado, que diante da situação de desemprego, muitas vezes aceita remuneração incompatível com suas qualificações e experiências- quando possível - não tendo disponível, algumas até avaliam qualificá-lo dentro da organização, o que impacta ainda mais nos custos da empresa.

3 | CUSTO-BENEFÍCIO DE UM ENGENHEIRO CIVIL NA EMPRESA FORMAL

Segundo a plataforma *online* de salários Glassdoor, o salário médio de um profissional de engenharia civil para uma empresa, na região de Maringá, no Paraná, atualizado em julho de 2019 é de R\$ 6.130,00 reais (Glassdoor, 2019).

Como é sabido, o custo de um funcionário para a empresa não é somente o salário desembolsado por ela todo mês. A Fundação Getúlio Vargas, em pesquisa realizada pela Confederação Nacional das Indústrias, evidenciou que o custo efetivo de um funcionário para a empresa pode chegar a até 3 vezes o valor do salário pago ao trabalhador. E ainda o custo do funcionário pode variar conforme sindicato de classe, regime de apuração da empresa e ramo de atividade (Souza et al., 2012).

A rede Jornal Contábil também aponta que o custo de salário com um funcionário corresponde a 60% ou 70% do seu gasto para a empresa, pois a CLT prevê diversos encargos trabalhistas e existem diversos outros custos variáveis, como o processo seletivo e os treinamentos. Para garantir a saúde financeira empresarial e embasar decisões relativas aos seus colaboradores, é fundamental entender o custo total de um funcionário. Os custos com despesas trabalhistas dependerão do tipo de regime tributário adotado pela sua empresa, já que cada um dos tipos existentes pressupõe diferentes taxas que incidirão sobre o salário do seu colaborador (Jornal Contábil, 2019).

Então, no intuito de estimar o valor gasto pela empresa para se manter ou contratar um profissional de Engenharia Civil em Maringá, considerando a soma das verbas trabalhistas: 13º, adicional de férias, além das contribuições sociais como o INSS, mas desconsiderando ainda vale alimentação e transporte, reunindo os impostos e encargos previstos em lei, os cálculos compreendem o formato abaixo especificado.

Há três tipos de regime tributário: o Simples Nacional, o Lucro Real ou o Lucro Presumido. Cada tipo prevê despesas trabalhistas diferentes, o que modifica os gastos.

O simples nacional é regulamentado pela Lei Complementar nº 123 (2006) e é mais específico, esse regime tem um tratamento tributário diferenciado e favorecido às microempresas e empresas de pequeno porte sob um regime único de arrecadação (Sontag, 2012). Nele, dispensa a empresa do pagamento das contribuições ao SESC, SESI, SENAC e SEBRAE e seus congêneres e também as relativas à contribuição.

O lucro real tem a base de cálculo do imposto sobre a renda, apurado conforme

registros contábeis e fiscais de acordo com as leis comerciais e fiscais (Sontag, 2012). Empresas que excedem um determinado limite de receita total, empresas que usufruem de benefícios fiscais de isenção ou redução do imposto de renda, entre outras são exemplos de contribuintes que optam compulsoriamente por este regime tributário. O lucro presumido é um regime simplificado calculado sobre o Lucro Líquido das empresas que não estiverem obrigadas ao lucro real (Sontag, 2012). Nele a apuração é pela aplicação do percentual correspondente ao tipo de atividade sobre a receita bruta para a atividade no período e no cálculo da receita bruta é permitida a dedução do IPI, descontos incondicionais e vendas canceladas.

Nos custos do profissional deve-se somar então os encargos sociais previstos para o estabelecimento. Todos eles são uma porcentagem sobre a remuneração do trabalhador. Para empresas do tipo Simples Nacional, o 13º salário equivale a 8,33% da remuneração, as férias são 11,11%, o FGTS é 8% e o FGTS com provisão de multa para rescisão de 4%.

Portanto, se o Engenheiro Civil em Maringá ganha em média R\$ 6.130,00, os encargos sociais serão:

- 13º salário = R\$ 510,63;
- férias = R\$ 681,04;
- FGTS = R\$ 490,40;
- multa rescisão = R\$ 245,20.

Dessa forma, mesmo com o vencimento de R\$ 6.130,00, seu funcionário custa realmente R\$ 8.057,27. Isso significa um custo extra de 31,44% sobre o valor inicial.

Para empresas que operam no Lucro Real ou Lucro Presumido, que são a maioria deste segmento, os encargos sociais são diferentes. Além dos pagos pelas empresas do regime Simples Nacional, você deve acrescentar o INSS (20%) e também os percentuais referentes à seguro de acidente (equivalentes a até 3%, foi considerado o máximo), salário educação (equivalentes a 2,5%) e INCRA/SESI/SEBRAE/SENAI (equivalentes a 3,3%).

Então tem-se para somar ainda:

- INSS = R\$ 1.226,00;
- seguro acidente = R\$ 183,90;
- salário educação = R\$ 153,25;
- INCRA/SESI/SEBRAE/SENAI = R\$ 202,29

Portanto, nesse regime, alguém com remuneração de R\$ 6.130,00 custará, na verdade, R\$9.822,71, o que significa 60,24% de custo extra sobre o salário desse profissional. Porém, além de despesas trabalhistas, ainda precisa ser considerado os custos variáveis.

Além dos encargos previdenciários e trabalhistas analisados anteriormente neste

estudo, ainda existem nos custos de um funcionário os benefícios estabelecidos pelas Convenções Coletivas de Trabalho, como café da manhã, cesta básica, seguro de vida, entre outros. Estes itens também possuem uma participação expressiva nos custos da mão de obra do setor e devem ser avaliados de acordo com a particularidade de cada Convenção Coletiva, mas não foram considerados neste caso.

E, considerando que quanto mais tempo de empresa, menos o profissional custará, já que ao contratar uma pessoa nova, é preciso investir em treinamento e capacitação para que ela cumpra com as suas funções e também, o profissional contratado demora alguns meses para atingir o nível máximo de produtividade. No entanto, se ainda assim uma nova contratação se fizer necessária, a capacitação do profissional dentro da empresa onera ainda mais as despesas e, portanto é visto como fraqueza do currículo, na avaliação para contratação do profissional, ele não estar previamente qualificado e atualizado dentro das inovações já presentes no mercado em questão e no segmento de atuação da empresa, além de que impactaria ainda o prazo para retorno e aplicação dos conhecimentos obtidos pelo profissional, já que o tempo médio de uma especialização é de 2 anos.

4 | CONCLUSÃO

Desta forma, pode-se concluir que realmente é muito oneroso a uma empresa de construção um profissional de engenharia civil, considerando ainda o momento atual de crise vivido pelo setor e o fato de grande parte dessa indústria ser representada por empresas de médio e pequeno porte, o impacto financeiro nelas é ainda maior, o que corrobora para tantas empresas ainda atuarem no mercado informal e/ou burlar códigos de ética contratando profissionais com funções inferiores a seus currículos, ou ainda, não seguir convenções como pisos salariais da categoria, que por outro lado, tem-se o profissional que se submete a essas condições, diante da situação de desemprego.

Tendo alcançado o objetivo de levantar o impacto financeiro para as empresas de construção civil de uma cidade do interior do Paraná na contratação de um profissional de engenharia civil e conforme reforçado a condição de aceitação do profissional já habilitado a desempenhar as funções por ela requerida, frente à contratação de um profissional que ainda teria que ser capacitado dentro da empresa, os custos dele impactariam ainda mais, tornando inviável sua contratação.

Aos profissionais da área sugere-se então a constante atualização diante das inovações existentes no mercado. Outra possível discussão seria sobre as academias atualizarem seu corpo docente e, conseqüentemente, sua grade curricular no intuito de formar profissionais mais adequados ao mercado atual, considerando a demanda da região onde ela se encontra. Também, os órgãos reguladores, governamentais e financiadores da categoria, da mesma forma atualizar seus colaboradores e regulamentar a implementação de tecnologias inovadoras para o setor.

REFERÊNCIAS

Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Cbic hoje - indústria 4.0 e o futuro da construção são discutidos em reunião da Comat/CBIC**. 2018. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2018/06/CBIC-HOJE-14.06.2018-1.pdf>. Acessado em 10 de jan. de 2020.

_____. **Desempenho da produtividade da construção civil**. Estudo CBIC e FGV. 2016. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/070.pdf>. Acessado em 23 de dez. de 2019.

_____. **Sondagem da construção: aumento de otimismo com cautela**. 2018. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/media/anexos/Sond-Outt18.pdf>. Acessado em 15 de dez. de 2019.

DRUCKER, P. F. **Innovation and entrepreneurship**. New York: Harper & Row, 1985.

GANDHI, P.; KHANNA, S.; RAMASWAMY, S. **Wich industries are the most digital (And Why?)**. Harvard Business Review. 2016. Disponível em: <https://hbr.org/2016/04/a-chart-that-shows-which-industries-are-the-most-digital-and-why>. Acessado em 03 de jan. de 2020.

GLASSDOOR. **Salários de engenheiro civil em Maringá**. Disponível em: https://www.glassdoor.com.br/Sal%C3%A1rios/maring%C3%A1-engenheiro-civil-sal%C3%A1rio-SRCH_IL.0,7_IC2389177_KO8,24.htm. Acessado em 25 de jul. de 2019.

GONÇALVES, F. **BIM: tudo o que você precisa saber sobre esta metodologia**. Disponível em: <http://maisengenharia.altoqi.com.br/bim/tudo-o-que-voce-precisa-saber/>. Acessado em 25 de jul. de 2019.

KAHNEY, L. **A cabeça de Steve Jobs**. Tradução Maria Helena Lyra Carlos Irineu da Costa. 4ª reimpressão. Título original: Inside Steves Brain. Copyright da tradução © 2008, Agir Editora Copyright ©, 2008.

Lei Complementar n. 123, de 14 de dezembro de 2006. Institui o estatuto nacional da microempresa e da empresa de pequeno porte. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 2006. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp123.htm. Acessado em 25 de mar. de 2020.

Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Manual de Oslo: diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação. 3. ed. Brasília: FINEP, 2006.

Rede de Jornal Contábil. **Custo de um funcionário na empresa: aprenda como calcular**. Disponível em: <https://www.jornalcontabil.com.br/custo-de-funcionario-aprenda-agora-como-calcular/>. Acessado em 25 de jul. de 2019.

ROSEMBERG, J. **Emprego reage em fevereiro, e Brasil tem maior criação de vagas em 5 anos**. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/economia/em-fevereiro-brasil-cria-173-mil-empregos-com-carteira-assinada/>. Acessado em 25 de jul. de 2019.

SAWHNEY, M.; WOLCOTT, R.C.; ARRONIZ, I. **The 12 different ways for companies to innovate**. MIT Sloan Management Review, Spring, p. 75-81, 2006.

SCHUMPETER, J.A. **A teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e ciclo econômico**. São Paulo: Nova Cultural, 1984.

SCHWARK, M.P. **Inovação: porque o desinteresse na indústria da construção civil**. In: Instituto UNIEMP (São Paulo) (Org.). Inovação em construção civil: coletânea 2006. São Paulo: Instituto UNIEMP, 2006.

SONTAG, A.G. **Tributação do ISS para os escritórios de contabilidade optantes do Simples Nacional: um comparativo entre o ISS fixo e variável no município de Marechal Cândido Rondon - PR**. Ciências Sociais Aplicadas em Revista, v.11, n.1, p.175-193, 2012.

SOUZA, A. P.; et al. **Custo do trabalho no brasil proposta de uma nova metodologia de mensuração**: Relatório Final. 2012. Elaborado por FGV. Disponível em:[https://cmicro.fgv.br/sites/cmicro.fgv.br/files/file/Custo%20do%20Trabalho%20no%20Brasil%20-%20Relat%C3%B3rio%20Final\(1\).pdf](https://cmicro.fgv.br/sites/cmicro.fgv.br/files/file/Custo%20do%20Trabalho%20no%20Brasil%20-%20Relat%C3%B3rio%20Final(1).pdf)>. Acesso em: 25 jul. 2019.

TIDD, J.; BESSANT, J. **Gestão da inovação**. Tradução de Félix Nonnenmacher, Gustavo Arthur Matte. 5. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2015.

ANÁLISE OBSERVACIONAL GEOLÓGICA- GEOTÉCNICA DE UM TRECHO DA RODOVIA DO CAFÉ

Data de aceite: 01/06/2020

Data de submissão: 26/05/2020

Amanda Fernandes de Oliveira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Câmpus Apucarana
Apucarana – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/0360341325689389>

Leonardo Cesar de Souza Sowinski

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Câmpus Apucarana
Apucarana – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/6919035985892181>

Gabrielly De Souza dos Santos

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Câmpus Apucarana
Apucarana – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/1662288832292294>

Alex Sandro da Costa

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Câmpus Apucarana
Apucarana – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/4963052861130059>

Mariana Alher Fernandes

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Câmpus Apucarana
Apucarana – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/8306073552294378>

RESUMO: O número de casos de ruptura de talude e movimento de massa no Brasil indica a necessidade da investigação dos fatores e das causas atuantes nesse processo. A presença de taludes e encostas naturais em trechos de rodovia faz com que sejam executadas obras de contenção e/ou proteção com a finalidade de garantir a segurança de seus usuários. O presente trabalho tem como objetivo realizar o levantamento fotográfico e identificar obras de proteção e/ou obras de contenção de taludes em um trecho da Rodovia do Café (BR-376) situado entre o município de Apucarana e o distrito de Pirapó, Paraná. O estudo foi realizado no período de 2016 a 2019 a partir de levantamento de imagens de satélites e registro fotográfico em campo, totalizando quatro pontos estudados. A coleta de informações foi baseada em critérios a fim de registrar as características de cada local. Nesta pesquisa foram identificadas obras de drenagem superficial como escada d'água, canaletas de berma, canaletas de pista além de obras de proteção superficial como cobertura vegetal do tipo gramínea. Também não foram observados escorregamento de solo bem como queda ou deslocamento de material rochoso.

PALAVRAS-CHAVE: Rodovia, Talude, Inspeção Visual, Solos, Rochas.

GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL OBSERVATIONAL ANALYSE OF A SECTION ON THE CAFÉ HIGHWAY

ABSTRACT: The number of cases of landslide and mass movement in Brazil indicates the requirement to investigate the factors and the causes involved in this process. The presence of slopes and natural hill in a section of the highway causes to be employed restraint works and protection works with the purpose of ensure the safety of their users. The present study aims to execute photographic survey and identify restraint works and protection works in a section on the Café Highway (BR-376), located between the county of Apucarana and the township Pirapó, Paraná. The study was accomplished for the period 2016-2019 through satellite images and photographic record, totalizing four points. The gathering of information was based on criteria for the purpose of register the characteristics of each location. In this research were identified surface drainage works such as water ladder and curb channel besides the surface protection works such as vegetation cover like grasses. Furthermore landslide as well as falling or debarking of rock material weren't observed in theses points.

KEYWORDS: Highway, Slope, Visual Survey, Soils, Rocks.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo Caputo (1987), a necessidade da manipulação e estudo do solo vem desde os primórdios da civilização. Os problemas ocasionados ao longo do tempo como a ruptura de taludes, recalques de grandes edifícios em todo território mundial trouxe à tona a necessidade do estudo detalhado e quantitativo do solo, incluindo a verificação da estabilidade de taludes.

A malha viária brasileira tem grande importância visto que além de interligar e permitir o deslocamento entre inúmeras regiões também se torna essencial para o desenvolvimento da economia do país. Em projetos de implantação e execução de rodovias em locais com encostas declivosas e íngremes tem-se a finalidade de garantir a segurança global e a minimização de danos a terceiros para isso, sendo necessário muitas vezes realizar amplas obras de terraplenagem e de contenções (GRANDO et al., 2014).

Silveira (2008) define movimento de massa como mecanismo de transporte de sedimentos, solos ou rochas influenciadas pela força gravitacional e pelas forças externas como intemperismo, pluviosidade, execução de corte e aterro, presença de água, entre outros. A movimentação de massa e deslizamento de terra em taludes pode trazer não apenas prejuízos financeiros, mas também riscos à vida humana, como por exemplo, a ocorrência de soterramentos em áreas próximas às encostas e taludes (DONASSALLO, 2017).

Marangon (2006) menciona que as obras de contenção podem ser divididas em dois

grupos: obras com ou sem estrutura de contenção. Portanto, de acordo com o mesmo autor, proteção superficial como revestimento natural (como gramínea) e revestimento artificial (como cimentada) além do retaludamento de talude/encosta são técnicas empregadas nas obras em que não há necessidade de estrutura de contenção. Por outro lado, nos locais que necessitam de obras estrutura de contenção podem ser empregados muros de gravidade (feitos de pedra, concreto ou gabiões), cortinas atirantadas, muro de terra armada, muro de solo envelopado, dentre outras técnicas que poderão ser escolhidas de acordo com as características geológico-geotécnicas do local bem como do custo envolvido na sua execução.

Parisotto et al. (2017) abordam em seu trabalho realizado para um trecho da BR-470 no Rio Grande do Sul que simples inspeções visuais seriam boas ferramentas de controle no estudo de rodovias sem informações de problemas de cunho geotécnico, podendo colaborar com o órgão responsável pela rodovia ou até mesmo antecipar futuros problemas diagnosticados nessa inspeção.

Nesse sentido, o presente artigo trata de uma inspeção observacional com a finalidade de identificar obras de contenção e/ou de estabilidade de talude bem como obras de drenagem superficial e subsuperficial para um trecho da Rodovia do Café (BR-376) situado entre o município de Apucarana e o distrito de Pirapó no período de 2016 a 2019. Para isso, foram utilizadas imagens de satélites para escolha dos locais no trecho supracitado e realizado o registro fotográfico na visita em campo.

2 | ÁREA DE ESTUDO

O município de Apucarana está localizado na região Norte do Estado do Paraná, latitude de 23°33'03" S e longitude de 51°27'39" W tendo população total de 131.571 habitantes. A área territorial equivale a 555,395 km² e dista 362 km da capital, Curitiba, tendo altitude média entre 800 m a 1000 m no divisor de água das bacias, entre a BR-369 e PR-170 (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE APUCARANA, 2017). Na classificação de Köppen, o município possui clima do tipo Cfa (Subtropical Úmido Mesotérmico) e de acordo com a série histórica de 1962 a 2002 do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), apresenta temperatura média anual de 20,6° C além de precipitação média anual de 1637 mm.

A área do município sofre influência da Bacia Hidrográfica do rio Ivaí, da Bacia Hidrográfica do rio Tibagi e da Bacia Hidrográfica do rio Pirapó; possuindo próximo da concentração urbana solos classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) como nitossolo e latossolo (MANOSSO, 2005; PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE APUCARANA, 2017).

De acordo com Dantas (2005), o município de Apucarana está localizado no Terceiro

Planalto Paranaense, sobre os estratos rochosos da Formação Serra Geral. Em toda a extensão desse município, o substrato rochoso é formado por uma série de derrames vulcânicos apresentando predominantemente rochas basálticas e andesi-basálticas (MANOSSO; NÓBREGA, 2008).

Prestes e Volkmer (2017) mencionam em seu trabalho que o Planalto de Apucarana está caracterizado por apresentar declividades variando de 360 m a 740 m; distribuição das classes de declividade entre 12% e 30%; ocorrência predominante de colinas de topos alongados, vertentes convexas ou vales em forma de “V”. A Figura 1 ilustra a localização do município de Apucarana, destacando a hidrografia, a mancha urbana e o limite do município além da variação da declividade na área territorial.

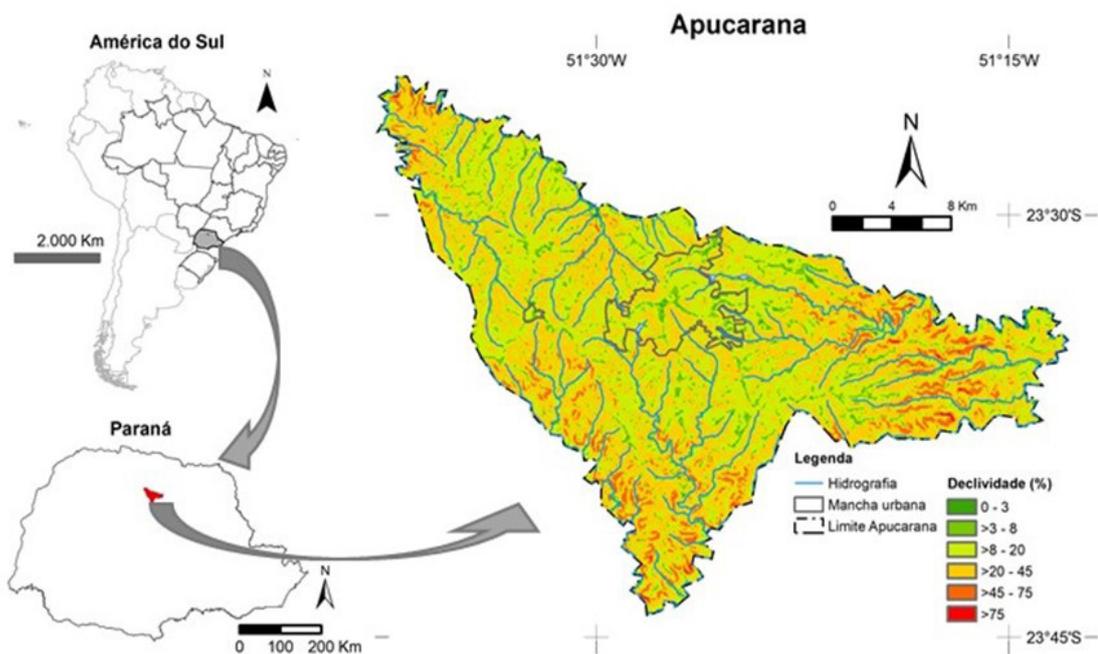


Figura 1 – Localização da área de estudo.

Fonte: Fernandes *et al.* (2019)

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

O reconhecimento do local foi feito a partir da coleta de informações para um trecho da Rodovia do Café (BR-376), localizado próximo ao município de Apucarana (denominado como Contorno Sul) e do distrito de Pirapó. Para isso, foi percorrido o trecho do km 231 ao km 245 da referida rodovia com a finalidade de identificar obras de contenção e/ou de estabilidade de talude (corte e aterro) bem como obras de drenagem superficial e subsuperficial. Vale ressaltar que esta pesquisa é de âmbito apenas observacional estando baseada em relatórios de inspeção de campo e registros fotográficos não tendo o intuito de quantificar bem como analisar a estabilidade dos taludes ou funcionamento de dispositivos de drenagem e obras de contenção. Portanto, a Figura 2 corresponde a uma

imagem de satélite do denominado do trecho da BR-376 entre o município de Apucarana e do distrito de Pirapó, estando destacada na imagem a linha na cor azul representando o trecho da rodovia objeto deste estudo enquanto que os pontos A e B equivalem próximos aos km 231 e km 245, respectivamente.

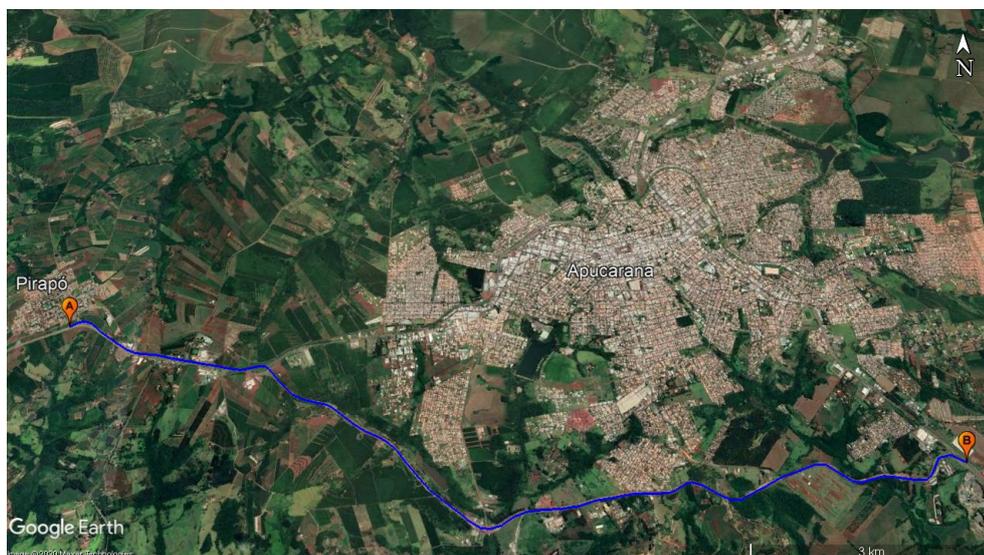


Figura 2 – Rodovia do Café (BR-376), trecho km 233 ao km 245.

Fonte: Google Earth Pro (2020)

A escolha dos pontos para inspeção *in loco* foi feita baseada num levantamento prévio de imagens por satélites fornecidas pelo *Google Maps*. Dessa maneira, foram mapeados os pontos a serem inspecionados na visita em campo, totalizando 4 pontos. É importante mencionar que as informações foram coletadas para cada ponto inspecionado na rodovia relativos à localização, aspectos e características locais, estando alguns itens adaptados e baseados no Laudo de Vistoria (Anexo C) presente na NBR 11682 – Estabilidade de encostas (ABNT, 2009), conforme listado abaixo.

- Identificação do local vistoriado
- Trecho da rodovia (localização)
- Coordenada UTM
- Natureza do material
- Tipo de vegetação e condições
- Registro fotográfico
- Croqui de uma seção típica
- Observações (caso seja necessário)

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 apresenta a localização dos pontos (1 ao 4) na imagem por satélite para o trecho da rodovia estudado. A seguir constam apresentadas as informações a respeito

de cada um desses pontos, todas baseadas nos critérios mencionados no item anterior.

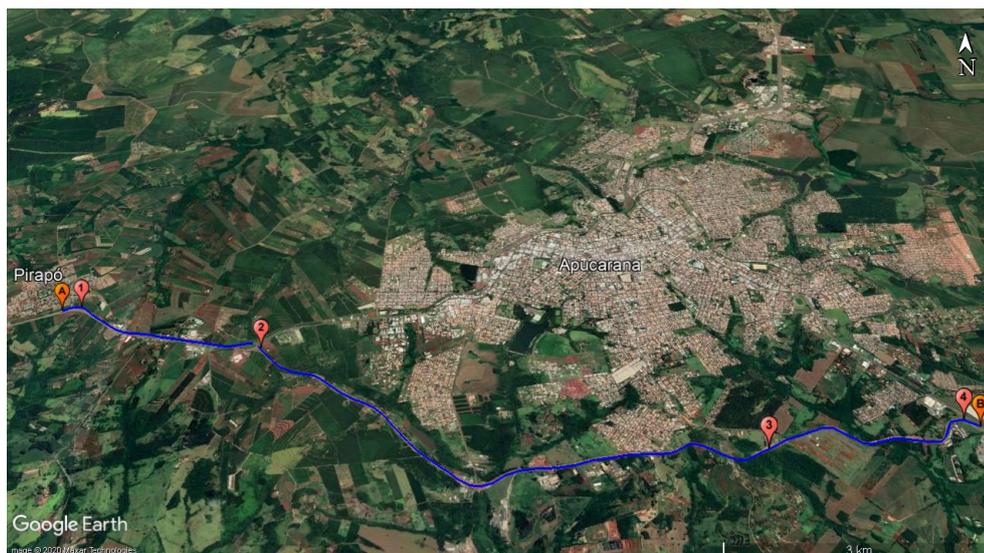


Figura 3 – Localização dos Pontos 1 ao 4 para o trecho da rodovia estudado.

Fonte: Google Earth (2020)

Ponto 1

A coleta de informações e vistoria de campo para o primeiro ponto (denominado como Ponto 1) de estudo resultou em:

- Identificação do local vistoriado: talude de corte, conforme mostra a Figura 4
- Trecho da rodovia (localização): km 230+250 LD/LE;
- Coordenada UTM: zona 22, 445486.56 m E; 7394167.20 m S;
- Natureza do material: solo;
- Tipo de vegetação e condições: presença de escassa cobertura vegetal na face e pequenos arbustos na crista do talude;
- Registro fotográfico: as imagens fotográficas foram registradas *in loco* no ano de 2018, como mostram a Figura 5, e são referentes ao talude da alça de acesso para o distrito de Pirapó;
- Croqui de uma seção típica: o croqui ilustrado na Figura 6 representa uma possível seção típica dessa localidade, tendo sido estimada uma altura média de 5,50 m para essa representação;
- Observações (caso seja necessário): embora apresente uma cobertura vegetal escassa na face do talude da alça de acesso, não sendo possível identificar pontos com presença de feições erosivas mesmo o solo estando exposto. Além disso, foi identificada existência de uma escada d'água e de canaleta de pista nessa alça de acesso, não sendo observado escorregamento de solo.



(a)

(b)

Figura 4 – Rodovia BR-376 km 230+250 LD/LE em (a) 10/07/2016 (b) 17/07/2017.

Fonte: Google Earth Pro (2020)



(a)

(b)

Figura 5 – Talude terroso no trecho estudado (a) presença escassa de cobertura vegetal (gramíneas) na face do talude e de canaleta de pista (b) detalhe da escada d'água.

Fonte: Autoria própria (2020)

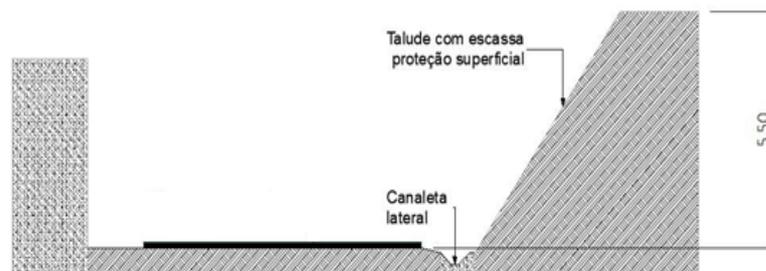


Figura 6 – Croqui de uma seção do talude terroso.

Fonte: Autoria própria (2020)

Ponto 2

A coleta de informações e vistoria de campo para o segundo ponto (denominado como Ponto 2) de estudo resultou em:

- Identificação do local vistoriado: talude de corte;
- Trecho da rodovia (localização): km 232+730 LD;
- Coordenada UTM: zona 22, 448132.30 m E; 7393444.54 m S;
- Natureza do material: solo;
- Tipo de vegetação e condições: presença de cobertura vegetal por gramíneas em

determinadas porções do talude, enquanto em outras porções, apresenta solo exposto na face desse talude;

- Registro fotográfico: as imagens fotográficas desse talude foram capturadas no Google Earth Pro no ano de 2019, como apresenta as imagens na Figura 7;

- Croqui de uma seção típica: não será apresentado um croqui da seção desse ponto;

- Observações (caso seja necessário): conforme apresentam as imagens na Figura 7, foi possível identificar localidades do talude terroso sem presença de cobertura vegetal (gramínea) e com solo exposto. Provavelmente, por esse motivo foi identificado nessa localidade algumas incisões erosivas do tipo sulco, especialmente a apresentada na Figura 7c, provocando perda de partículas de solo devida erosão pelo escoamento da água da chuva. Além disso, não foi observado escorregamento de solo.

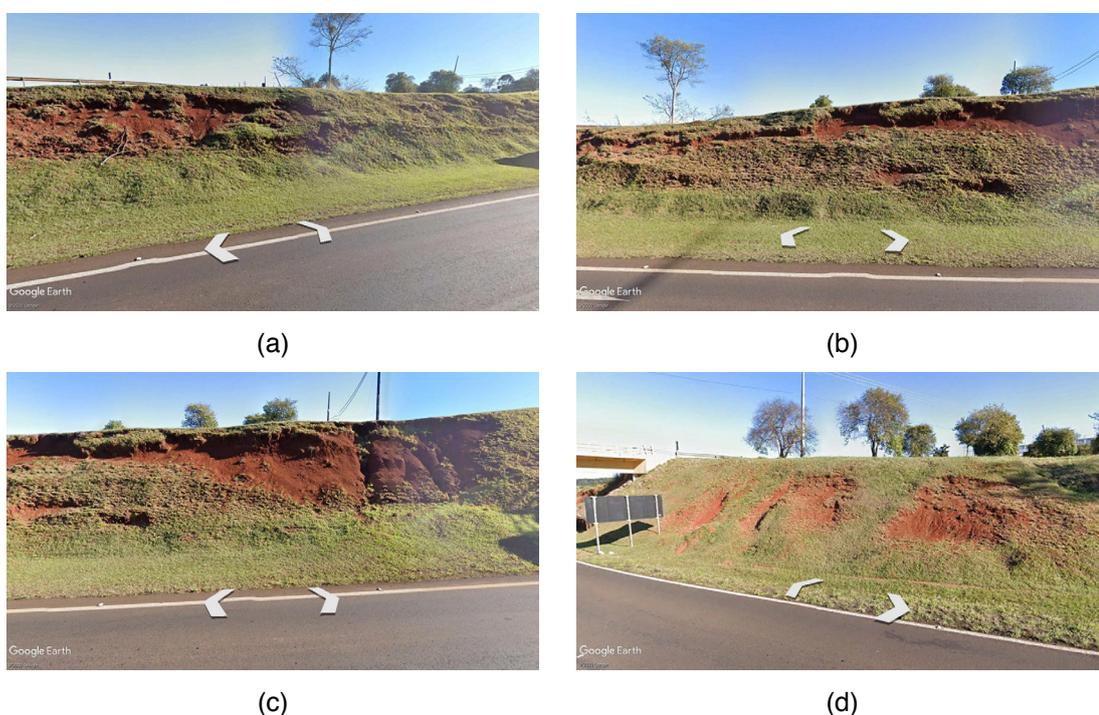


Figura 7 – Rodovia BR-376 km 232+730 LD (a) e (b) pequena porção da face do talude terroso com solo exposto (c) e (d) presença de pequenos sulcos em algumas localidades da face do talude terroso.

Fonte: Google Earth Pro (2020)

Ponto 3

A coleta de informações e vistoria de campo para o terceiro ponto (denominado como Ponto 3) de estudo resultou em:

- Identificação do local vistoriado: talude de corte;
- Trecho da rodovia (localização): km 241+25 LD/LE;
- Coordenada UTM: zona 22, 454579.73 m E; 7391911.28 m S;
- Natureza do material: rocha (provavelmente rocha ígnea, basalto);
- Tipo de vegetação e condições: cobertura vegetal composta de gramíneas (na crista e em porções da face do talude) e pequenos arbustos presentes na crista do talude;

- Registro fotográfico: as imagens fotográficas desse talude foram registradas *in loco* no ano de 2018, conforme ilustra a Figura 8, sendo possível identificar nela a presença de canaleta de pista próximo ao acostamento para drenagem da água superficial;

- Croqui de uma seção típica: a Figura 9 ilustra o croqui de uma possível seção típica do talude identificado no Ponto 3, tendo sido estimada uma altura média de 8,00 m para sua representação;

- Observações (caso seja necessário): não foi possível visualizar obras de contenção do talude rochoso, como telas metálicas e chumbadores, por exemplo. Além disso, também foi possível identificar a canaleta de pista, ao lado do acostamento, e notar a presença de cobertura vegetal nos taludes (LD/LE). Ademais, não foi notado ocorrência de deslocamento ou queda de material rochoso do talude no dia da visita em campo.



Figura 8 – Rodovia BR-376 km 241+25 LD/LE (a) vista do talude rochoso (b) detalhe de uma porção desse talude, sem ocorrência de deslocamento ou queda de bloco rochoso.

Fonte: Autoria própria (2020)

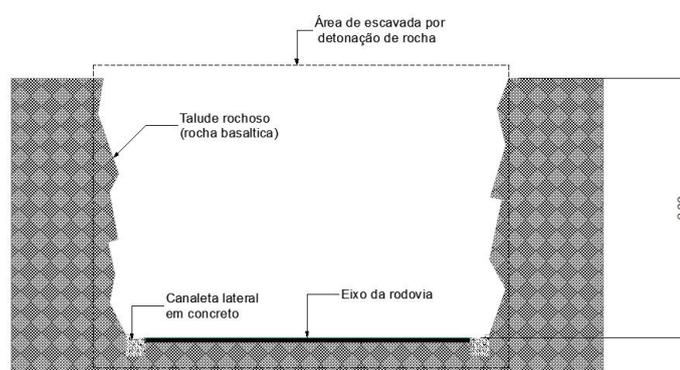


Figura 9 – Croqui de uma seção típica do talude rochoso.

Fonte: Autoria própria (2020)

Ponto 4

A coleta de informações e vistoria de campo para o quarto ponto (denominado como Ponto 4) de estudo resultou em:

- Identificação do local vistoriado: talude de aterro e obra de arte (viaduto), conforme mostram a Figura 10 e Figura 11;

- Trecho da rodovia (localização): BR-376 km 244+310 LD/LE;

- Coordenada UTM: zona 22, 457091.51 m E; 7392341.70 m S;

- Natureza do material: solo;

- Tipo de vegetação e condições: cobertura vegetal composta por gramíneas;

- Registro fotográfico: as imagens fotográficas apresentadas na Figura 11 foram capturadas no Google Earth Pro no ano de 2019 enquanto que as imagens da Figura 12 foram registradas *in loco* no ano de 2018;

- Croqui de uma seção típica: não será apresentado um croqui da seção desse ponto, diante da dificuldade em representar os tipos de obras de proteção e drenagem superficial identificados no local;

- Observações (caso seja necessário): durante o levantamento das imagens de satélites, foi constatada falta de cobertura vegetal (gramínea) em uma porção de talude terroso próximo ao viaduto (BR-376 km 244+310 LD) e que certamente está associado com a falta dessa vegetação, nota-se o aparecimento de pequenos sulcos na face do talude, como mostra a Figura 13. Além disso, de acordo com as imagens apresentadas na Figura 12, nota-se a presença de diversos tipos de obras de proteção superficial, como gramíneas, e obras de drenagem superficial, como canaletas e escadas d'água.

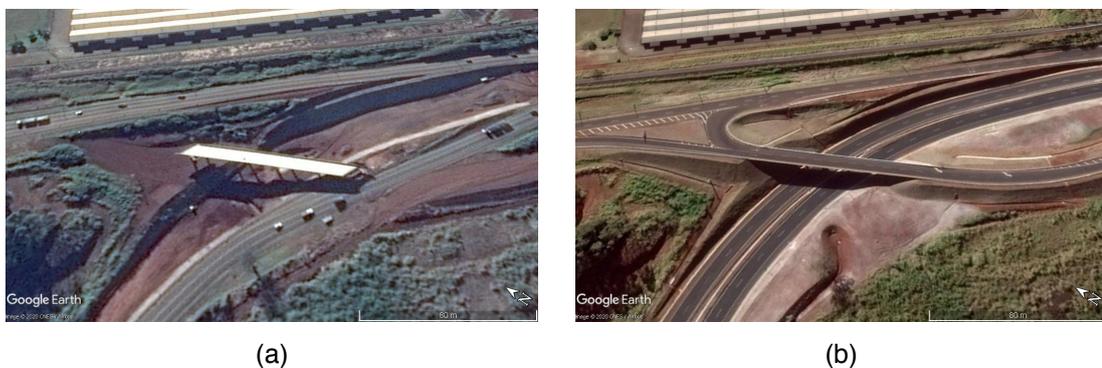


Figura 10 – Vista do talude de aterro e obra de arte (viaduto) em (a) 10/07/2016 (b) 25/07/2017.

Fonte: Google Earth Pro (2020)



Figura 11 – Rodovia BR-376 km 244+310 LD/LE (a) sentido Maringá (b) sentido Curitiba.

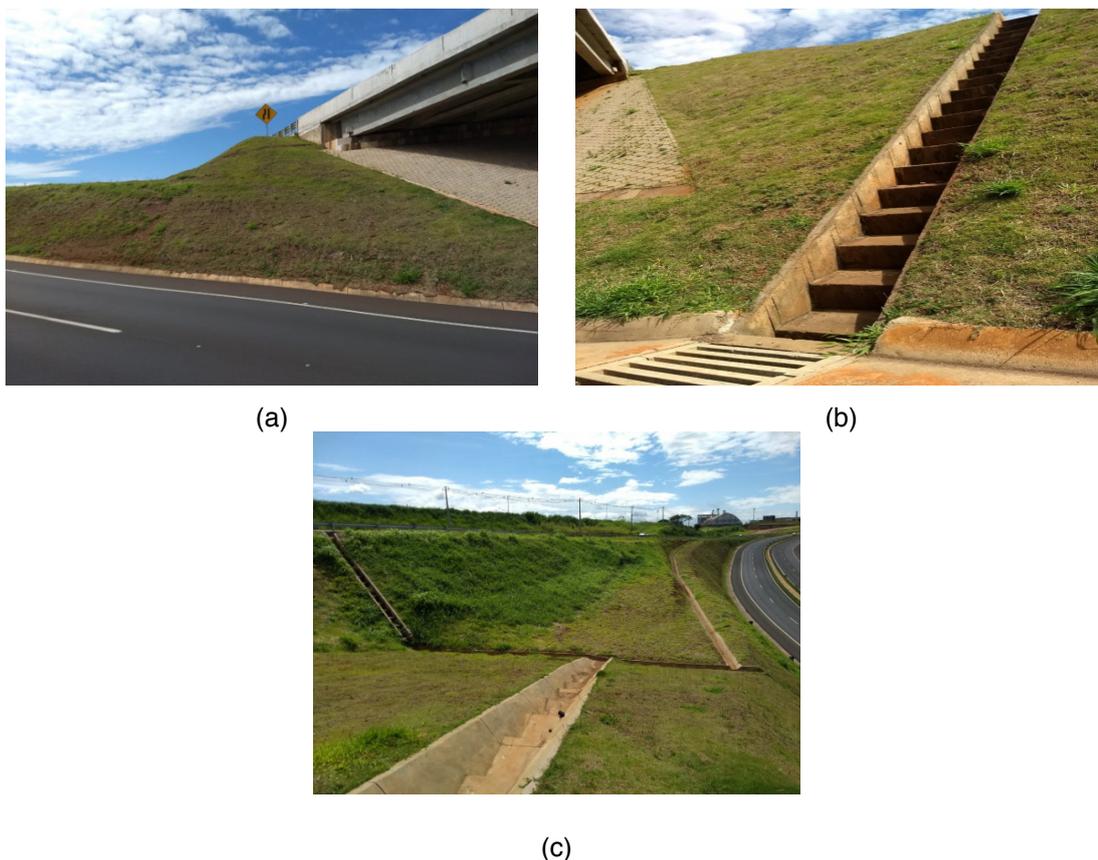


Figura 12 – Vista do Ponto 1 na BR-376 km 244+310 LE (a) presença de cobertura vegetal no talude de aterro (b) detalhe da escada d’água e canaleta de pista próximo ao viaduto (c) presença de canaleta de berma e escada d’ água.

Fonte: Autoria própria (2020)



Figura 13 – (a) Talude terroso no trecho estudado da BR-376 km 244+310 LD (b) presença de pequenos sulcos na face do talude.

Fonte: Google Earth Pro (2020)

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do levantamento fotográfico e da visita em campo no trecho da Rodovia do Café (BR-376) entre os km 231 e 245, resultou na inspeção de quatro pontos (denominados de Ponto 1 ao 4), sendo identificados locais com talude de aterro em solo, talude de corte em solo e talude de corte em rocha. Nestes pontos não foram observados movimento de massa como escorregamento e queda sendo apenas observados que em alguns locais desses taludes não existia presença de cobertura vegetal (como gramíneas, por exemplo)

ou até mesmo apresentava escassa cobertura vegetal. Certamente em decorrência desse fato é que foi notada a presença de pequenos sulcos na face desses taludes que, devido às características pedológicas do latossolo e nitossolo quanto a suscetibilidade à erosão, podem ser favoráveis ao desenvolvimento de feições erosivas. Além disso, também foi possível identificar presença de obras de drenagem superficial nesses taludes como canaleta de pista, canaleta de berma e escada d'água. Em especial para o talude rochoso, não foi observada queda ou deslocamento de blocos de rocha. Destaca-se novamente que este trabalho não tem a finalidade de analisar a estabilidade dos taludes bem como avaliar o funcionamento das obras de proteção e/ou drenagem apenas de identificar nos locais o tipo de obra existente. Ademais, também salienta-se que grande parte do trecho estudado dessa rodovia encontra-se atualmente em processo de duplicação, uma vez que este levantamento foi conduzido no período de 2016 a 2019, podendo por exemplo ter ocorrido alguma mudança de geometria nesses taludes ou movimentação de terra para os pontos levantados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682: Estabilidade de taludes**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 33 p.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e suas aplicações: Fundamentos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1988.

DANTAS, T. **Expansão urbana e a problemática ambiental – estudo de caso do Lago Jaboti, Apucarana (PR)**. Caminhos de Geografia, vol. 10, n. 15, p. 93-107, jun. 2005.

FERNANDES, M. A., SILVA, J. R. O., FIORINI, M. R. S., BACOCINA, T. R., POLLA, V. A. P. **Mapeamento de processos erosivos na área urbana do município de Apucarana utilizando inspeções de campo**. In: ENCONTRO DE GESTÃO INTEGRADA DE ÁGUAS URBANAS, 2., 2019, Apucarana. *Anais...* Apucarana, 2019. p. 128-138.

GOOGLE EARTH PRO. In: **Google Earth Pro**. Versão 7.3.3.7699. [S. l.]: Google, 2020. Disponível em: <https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>.

GRANDO, A.; CORDEIRO, R. F.; TEIXEIRA, V. H.; REGINATTO, G. M. P.; SANTOS, G. I. T.; MACCARINI, M. **Análise geológica e geotécnica da instabilidade de um talude: Estudo de caso da BR-476/PR**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 17., 2014, Goiânia. *Anais...* Goiânia, 2014. p. 1-6.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Médias Históricas de Apucarana**. Disponível em: http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Apucarana.htm. Acesso em: 17 abr. 2020.

MANOSSO, F. C.; NÓBREGA, M. T. **A estrutura geocológica da paisagem como subsídio a análise geoambiental no município de Apucarana-PR**. Revista Geografar, vol. 3, n. 2, p. 86-116, jul./dez. 2008.

MARANGON, M. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra**. Juiz de Fora: 2006. (Apostila).

PARISOTTO, G. D.; DOS SANTOS, T. M. B.; FLORIANO, C. F.; PACHECO, L. M. Uma simples inspeção

observacional de encostas: exemplo em um trecho da BR-470/RS. In: SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL, 9., 2017, Caxias do Sul. *Anais...* Caxias do Sul, 2017. p. 1-11.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE APUCARANA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Caderno I, Diagnóstico**. 2017. Disponível em: <http://www.apucarana.pr.gov.br/site/wp-content/uploads/pdf/PMSB_Apucarana_DIAGNOSTICO-2017.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2020.

PRESTES, B. M. M.; VOLKMER, S. **Geomorfologia e controle estrutural de diques na Região Centro-Norte do estado do Paraná**. Revista Brasileira de Geografia Física, vol. 10, n. 3, p. 981-992, abr. 2017.

SILVEIRA, R. M. **Comportamento Geotécnico de um solo coluvionar de São Vendelino (RS)**. 2008. 302 f. Tese (Doutorado – Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SOBRE OS ORGANIZADORES

FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO - Engenheira Civil (Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG/2006), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2009, Mestre em Ensino de Ciências e Tecnologia (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2016). Trabalha como Engenheira Civil na administração pública, atuando na fiscalização e orçamento de obras públicas. Atua também como Perita Judicial em perícias de engenharia. E-mail para contato: francielebmachado@gmail.com

LUCIO MAURO BRAGA MACHADO - Bacharel em Informática (Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG/1995), licenciado em Matemática para a Educação Básica (Faculdade Educacional da Lapa – FAEL/2017), Especialista em Desenvolvimento de Aplicações utilizando Tecnologias de Orientação a Objetos (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/ 2008). É coordenador do Curso Técnico em Informática no Colégio Sant’Ana de Ponta Grossa/PR onde atua também como professor desde 1992, também é professor na Faculdade Sant’Ana atuando nas áreas de Metodologia Científica, Metodologia da Pesquisa e Fundamentos da Pesquisa Científica e atua como coordenador dos Sistemas de Informação e do Núcleo de Trabalho de Conclusão de Curso da instituição. E-mail para contato: machado.lucio@gmail.com

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adição Mineral 1, 2, 3, 4, 7, 12, 14, 15, 17, 18, 19, 22, 31

Adiciones Minerales 62

Agregado Cerâmico 49, 53, 55, 57, 58

Análise Estrutural 193, 194, 208, 217

Argamassa 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 25, 26, 30, 33, 46, 49, 51, 57, 58, 59, 81, 85, 86, 90, 95, 96, 97, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 111, 112, 113, 114, 115, 117, 121, 123, 149, 153, 157, 158, 159, 160

Argamassa de Assentamento 49, 113

Argamassas 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 21, 25, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 79, 80, 82, 83, 95, 96, 97, 99, 100, 101, 103, 104, 105, 106, 111, 112, 114, 115, 116, 118, 123, 130, 132

Autonivelante 1, 2, 3, 4, 9, 15, 16

Avaliação Funcional 165

B

Baixo Custo 59, 114, 115, 239, 261

Bioetanol 64, 79, 80, 81, 95

C

Canalização 133, 136

Cimento 61, 62, 63, 67, 68, 69, 70, 71, 74, 75, 76

Colombia 61, 62, 63, 64, 65, 66, 69, 74, 75, 76

Concreto 15, 17, 18, 19, 20, 29, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 59, 60, 61, 62, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 79, 80, 81, 82, 95, 96, 100, 101, 105, 108, 116, 123, 128, 129, 130, 139, 140, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 159, 161, 162, 163, 169, 199, 201, 202, 207, 208, 210, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 233, 236, 237, 269

Construção 1, 2, 3, 16, 36, 38, 46, 47, 48, 49, 50, 59, 60, 79, 80, 86, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 107, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 122, 124, 125, 126, 130, 131, 132, 139, 141, 144, 145, 147, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 157, 161, 162, 163, 164, 177, 179, 185, 194, 210, 237, 243, 246, 247, 248, 250, 255, 256, 257, 259, 260, 261, 264, 265

Contrapiso 2, 3, 15, 104

D

Demolição 49, 52, 59, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 107, 111, 112, 113, 124, 126, 132

Dimensionamento 133, 134, 135, 136, 137, 152, 197, 210, 213, 217, 221, 224, 225, 226, 229, 230, 231, 235, 237

Drenagem em Pavimentos 165

E

Edifício Empresarial 149, 150

Elementos Finitos 209, 210, 213, 216, 217, 219, 221, 222, 223

Esgotamento Sanitário 133, 134, 135, 137

F

Fundações 147, 209, 210, 211, 213, 223

G

Granito (RCMG) 1, 2

L

Laje Maciça 150, 152, 153, 154

Lignina 80, 81, 82, 83, 96

M

Macapá 164, 165, 170, 171, 174, 175, 177, 178

P

Patologia 33, 149, 150, 151, 162, 163, 167, 178

Pavimentos 74, 130, 151, 164, 165, 166, 167, 169, 170, 171, 175, 178, 180, 191, 192, 193, 194, 195, 197, 198, 199, 201, 204, 205, 206, 207, 208

Pavimentos Isolados 193, 195, 197, 198, 199, 204, 205, 207, 208

Pilar 156, 193, 195, 196, 197, 198, 199, 205, 206, 214, 215

Pórtico Plano 193, 195, 199, 204, 205, 206, 207, 208

R

Recalque 138, 142, 145

Reciclagem de RCD, 49

Redes Coletoras 133, 136

Rejeito de Cobre 114, 115, 116, 117, 119, 123

Resíduo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 29, 31, 32, 36, 37, 38, 49, 50, 51, 52, 53, 58, 59, 60, 79, 80, 81, 82, 83, 90, 91, 93, 94, 95, 97, 98, 100, 102, 103, 114, 115, 132

Resíduo de Corte 1, 2, 3, 4, 15

Resíduo Reciclado 2

Resistência Mecânica 12, 14, 15, 17, 49, 51, 54, 55, 56, 57, 105, 115, 116, 120

Risco 138, 139, 147, 195, 226, 251, 255

S

Saneamento 107, 133, 134, 135, 137, 178, 182, 240, 279

Sapatas 209, 210, 211, 212, 213, 214, 216, 223

Solo 69, 71, 123, 135, 138, 139, 141, 143, 146, 147, 166, 168, 209, 210, 211, 212, 214, 215, 217, 220, 221, 222, 240, 267, 268, 269, 272, 273, 274, 276, 277, 279

Subsistência 138, 147

Sustentabilidade 80, 115, 240

T

Teoria da Elasticidade 209

V

Vigas 156, 157, 195, 196, 198, 199, 201, 208, 224, 225, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236

 **Atena**
Editora

2 0 2 0