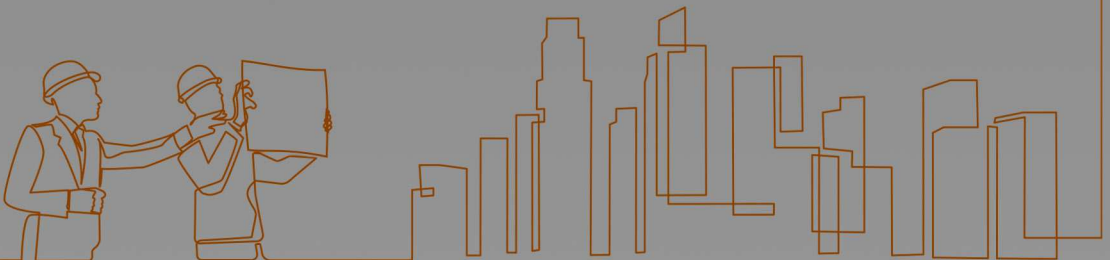


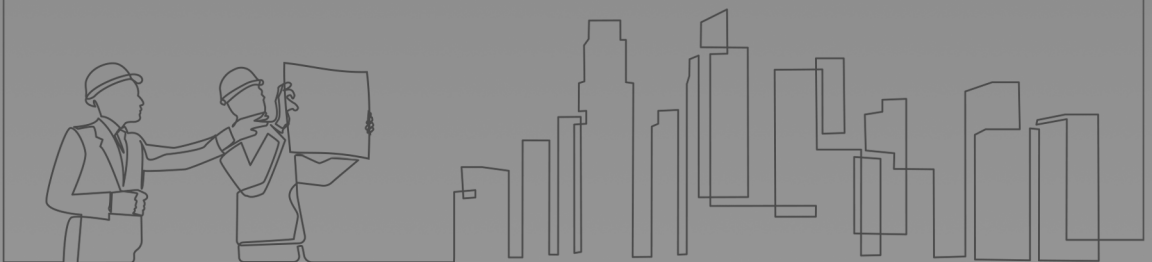
# TECNOLOGIA EM MATERIAIS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Edna Alves Oliveira  
Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco  
(Organizadores)



# TECNOLOGIA EM MATERIAIS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS

**Edna Alves Oliveira  
Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco  
(Organizadores)**



**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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

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

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

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

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

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

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

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

## **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

## **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

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

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Alborno – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

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

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

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

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco

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

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

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

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

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

## Tecnologia em materiais e processos construtivos

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Natália Sandrini de Azevedo  
**Correção:** Giovanna Sandrini de Azevedo  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** Edna Alves Oliveira  
Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T255 Tecnologia em materiais e processos construtivos /  
Organizadores Edna Alves Oliveira, Luiz Antônio  
Melgaço Nunes Branco. – Ponta Grossa - PR: Atena,  
2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-589-1

DOI 10.22533/at.ed.891201811

1. Tecnologia. 2. Materiais e processos construtivos. I.  
Oliveira, Edna Alves (Organizadora). II. Branco, Luiz Antônio  
Melgaço Nunes (Organizador). III. Título.

CDD 601

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

## APRESENTAÇÃO

O homem sempre buscou na natureza, esse rico conjunto de elementos envolvendo mares, rios, lagos, terras, flora e fauna, sua capacidade de sobrevivência. Primitivamente caçando e coletando, vivendo no nomadismo até o surgimento das primeiras comunidades, quando sua capacidade e habilidades lhe permitiram perceber que não havia mais necessidade de tantos deslocamentos. A ideia de recurso como insumo estava clara. Havia abundância de materiais e com adequação ferramental a vida evoluía. Era o início de conquistas e realizações na área do conhecimento humano. Ocorriam, portanto, os primeiros passos no campo da experimentação científica, fato que permitiu, ao longo do tempo, a expansão da visão de mundo, bem como o domínio e controle cada vez mais maior dentro de uma vida já em sociedade.

Dentre as várias áreas do saber que evoluíram desde então, surge a engenharia como uma grande aplicadora desse conhecimento, transformando os recursos naturais ou gerando bens que são necessários e largamente utilizados para o desenvolvimento tecnológico. Dessa forma, a técnica, a metodologia e a instrumentação no mundo são uma constante e embasam toda a vida humana contemporânea. E tomada, então, como referencial, a tecnologia requer um olhar atento sobre o qual o trabalho repousa. Atualmente, o método científico tende a ser dominante e hegemônico, caracterizando-se por uma ciência experimental, por isso, a instrumentação e a medição são formas de garantir a confiabilidade de resultados. Para tal e perante tantas possibilidades de materiais, técnicas e ensaios, é necessário aprender a lidar com o novo que emerge a cada momento. Um dos paradigmas da educação que se aplica, nesse caso, é a formação de profissionais sobretudo na área tecnológica não apenas dotando-os de elementos técnicos para dominar uma realidade, mas permitindo-lhes compreender o significado e tendências dessa mesma realidade.

Nesse sentido, esta publicação é uma modesta contribuição a esse processo de formação e todos capítulos são oriundos de atividades de pesquisas desenvolvidas e conduzidas diretamente pelos autores.

Os organizadores desejam expressar agradecimentos a todos que graciosamente se dispuseram a colaborar nesta publicação e esperam que a leitura possa ser enriquecedora e fonte de inspiração.

Edna Alves Oliveira

Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco

Belo Horizonte, agosto/2020

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DE UMA HABITAÇÃO POR MEIO DE TRÊS MÉTODOS CONSTRUTIVOS**

Cynara Fiedler Bremer  
Mariana Tonini de Araujo

**DOI 10.22533/at.ed.8912018111**

### **CAPÍTULO 2..... 15**

#### **AVALIAÇÃO DA MICROESTRUTURA E DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DE BACTÉRIAS DO GÊNERO BACILLUS SUBTILIS**

Gláucia Nolasco de Almeida Mello  
Samuel Ângelo Santiago

**DOI 10.22533/at.ed.8912018112**

### **CAPÍTULO 3..... 27**

#### **COMPORTAMENTO AO CISALHAMENTO DE MINI PAREDES EXECUTADAS COM BLOCOS ENCAIXÁVEIS DE SOLO CIMENTO**

Juliana Moreira Senna Guimarães  
Edna Alves Oliveira  
João Batista Santos de Assis

**DOI 10.22533/at.ed.8912018113**

### **CAPÍTULO 4..... 46**

#### **ESTUDOS DE IMPLANTAÇÃO DE COBERTURAS VERDES EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE**

Adriano de Paula e Silva  
Cristiane Machado Parisi Jonov  
Priscila Salvador Santos

**DOI 10.22533/at.ed.8912018114**

### **CAPÍTULO 5..... 65**

#### **PLANEJAMENTO DE CRONOGRAMAS FÍSICO FINANCEIROS UTILIZANDO LINHA DE BALANÇO E TECNOLOGIA BIM**

Danielle Meireles de Oliveira  
Sidnea Eliane Campos Ribeiro  
Aldo Giuntini de Magalhães  
Sérgio Geraldo dos Reis Júnior

**DOI 10.22533/at.ed.8912018115**

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>75</b>
POSSIBILIDADE DE PRODUÇÃO DE ARGAMASSA E CONCRETO COM RESÍDUOS DE MARMORES E GRANITOS	
Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco André Ricardo de Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8912018116</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>88</b>
TIJOLITO – SISTEMA AG CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA	
João Batista Santos de Assis Juliana Senna Guimarães Rúbia Nunes Vieira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8912018117</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>101</b>
VERIFICAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS MISTOS EM CONCRETO E BLOCO CERÂMICO PARA VEDAÇÃO	
Jamile Salim Fuina Bernardo Caetano Chaves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8912018118</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>117</b>

## ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DE UMA HABITAÇÃO POR MEIO DE TRÊS MÉTODOS CONSTRUTIVOS

### Cynara Fiedler Bremer

Professora Doutora da Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, Departamento de Tecnologia do Design, da Arquitetura e do Urbanismo (TAU). E-mail: cynarafiedlerbremer@ufmg.br

### Mariana Tonini de Araujo

Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC/UFRGS). Mestre em Estruturas e Construção pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). E-mail: marianatonini93@gmail.com

**RESUMO:** Durante todas as fases do seu ciclo de vida as edificações impactam o meio ambiente; entretanto, é na fase de projeto onde é possível uma maior redução de futuros impactos, visto que é possível optar por materiais e métodos construtivos menos poluentes. Uma análise de impactos ambientais simplificada, mas significativa, é a Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE), que prioriza o inventário de dados de consumos energéticos diretos e indiretos. Por possuir uma estrutura mais simples do que uma avaliação do ciclo de vida (ACV), uma ACVE demanda custo e tempo de execução menores e possibilita a avaliação de impactos importantes ao meio ambiente, como a emissão de gases estufa. Para exemplificar a aplicação do método ACVE foi analisado um estudo de caso de uma habitação considerando-se três tipologias de construção para o mesmo projeto: estrutura de concreto com uso de

alvenaria convencional, alvenaria estrutural e *Light Steel Framing* (LSF). Esses sistemas, por apresentarem diferentes materiais para a construção da habitação possibilitaram análises distintas em termos de consumo energético e de uma consequente contribuição para um menor consumo de energia ao longo do Ciclo de Vida da habitação. Em comparação à estrutura de concreto com uso de alvenaria convencional, a maior diferença foi observada no LSF, cujo consumo do ciclo de vida foi aproximadamente 1,1 GJ/m<sup>2</sup> menor que os demais. A partir da ACVE concluiu-se que o sistema LSF para a habitação escolhida apresentou menor impacto relacionado ao gasto energético, além da rapidez do método e sua construção a seco, o que demonstra também a importância de se pensar em novas tipologias construtivas e em se abrir mais espaço para métodos até agora de pouco uso.

**PALAVRAS-CHAVE:** avaliação do ciclo de vida energético; energia embutida; materiais de construção.

### ANALYSIS OF THE ENERGY LIFE CYCLE OF A DWELLING USING THREE CONSTRUCTIVE METHODS

**ABSTRACT:** During all phases of their life cycle, buildings impact the environment; however, it is in the design phase where a greater reduction in future impacts is possible, since it is possible to choose materials and construction methods less polluting. A simplified, but significant, analysis of environmental impacts is the life cycle energy analysis (LCEA), which prioritizes the inventory of direct and indirect energy consumption data. Because it has a simpler structure than an LCA, an LCEA requires less cost and time of execution and allows the evaluation of important impacts to the environment, such as the emission of

greenhouse gases. To exemplify the application of the LCEA method, a case study of a dwelling was analyzed considering three types of construction for the same project: concrete structure using conventional masonry, structural masonry and Light Steel Framing (LSF). These systems, because they present different materials for the construction of the house, allowed different analyzes in terms of energy consumption and a consequent contribution to a lower consumption of energy throughout the Life Cycle of the house. In comparison to the concrete structure using conventional masonry, the biggest difference was observed in LSF, whose life cycle consumption was approximately 1.1 GJ/m<sup>2</sup> lower than the others. From the LCEA it was concluded that the LSF system for the chosen housing had less impact related to energy expenditure, in addition to the speed of the method and its dry construction, which also demonstrates the importance of thinking about new construction types and whether make more room for methods so far of little use.

**KEYWORDS:** assessment of the energy life cycle; built-in energy; construction materials

## 1 | CICLO DE VIDA DE EDIFICAÇÕES

O conceito de sustentabilidade vem desenvolvendo-se em decorrência de uma preocupação cada vez maior com o uso dos recursos naturais e a poluição do meio ambiente. Nesse contexto, uma maior consciência ambiental na construção civil é necessária, visto que, no Brasil, a atividade gera cerca de 67% da massa total de resíduos sólidos urbanos e consome aproximadamente 40% dos recursos naturais e energia produzida, 34% do consumo de água e 55% do consumo de madeira não certificada (SILVA, 2012). Ademais, nota-se a urgente necessidade dos projetistas brasileiros especificarem materiais que atendam aos requisitos e critérios de desempenho necessários, mas que também levem em consideração aspectos energéticos (CALDAS, 2016).

Durante todas as fases do seu ciclo de vida as edificações impactam o meio ambiente, entretanto, é na fase de projeto onde é possível uma maior redução de futuros impactos, visto que é possível optar por materiais e métodos construtivos menos poluentes. Uma das formas de quantificação dos impactos advindos da construção civil é por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que consiste em uma ferramenta que possibilita uma análise sistêmica dos impactos, identificando e medindo fluxos de insumos e emissões em todas as etapas do ciclo de vida de uma edificação (RAMESH; PRAKASH; SHUKLA, 2010 *apud* MADEIRA, 2019). Segundo Araújo (2005), a ACV, uma ferramenta de identificação das necessidades e do estado de uma obra com pretensões de sustentabilidade, é utilizada para se mensurar o impacto ambiental causado por um processo, produto ou sistema. Ressalta-se que uma ACV de edificações requer algumas alterações, visto que essas possuem uma vida útil extensa, medida em décadas, anos ou séculos, enquanto o ciclo de vida de produtos industriais envolve em geral um curto espaço de tempo (RESENDE, 2011). A ACV estuda interferências e aspectos relacionados ao meio ambiente do berço ao túmulo do produto, e seu *“princípio consiste em analisar as repercussões ambientais de um produto ou atividade, a partir de um inventário de entradas e saídas (matérias-primas e energia, produto, subprodutos e resíduos) do sistema considerado”* (RESENDE, 2011 p. 55). Em cada fase do ciclo de vida levantam-se a emissão de poluentes e a quantidade de materiais e energia utilizados, sendo posteriormente esses quantitativos multiplicados por fatores que caracterizam seu impacto ambiental (GLAUMANN *et al.*, 2010). Entretanto,

segundo Silva (2012), a grande quantidade de dados necessários bem como os cálculos extensivos fundamentais para a realização de uma ACV são aspectos negativos do sistema, tornando-o complexo.

Segundo Tavares (2006), uma análise de impactos ambientais simplificada, mas significativa, é a Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE), que prioriza o inventário de dados de consumos energéticos diretos e indiretos. Ainda segundo o autor, por possuir uma estrutura mais simples do que uma ACV, uma ACVE demanda menos custo e tempo de execução e possibilita a avaliação de impactos importantes ao meio ambiente, como a emissão de gases estufa. Ressalta-se que uma ACVE não visa a substituição de uma análise mais completa, mas facilitar a tomada de decisão acerca da eficiência energética e impactos associados, como a geração de  $CO_2$ . A construção de uma ACVE pode ser dividida em três fases: Fase Pré-Operacional, Fase Operacional e Fase Pós-Operacional. A Fase Pré-operacional relaciona-se à energia utilizada na fabricação e transporte de materiais, equipamentos utilizados na obra e transporte dos trabalhadores, além do desperdício de materiais e seu transporte. A Fase Operacional engloba a utilização de energia por aparelhos eletrodomésticos, para a preparação de alimentos (cocção) e para a reposição de materiais (reformas), e a Fase Pós-Operacional consiste na energia gasta para demolição, remoção e transporte dos resíduos gerados no fim do ciclo de vida da edificação (TAVARES, 2006). A Figura 1 sintetiza as etapas do Ciclo de Vida Energético de uma edificação.

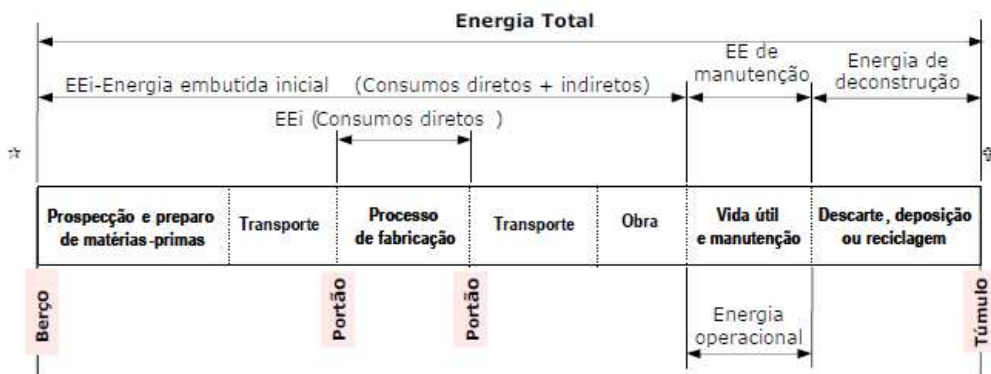


Figura 1 - Ciclo de vida energético de uma edificação

Fonte: TAVARES (2006).

Em uma abordagem berço ao túmulo, segundo a norma ISO 14040, o conjunto dos requisitos energéticos é chamado *Energia Total*. Já a *Energia Embutida Inicial* é constituída pelos insumos energéticos diretos e indiretos utilizados para se erguer a edificação, sendo os consumos diretos aqueles realizados nos limites da fábrica para a produção dos materiais construtivos e indiretos aqueles gastos na extração, transporte e beneficiamento da matéria-prima além do transporte do material pronto para a obra e da energia gasta na

construção da edificação. A *Energia Operacional* contempla os consumos de eletricidade e energia de cocção (para o preparo de alimentos) ao longo da vida útil da edificação, na *Energia de Manutenção* são considerados os insumos energéticos gastos em reformas e manutenções e, por fim, a *Energia de Desconstrução* é aquela consumida ao final do ciclo por descarte, demolição ou reciclagem. Caso novas edificações utilizem-se de materiais reciclados, o débito de energia embutida contida neles pode ser contabilizado. Em relação aos parâmetros descritos, em uma ACVE de edificações, usualmente as unidades utilizadas são GJ/domicílio ou GJ/m<sup>2</sup> (TAVARES, 2006).

## 2 | APLICAÇÃO DO MÉTODO ACVE EM UM PROJETO

Para exemplificar a aplicação do método ACVE aqui será analisado um estudo de caso de uma habitação considerando-se três tipologias de construção para o mesmo projeto: estrutura de concreto com uso de alvenaria convencional, alvenaria estrutural e *Light Steel Framing* (LSF). Esses sistemas, por apresentarem diferentes materiais para a construção da habitação irão possibilitar análises distintas em termos de consumo energético e de uma conseqüente contribuição para um menor consumo de energia ao longo do Ciclo de Vida da habitação. Por fim, a partir da análise de materiais utilizados na Fase Pré-Operacional do ciclo serão enfatizados os que possuem menor ou maior energia embutida e que contribuem para que a edificação tenha menor ou maior impacto ambiental, de acordo com o consumo energético, respectivamente.

A habitação utilizada nesse trabalho, retirada da monografia de Klein e Maronezi (2013), é uma habitação padrão da Companhia de Habitação do Paraná (COHAPAR), de número CF 40 G1. Esse modelo era utilizado na prática por várias construtoras do Paraná para construção de conjuntos habitacionais. No entanto, nos dias atuais esta casa não é mais utilizada, visto que não se adequa às mudanças ocorridas em 2014 nas normas ABNT NBR 6118 - Projetos de Estruturas de Concreto e ABNT NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão. Porém, como o objetivo deste trabalho é uma ACVE a partir de quantitativos existentes de três métodos construtivos distintos para um mesmo projeto, a inadequação atual da casa padrão não interfere com as análises pretendidas. A planta baixa base é composta por dois quartos, um banheiro, uma cozinha, uma sala de estar e uma lavanderia localizada na parte externa da residência. São 40,80m<sup>2</sup> de área construída e 36,99m<sup>2</sup> de área útil nos parâmetros construtivos de alvenaria convencional, Figura 2. Os cortes encontram-se na Figura 3.

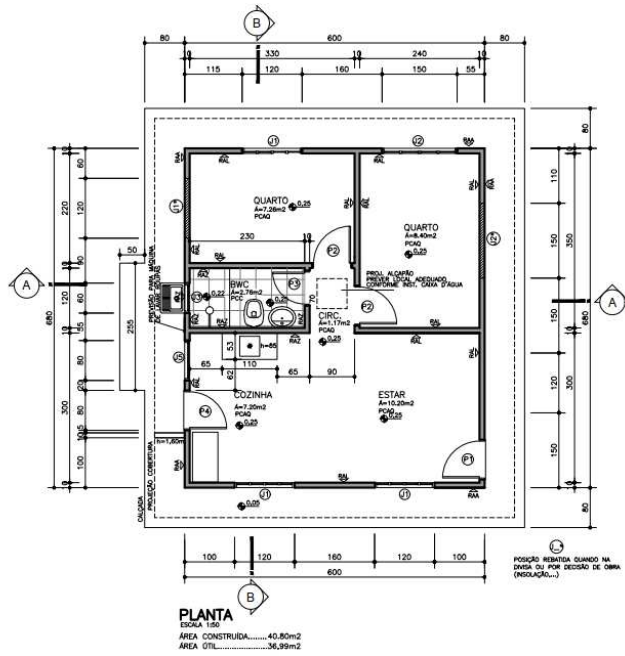


Figura 2 - Planta baixa, projeto em estudo, CF 40 G1.  
Fonte: Companhia de Habitação do Paraná (COHAPAR)

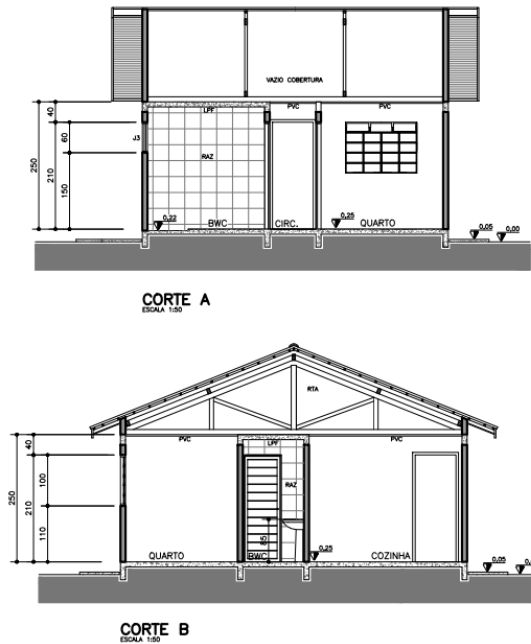


Figura 3 - Cortes, projeto em estudo, CF 40 G1.  
Fonte: Companhia de Habitação do Paraná (COHAPAR)

## 2.1 Cálculo dos consumos energéticos para uma ACVE

A energia total do ciclo de vida de uma edificação em MJ/m<sup>2</sup> pode ser definida pela Equação 1:

$$E_{cve} = \frac{E_{pre} + E_{op} + E_{pos}}{A_{edif}} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

$$E_{pre} = EE_{mat} + E_{tr.mat} + E_{obra} + E_{tr.trab} + E_{desp} + E_{tr.desp} \quad \text{Eq. 1.1}$$

$$E_{op} = E_{equip} + E_{cocção} + EE_{rep} + E_{desp.rep} + E_{tr.rep} \quad \text{Eq. 1.2}$$

$$E_{pos} = E_{dem} + E_{tr.dem} \quad \text{Eq. 1.3}$$

$A_{edif}$  = Área da edificação.

### 2.1.1 Fase Pré-Operacional

A Fase Pré-Operacional compreende as etapas 1 a 7, calculadas pelas Equações 2 a 7.

$$\text{Etapas 1 e 2} - EE_{mat} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot CE_{mat_i} \quad \text{Eq.2}$$

Onde:

i = material de construção discriminado;

n = número de materiais;

$m_i$  = quantidade de material de construção (kg);

$CE_{mat_i}$  = conteúdo energético do material discriminado (MJ/kg).

$$\text{Etapa 3} - EE_{tr mat} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot l_i \cdot CE_{tr} \quad \text{Eq.3}$$

Onde:

i = material de construção discriminado;

n = número de materiais;

$m_i$  = quantidade de material de construção (kg);

$l_i$  = distância do fabricante de material ao sítio da obra (km);

$CE_{tr}$  = conteúdo energético do transporte utilizado (MJ/kg.km).

$$\text{Etapa 4} - E_{obra} = \sum_{j=1}^p E_j \quad \text{Eq.4}$$

Onde:

p = número de formas de consumo energético;

j = formas de consumo energético;

$E_j$  = quantidade de energia consumida nas atividades da obra (MJ).

$$Etapa 5 - E_{tr.trab} = t \cdot n_d \cdot 2l_m \cdot CE_{tr} \quad Eq.5$$

Onde:

t = quantidade de trabalhadores x peso unitário 70 kg;

$n_d$  = número de dias úteis da obra;

$l_m$  = distância média percorrida pelos trabalhadores até a obra (km);

$CE_{tr}$  = consumo energético do transporte utilizado (MJ/kg.km).

$$Etapa 6 - E_{desp} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot d_i \cdot CE_{mat_i} \quad Eq.6$$

Onde:

i = material de construção discriminado;

n = número de materiais;

$m_i$  = quantidade de material de construção (kg);

$d_i$  = fator de desperdício do material;

$CE_{mat_i}$  = Conteúdo energético do material discriminado (MJ/kg).

$$Etapa 7 - E_{tr.desp} = 2 \cdot \sum_{i=1}^n m_i \cdot d_i \cdot l_d \cdot CE_{tr} \quad Eq.7$$

Onde:

i = material de construção discriminado;

n = número de materiais;

$m_i$  = quantidade de material de construção (kg);

$d_i$  = fator de desperdício do material;

$l_d$  = distância do sítio da obra ao depósito de material desperdiçado;

$CE_{tr}$  = Consumo energético do transporte utilizado (MJ/kg.km).

### 2.1.2 Fase Operacional

10. A Fase Operacional compreende as etapas 8 a 10, calculadas pelas equações 8 a

$$Etapa 8 - EE_{rep} = \sum_{i=1}^n E_{pre_i} \cdot m_i \cdot rep_i \cdot CE_{mat_i} \quad Eq.8$$

Onde:

i = material de construção discriminado;

n = número de materiais;

$E_{pre_i}$  = energia pré-operacional do material de construção discriminado;

$rep_i$  = fator de reposição do material ao longo da vida útil da edificação;

$CE_{mat_i}$  = conteúdo energético do material discriminado (MJ/kg).

$$Etapa 9 - EE_{equip} = \frac{h+a+r}{3} \quad Eq.9$$

Onde:

h = fator do consumo relativo ao número de habitantes da edificação;

a = fator do consumo relativo à área da edificação;

r = fator do consumo relativo ao rendimento do grupo de habitantes.

$$\text{Etapa 10} - EE_{\text{cocção}} = E_{\text{equip}} \cdot C \quad \text{Eq.10}$$

Onde:

$E_{\text{equip}}$  = energia consumida por equipamentos;

c = fator de consumo de Energia de cocção relativo ao consumo de energia elétrica.

### 2.1.3 Fase Pós-operacional

A Fase Pós-Operacional compreende as etapas 11 e 12, calculadas pelas equações 11 e 12.

$$\text{Etapa 11} - E_{\text{dem}} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot CE_{\text{dem}} \cdot R_{\text{med}} \quad \text{Eq.11}$$

Onde:

i = material de construção discriminado;

n = número de materiais;

$m_i$  = quantidade de material de construção (kg);

$CE_{\text{dem}}$  = consumo energético dos equipamentos de demolição;

$R_{\text{med}}$  = fator de reposição de materiais médio ao longo do ciclo de vida.

$$\text{Etapa 12} - E_{\text{tr.dem}} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot l_d \cdot CE_{\text{tr}} \cdot R_{\text{med}} \quad \text{Eq.12}$$

Onde:

i = material de construção discriminado;

n = número de materiais;

$m_i$  = quantidade de material de construção (kg);

$l_d$  = distância do sítio da obra ao depósito de material demolido;

$CE_{\text{tr}}$  = consumo energético do transporte utilizado (MJ/kg.km);

$R_{\text{med}}$  = fator de reposição de materiais médio ao longo do ciclo de vida.

## 2.2 Resultados por fases e etapas principais do Ciclo de Vida

A Tabela 1 representa o consumo energético detalhado para cada etapa do ciclo de vida de 50 anos da habitação, considerando os métodos construtivos com o uso de estrutura de concreto e alvenaria convencional, alvenaria estrutural e LSF. Já a Tabela 2 mostra os consumos totais por fases, em GJ/m<sup>2</sup>, para cada método.

Fase	Etapas	Sigla	Descrição	Consumo de energia (GJ/m <sup>2</sup> ) Estr. Conc+ Alv. Conv.	Consumo de energia (GJ/m <sup>2</sup> ) Alv. estrut.	Consumo de energia (GJ/m <sup>2</sup> ) LSF
Pré-Operacional	1	EE <sub>mat</sub>	Prospecção, fabricação e transporte de insumos	3,95	3,87	4,93
	2		Fabricação dos materiais de construção			
	3	EE <sub>tr.mat</sub>	Transporte dos materiais de construção	0,20	0,20	0,09
	4	EE <sub>eq.obra</sub>	Energia consumida por equipamentos na obra	0,002	0,001	0,002
	5	EE <sub>tr.obra</sub>	Transporte dos trabalhadores até a obra*	0,22	0,22	0,12
	6	EE <sub>desp</sub>	Desperdício de materiais	0,44	0,43	0,29
	7	EE <sub>tr.desp</sub>	Transporte do desperdício	0,16	0,12	0,06
Operacional	8	EE <sub>manut</sub>	Reposição de materiais	4,04	3,88	2,99
	9	E <sub>equip.</sub>	Energia consumida por equipamentos eletrodomésticos	7,29	7,06	7,11
	10	E <sub>cocção</sub>	Energia para cocção de alimentos	10,94	10,59	10,66
Pós-Op.	11	E <sub>dem</sub>	Demolição e remoção de resíduos	0,07	0,07	0,03
	12	E <sub>tr.dem</sub>	Transporte do material demolido	0,26	0,26	0,12
		E <sub>CVE</sub>	TOTAL DO CICLO DE VIDA	27,35	26,47	26,29

\* Contabilizado a parte

Tabela 1 - Discriminação das fases e etapas com respectivos consumos no ciclo de vida energético

Fonte: Elaborado pelas autoras com base em TAVARES (2006).

Fase	Total (GJ/m <sup>2</sup> ) Alv. Conv.	Total (GJ/m <sup>2</sup> ) Alv. estrut.	Total (GJ/m <sup>2</sup> ) LSF
Pré-Operacional	4,75	4,62	5,38
Operacional	22,27	21,52	20,76
Pós-Operacional	0,33	0,33	0,15

Tabela 2 - Resultados por fases do ciclo de vida

Fonte: Elaborado pelas autoras com base em TAVARES (2006).

Em uma análise preliminar dos dados acima percebe-se uma predominância do consumo na fase operacional, em destaque à energia de cocção, para os três métodos. Foram encontrados valores muito próximos para a estrutura de concreto usando alvenaria convencional e para a alvenaria estrutural, tanto no que se refere ao gasto total de cada

fase quanto para as respectivas etapas.

Em relação à estrutura LSF, a fase pré-operacional, correspondente à Energia Embutida Inicial, teve maior consumo em relação aos outros dois sistemas. Isso ocorre devido à utilização por parte do sistema LSF de grandes quantidades de aço, material com alto valor de energia embutida, na fase pré-operacional, o que gera um consequente aumento da  $EE_{mat}$  para esse método. Da mesma forma, a fase pós-operacional para o LSF teve um menor gasto energético comparativo, visto que esse sistema se utiliza de uma menor quantidade em kg de materiais.

Observa-se que em todos os sistemas construtivos a Energia Embutida Inicial supera a Energia Operacional de equipamentos, denotando a importância do consumo energético em materiais de construção e todos os seus processos.

### 2.3 Consumo energético por partes da edificação

As Tabelas 3, 4 e 5 a demonstram a energia por partes da habitação, para cada sistema construtivo.

ETAPAS DO CICLO DE VIDA - ESTRUTURA DE CONCRETO COM USO DE ALVENARIA CONVENCIONAL								
Partes da habitação	EE Mat. Constr.	EE Transp.	EE Desp.	EE Transp. Desp.	Total EE setor	EE manut. 50 anos	EEquip	Total EE CVE
Serv. Preliminares	72,56	13,60	9,86	4,07	100,09	0	0	200,19
Estrutura	33799,51	2227,32	6231,36	1434,01	43692,20	0,00	15,78	87400,17
Esquadrias	75417,27	184,12	236,37	28,99	75866,75	75866,75	0	227600,26
Coberturas e proteções	12010,33	218,82	1211,64	49,27	13490,05	13490,05	0	40470,16
Revestimentos, forros e pinturas	23318,19	3528,81	5249,55	3375,88	35472,43	58775,18	1,68	129721,72
Pavimentações	5647,45	1855,47	2226,23	1617,45	11346,61	3854,88	0	26548,09
Instalações e aparelhos	10927,39	50,80	2612,76	14,56	13605,50	12783,10	0	39994,11
Complementação da obra	47,94	1,73	0,00	0,00	49,67	0,00	49,67	149,01
<b>Total MJ</b>	<b>161240,64</b>	<b>8080,68</b>	<b>17777,76</b>	<b>6524,23</b>	<b>193623,31</b>	<b>164769,97</b>	<b>67,13</b>	<b>552083,71</b>
<b>Total GJ/m<sup>2</sup></b>	<b>3,95</b>	<b>0,20</b>	<b>0,44</b>	<b>0,16</b>	<b>4,75</b>	<b>4,04</b>	<b>0,002</b>	<b>13,53</b>

Tabela 3 - Energia por partes da habitação, para estrutura de concreto com uso de alvenaria convencional

Fonte: Elaborado pelas autoras com base em TAVARES (2006).

ETAPAS DO CICLO DE VIDA - ALVENARIA ESTRUTURAL								
Partes da habitação	EE Mat. Constr.	EE Transp.	EE Desp.	EE Transp. Desp.	Total EE setor	EE manut. 50 anos	E Equip.	Total EE CVE
Serv. Preliminares	73,51	13,74	9,98	4,11	101,33	0	0	202,66
Estrutura	39763,56	4909,68	7597,20	2348,84	54619,28	0	5,10	109243,67
Esquadrias	75383,92	183,09	223,11	28,17	75818,28	75818,28	0,00	227454,85
Coberturas e proteções	12010,33	218,82	1211,64	49,27	13490,05	13490,05	0,00	40470,16
Revestimentos, forros e pinturas	20634,55	1297,11	4092,45	1155,61	27179,73	58775,18	1,68	113136,31
Pavimentações	5647,45	1855,47	2226,23	1617,45	11346,61	3854,884	0	26548,09
Instalações e aparelhos	11691,50	52,04	2918,40	15,55	14677,50	13855,09	0,00	43210,09
Complementação da obra	47,94	1,73	0,00	0,00	49,67	0,00	49,67	3319,00
<b>Total MJ</b>	<b>165252,77</b>	<b>8583,01</b>	<b>18279,01</b>	<b>5260,07</b>	<b>197282,45</b>	<b>165793,50</b>	<b>56,45</b>	<b>566754,84</b>
<b>Total GJ/m<sup>2</sup></b>	<b>3,87</b>	<b>0,20</b>	<b>0,43</b>	<b>0,12</b>	<b>4,62</b>	<b>3,88</b>	<b>0,001</b>	<b>13,26</b>

Tabela 4 - Energia por partes da habitação, uso de alvenaria estrutural

Fonte: Elaborado pelas autoras com base em TAVARES (2006).

ETAPAS DO CICLO DE VIDA - LSF								
Partes da habitação	EE Mat. Constr.	EE Transp.	EE Desp.	EE Transp. Desp.	Total EE setor	EE manut. 50 anos	E Equip.	Total EE CVE
Serv. Preliminares	73,75	13,83	10,02	4,14	101,74	0	0	203,47
Estrutura	70832,53	1436,43	4677,52	854,81	77801,29	435,65873	90,71	156128,95
Esquadrias	75383,92	183,09	223,11	28,17	75818,28	75818,28	0	227454,85
Coberturas e proteções	33531,55	258,08	1158,69	32,60	34980,92	12940,23	0	82902,07
Revestimentos, forros e pinturas	11641,27	71,59	1272,66	23,20	13008,71	22161,85	0,00	48179,28
Pavimentações	5647,45	1855,47	2226,23	1617,45	11346,61	3854,88	0	26548,09
Instalações e aparelhos	11418,26	51,60	2809,10	15,20	14294,16	11079,90	0	39668,22
Complementação da obra	47,94	1,73	0,00	0,00	49,67	0,00	0,00	99,34
<b>Total MJ</b>	<b>208576,68</b>	<b>3871,81</b>	<b>12377,33</b>	<b>2575,56</b>	<b>227401,39</b>	<b>126290,81</b>	<b>90,71</b>	<b>581184,29</b>
<b>Total GJ/m<sup>2</sup></b>	<b>4,93</b>	<b>0,09</b>	<b>0,29</b>	<b>0,06</b>	<b>5,38</b>	<b>2,99</b>	<b>0,002</b>	<b>13,74</b>

Tabela 5 - Energia por partes da habitação, uso de LSF

Fonte: Elaborado pelas autoras com base em TAVARES (2006).

A predominância da EE de Materiais de Construção pode ser observada nos três métodos, destacam-se o sistema LSF, com valor total de 1 GJ/m<sup>2</sup> superior às Alvenarias.

Esse acréscimo deve-se à utilização da estrutura LSF nas partes estruturais, de coberturas e proteções da habitação. Esta estrutura, além de apresentar grandes consumos de aço, material com alto teor de Energia Embutida/kg, faz uso de placas cimentícias e de gesso acartonado, que apesar de não apresentarem alto valor de Energia Embutida/kg são utilizados em grandes quantidades, consumindo um significativo valor energético total.

Também nota-se que nos três métodos as partes da habitação com maior quantidade de Energia Embutida são os referentes à estrutura e às esquadrias. Em relação à parte estrutural, a grande quantidade de blocos cerâmicos e de concreto utilizados na estrutura de concreto com uso de alvenaria convencional e na alvenaria estrutural, respectivamente, resulta em grande gasto energético, bem como a estrutura metálica do LSF contribui para um gasto energético elevado na parte estrutural da habitação. Já para as esquadrias, nos três sistemas têm-se um consumo elevado devido ao alto uso de alumínio nas mesmas, material esse que apresenta um dos maiores valores de Energia Embutida/kg (98,2 MJ/kg).

## 2.4 Consumo de energia por materiais de construção

A Tabela 6 mostra a distribuição energética, para cada método, dos principais materiais utilizados na habitação.

	Estrutura de concreto + alvenaria convencional			Alvenaria estrutural			LSF		
	Materiais	Total EE (MJ)	%	Materiais	Total EE (MJ)	%	Materiais	Total EE (MJ)	%
1	Alumínio	62.124,89	32%	Alumínio	62.124,89	31%	Aço	65.447,29	29%
2	Cer. Vermelha	21.824,39	11%	Concreto	50.690,82	26%	Alumínio	62.124,89	27%
3	Cimento	16.763,48	9%	Cimento	15.734,38	8%	Concreto	13.631,13	6%
4	Aço	16.177,08	8%	Aço	13.307,95	7%	Fibrocimento	8.507,97	4%
5	Concreto	15.683,19	8%	Fibrocimento	8.507,97	4%	Cimento	5.792,77	3%
6	Areia	11.615,89	6%	Areia	6.307,76	3%	Pedra	4.769,50	2%
7	Fibrocimento	8.507,97	4%	Pedra	5.464,19	3%	PVC	3.247,56	1%
8	PVC	4.095,30	2%	PVC	3.630,90	2%	Tinta	2.766,65	1%
9	Pedra	3.433,11	2%	Cal	3.155,68	2%	Areia	2.535,26	1%
10	Cal	3.272,80	2%	Tinta	2.766,65	1%	Madeira	1.358,35	1%
11	Tinta	2.766,65	1%	Madeira	1.846,08	1%	Cer. Revestimento	1.225,21	1%
12	Madeira	2.324,28	1%	Cer. Revestimento	1.225,21	1%	Cal	24,90	0%
14	Outros	25.034,28	13%	Outros	22519,97	11%	Outros	55.969,90	25%

Tabela 6 - Energia por partes da habitação

Fonte: Elaborado pelas autoras com base em TAVARES (2006).

Observa-se, como esperado, que o alumínio foi o material com maior contribuição energética de ambas as Alvenarias, visto que são muito utilizados nas esquadrias da habitação e possuem alto valor de EE/kg agregado. Quanto ao LSF, o alumínio aparece em segundo lugar, perdendo posição para o aço, altamente presente nas estruturas LSF e também com grande valor de EE/kg. O cimento e o aço estão entre as primeiras posições nos três métodos construtivos. Para a estrutura de concreto com uso de alvenaria convencional o uso de blocos cerâmicos explica a posição de destaque da cerâmica vermelha na contribuição da EE total e para a alvenaria estrutural o uso de blocos de concreto para a alvenaria justifica o posicionamento do concreto.

Para essa habitação o período de retorno energético considerado para as Alvenarias foi de aproximadamente 13 anos e para o sistema LSF foi de 15 anos, o que era esperado, visto que a Energia Embutida Inicial para esse último era maior do que para ambas as alvenarias (convencional e estrutural).

### 3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo do consumo energético pode indicar maneiras de se reduzir os impactos ocasionados pela construção civil ainda na fase de projetos, por meio, por exemplo, da utilização de materiais com menores impactos ambientais.

No exemplo adotado fez-se uma comparação de gasto energético entre a estrutura de concreto com uso de alvenaria convencional, de grande uso no País, a alvenaria estrutural, cuja aplicação em obras vem crescendo e o *Light Steel Framing*, sistema ainda pouco conhecido no Brasil. Em comparação à estrutura de concreto com uso de alvenaria convencional, a maior diferença foi observada no LSF, cujo consumo do ciclo de vida foi aproximadamente 1,1 GJ/m<sup>2</sup> menor.

Portanto, a partir de uma ACVE concluiu-se que o sistema LSF para a habitação escolhida apresenta menor impacto relacionado ao gasto energético, além da rapidez do método e sua construção a seco, o que demonstra também a importância de se pensar em novas tipologias construtivas e em se abrir mais espaço para métodos até agora de pouco uso.

### REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12721: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios – Procedimento. Rio de Janeiro. 2006.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118: Projetos de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2014.

ARAÚJO, M. A. A moderna construção sustentável. IDHEA – Instituto para desenvolvimento da Habitação Ecológica. Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfHIEAE/a-moderna-construcao-sustentavel?part=2> >. Publicado em fevereiro de 2005. Acesso em: 30 out. 2016.

- BARROS, Mercia M. S. B. de; MELHADO Silvio B. Recomendacoes para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios. São Paulo: EPUSP, 1998. Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <[www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT\\_00004.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT_00004.pdf)>. Acesso em: 30 out. 2016.
- CALDAS, Lucas Rosse et al. Avaliação do ciclo de vida energético (ACVE) e do desempenho térmico de uma habitação de light steel framing com o uso de diferentes tipos de isolantes térmicos. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, 2016
- CAMPOS, Patrícia Farrielo de. Light Steel Framing: uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento. 2014. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Sao Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/.../DISSERTACAO\\_PATRICIA\\_CAMPOS\\_CORRIGIDA.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/.../DISSERTACAO_PATRICIA_CAMPOS_CORRIGIDA.pdf)>. Acesso em: 30 out. 2016.
- GLAUMANN, Mauritz et al. Energy Saving through Promotion of Life Cycle Assessment in Buildings. Europe: Enslic Building, 2010. Disponível em: <<https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/enslic-building>>. Acesso em: 30 out. 2016.
- INTERNATIONAL STANDARD. ISO 14040: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Switzerland, 1996. Disponível em: <<https://web.stanford.edu/class/cee214/Readings/ISOLCA.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2018.
- KATO, Ricardo Bentes. Comparação entre o sistema construtivo convencional e o sistema construtivo em alvenaria estrutural segundo a teoria da construção enxuta. 2002. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/111939/193963.pdf?...1>>. Acesso em: 30 out. 2016.
- KLEIN, Bruno Gustavo; MARONEZI, Vinícius. Comparativo orçamentário dos sistemas construtivos em alvenaria convencional, alvenaria estrutural e light steel frame para a construção de conjuntos habitacionais. 2013. 141 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013. Disponível em: <[repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1487/1/PB\\_DACOC\\_2013\\_1\\_08.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1487/1/PB_DACOC_2013_1_08.pdf)>. Acesso em: 18 ago. 2016.
- MADEIRA, Juliana Grillo da Silva. Avaliação do ciclo de vida energético e desempenho da envoltória mediante ações de retrofit em edificação pública escolar. 2019. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo.
- RAMALHO, Marcio A.; CORRÊA, Márcio R. S.. Projetos de edifícios de alvenaria estrutural. Sao Paulo: Pini, 2003. 188 p.
- RESENDE, Elaine Cristina de Souza Pereira de. A ecoreabilitação e a avaliação do ciclo de vida das edificações. 2011. 173 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2011. Disponível em: <<http://www.poscivil.uff.br/conteudo/ecorreabilitacao-e-avaliacao-do-ciclo-de-vida-das-edificacoes>>. Acesso em: 30 out. 2016.
- SANTIAGO, Alexandre Kokke; FREITAS, Arlene Maria Sarmanho; CRASTO, Renata Cristina Moaraes de. Steel Framing: Arquitetura. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2012. 152 p.
- SILVA, Luciano Pires da. Análise do Ciclo de Vida Energético de Habitações de Interesse Social. 2012. 185 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <[http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/76184?locale=pt\\_BR](http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/76184?locale=pt_BR)>. Acesso em: 17 jul. 2016.
- TAUIL, Carlos Alberto; NESE, Flávio José Martins. Alvenaria Estrutural. São Paulo: Pini, 2010. 188 p.
- TAVARES, Sérgio Fernando. Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras. 2006. 225 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

## AVALIAÇÃO DA MICROESTRUTURA E DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DE BACTÉRIAS DO GÊNERO *BACILLUS SUBTILIS*

**Gláucia Nolasco de Almeida Mello**

Profa. Dra. Pontifícia Universidade Católica de  
Minas Gerais  
gnamello@pucminas.br

**Samuel Ângelo Santiago**

Eng. Civil - Pontifícia Universidade Católica de  
Minas Gerais  
samuel.ssantiago@hotmail.com

**RESUMO:** Por ser um material frágil, o concreto sempre está propenso ao surgimento de fissuras e microfissuras que podem prejudicar a integridade da estrutura, pois, comprometem significativamente a sua resistência e a sua durabilidade. Uma alternativa para a cicatrização das microfissuras é a incorporação de bactérias ao concreto. Esta pesquisa apresenta um processo metodológico para a incorporação de bactérias do gênero *Bacillus Subtilis* ao concreto, verificando-se a sobrevivência ao longo do tempo e a influência da presença destas na resistência à compressão do concreto. Para esta investigação, o agregado graúdo do concreto foi parcialmente substituído por argila expandida impregnada com bactérias do gênero *Bacillus Subtilis* por meio de imersão em solução com probiótico. Os corpos de provas de concreto com e sem incorporação de bactérias foram analisados no MEV aos 58 e 263 dias. Em ambas as idades foi identificada a presença das bactérias e indícios de precipitação de carbonato de cálcio. Também foi constatada maior resistência à compressão dos corpos de prova da amostra de concreto com bactéria impregnada na argila expandida que na amostra de concreto sem bactéria impregnada.

**PALAVRAS-CHAVE:** concreto, fissuração, incorporação de bactérias

### EVALUATION OF MICROSTRUCTURE AND RESISTANCE TO COMPRESSION OF CONCRETE WITH BACTERIA *BACILLUS SUBTILIS* INCORPORATION

**ABSTRACT:** Because it is a fragile material, concrete is always prone to the appearance of cracks and microcracks that can damage the integrity of the structure, once they significantly compromise its strength and durability. An alternative for the healing of microcracks is bacteria incorporation into the concrete. This research presents a methodological process for the incorporation of bacteria *Bacillus Subtilis* into concrete, verifying survival over time and their influence on the compressive strength of concrete. Here, the coarse aggregate of the concrete was partially replaced by expanded clay impregnated with bacteria by immersion in solution with probiotic. The concrete specimens with and without the incorporation of bacteria were analyzed in the SEM at 58 and 263 days. At both ages, the presence of bacteria and evidence of calcium carbonate precipitation were identified. It was also verified greater resistance to compression of the specimens of the concrete sample with bacteria impregnated in the expanded clay than in the concrete sample without bacteria impregnated.

**KEYWORDS:** concrete, cracks, bacteria incorporation

## 1 | INTRODUÇÃO

Os principais motivos que tornam o concreto o material construtivo mais utilizado em todo o mundo são: o custo relativamente baixo, quando comparado a outros materiais; a facilidade de execução; a boa durabilidade; a flexibilidade de execução em diversas formas geométricas e, a sua alta resistência a compressão. Contudo, o concreto é um material frágil devido à sua propensão ao surgimento de fissuras (Schwantes-Cezario, et al., 2018; Joshi, Goyal, Mukherjee, & Reddy, 2019). Enquanto as fissuras mais largas podem prejudicar a integridade da estrutura, as microfissuras (menores que 0,2 mm) são geralmente consideradas não problemáticas. Contudo, as microfissuras podem comprometer significativamente a resistência do concreto e sua durabilidade uma vez que facilitam a penetração de substâncias líquidas ou gasosas (água, sulfatos, cloretos etc.) que, quando interagem quimicamente com os produtos de hidratação do concreto, provocam severos processos de degradação (Nguyen, Ghorbel, Fares, & Cousture, 2019; Joshi et al., 2019). As razões para a ocorrência de fissuras nas estruturas de concreto podem ter diversas causas, tais como: ações diretas, deformações impostas à estrutura, retração e fluência, corrosão das armaduras, processo de gelo e degelo etc. Independentemente do tratamento dado às causas do surgimento de fissuras no concreto, estas precisam ser seladas ou colmatadas. Um procedimento tradicional para a colmatação das fissuras é a injeção de nata de cimento, graute ou resinas epóxi. Contudo, visando garantir a durabilidade e melhorar o desempenho das estruturas de concreto armado, vários estudos (Jonkers & Schlangen, 2007; Joshi, Kumthekar, & Ghodake, 2016; Schwantes-Cezario, et al., 2018; Nguyen et al., 2019; Joshi et al., 2019) estão sendo realizados com objetivo de incorporar, ao concreto, micro-organismos que propiciem a autocicatrização das fissuras e microfissuras. Assim, o potencial das bactérias como agentes de autocura para fissuras tem sido objeto de investigações. Tais bactérias são formadoras de esporos resistentes a álcalis e pertencentes a um grupo específico, relacionadas ao gênero *Bacillus* (Jonkers, Thijssen, Muyzer, Copuroglu, & Schlangen, 2010; Tittelboom, Gruyaert, Rahier, & De Belie, 2012; Joshi, Kumthekar, & Ghodake, 2016; Nain, et al., 2019).

Alguns gêneros de bactérias, quando submetidas a condições ambientais que ameaçam a sua sobrevivência, como escassez de nutrientes ou de água, são capazes de formar estruturas denominadas esporos, a esse processo dá-se o nome esporulação. Os esporos bacterianos são células especializadas que podem resistir a estresses mecânicos e químicos extremos e podem permanecer vivos por até 200 anos (Schlagen, 1993 como citado em Jonkers & Schlangen, 2007). Na autocicatrização, os esporos bacterianos ficam inativos na matriz do concreto durante sua vida útil e poderão ser reativados com a presença da água. Esse procedimento promove precipitação do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), o que propicia a vedação das aberturas (Jonkers & Schlangen, 2007).

As bactérias do gênero *Bacillus Subtilis* que são bactérias que possuem a forma de bastonetes e são gram-positivas. Normalmente são encontradas na vegetação ou no solo e se mantêm vivas a temperaturas entre 25 a 35 °C, aproximadamente. As *Bacillus Subtilis* não são um tipo de bactéria patogênica e, portanto, podem ser utilizadas para a autocicatrização do concreto sem prejuízo para a saúde humana (Joshi, Kumthekar, & Ghodake, 2016). O concreto possui pH elevado, geralmente trabalha sob alta pressão e

apresenta um ambiente escasso de nutrientes, portanto, é considerado um ambiente hostil para as bactérias comuns, mas não para as do gênero *Bacillus Subtilis*, que são capazes de sobreviver em condições extremas (Nguyen et al., 2019; Nain et al., 2019).

Quando despertadas, as bactérias necessitarão de um substrato que possa ser convertido metabolicamente para  $\text{CaCO}_3$ , neste caso, o lactato de cálcio que será introduzido na matriz do concreto. Por esse motivo, além de esporos bacterianos, substratos adicionais foram testados para verificar a compatibilidade destes com o concreto (Jonkers & Schlangen, 2007). Para definir o melhor nutriente para a bactéria, que não interferisse na resistência do concreto, Jonkers et al. (2010) adicionaram alguns compostos orgânicos à pasta de cimento, tais como: acetato de cálcio, lactato de cálcio, peptona e extrato de levedura. Dentre os compostos testados, o que apresentou melhor rendimento e resultado no que diz respeito à resistência à compressão, foi o lactato de cálcio, superando a amostra de controle.

O lactato de cálcio serve de fonte de energia e sobrevivência para a bactéria *Bacillus Subtilis* e a interação entre eles produz um composto homogêneo ( $\text{CaC}_6\text{H}_{10}\text{O}_6$ ). O composto  $\text{CaC}_6\text{H}_{10}\text{O}_6$ , no estado sólido, reage com o oxigênio ( $\text{O}_2$ ) no interior da fissura, produzindo carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), no estado sólido, gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Após essa reação, os produtos se tornam reagentes, sendo que o gás carbônico reage com hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) presente na pasta do cimento, formando mais carbonato de cálcio sólido e água (Nguyen et al., 2019).

## 2 I PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Esta investigação baseou-se na metodologia de Mors e Jonkers (2013) para o encapsulamento das bactérias em argila expandida. A escolha dos produtos utilizados (probiótico, lactato de cálcio e ureia) também foi baseada nas recomendações dos trabalhos de Mors e Jonkers (2013) e Jonkers et al. (2010). Para a verificação da presença de bactérias no probiótico, estas foram impregnadas em vermiculita e o composto foi observado posteriormente.

### 2.1 Definição dos Traços

O traço, tomado em massa, escolhido para a confecção dos corpos de prova foi de 1 quilo de cimento para 3,38 quilos de areia, 1,44 quilos de brita e uma relação de água/cimento de 0,5, que pode ser expresso da seguinte forma: 1:3,38:1,44:0,5. No trabalho de referência de Mors e Jonkers (2013) não foi citada a resistência esperada do concreto para o traço adotado. É importante salientar que, devido à diferença natural dos materiais utilizados pelos autores e o que foi utilizado nesse trabalho, não é possível equiparar a resistência esperada. Esse traço foi alterado substituindo-se 30% do agregado graúdo por argila expandida. Alguns corpos de prova foram confeccionados com argila expandida impregnada com solução bacteriana e outros sem a impregnação da solução bacteriana, observar os traços no Quadro 1.

Traço	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Brita (Kg)	Argila impregnada com bactéria (kg)	Argila sem bactéria (Kg)	Água / Cimento
1	1	3,38	1,008	0,432	0	0,5
2	1	3,38	1,008	0	0,432	0,5

Quadro 1 - Traços determinados

Fonte: Autores (2018).

## 2.2 Produtos e Testes Preliminares

Ao invés de desenvolver a cultura da bactéria em laboratório para posteriormente utilizá-la no concreto, buscou-se no mercado um produto que as continha. O produto utilizado foi um probiótico de classe Fungicida Bactericida Microbiológico, com eficiência agrônômica comprovada para o cultivo de alface, cenoura, maçã, morango e uva, à base da bactéria *Bacillus Subtilis* QST 713, na concentração 13,68g/l, chamado Serenade, do fabricante Bayer de Mexico S.A.

Para comprovar a existência das bactérias *Bacillus Subtilis* no probiótico Serenade, foi realizado um teste preliminar com impregnação da bactéria em partículas de vermiculita. A vermiculita é um silicato hidratado de ferro, alumínio e magnésio com as seguintes características: alta porosidade, baixa densidade e alta capacidade de absorção e adsorção (Ugarte, Sampaio & França, 2008). Essas características se assemelham bastante a argila expandida por isso é possível a sua utilização para a comprovação da presença das bactérias. A vermiculita tem a capacidade de se expandir, e quando encontrada nessa situação, se torna quimicamente ativa e biologicamente inerte (Ugarte, Sampaio & França, 2008).

O procedimento adotado para a verificação da existência de bactéria no probiótico segue os seguintes passos: (i) aquecer 800 ml de água próximo ao estado de ebulição para melhor dissolução dos nutrientes a serem adicionados junto com o probiótico; (ii) deixar a água esfriar por 10 minutos, controlando a temperatura; (iii) adicionar 2 g de ureia e misturar constantemente até a sua completa dissolução; (iv) adicionar 6 g de lactado de cálcio e misturar até sua completa dissolução; (v) dessa solução, retirar 20 ml e logo em seguida adicionar 8 ml do produto Serenade, resultando em uma solução bacteriana com ureia e lactato de cálcio de 28 ml; (vi) homogeneizar essa solução, misturando de forma constante; (vii) adicionar, gradualmente, 8 g de vermiculita, até a mistura apresentar um aspecto pastoso. Nesta pesquisa, a amostra de vermiculita impregnada com bactérias permaneceu em repouso por 12 dias.

Para a confecção dos corpos de prova optou-se pela argila expandida da Cinexpan, tipo 0500, de densidade aparente 850 kg/m<sup>3</sup>, conforme manual do fornecedor. Esta foi separada dentro da faixa granulométrica pretendida entre o agregado miúdo (areia industrial) e o agregado graúdo (brita 0). Foi realizado o ensaio granulométrico de toda a argila, e foi utilizado o material retido entre as peneiras 1,18 mm e 4,75 mm, visto que a argila continha muitos finos em sua composição, o que afetaria a resistência final do concreto e não havia, na referência consultada, nenhum relato de imersão da bactéria em materiais finos. Após o peneiramento foi realizada a separação da argila que se encontrava nas granulometrias definidas como ideais para a pesquisa, ou seja, entre 1,18 mm e 4,75 mm.

## 2.3 Impregnação das Bactérias

De acordo com a bibliografia consultada, há dois métodos para adicionar as bactérias à mistura de concreto, o primeiro consiste na incorporação da solução contendo bactérias na água utilizada para a preparação do concreto (Ghosh, Mandala, Chattopadhyay, & Pal, 2005; Schwantes-Cezario et al., 2018; Nain et al., 2019). O segundo método é o encapsulamento das bactérias em argila expandida que posteriormente são adicionadas à mistura do concreto (Jonkers, 2011; Mors & Jonkers, 2013).

As bactérias são muito sensíveis, principalmente à variação de temperatura, pH baixo e desgaste mecânico devido à rotação da betoneira. Por isso, se ela não estiver acondicionada em um local onde permaneça inerte, ela pode morrer durante o processo. Sendo assim, adotou-se a metodologia de impregnação em argila expandida conforme proposto por Mors e Jonkers (2013).

As etapas do procedimento adotado para a incorporação das bactérias na argila expandida são: (i) aquecer 3 litros de água à 80°C que; (ii) deixar esfriar, controlando a temperatura até 30° aproximadamente; (iii) adicionar 4 g de ureia e misturar à água até dissolver; (iv) adicionar 96 g de lactato de cálcio e misturar até a dissolução completa; (v) adicionar 750 ml do probiótico Serenade, homogeneizar a solução, esperar 2 minutos para a estabilização; (vi) imergir 4 kg de argila expandida na solução e deixar em repouso por 24 horas para que seja realizado o processo de impregnação da bactéria dentro da argila expandida.

Nesta investigação, após as 24 horas, decorrido o processo de impregnação da bactéria, a argila foi retirada com cuidado do recipiente com o auxílio de uma peneira para eliminar o excesso de líquido. A argila expandida foi pesada e levada ao laboratório de tecnologia mineral do SENAI/FIEMG, no qual permaneceu em estufa por 8 dias a uma temperatura constante de 37 °C. Este processo foi realizado para que a bactéria terminasse seu processo de estabilização na argila até que ficasse totalmente inerte no agregado utilizado.

## 2.4 Confecção dos Corpos de Prova

Considerando os traços escolhidos, foram calculados os quantitativos dos materiais necessários para a moldagem de todos os corpos de prova. Foram adotados os pesos específicos fornecidos pelos fabricantes dos materiais adquiridos. O quantitativo de cada material utilizado está apresentado no Quadro 2.

Para a produção dos corpos de prova, os seguintes materiais foram utilizados: Cimento Portland CP IV-32 RS pega rápida, areia industrializada e brita 0 (agregado miúdo), água potável, partículas de argila expandida com diâmetro entre 1,18 a 4,75 mm, seguindo-se as recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2015). As partículas de argila expandida, sem a impregnação bacteriana, foram saturadas com água, por 30 minutos, antes de serem inseridas na betoneira, pois sua alta taxa de absorção de água poderia afetar a hidratação da pasta de cimento. Além disso, a ausência de saturação pode causar a flutuação dessas partículas no concreto fresco.

Material	Traço concreto sem bactéria	Traço concreto com bactéria
Cimento CP II-Z 32	8,90 Kg	8,90 Kg
Areia fina	30,082 Kg	30,082 Kg
Brita 0	8,97 Kg	8,97 Kg
Água	4,45 L	4,45 L
Argila expandida	3,84 Kg	3,84 Kg

Quadro 2 - Quantitativos de materiais

Fonte: Autores (2018)

Foram moldados 3 corpos de prova de 5 centímetros de diâmetro por 10 centímetros de altura (5 cm x 10 cm) e 6 corpos de prova de 10 centímetros de diâmetro por 20 centímetros de altura (10 cm x 20 cm) para cada um dos traços apresentados no Quadro 2, totalizando 18 corpos de prova. Os cilindros menores (5 cm x 10 cm) foram utilizados nas análises visuais no microscópio eletrônico de varredura (MEV) e no microscópico óptico. Já os cilindros maiores (10 cm x 20 cm) foram utilizados para caracterização mecânica da resistência à compressão.

## 2.5 Indução de Fissuras e Observação dos Corpos de Prova

Após 14 dias de cura em câmara úmida, um corpo de prova (5 cm x 10 cm) de cada traço foi levado à prensa manual onde foi aplicada força de compressão para induzir as fissuras. Os corpos de prova fissurados, de concreto com bactérias, foram umidificados diariamente até o dia da análise, com o objetivo de propiciar o desenvolvimento das reações que desencadeariam o processo de precipitação do carbonato de cálcio. Aos 58 dias, as fissuras foram observadas em um microscópio óptico da fabricante ZEISS, no laboratório de metalografia da PUC Minas com o objetivo de verificar indícios de precipitação de carbonato de cálcio próximo as fissuras superficiais. Desses mesmos corpos de prova de concreto com bactérias foram retirados alguns testemunhos, aos 58 e 263 dias, que foram examinados no MEV da fabricante JEOL JSM, do laboratório de microscopia da PUC Minas.

## 3 | RESULTADOS E ANÁLISE

Após 12 dias em repouso, houve aglutinamento em vários pontos da amostra de vermiculita impregnada com a solução bacteriana e disposta em condições de temperatura ambiente. O que permite supor que as bactérias são capazes de se desenvolver quando associadas ao lactato de cálcio e a ureia, mesmo em condições externas naturais. Além disso, para confirmar a presença ativa das bactérias na amostra, esta foi submetida à análise por meio de MEV.

As micrografias das análises da vermiculita impregnada utilizando-se o MEV estão apresentadas na Figura 1. A micrografia da Figura 1a (ampliação 550x) foi gerada aos 12 dias e a da Figura 1b (ampliação 1000x) aos 58 dias. A análise aos 58 dias após a impregnação foi realizada com o objetivo de verificar a capacidade de sobrevivência das

bactérias ao longo do tempo. Foi possível constatar a presença dos esporos bacterianos também nessa análise, conforme ilustrado na Figura 1b. Contudo, não foi realizada uma contagem da colônia então, não se pode afirmar ao certo se a quantidade de esporos variou durante o período avaliado.

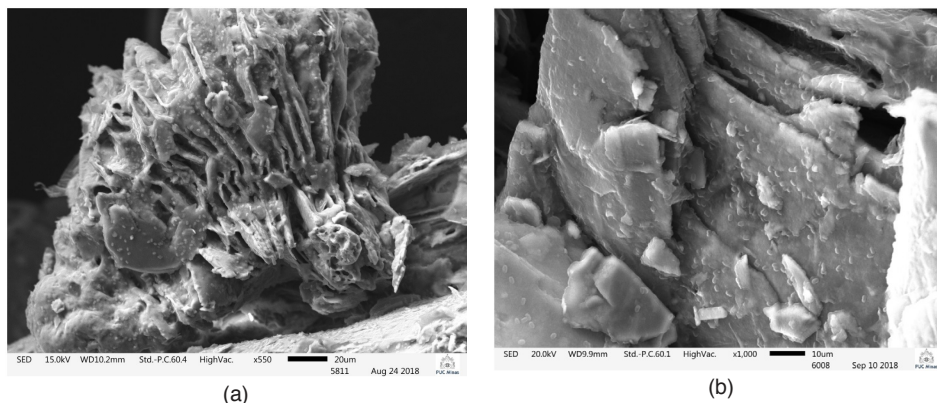


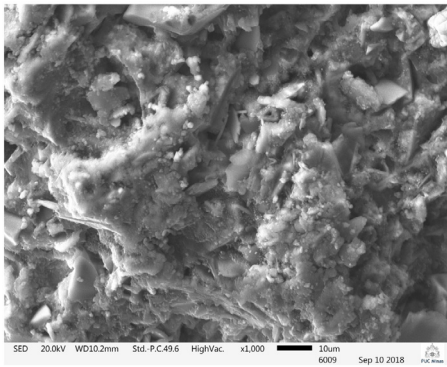
Figura 1 – Micrografias da vermiculita impregnada com solução bacteriana: (a) 12 dias após a impregnação e (b) 58 dias após a impregnação

Fonte: Autores (2018)

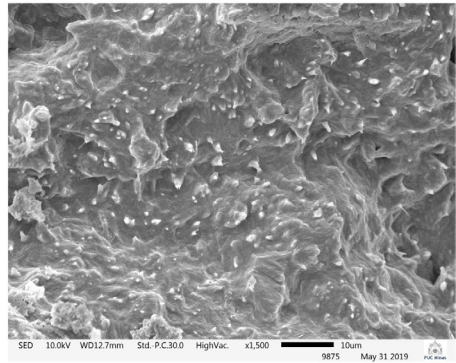
### 3.1 Verificação da Presença de Bactérias nos Testemunhos

Foram moldados corpos de prova de 5 centímetros de diâmetro por 10 centímetros de altura (5 cm x 10 cm) para as análises visuais no microscópio óptico e no MEV. Esses corpos de prova foram submetidos a um carregamento que seria suficiente para provocar-lhes algumas fissuras. Dos corpos de prova de concreto com bactéria, fissurados, foram retirados os testemunhos para as análises em ambos os microscópios.

Foi obtida a micrografia por meio do microscópio óptico, aos 58 dias do testemunho de concreto com bactéria mas, o funcionamento do microscópio se dá por meio da incidência de feixe luz diretamente sobre a amostra analisada e, como nesse caso a superfície da fissura é rugosa, não foi possível verificar a formação do  $\text{CaCO}_3$ , pois, superfícies rugosas tendem a não refletir a luz de forma a obter micrografias nítidas. Após a análise com o microscópio óptico, os mesmos testemunhos foram analisados no MEV para examinar a microestrutura e possíveis sinais de precipitação de calcita, como resultado de atividade microbiana. Ambas as micrografias da Figura 2 são de testemunhos do corpo de prova de concreto com bactérias. Tanto na micrografia da Figura 2a quanto da 2b, é possível identificar pontos brancos característicos de carbonato de cálcio precipitado, o que indica a presença de bactérias. A primeira foi captada de um testemunho retirado do corpo de provas no 58º dia após a moldagem deste, com uma ampliação de 1000x. Já a segunda imagem (Figura 2b), foi captada de um testemunho retirado do mesmo corpo de provas, 263 dias após a sua moldagem, com ampliação de 1500x.



(a)

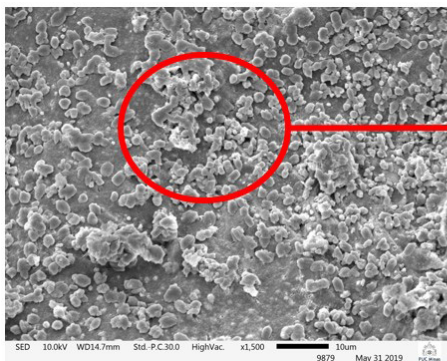


(b)

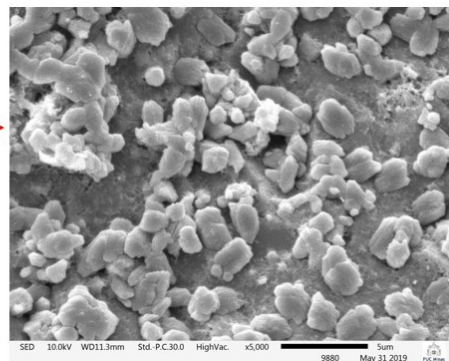
Figura 2 – Micrografias obtidas de MEV de testemunho de concreto com bactérias: (a) 58 dias após a moldagem e (b) 263 dias após a moldagem.

Fonte: Autores (2018)

As Figuras 3, 4 e 5 exibem as análises da microestrutura do concreto com bactérias pré-fissurado, aos 263 dias. Essas micrografias são de três testemunhos retirados dos corpos de provas de concreto com bactérias para a segunda análise MEV, que foi realizada 205 dias após a primeira análise. Na micrografia da Figura 3 as imagens do primeiro testemunho foram obtidas com uma sub aceleração de 10.000 volts e as imagens das Figuras 4 e 5 com uma sub aceleração de 15.000 volts. Para todos os testemunhos, foram estabelecidas ampliações de 1500x e 5000x.



(a)



(b)

Figura 3 – Micrografias obtidas de MEV do testemunho 1 de concreto com bactérias aos 263 dias após a moldagem (a) ampliação 1500x e (b) ampliação 5000x.

Fonte: Autores (2018)

Por meio da análise MEV, percebe-se a presença abundante de minerais, que provavelmente são precipitações de carbonato de cálcio e se formaram devido a conversão metabólica bacteriana do lactato de cálcio (Figuras 3, 4 e 5). Na micrografia ampliada (Figura 5b) tem-se uma concentração mais abundante da formação de cristais de  $\text{CaCO}_3$ . Em ambas as imagens da Figura 4, há indícios da formação de etringita com formato de agulha, ver indicações das setas.

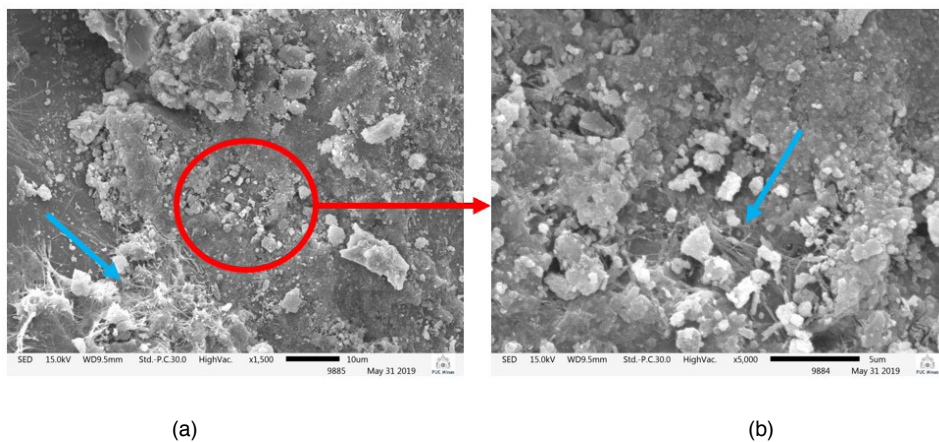


Figura 4 – Micrografias obtidas de MEV do testemunho 2 de concreto com bactérias aos 263 dias após a moldagem (a) ampliação 1500x e (b) ampliação 5000x.

Fonte: Autores (2018)

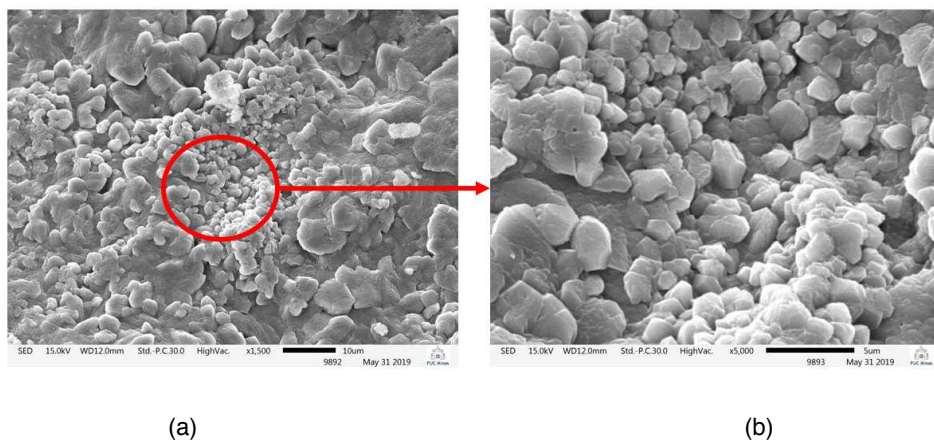


Figura 5 – Micrografias obtidas de MEV do testemunho 3 de concreto com bactérias aos 263 dias após a moldagem (a) ampliação 1500x e (b) ampliação 5000x.

Fonte: Autores (2018)

### 3.2 Resistência Mecânica

Para cada traço determinado no Quadro 2, foram moldados 6 corpos de prova para serem submetidos ao ensaio de resistência à compressão. Os resultados obtidos para os corpos de prova de concreto com argila expandida sem bactéria e com argila expandida com bactéria, estão apresentados nos Quadros 3 e 4, respectivamente. A resistência média à compressão do traço com argila expandida impregnada com bactérias (traço 1 no Quadro 1) foi superior ao traço com argila expandida sem incorporação de bactéria (traço 2 no Quadro 1).

<b>Traço de Concreto com Argila Expandida sem Bactéria</b>			
<b>Traço</b>	<b>Corpo de prova</b>	<b>Carga (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
2	1	126,49	16,11
2	2	127,40	16,22
2	3	128,60	16,37
2	4	130,86	16,66
2	5	130,78	16,65
Ca2	6	130,69	16,64
<b>Média</b>		<b>129,14</b>	<b>16,44</b>

Quadro 3 - Resistência de compressão concreto com argila sem bactéria

Fonte: Autores (2018)

<b>Traço de Concreto com Argila com Bactéria</b>			
<b>Traço</b>	<b>Corpo de prova</b>	<b>Carga (kN)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
3	1	200,96	25,59
3	2	215,10	27,39
3	3	215,54	27,44
3	4	206,32	26,27
3	5	210,38	26,79
3	6	207,63	26,44
<b>Média</b>		<b>209,32</b>	<b>26,65</b>

Quadro 4 - Resistência de compressão concreto com argila e bactéria

Fonte: Autores (2018)

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Um grande problema associado à fissuração do concreto é o aumento drástico de sua permeabilidade provocando o risco de degradação das estruturas ou elementos estruturais isolados, pela entrada de água e outros produtos químicos agressivos. A precipitação mineral mediada por bactérias pode resultar na diminuição das fissuras e conseqüentemente da

permeabilidade do material. Como as bactérias funcionam como catalisador, um composto precursor mineral adequado precisa ser adicionalmente incorporado na matriz para fornecer um mecanismo de reparo verdadeiramente autônomo. Nesta investigação, ficou evidente que as bactérias incorporadas no produto utilizado, Serenade, juntamente com o lactato de cálcio, representam um agente curativo de dois componentes que mediam a produção de quantidades abundantes de precipitados do tipo mineral.

Os resultados obtidos com a análise no MEV para a vermiculita aos 12 dias e aos 58 dias atestaram a sobrevivência da bactéria contida no produto utilizado, o probiótico Serenade. Verificou-se também a presença da bactéria *Bacillus Subtilis* na amostra do concreto aos 58 dias e mais tarde, aos 263 dias, como observado nas Figuras 3, 4 e 5.

Por meio do ensaio de resistência à compressão do concreto, os corpos de prova com incorporação de bactérias do gênero *Bacillus Subtilis* apresentaram maior resistência à compressão, como é possível observar nos resultados apresentados nos Quadros 3 e 4. Considerando a média apresentada nos Quadros 3 e 4, a resistência da amostra de concreto com bactéria impregnada na argila expandida (traço 1 no Quadro 1) foi superior (62,5%) à resistência da amostra de concreto sem bactéria impregnada na argila expandida (traço 2 no Quadro 1). Esse aumento da resistência à compressão quando há incorporação de bactérias em argamassas (Ghosha et al., 2005) e em concreto projetado (Chahal et al., 2012) já foi verificado por alguns investigadores. Os autores acreditam que o aumento da resistência à compressão deve-se principalmente à consolidação dos poros dentro de concreto por meio da precipitação induzida por carbonato de cálcio.

Para trabalhos futuros sugere-se a preparação de concreto variando a porcentagem de argila expandida com e sem bactéria, substituindo o agregado graúdo. Além disso, pode-se testar traços diferentes do adotado neste estudo, já que aqui o trabalho foi baseado em estudos realizados por autores estrangeiros (Jonkers, 2011; Mors & Jonkers, 2013). Outra sugestão seria variar a concentração de probiótico e do lactato de cálcio e avaliar a influência da variação de ambos na resistência à compressão do concreto.

Outros testes também podem ser considerados para a verificação da ocorrência do precipitado de carbonato de cálcio, por exemplo, ela poderia ser observada com maior clareza por meio de análise de difração de raios-x que possibilita além da verificação da microestrutura do  $\text{CaCO}_3$  e a quantificação do carbonato presente no corpo de prova. Outra técnica que pode ser adotada para verificação de carbonato de cálcio é espectroscopia Raman, pois esta análise baseia-se na captura de vibrações das ligações que são características do  $\text{CaCO}_3$ .

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 2015. *NBR 5738. Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova - Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT.

Chahal, N., Siddique, R., & Rajor, A. (2012). *Influence of bacteria on the compressive strength, water absorption and rapid chloride permeability of fly ash concrete*. Construction and Building Materials, 28, 351-356. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.042>

- Ghosh, P., Mandala, S., Chattopadhyay, B.D., & Pal, S. (2005). *Use of microorganism to improve the strength of cement mortar*. Cement and Concrete Research, 35, 1980-1983. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.03.005>
- Jonkers, H. M. & Schlangen, E. (2007). *Crack repair by concrete-immobilized bacteria*. Proceedings of First International Conference on Self-Healing Materials. Noordwijk aan Zee, Netherlands. Springer. Restaurado de <http://extras.springer.com/2007/978-1-4020-6250-6/documents/9.pdf>
- Jonkers, H. M. (2011). *Bacteria-based self-healing concrete*. Heron Journal, 56(1/2), 1-12. Restaurado de <https://heronjournal.nl/56-12/56-12.html>
- Jonkers, H. M., Thijssena, A., Muyzer G., Copuroglua, O., & Schlangen, E. (2010). *Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete*. Ecological Engineering, 36, 230-235. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.12.036>
- Joshi, K. A., Kumthekar, M. B., & Ghodake V. P. (2016). *Bacillus subtilis bacteria impregnation in concrete for enhancement in compressive strength*. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET). 3(5), 1229-1234. Restaurado de <https://www.irjet.net/archives/V3/i5/IRJET-V3I5252.pdf>
- Joshi, S., Goyal, S., Mukherjee, A., & Reddy, M. S. (2019). *Protection of concrete structures under sulfate environments by using calcifying bacteria*. Construction and Building Materials, 209, 156-166. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.079>
- Mors, R M, & Jonkers, H M. (2013). Practical Approach for Production of Bacteria-Based Agent-Contained Light Weight Aggregates to Make Concrete Self-Healing. Anais do 4a Conferência Internacional sobre Materiais de Autocura [Proceedings of the 4th International Conference on Self-Healing Materials, Ghent, Belgium, 16-20 June 2013], 240–243. Restaurado de <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A3078d20c-2173-4c13-a4d7-106207c78577>
- Nain, N., Surabhi, R., Yathish, N.V., Krishnamurthy, V., Deepa, T., & Tharannum, S. (2019). *Enhancement in strength parameters of concrete by application of Bacillus bacteria*. Construction and Building Materials, 202, 904-908. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.059>
- Nguyen, T. H., Ghorbel, E., Fares, H., & Cousture, A. (2019). *Bacterial self-healing of concrete and durability assessment*. Cement and Concrete Composites, 104. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103340>
- Schwantes-Cezario, N., Peres, M.V.N.do N., Fruet, T.K., Nogueira, G.S.F., Toralles, B.M., & Cezario, D. de S. (2018). *Crack filling in concrete by addition of Bacillus subtilis spores – Preliminary study*. DYNA, 85(205), 132-139, June, 2018. <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v85n205.68591>
- Tittelboom, K. van, Gruyaert, E., Rahier, H., & Belie, N De. (2012). *Influence of mix composition on the extent of autogenous crack healing by continued hydration or calcium carbonate formation*. Construction and Building Materials, 37, 349-359. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.07.026>
- Ugarte, J. F. O., Sampaio, J. A., & França, S. C. A. *Rochas e Minerais Industriais*. CETEM, 2a Edição, p.865, 2008

## COMPORTAMENTO AO CISALHAMENTO DE MINI PAREDES EXECUTADAS COM BLOCOS ENCAIXÁVEIS DE SOLO CIMENTO

### **Juliana Moreira Senna Guimarães**

Mestre em Processos Construtivos  
Universidade Fumec  
juliana.msguimaraes@gmail.com

### **Edna Alves Oliveira**

Profa. Dra. Universidade Fumec  
ednaao@fumec.br

### **João Batista Santos de Assis**

Prof. Dr Pontifícia Universidade Católica de  
Minas Gerais  
jbsassis@yahoo.com.br

**RESUMO:** Desastres naturais provocados por furacões, erupções vulcânicas, tsunamis ou terremotos têm causado milhares de mortes, afetando seriamente a economia, interferindo no desenvolvimento dos países em que ocorrem. O bloco encaixável de solo cimento, o Tijolito®-Sistema Andrade Gutierrez de Construção Industrializada, é um sistema utilizado em construções em vários estados do Brasil e no exterior. Investigações da ruptura de edificações após os terremotos *L'Aquila* que ocorreu em 2009 e *Emília* em 2012, mostraram que a baixa resistência ao cisalhamento das alvenarias era a maior causa dos colapsos estruturais. O conhecimento do comportamento estrutural das alvenarias quando submetidas a esse esforço ainda é pouco, necessitando de estudos e pesquisas nessa área. O objetivo deste trabalho é analisar, experimentalmente, o comportamento ao cisalhamento, de mini paredes de alvenaria estrutural, não armadas, construídas com Tijolito, mediante a aplicação de ensaio de compressão

diagonal. No Brasil, não existe regulamentação específica para análise da resistência ao cisalhamento de alvenarias construídas com blocos encaixáveis de solo cimento, porém a NBR 16522 - Alvenaria de blocos de concreto: métodos de ensaio (ABNT, 2016), prescreve para essa determinação uma metodologia aproximada ao ensaio de compressão diagonal descrito na E-519 (ASTM, 2002). Com o desenvolvimento do ensaio em doze mini paredes quadradas com dimensão de 550 mm<sup>2</sup>, concluiu-se que a resistência média ao cisalhamento do Tijolito foi 1,05 MPa e a carga de fissuração, relativa à primeira fissura, 6,83 kN. O módulo de elasticidade médio, a 20% da carga de ruptura, foi 22,2 MPa, e a 50% da tensão de ruptura 55,4 MPa. Em relação à forma da fissuração das mini paredes, aproximadamente 60% delas desenvolveram fissuras devidas ao cisalhamento através de uma abertura de aproximadamente 2 mm localizada no centro do painel, e as demais apresentaram dupla abertura, com cerca de 1mm, também na parte central do painel.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bloco encaixável de solo cimento. Ensaio de compressão diagonal. Cisalhamento.

### SHEER BEHAVIOR OF PLUG IN SOIL CEMENT MASONRY

**ABSTRACT:** Natural disasters caused by hurricanes, volcanic eruptions, tsunamis or earthquakes have caused thousands of deaths, seriously affecting the economy and interfering with the development of the countries where they occur. The Tijolito® - Andrade Gutierrez System of Industrialized Construction is a system used in constructions in several states of Brazil and abroad. Investigations of building collapse after the *L'Aquila* earthquakes that occurred in 2009

and Emilia in 2012, showed that the low shear strength of masonry was the major cause of structural collapse. Knowledge of the structural behavior of masonry when subjected to this effort is still poor, requiring studies and research in this area. The objective of this work is to analyse, experimentally, the shear behaviour of mini structural masonry walls, not reinforced, built with brick, through the application of diagonal compression test. In Brazil, there is no specific regulation for the analysis of the shear strength of masonry constructed with concrete blocks, but NBR 16522 - Concrete block masonry: test methods (ABNT, 2016), prescribes for this determination an approximate methodology for the diagonal compression test described in E-519 (ASTM, 2002). With the development of the test in twelve square mini walls with a dimension of 550 mm<sup>2</sup>, it was concluded that the average shear strength of the Tijolito was 1.05 MPa and the crack load, relative to the first crack, 6.83 kN. The average modulus of elasticity at 20% of the breaking load was 22.2 MPa, and at 50% of the breaking stress was 55.4 MPa. Regarding the shape of the cracking of the mini walls, approximately 60% of them developed cracks due to shearing through an opening of approximately 2 mm located in the center of the panel, and the others presented double opening, with approximately 1 mm, also in the central part of the panel.

**KEYWORDS:** Block embedding of soil cement. Diagonal compression test. Shearing.

## 1 | INTRODUÇÃO

Desastres naturais provocados por furacões, erupções vulcânicas, tsunamis ou terremotos têm causado milhares de mortes, afetando seriamente a economia, interferindo no desenvolvimento dos países em que ocorrem. Segundo Martins (2018), em março deste ano, o Brasil registrou, aproximadamente, vinte e seis tremores de terra, registrados pelo Observatório Sismológico da Universidade de Brasília, com magnitudes de até 4,3 na escala Richter. Em setembro de 2017, tremores de magnitude 8,2; 7,1 e 6,1 atingiram o México. A secretária de Desenvolvimento Agrário, Territorial e Urbano do país Rosário Robles relata que mais de 250.000 pessoas perderam suas casas por causa desses abalos sísmicos (LUSA, 2017). Ludovico *et al.* (2016) apontam que a Itália sofreu nos últimos dois séculos mais de 60 terremotos, causando mais de 149.000 mortes. Investigações da ruptura de edificações dos terremotos *L'Aquila*, que ocorreu em 2009, e *Emilia*, em 2012, mostraram que a baixa resistência ao cisalhamento das alvenarias era a maior causa dos colapsos estruturais.

Segundo Gouveia, Lourenço e Vasconcelos (2007), a alvenaria estrutural é uma das formas mais antigas de construção empregadas pelo homem. Há registros da utilização desse sistema construtivo pelas civilizações assírias e persas desde 10.000 a.C., sendo empregados tijolos secos ao sol, e por volta de 3.000 a.C. foi introduzida a queima dos tijolos em fornos. Tennant, Foster e Reddy (2016) destacam que várias técnicas de construção foram usadas para criar estruturas de terra crua, destacando os blocos de solo prensado, com ou sem adições. Miccoli *et al.* (2015) apontam que os blocos de solo com adições, como por exemplo, do cimento, estão disponíveis no mercado com diversos tamanhos e formas, podendo ser maçicos, perfurados e com ou sem a utilização de argamassa de assentamento. Seu processo de fabricação é simples, podem ser prensados manualmente, com o auxílio de equipamentos hidráulicos ou pneumáticos. Torgal e Jalali (2012) afirmam que esse tipo de bloco é um excelente isolante térmico além de ser resistente a chamas.

O bloco encaixável de solo cimento, o Tijolito®-Sistema Andrade Gutierrez de Construção Industrializada, é um sistema construtivo utilizado em construções em vários estados do Brasil e no exterior. Alguns países onde foi empregado, como por exemplo a Argentina e Trinidad e Tobago, já sofreram ocorrência de sismos ou furacões. Aguiar *et al.* (2017) afirmam que por estar localizado em uma região no interior da placa sul-americana o Brasil é um país com baixa atividade sísmica. Apenas obras de grande porte ou de altas exigências de segurança como usinas atômicas, pontes, túneis, barragens, costumam levar em consideração os efeitos de possíveis sismos em seus projetos. Porém, essa aparente baixa atividade não pode ser motivo da desconsideração desse efeito na elaboração dos projetos estruturais de edificações no País. Segundo Milosevic *et al.* (2013) o conhecimento do comportamento estrutural das alvenarias quando submetidas a esse esforço ainda é pouco, necessitando de estudos e pesquisas nessa área, não existe na bibliografia atual valores de resistência ao cisalhamento para alvenarias construídas com o Tijolito.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é analisar, experimentalmente, o comportamento ao cisalhamento de mini paredes de alvenaria estrutural não armadas construídas com blocos encaixáveis de solo cimento – Tijolito®-Sistema Andrade Gutierrez de Construção Industrializada, doravante referenciado por somente Tijolito.

## 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O Tijolito

O Tijolito é o resultado de uma pesquisa que se iniciou em 1979 por Assis, diante da preocupação com o desperdício de matérias primas na construção civil e pelo alto *déficit* habitacional brasileiro naquela época. Até os dias atuais, o *déficit* habitacional é um grande problema social do Brasil; estima-se que este valor seja correspondente a 5,846 milhões de domicílios (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2016).

A ideia inicial era produzir um bloco de solo e cimento com regularidade dimensional, Oliveira *et al.* (2016) destacam um obstáculo que as construções em terra crua encontram, é que geralmente, os blocos possuem dimensões não padronizadas. A partir dessa motivação, Assis desenvolveu um sistema que foi aprimorado ao longo dos anos. Em 1986, Assis introduziu orifícios no sistema de encaixe, a fim de reduzir a massa do bloco e eliminar as juntas entre suas unidades. Em 1987, além do sistema de encaixe vertical, Assis introduziu um sistema de encaixe horizontal, porém optou por desenvolver um orifício que conectava os encaixes, mas em 1989, abortou essa ideia, substituindo-a por um único orifício entre os dois já criados. Assis também estudou a possibilidade de que os encaixes verticais fossem quadrados ao invés de circulares, pois essa geometria favorecia o travamento e a estabilidade da parede, porém a matriz com o orifício quadrado era bastante onerosa e por esta razão optou por continuar com a geometria circular. Em 1991, Assis criou a primeira prensa hidráulica para a produção dos Tijolitos. Esta evolução pode ser observada na Figura 1. Não é necessário preencher todos os orifícios com graute, nem utilizar cola entre os blocos para conferir estabilidade de parede de Tijolito. A estabilidade da parede é conferida pela injeção de uma argamassa fluida no orifício de aproximadamente 30 mm, permitindo que os dois orifícios de 45 mm sejam destinados apenas à passagem de

tubulações hidráulicas e a cablagem elétrica, Figura 1 (Assis e Chahud, 2004).

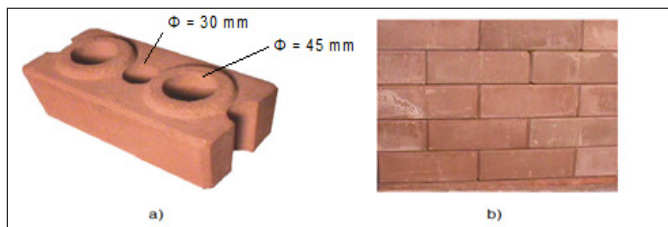


Figura 1 - a) Tijolito, bloco padrão TJ 110 b) vista de um painel executado com o Tijolito

Fonte: Assis e Chahud, 2004

A partir do bloco padrão, criaram-se algumas variações, ilustradas na Figura 2, todas obedecendo ao mesmo sistema de acoplamento. O TJ 111 é utilizado nas amarrações e finalizações das paredes. Com o objetivo de evitar cortes para a execução de saídas de instalações elétricas e hidráulicas, desenvolveram-se outras variações como o TJ 112, TJ 113 e TJ 114. Desenvolveu-se ainda, o TJ 115 para compor as vergas e contravergas de portas e janelas. Desde a criação do Tijolito, há estudos para o seu aprimoramento os qual fazem parte da dissertação de Assis (2001) e da tese de Assis (2008).

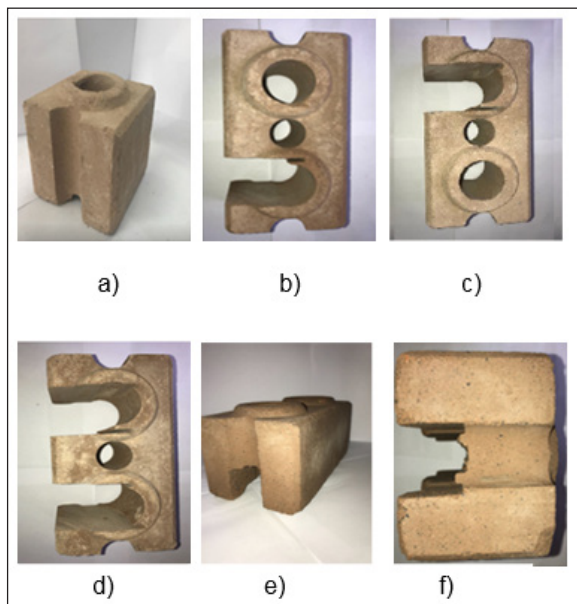


Figura 2: Tipologias do Tijolito: a) TJ 111- meio Tijolito; b) vista superior do TJ 112; c) vista superior do TJ 113; d) vista superior do TJ 114; e) vista do TJ 115 f) TJ 115 - vista lateral

Fonte: Assis e Chahud, 2004

## 2.2 Determinação da resistência ao cisalhamento de mini paredes

Para a determinação da resistência ao cisalhamento em alvenarias pode-se utilizar o ensaio de compressão diagonal, conforme ilustra a Figura 3, regulamentado pela ASTM E-519 *Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages* (2002) e NBR 16522 - Alvenaria de blocos de concreto: métodos de ensaio (ABNT, 2016). Essas duas normas prescrevem a aplicação de um esforço de compressão nas diagonais da parede, rotacionada 45 graus. O esforço de compressão é transmitido para a alvenaria por dispositivos metálicos, permitindo a determinação da tensão de cisalhamento e com a instalação de relógios comparadores, a quantificação do encurtamento e alongamento da alvenaria, bem como a determinação do módulo de elasticidade transversal (BORRI, CASTORI, e CORRADI, 2015).

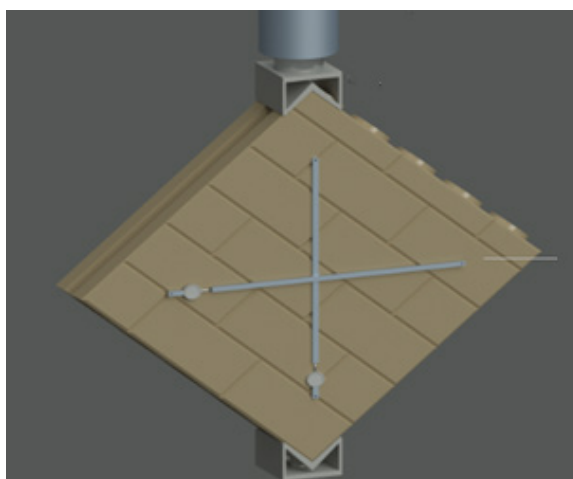


Figura 3: Ensaio de compressão diagonal com rotação da alvenaria a 45 graus em relação a uma diagonal

Fonte: Guimarães (2017)

### 2.2.1 Cálculo da tensão de cisalhamento da alvenaria

As normas E-519 (ASTM, 2002) e NBR 16522 (ABNT, 2016), adotam a formulação (1) proposta, para a determinação da resistência ao cisalhamento da alvenaria, rotacionada à 45° em relação às suas diagonais.

$$\tau_{alv} = \frac{(0,707P)}{A} \quad (1)$$

Em que:

$\tau_{alv}$  = tensão de cisalhamento convencional (MPa);

P = carga de ruptura média das paredes (N);

A = média da área bruta (ou líquida) das duas faces contíguas ao carregamento (mm<sup>2</sup>).

### 2.2.2 Cálculo da deformação da alvenaria

Segundo a NBR 16522 (ABNT, 2016) e E-519 (ASTM, 2002) obtêm-se as deformações a partir da formulação (2):

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

Em que:

$\Delta L$  = medida obtida pelo relógio comparador;

$L_0$  = comprimento inicial entre pontos, na diagonal da mini parede.

### 2.2.3 Cálculo da distorção da alvenaria

Além da determinação da tensão de cisalhamento, o ensaio de compressão diagonal permite o cálculo do módulo de elasticidade transversal ( $G_{alv}$ ). Sendo a distorção da parede ( $\gamma_{alv}$ ) parâmetro fundamental para tal, a NBR 16522 (ABNT, 2016) e E-519 (ASTM, 2002) mencionam que este é obtido de acordo com a seguinte equação:

$$\gamma_{alv} = \gamma_{alv} = \frac{\Delta V + \Delta H}{2L_0} \quad (3)$$

Em que:

$\gamma_{alv}$  = distorção da alvenaria (mm/mm);

$\Delta V$  = encurtamento vertical (mm);

$\Delta H$  = alongamento horizontal (mm);

$L_0$  = é o comprimento da base de medida (mm).

### 2.2.4 Cálculo do módulo de elasticidade transversal da alvenaria

O módulo de elasticidade transversal da alvenaria ( $G_{alv}$ ), é obtido por (4):

$$\tau_{alv} = \frac{\tau_{alv}}{\gamma_{alv}} \quad (4)$$

Em que:

$\tau_{alv}$  = tensão de cisalhamento da alvenaria (MPa);

$\gamma_{alv}$  = distorção da alvenaria (mm/mm);

## 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Caracterização dos materiais

Para a execução do traço da argamassa de injeção as mini paredes foram caracterizados: o cimento, a cal e a areia lavada, materiais necessários para a execução do

traço da argamassa de injeção, bem como os blocos encaixáveis de solo cimento, o Tijolito.

Para a caracterização do cimento, Cimento Portland com adição de Escória CPII E-32, executou-se os ensaios de determinação da massa específica segundo NBR NM 23 - Cimento Portland e outros materiais em pó - determinação de massa específica (AMN, 2001); e determinação da finura segundo a NBR 11579 – Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio de peneira de malha quadrada com abertura de  $75 \mu\text{m}$  (ABNT, 2012).

A cal utilizada na execução do traço foi Cal Hidratada Tipo III (CH-III). A caracterização desse material foi realizada conforme especificações da NBR NM 23 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação de massa específica (AMN, 2001).

Segundo Assis (2001), a areia lavada fornece valores críticos sobre as resistências das paredes em comparação à areia artificial, portanto, a fim de obter-se resultados mais representativos, optou-se por utilizar a areia lavada na execução do traço da argamassa de injeção. Esse agregado foi caracterizado a partir da determinação da massa específica aparente segundo NM 52 - Agregado miúdo - determinação de massa específica e massa específica aparente (AMN, 2009); impurezas orgânicas segundo NM 49 - Agregado fino: determinação de impurezas orgânicas (AMN, 2001); materiais pulverulentos segundo NM 46 - Agregados: determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometro, por lavagem (AMN, 2003); torrões de argila segundo NBR 7218 - Agregados: determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis (ABNT, 2010); granulometria segundo NBR 7211 - Agregado para concreto: especificação (ABNT, 2009).

Como não existe normalização específica para análise dimensional em blocos encaixáveis de solo cimento isentos de argamassa de assentamento, estes foram caracterizados de acordo com as medições descritas na Figura 4. Para este estudo, extraiu-se aleatoriamente doze corpos de prova de um lote de 15 mil Tijolitos. Deste mesmo lote foram extraídos os blocos para construção das mini paredes utilizadas no testes de determinação da resistência ao cisalhamento. Determinou-se a massa específica seca e saturada e o índice de absorção d'água de acordo com a NBR 12118 - Blocos de concreto vazados de concreto simples para a alvenaria (ABNT, 2014).

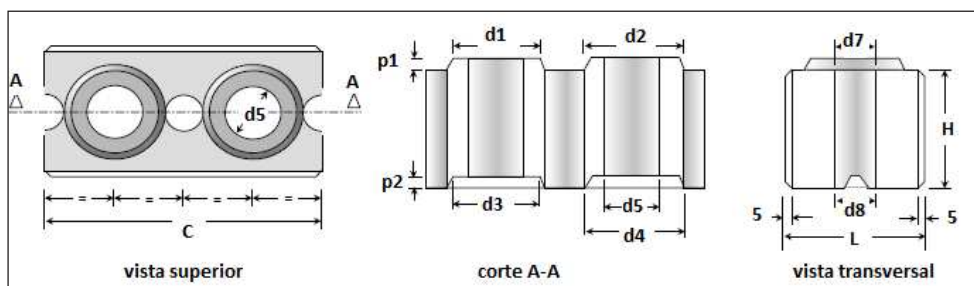


Figura 4: Dimensões analisadas para caracterização dos Tijolitos

Fonte: Guimarães (2017)

### 3.2 Estudo do traço da argamassa de injeção

Segundo Mohamad *et al.* (2009) o principal parâmetro responsável por suportar cargas na alvenaria estrutural é a resistência à compressão da parede, que está relacionada com a argamassa de assentamento. No caso do Tijolito, a estabilidade do painel de alvenaria é conferida por uma argamassa de injeção executada em um orifício específico no interior do bloco. Como o sistema prescinde de aditivos para a melhoria da plasticidade da argamassa, optou-se por utilizar a cal para conferir maior fluidez e menor segregação dos materiais, utilização recomendada pelo criador do sistema (ASSIS, 2001).

Para otimizar o cronograma da realização de ensaios, fez-se um estudo para a obtenção de um traço que, aos 5 dias atingiria a resistência equivalente ao traço padrão utilizado pelo SAGCI (1:2:7 relativos às proporções de cimento, cal e areia em volume e fator água cimento  $a/c= 4,0$  e fluidez igual a 15s) que, em 28 dias de idade, atinge uma resistência de aproximadamente 1,0 MPa. Empregou-se o processo mecânico para a mistura dos materiais, utilizando como equipamento uma argamassadeira automática.

A argamassa deve apresentar uma fluidez entre 10s e 20s, índice verificado por meio do cone *Marsh*, segundo a NBR 7681-2 - Calda de cimento para injeção Parte 2: Determinação do índice de fluidez e da vida útil - Método de ensaio (ABNT, 2013). Manter a fluidez dentro da faixa entre 10s e 20s é essencial para a execução das mini colunas de estabilização da parede de Tijolito, pois permite que a argamassa escoe pelo furo sem endurecer-se antes de seu preenchimento total.

A análise das resistências do traço da argamassa de injeção foi feita utilizando os procedimentos descritos na NBR 13279 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da resistência à tração na flexão e à compressão (ABNT, 2005).

### 3.3 Determinação da resistência ao cisalhamento

A determinação da resistência ao cisalhamento das mini paredes construídas com Tijolito foi determinada de acordo com os procedimentos da ASTM E-519 *Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages* (2002) e NBR 16522 - Alvenaria de blocos de concreto: métodos de ensaio (ABNT, 2016).

Além da determinação da resistência ao cisalhamento das mini paredes, executadas com Tijolito, determinou-se o alongamento horizontal e encurtamento vertical, durante a aplicação do carregamento e a elaborou-se mapas de fissuração dos painéis, a fim de melhor compreender o processo de fissuração e ruptura do painel. Esses ensaios foram realizados em 12 mini paredes, número 4 vezes maior do que o mínimo recomendado pela E-519 (ASTM, 2002), e o mesmo número do estudo de Miccoli *et al.* (2015).

Embora a E-519 (ASTM, 2002) recomende a utilização de corpos de prova com dimensões de 1200 x 1200 mm<sup>2</sup>, devido a uma limitação da prensa hidráulica, decidiu-se por adotar, baseando-se nos trabalhos de Miccoli *et al.* (2015), e Miccoli, Muller e Fonatana (2014), as dimensões 550 x 550 mm<sup>2</sup>.

A figura 5 ilustra o processo de confecção das mini paredes. Antes da injeção da argamassa, efetuou-se o umedecimento da alvenaria – figura 5(a). Esse procedimento foi

condição necessária para que os blocos não absorvessem a água presente na argamassa de injeção, e com isso, interferissem na redução da resistência mecânica da argamassa e, conseqüentemente, do painel. Após o umedecimento, iniciou-se o processo de injeção da argamassa fluida e auto adensável nos orifícios de menor diâmetro dos Tijolitos – figura 5(b).



Figura 5: Preparo da mini parede: a) umedecimento; b) injeção da argamassa

Fonte: Guimarães (2017)

Durante a aplicação do carregamento na compressão diagonal, instalaram-se relógios comparadores posicionados na direção das diagonais vertical e horizontal, conforme as recomendações da NBR 16522 (ABNT, 2016),

Para um melhor aproveitamento dos Tijolitos, optou-se pela modulação das mini paredes conforme ilustra a figura 6. Os relógios utilizados para medir os deslocamentos foram denominados:  $R_v$ , para medir o encurtamento vertical; e  $R_H$ , para medir alongamento horizontal, durante a aplicação do carregamento – figuras 6 e 7.

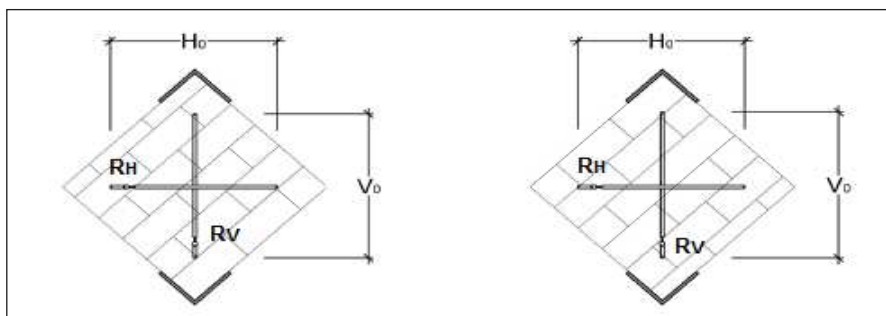


Figura 6: Configuração das paredes: a) blocos à meia altura na fiada superior; b) blocos à meia altura na fiada inferior

Fonte: Guimarães (2017)

Durante a aplicação do carregamento na compressão diagonal, instalaram-se relógios comparadores posicionados na direção das diagonais vertical e horizontal, conforme as recomendações da NBR 16522 (ABNT, 2016) – figura 7.

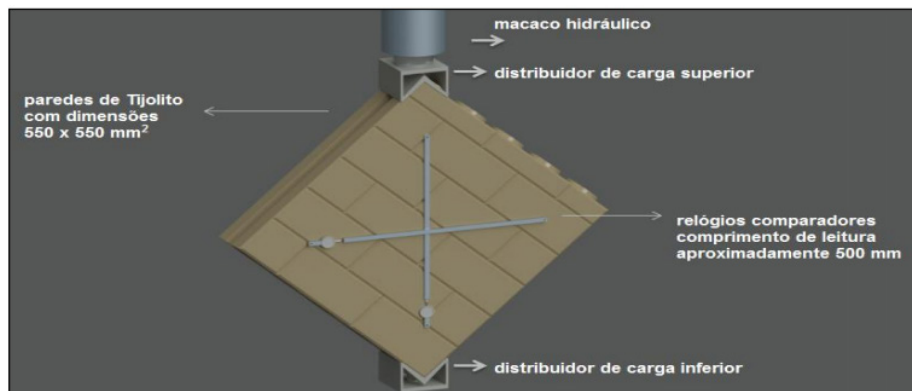


Figura 7: Esquema e instrumentação do ensaio de compressão diagonal das mini paredes de Tijolito.

Fonte: Guimarães (2017)

O equipamento utilizado para a aplicação da compressão diagonal foi a Prensa Universal, de sistema hidráulico de marca Amsler, com controle manual de carga e escalas: 78,45; 196,13 e 392,27 kN ou 1/10 destas, e com resolução: 0,098; 0,196 e 0,981 kN ou 1/10 destas. Para o estudo em questão, optou-se por utilizar a escala 1/10 com resolução de 10 N.

A figura 8 ilustra o posicionamento da mini parede na prensa.

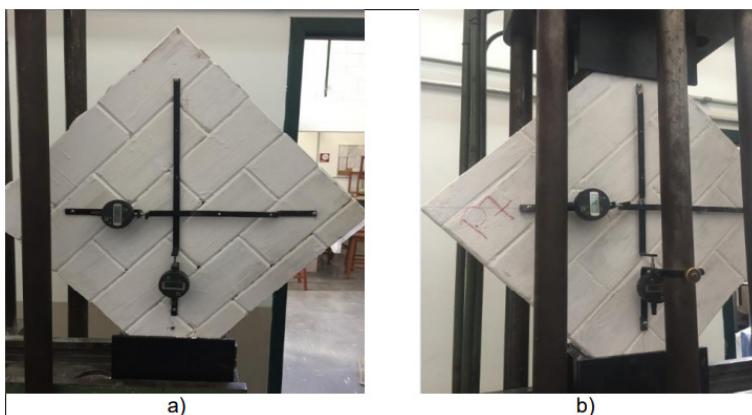


Figura 8: Posicionamento da mini parede; a) no suporte inferior; b) na prensa hidráulica, suporte superior

Fonte: Guimarães (2017)

As cargas foram aplicadas com incrementos escolhidos de modo a obterem-se pontos de medição adequados para a obtenção dos resultados pretendidos. Verificou-se que não seria necessário executar o capeamento dos blocos para a aplicação da carga, uma vez que foi utilizado o dispositivo distribuidor de carga no topo e na base das mini paredes. Durante a aplicação do carregamento, marcou-se o surgimento de fissuras em relação à sua respectiva carga a fim de elaborar os mapas de fissuração.

A figura 9 ilustra como os cilindros estão dispostos na mini parede rotacionada a 45 graus em relação a uma diagonal.

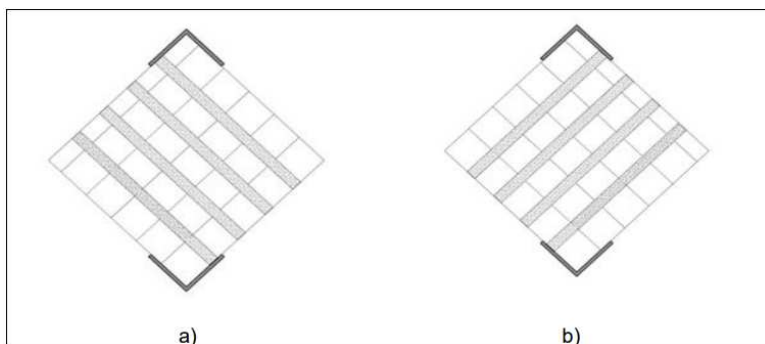


Figura 9: Cilindros de estabilização nas mini paredes de Tijolitos

Fonte: Guimarães (2017)

O conhecimento da quantidade de cilindros cisalhados durante a aplicação da compressão diagonal é condição necessária para a determinação da resistência da mini parede, e é obtido com a análise da fissuração do painel.

## 4 | RESULTADOS

### 4.1 Resultados da caracterização dos materiais

A partir dos resultados para a o cimento, a cal e a areia lavada, materiais necessários para a execução do traço da argamassa de injeção, e o Tijolito – apresentados nas Tabelas 1, 2, 3 e 4 – concluiu-se que estes materiais eram adequados para a execução das mini paredes, para o ensaio de compressão diagonal.

Ensaio	RESULTADOS
Massa específica real	3,015 g/cm <sup>3</sup>
Finura	3,06 %

Tabela 1: Resultados da caracterização do CP II E-32

Fonte: Os autores (2017)

Ensaio	RESULTADO
Massa específica real	2,416 g/cm <sup>3</sup>

Tabela 2: Resultados da caracterização da CH - III

Fonte: Guimarães (2017)

Ensaio	RESULTADOS
Massa específica real	2,641 g/cm <sup>3</sup>
Massa específica aparente	1,409 g/cm <sup>3</sup>
Impurezas orgânicas	< 300 ppm
Materiais pulverulentos	0,70 %
Torrões de argila	0,35 %
Granulometria	Dentro da zona utilizável recomendada pela NBR 7211

Tabela 3: Resultados da caracterização da areia lavada

Fonte: Guimarães (2017)

RESUMO DA ANÁLISE DIMENSIONAL DOS TIJOLITOS															
	D I M E N S Õ E S														
12 CP <sup>1</sup>	L	L <sub>SAT</sub>	H	H <sub>SAT</sub>	C	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	p1	p2
Média	110,2	110,3	100,2	100,4	220,1	68,9	78,3	69,6	80	44,6	45,6	31,7	31,7	10	11,2
S.D <sup>5</sup>	0,11	0,13	0,35	0,36	0,16	0,32	0,19	0,33	0,45	0,34	0,2	0,22	0,14	0,2	0,38
C.V <sup>6</sup> (%)	0,1	0,12	0,35	0,36	0,07	0,47	0,24	0,48	0,56	0,75	0,43	0,68	0,43	2,0	3,4

Tabela 4: Resultados da análise dimensional nos Tijolitos

Fonte: Guimarães (2017)

## 4.2 Resultados da caracterização do traço de injeção

Para o ensaio de fluência, utilizou-se a mesma proporção de materiais da argamassa de injeção segundo Assis (2001) e  $a/c=2,3$ ; obtendo-se fluidez de 16s, valor este entre o intervalo recomendado por Assis (10s a 20s). A argamassa de injeção apresentou à idade de cura pretendida, cinco dias, resistência à tração na flexão 0,47 MPa. Para a idade de cura pretendida a argamassa de injeção apresentou resistência à compressão equivalente ao traço padrão, recomendado por Assis (2001) e Assis (2008) aos 28 dias de idade, aproximadamente 1,0 MPa.

Portanto, a partir da análise das resistências e da fluência concluiu-se que o traço TE 1:2,5:4  $a/c=2,3$  fluidez 16s era o ideal para a execução das mini paredes, pois obteve a resistência à compressão em 5 dias equivalente à resistência do traço padrão recomendado por Assis (2001) e Assis (2008) aos 28 dias de idade, aproximadamente 1,0 MPa.

## 4.3 Resultados dos ensaios de compressão diagonal

Com a aplicação do carregamento notou-se que nas paredes ensaiadas, o cisalhamento desenvolveu-se a partir de uma macro fissura localizada no centro do painel. Mesmo com a ruptura relativa à primeira fissura, pôde-se constatar que a parede possui

capacidade de manter-se íntegra e continuar a receber carga até o seu colapso total. Devido a esta característica, optou-se por carregar os painéis até a sua ruína. Observou-se que o cisalhamento ocorreu na mini coluna de estabilização, constituída pela argamassa de injeção, conforme ilustrado na figura 10.

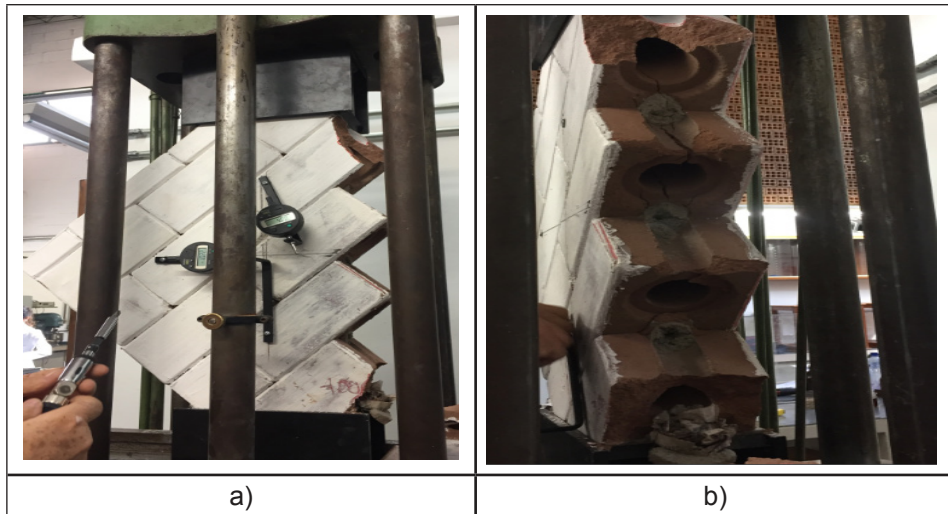


Figura 10: Modo de ruptura da P1: a) vista da face dos relógios; b) vista lateral direita

Fonte: Guimarães (2017)

#### 4.3.1 *Carga x deslocamento das mini paredes*

A figura 11 apresenta os resultados de carga x deslocamento para as doze mini paredes submetidas ao ensaio de compressão diagonal.

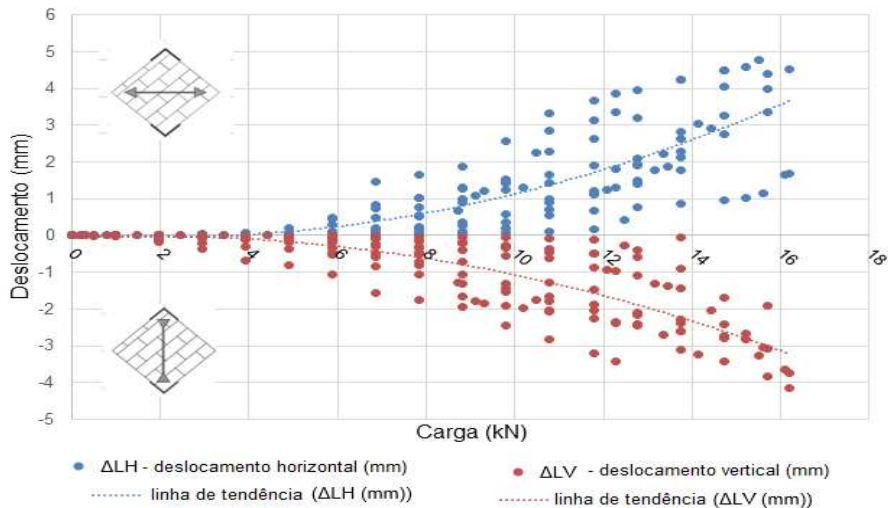


Figura 11: Gráfico carga x deslocamento das mini paredes ensaiadas à compressão diagonal

Fonte: Guimarães (2017)

A partir dos resultados dos deslocamentos para cada mini parede, calcularam-se os deslocamentos médios em relação a sua respectiva carga, obtendo-se os resultados apresentados na figura 12. O erro quadrático do gráfico carga x deslocamento obtido para o alongamento horizontal, 0,9956, e para o encurtamento vertical, 0,9931 são próximos de 1,0, demonstrando a precisão obtida no ensaio.

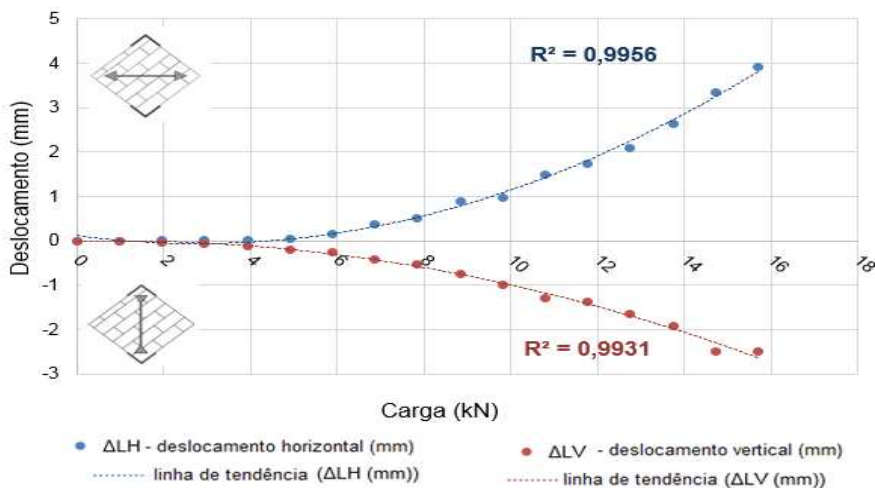


Figura 12: Gráfico carga x deslocamento médio das mini paredes ensaiadas à compressão diagonal

Fonte: Guimarães (2017)

### 4.3.2 Resumo dos resultados do ensaio de compressão diagonal

Na Tabela 5 são apresentados os resultados do ensaio de compressão diagonal para as doze mini paredes ensaiadas. Para cada ensaio, observaram-se as cargas de ruptura ( $P_R$ ), bem como a carga relativa à primeira fissura ( $P_F$ ), o alongamento horizontal ( $\Delta L_H$ ), o encurtamento vertical ( $\Delta L_V$ ), e as respectivas deformações  $\epsilon_H$  e  $\epsilon_V$ . A análise dos mapas de fissuração, possibilitou a identificação dos cilindros cisalhados para a definição da área de cisalhamento. De posse destes resultados foi possível calcular a tensão de cisalhamento da mini parede  $\tau_{ALV}$  e sua distorção  $\gamma_{ALV}$ .

Como a NBR 16522 (ABNT, 2016) recomenda que o módulo de elasticidade transversal  $G_{ALV}$  seja calculado entre 20% e 50% da tensão de ruptura ao cisalhamento, efetuou-se o cálculo para estas duas tensões.

CP	$P_R$ (N)	$P_F$ (N)	$AL_H$ (mm)	$AL_V$ (mm)	$\epsilon_H$	$\epsilon_V$	Cilindros cisalhados	$T_{ALV}$ (MPa)	$Y_{ALV}$ (mm/mm)	$G_{ALV}$ 20% (MPa)	$G_{ALV}$ 50% (MPa)
p1	8829,0	6867,0	2,56	-9,48	0,0085	-0,0316	3	2,65	0,0201	26	66
p2	15696,0	13243,5	4,41	-1,91	0,0091	-0,0038	6	2,36	0,0064	74	184
p3	12262,5	3825,9	3,36	-3,41	0,0069	-0,0068	6	1,84	0,0072	51	128
p4	8730,9	3924,0	5,23	-0,59	0,0105	-0,0012	4	1,97	0,0058	67	169
p5	14420,7	5395,5	2,93	-2,04	0,0059	-0,0041	8	1,63	0,0050	65	163
p6	16186,5	7553,7	4,52	-4,14	0,0090	-0,0083	9	1,62	0,0087	37	94
p7	16186,5	4905,0	1,7	-3,75	0,0034	-0,0075	9	1,62	0,0055	59	149
p8	12458,7	4905,0	0,41	-0,27	0,0008	-0,0005	6	1,87	0,0007	551	1376
p9	15696,0	8829,0	3,37	-3,09	0,0067	-0,0062	6	2,36	0,0065	73	183
p10	15499,8	7848,0	4,78	-3,28	0,0096	-0,0066	8	1,75	0,0081	43	108
p11	15205,5	5886,0	4,6	-2,82	0,0092	-0,0056	8	1,71	0,0074	46	115
p12	13734,0	9319,5	1,77	-0,05	0,00354	-0,0001	8	1,55	0,0018	170	425

Tabela 5: Resultados dos ensaios de resistência à compressão diagonal

Fonte: Guimarães (2017)

Na figura 13, apresentam-se os resultados da tensão de cisalhamento das mini paredes a partir do ensaio de compressão diagonal.

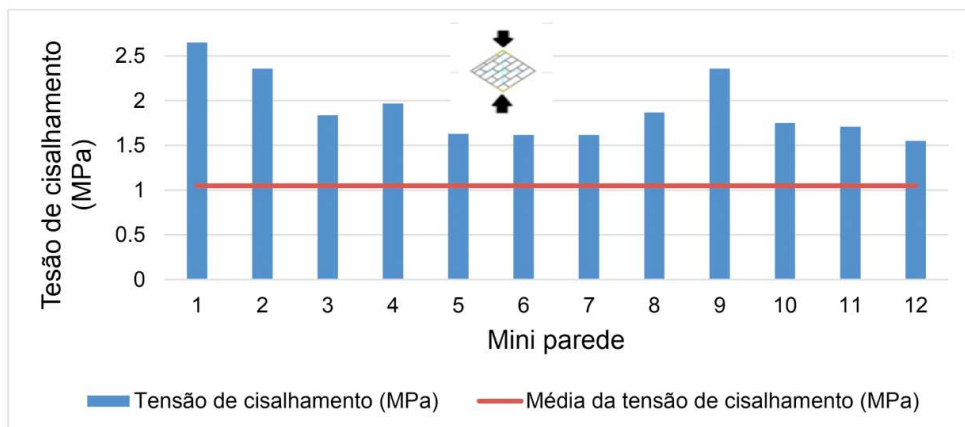


Figura 13 - Carga de ruptura das mini paredes decorrente do ensaio de compressão diagonal

Fonte: Guimarães (2017)

## 5 | DISCUSSÃO

Para a análise dos resultados referentes à tensão de cisalhamento e do módulo de elasticidade transversal das mini paredes, optou-se por aplicar o procedimento estatístico da NBR 12655 Concreto de Cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - procedimento (ABNT,2015), pois dessa forma, pode-se verificar quais dados poderiam ser descartados do cálculo das médias, por estarem fora do desvio padrão dos resultados, gerando um resultado representativo em comparação com o comportamento global apresentado pelas doze mini paredes. Aplicando esse procedimento estatístico, obteve-se como valor médio para a resistência ao cisalhamento das mini paredes 1,05 MPa, módulo de elasticidade médio a 20% da carga de ruptura, 22,2 MPa, e a 50% da tensão de ruptura 55,4 MPa.

## 6 | CONCLUSÕES

A busca por materiais de construção que utilizam materiais sustentáveis em sua constituição é crescente. Edificações construídas com o Tijolito – bloco encaixável de solo cimento, que possui orifícios, destinados à passagem de tubulações hidráulicas e cablagem elétrica, reduz a geração de resíduos provenientes da quebra de blocos. Por dispensar queima em seu processo de fabricação, o Tijolito também diminui o consumo de energia empregado para sua produção. Por utilizar o solo como matéria prima, material disponível e recorrente em todo o planeta, o Tijolito é um material de construção que pode ser produzido em países desenvolvidos, ou em desenvolvimento. Por empregar um processo construtivo simples, utilizando o encaixe entre suas unidades, diminui o tempo de execução de edificações, sendo uma alternativa para a construção de, principalmente, moradias que visam reduzir o *déficit* habitacional.

Além da questão ambiental e social, sabe-se que a resistência ao cisalhamento

de uma alvenaria é importante para que essa não entre em colapso quando submetida a esforços de vento ou abalos sísmicos. As alvenarias de terra crua, principalmente quando submetidas ao esforço de cisalhamento, devem manter-se estáveis frente aos agentes causadores dessa solicitação. O conhecimento dessa característica contribui para o dimensionamento de edificações em relação ao limite último. Não há na bibliografia atual normas específicas para a determinação da resistência ao cisalhamento de alvenarias construídas com blocos encaixáveis de solo cimento, porém para a essa avaliação executou-se o ensaio de compressão diagonal, prescritos pela ASTM E-519 e a NBR 16522 (ABNT, 2016). As doze mini paredes, com dimensões quadradas de 550 mm de lado, foram executadas com o traço TE 1:2,5:4 fator  $a/c=2,3$  e fluidez 16s.

Portanto, o bloco encaixável de solo cimento, o Tijolito®-Sistema Andrade Gutierrez de Construção Industrializada, sistema construtivo de menor impacto ambiental, nessa primeira análise, utilizado em construções em vários estados do Brasil e no exterior, devido ao seu comportamento relativo a sismos e esforços de vento é um material que, segundo essa primeira análise, apresenta resistência ao cisalhamento de 1,05 MPa; e as demais técnicas técnica construtiva com alvenaria de terra crua: a taipa (*rammed earth*) 0,71 MPa, a mistura do solo com fibras (*cob*) 0,50 MPa e os demais blocos encaixáveis de solo cimento 0,34 MPa.

## REFERÊNCIAS

ABCP. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Fabricação de tijolos de solo cimento com prensas manuais. Boletim Técnico. São Paulo, n. 3, p. 16, jun 2000. ISSN 85-87024-28-0.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 7211: Agregado para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_.NBR 7218: Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_.NBR 7681: Calda de cimento para injeção - Parte 2: Determinação do índice de fluidez e da vida útil - Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_.NBR 11579: Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75  $\mu\text{m}$  (nº 200). Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_.NBR 12118: Blocos de concreto vazados de concreto simples para a alvenaria. Rio de Janeiro, 2014.

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

\_\_\_\_\_.NBR 16522: Alvenaria de Blocos de Concreto - Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

AGUIAR, R. D. C. et al. Avaliação comparativa entre carregamentos dinâmicos provocados pela ação do vento e pela ação de terremotos em estruturas de edifícios na zona sísmica. Conferência Nacional de Patologia e Recuperação de Estruturas, 2017. Disponíveis em: . Acesso em 26., set.2017. AMN.

ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. NM 23: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_.NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75  $\mu\text{m}$ , por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_.NM 49: Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_.NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.

ASSIS, J. B. S. de. Avaliação Experimental do Comportamento Estrutural de Paredes Não Armadas, Submetidas à Compressão Axial, Construídas com Tijolito: Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais, 2001. 210f.

\_\_\_\_\_.Paredes Construídas com Blocos Encaixáveis de Solo-Cimento: Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais, 2008. 253f.

ASSIS, J. B. S. de.; CHAHUD, E. Avaliação do Comportamento Estrutural de MiniParedes Construídas com Blocos de Solo-Cimento, Isentas de Argamassa entre as Fiadas - Tijolito Sistema Andrade Guitierrez de Construção Industrializada. III Seminário Iberoamericano de Construcción con Tierra: La Tierra Cruda en la Construcción del Habitat. Anais... San Miguel de Tucumán: 2004. p. 149-159.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS .E-519: Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages. West Conshohocken, PA: 2002. BERGE, B. The ecology of building materials. Architectural Press, Elsevier Science, n. 2, 2009. ISSN 978-1-85617-537-1. Disponível em: Acesso em: 07 mai.,2017.

BORRI, A.; CASTORI, G.; CORRADI, M. Determination of Shear Strength of Masonry Panels Through Different Tests. International Journal of Architectural Heritage, Perugia, Italy, 2015. 913–927. Disponível em: Acesso em: 05 jun.,2017. Bussab, W.º; Morettin, P.A. Estatística Básica, Editora Saraiva, São Paulo – Brasil – Cap 11 pgs 289-296. (2002).

CALDERINI, C.; CATTARI, S.; LAGOMARSINO, S. The use of the diagonal compression test to identify the shear mechanical parameters of masonry. Construction and Building Materials.Elsevier. 2010. p. 677-685.

FAY, L.; COOPER, P.; MORAIS, H. F. D. Innovative interlocked soil–cement block for the construction of masonry to eliminate the settling mortar. Construction e 101 Building Materials, p. 391 -395, 2014. ISSN 0950-0618. Disponível em: . Acesso em: 07 abr.,2017.

FARJADO, Raúl Ivan Contreras. Previsão numérica do comportamento dinâmico da barragem de Breapampa no Peru. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio.Rio de Janeiro, 2014. 152f.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Déficit habitacional no Brasil 2013-2014. Centro de Estatística e Informações-CEI. Belo Horizonte. 2016. Disponível em:. Acesso em 13., abr 2017.

GOUVEIA, J. P.; LOURENÇO, P. B.; VASCONCELOS, G. Soluções Construtivas em Alvenaria. In:3º CONGRESSO CONSTRUÇÃO. Coimbra, Portugal: Universidade de Coimbra. 2007. Disponível em: . Acesso em 03., abr 2017.

LOURENÇO, P. B.; COSTA, A. C. Comportamento sísmico da alvenaria: ensaios recentes. In: Seminário Paredes de Alvenaria, Lisboa, Portugal, p. 103-112, 2015. Disponível em: .Acesso em 03., set 2017.

LUSA, R. R. Reconstrução do sismo no México “não será da noite para o dia”. Mundo ao Minuto. Disponível em: . Acesso em: 12 out.,2017.

MARTINS, A. Terremotos em março. Ciência e Tecnologia - Portal de notícias G1 Disponível em: . Acesso em: 20 abr., 2018.

MASKELL, D.; HEATH, A.; WALKER, P. Inorganic stabilisation methods for extruded earth masonry units. *Construction and Building Materials*, v. 71, p. 602 -609, 2014. ISSN 0950-0618. Disponível em: . Acesso em: 10 set.,2017.

MICCOLI, L.; MULLER, U.; FONATANA, P. Mechanical behavior of earthen materials: a comparison between earth block masonry, rammed earth and cob. *Construction and Building Materials*, v. 61, p. 327 -339, June 2014. ISSN 0950- 0618. Disponível em: < <http://www.elsevier.com/locate/conbuildmat>>. Acesso em: 10 set.,2017.

MILOSEVIC, J. et al. Shear Tests on Rubble Stone Masonry Panels -Diagonal Compression Tests. *Construction and Building Materials*, Lisboa, Portugal, Out 2013. 1372-1380. Disponível em: . Acesso em: 05 jun.,2017.

OLIVEIRA, E.A. Estudo numérico e experimental de paredes de alvenaria não estruturais reforçadas com armadura de junta submetidas à flexão no seu plano. Tese de doutorado apresentada ao Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais, 2009. 290f. OLIVEIRA, D. V. et al. Mechanical performance of compressed earth block masonry using granitic residual soils. ISISE, University of Minho, Depart. Civil Engineering, Guimarães, Portugal, 2016. Disponível em: . Acesso em: 25 set.,2017.

PORTER, D.; ASSIS, J. B. S. D.; GUIMARÃES, J. M. S. Tijolito a Brazilian Green Brick. In: I CONGRESSO DO INSTITUTO POLITÉCNICO DA PUC MINAS, Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte.2015. p. 19-22. ISSN 987-85-8239-054-2.

SILVA, R. A. et al. Mechanical characterisation of dry-stack masonry made of cebs stabilised with alkaline activation. *Construction and Building Materials*, v. 75, p. 349 - 358, 2015. ISSN 0950-0618. Disponível em: . Acesso em: 25 ago.,2017.

STURM, T.; RAMOS, L. F.; LOURENÇO, P. B. Characterization of dry-stack interlocking compressed earth blocks. *Materials and Structures* , v. 48, p. 3059 - 3074, 2015. ISSN 1359-5997. Disponível em: . Acesso em: 02 jun.,2017.

TENNANT, A. G.; FOSTER, C. D.; REDDY, B. V. V. Detailed Experimental Review of Flexural Behavior of Cement Stabilized Soil Block Masonry. *Journal of materials in civil engineering* , v. 28, p. 0899-1561, 2016. Disponível em: . Acesso em: 05 set.,2017.

TIMBÓ, L. A. P.; LOPES, R. C. O. Análise Comparativa entre a alvenaria estrutural e a convencional. Artigo apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Católica de Brasília, 2014.28f. Disponível em: < <https://repositorio.ucb.br/jspui/handle/10869?4687>>. Acesso em 10.,ago 2017.

## ESTUDOS DE IMPLANTAÇÃO DE COBERTURAS VERDES EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE

### **Adriano de Paula e Silva**

Prof. Titular da Escola de Engenharia da UFMG, [apsilva@demc.ufmg.br](mailto:apsilva@demc.ufmg.br)

### **Cristiane Machado Parisi Jonov**

Prof<sup>a</sup> Adjunto da Escola de Engenharia da UFMG, [cparisijonov@demc.ufmg.br](mailto:cparisijonov@demc.ufmg.br)

### **Priscila Salvador Santos**

Mestre em Construção Civil, UFMG, [prisalvadorbh@gmail.com](mailto:prisalvadorbh@gmail.com);

**RESUMO:** É apresentado um estudo de implantação de modelos de coberturas verdes em edificações residenciais do Município de Belo Horizonte, Minas Gerais. Foram definidos 6 tipos de projetos que representassem as tipologias das edificações do município, e estabelecidos 3 modelos de cobertura verde a serem implantados nos respectivos projetos. O estudo utiliza como base, projetos-padrão das edificações do Município de Belo Horizonte, especificados por Chaib (2016). O tema é bastante conhecido no âmbito internacional, porém no Brasil é novo, principalmente para o município de Belo Horizonte, para o qual existem poucos estudos. Para o desenvolvimento do trabalho, foi realizado um estudo de caso a partir de visita técnica a cobertura verde de um Centro de Promoção da Saúde localizada no município de Belo Horizonte. A visita auxiliou na definição dos modelos de cobertura verde e no levantamento dos serviços necessários para a realização da cobertura. A partir da definição dos serviços, foram obtidos os custos unitários de implantação dos modelos

de cobertura verde, no qual foi levado em consideração a tipologia de projeto, o encargo social desonerado e os valores de horista. As análises realizadas levaram a conclusão que apesar do alto custo de implantação dos modelos adotados, o modelo 1 é viável para as tipologias de edificações adotadas, e os modelos 2 e 3 necessita de um estudo maior quanto ao impacto do mesmo na estrutura da edificação.

**PALAVRAS CHAVE:** Edificação. Cobertura verde. Vegetação. Custo de implantação.

### GREENHOUSE IMPLANTATION STUDIES IN RESIDENTIAL BUILDINGS IN THE MUNICIPALITY OF BELO HORIZONTE

**ABSTRACT:** It is presented a study of the implantation of models of green coverage in residential buildings of the Municipality of Belo Horizonte, Minas Gerais. Six types of projects were selected that represent the typologies of the buildings of the municipality, and three models of coverage are implanted in the previous projects. The study used basis, standard designs of the buildings of the Municipality of Belo Horizonte, separated by Chaib (2016). The theme is well known in the international arena, but in Brazil it is new, mainly for the municipality of Belo Horizonte, for the qualities few studies. The development of the work was done from the clinical case study of a health institution in the region of Belo Horizonte. The visit assisted in the choice of models of green coverage and no request of the services needed to perform the coverage. From the framework of the services, the unit costs were excluded from the implementation of the green cover models, a project typology, the social charge discharged and the hourly values were not taken into account. The published analyzes led to the conclusion of a process of adoption of adopted data models,

model 1 is feasible for typologies of adopted buildings, and models 2 and 3 need a greater knowledge about the impact of the same in the structure of the building.

**KEYWORDS:** Edification. Green roof. Vegetation. Deployment cost.

## INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, a ocupação urbana em várias partes do mundo cresceu de forma desordenada e junto cresceram os problemas gerados por ela. No Brasil, a urbanização acelerada trouxe com ela problemas como: enchentes, a falta de conforto térmico e acústico nas edificações e altos gastos de energia devido à falta de luz natural.

Nos últimos anos as inundações nas cidades brasileiras se tornaram cada vez mais frequentes e devastadoras, o que levou à realização de vários estudos sobre o tema. As inundações podem causar impactos sociais e econômicos através da perda de bens materiais e imateriais; do alto custo dos trabalhos de recuperação das edificações das áreas atingidas; dos danos à infraestrutura urbana; dos prejuízos indiretos causados pelos custos de congestionamentos e dos lucros cessantes (JONOV, 2012).

Os telhados verdes vêm sendo utilizados ao longo da história, mas para diversas finalidades como: estéticas, vernaculares, lazer, ecológicas e por fim sustentáveis (BALDESSAR, 2012). Pode-se definir o telhado verde como acessível, que se caracteriza por ser uma área aberta ao uso de pessoas gerando benefícios sociais aos seus usuários e agregando valor ao edifício; e inacessível, o qual não permite a circulação de pessoas, podendo ser planos, inclinados e curvos (OLIVEIRA, 2009).

A tecnologia chamada de telhado verde é composta, de modo geral, pela sobreposição de camadas, dentre as quais estão: a estrutura da cobertura (estrutura do teto), a impermeabilização (membrana à prova d'água), a barreira anti-raiz, a camada de drenagem, a camada filtrante (filtro de impurezas), o substrato (solo) e a vegetação (PLACITELLI, 2010).

Os telhados verdes, de acordo com Lima (2013), são uma ótima alternativa, pois permitem: a retenção das águas, devido à presença de substrato e vegetais que auxiliam nesta função; a possibilidade de reuso das águas retidas durante as precipitações; a agricultura urbana; e a redução de impostos como meio de incentivar o crescimento dessa ferramenta, um fator pouco citado pelos demais autores pesquisados. Porém ressalta que no Brasil, os telhados verdes são considerados desnecessários por algumas comunidades e de valor apenas estético para classes financeiras altas, mesmo difundidos em diversos países como Alemanha, Espanha, Suíça entre outros. Reforça ainda a falta de apoio e/ou incentivo do poder público para sua implantação desta tecnologia nas áreas urbanas.

Os telhados verdes podem ser construídos sobre superfícies planas ou telhados inclinados. Segundo Thomaz (2008) para que a água não escorra muito rápido, o sistema é aplicado em telhados quase planos com inclinação de aproximadamente 5°, para inclinações acima de 20°, outras estruturas para conter o fluxo de água devem ser feitas.

Segundo Kibert (2012) os telhados verdes podem ser classificados como intensivos e extensivos. Os sistemas extensivos têm como característica possuir uma baixa manutenção e exigirem pouca ou nenhuma irrigação e adubação. Os tipos de plantas mais adequadas

para este sistema são as nativas e alguns tipos de plantas exóticas que estejam adaptadas à região e que necessitem de pouca manutenção (de acordo com estudos feitos no Brasil). No caminho inverso estão os sistemas intensivos que necessitam de alta manutenção, devido aos gramados e vegetações de médio e grande porte, como arbustos e árvores característicos. Devido ao porte maior da vegetação, os sistemas intensivos são mais complexos e pesados do que os extensivos e requerem maior investimento e manutenção. A espessura do substrato no sistema extensivo varia entre 2 a 15 cm, enquanto no intensivo é de 20 cm ou mais (MAGALHAES, 2015).

Diferentemente do Baldessar (2012), a IGRA (2017) classifica o telhado verde em três formas:

(a) Extensivo: caracterizado por baixa manutenção; não necessita de irrigação; a camada de substrato contém poucos nutrientes, o que permite altura entre 6 a 20 cm; a capacidade de carga é baixa, entre 60 a 150 kg/m<sup>2</sup>; o custo de instalação é considerado baixo; a vegetação principal é de gramíneas e ervas, plantas menos exigentes e de crescimento baixo; apropriado para locais que não se destinam ao uso como jardins.

(b) Semi-intensivo: necessita de manutenção e irrigação periódica; o substrato tem de 12 a 25 cm; o peso médio de 120 a 250 kg/m<sup>2</sup>, o custo de instalação é médio, a vegetação característica são as gramíneas, ervas e arbustos; e sua característica é ser um telhado verde projetado.

(c) Intensivo: é um sistema de alta manutenção; a irrigação e a fertilização devem ser realizadas regularmente; a altura do substrato está entre 15 a 40 cm; o peso médio entre 180 a 500 kg/m<sup>2</sup>; necessita de alto custo de instalação; a vegetação é composta de arbustos, árvores, plantas perenes e gramas; propício para ser utilizado como um jardim.

De acordo com um estudo realizado por Vacilikio e Fleischfresser (2011), ao comparar a temperatura interna de dois ambientes idênticos, sendo um com cobertura convencional e outro com telhado verde, verificou-se a redução da amplitude térmica quando o telhado verde é utilizado, contribuindo para o conforto térmico do ambiente (Figura 1).

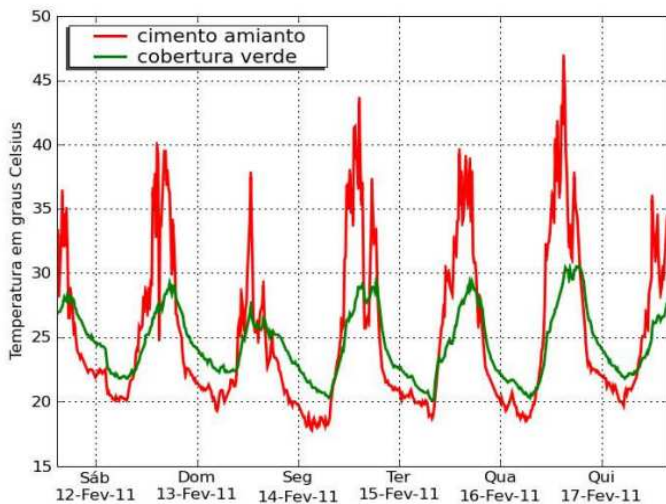


Figura 1 - Comparação das temperaturas internas

Fonte: Vacilikio e Fleischfresser (2011)

Segundo Palla et al. (2010 apud REDA, TANZILLO e COSTA, 2012), os telhados verdes têm como fundamental característica a capacidade de retenção e detenção de águas pluviais. O ciclo hidrológico de uma região urbana pode ser restaurado com a utilização, em boa parte das edificações, de telhados verdes (Figura 2).

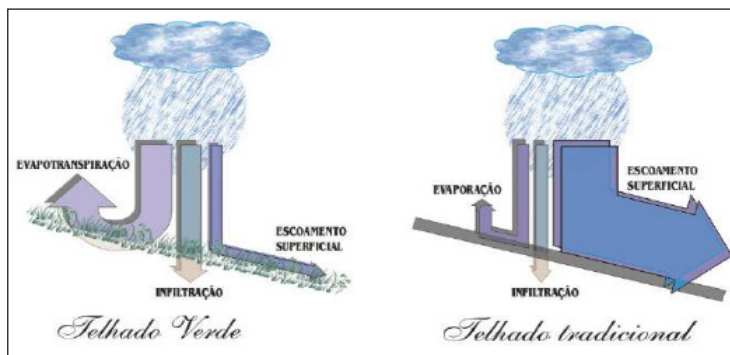


Figura 2 - Evapotranspiração x Evaporação

Fonte: Laar (2001 apud OLIVEIRA 2009)

## Projetos-Padrão do Município

Chaib (2016) realizou um estudo de caso no qual fez uma organização do cadastro de edificações residenciais unifamiliares (casas) e multifamiliares (edifícios de apartamentos) existentes no município de Belo Horizonte, determinando projetos-padrões para cada situação. Esta organização das edificações foi realizada através de

características como: área de cobertura, padrão construtivo e altura. O autor, por meio da correlação de cinco projetos-padrão residenciais unifamiliares e dez multifamiliares, reduz e compatibiliza a variabilidade das edificações, utilizando como base, principalmente a NBR12.721 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006). Conforme Tabela 1, Chaib (2016) estabeleceu três projetos-padrão a mais que os da norma: R1-X (unifamiliar), R8-X e R8-Y (multifamiliares) e determinou o número de edificações existentes no município correspondente a cada projeto-padrão.

Projetos-Padrão – Nomenclatura e características gerais	
Unifamiliares (casas)	
RP1-Q	Residência unifamiliar popular (1 pavimento)
R1-B	Residência unifamiliar padrão baixo (1 pavimento)
R1-N	Residência unifamiliar padrão normal (1 pavimento)
R1-A	Residência unifamiliar padrão alto (1 pavimento)
R1-X <sup>(1)</sup>	Residência unifamiliar padrão luxo (2 pavimentos)
Multifamiliares (edifícios de apartamentos)	
PIS	Residência multifamiliar – projeto de interesse social (térreo e 4 pavimentos-tipo)
PP-B	Residência multifamiliar – padrão baixo (térreo e 3 pavimentos-tipo)
R8-B	Residência multifamiliar – padrão baixo (térreo e 7 pavimentos-tipo)
PP-N	Residência multifamiliar – padrão normal (pilotis e 4 pavimentos-tipo)
R8-N	Residência multifamiliar – padrão normal (garagem, pilotis e 8 pavimentos-tipo)
R8-Y <sup>(1)</sup>	Residência multifamiliar – padrão normal (garagem, pilotis e 8 pavimentos-tipo)
R16-N	Residência multifamiliar – padrão normal (garagem, pilotis e 16 pavimentos-tipo)
R8-A	Residência multifamiliar – padrão alto (garagem, pilotis e 8 pavimentos-tipo)
R8-X <sup>(1)</sup>	Residência multifamiliar – padrão alto (garagem, pilotis e 8 pavimentos-tipo)
R16-A	Residência multifamiliar – padrão alto (garagem, pilotis e 16 pavimentos-tipo)

Tabela 1 – Nomenclatura dos projetos-padrão de edificações residenciais

Fonte: Chaib (2016).

Chaib (2016) também identificou as faixas de áreas de projeção de cobertura de cada edificação residencial enquadrando-as de acordo com os projetos-padrão (Tabela 2).

Critério 1: Áreas de projeção de cobertura (m <sup>2</sup> )	Critério 2: Altura dos edifícios (m)	Enquadramento com os projetos- padrão	
A<200	-	PIS	Padrão baixo
200≤A<220	H<17	PP-B	Padrão baixo
	H≥17	R8-B	
220≤A<370	H<20	PP-N	Padrão normal
	20≤H<35	R8-N	
	H≥35	R16-N	
370≤A<750	H<35	R8-A	Padrão alto
	H≥35	R16-A	
750≤A<1.000	H<35	R8-X	Padrão alto
1.000≤A<1.400	H<35	R8-Y	Padrão normal

Tabela 2 – Enquadramento dos edifícios com os projetos-padrão multifamiliares

Fonte: Chaib (2016).

Diante do exposto, o principal objetivo deste trabalho é propor a implantação de modelos de cobertura verde em projetos de edificações padrão, do tipo multifamiliares, no município de Belo Horizonte.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Coleta de Dados

O estudo, realizado no município de Belo Horizonte, contou inicialmente com uma visita técnica realizada a um Centro de Promoção da Saúde, edificação com sistema de cobertura verde licenciada pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente do município de Belo Horizonte (Figura 3). A partir das visitas ao edifício, foi elaborado um estudo de caso com pesquisas de campo e vistorias da edificação.



Figura 3- Localização do Centro de Promoção da Saúde

Fonte: adaptado de Google Earth (2017).

Esse Centro de Promoção da Saúde foi escolhido para visita, através de indicação da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA) de Belo Horizonte, que listou alguns empreendimentos licenciados pela secretaria, que poderiam ser visitados. A fim de conhecer melhor a edificação, o funcionamento e manutenção de uma cobertura verde, foi então realizada visita técnica no ano de 2017, acompanhada pelos professores do Departamento de Engenharia de Materiais de Construção (DEMC) e Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG (EHR).

A cobertura verde da edificação é do tipo intensivo, com a presença de vegetação de porte pequeno a grande. A vegetação utilizada requer constante adubação e irrigação (Figura 4).



Figura 4 - Cobertura verde do Centro de Promoção da Saúde

Fonte: Autores

## Projetos adotados

A partir dos projetos-padrão multifamiliares e das áreas de projeção de cobertura para o município de Belo Horizonte estabelecida por Chaib (2016), foram definidos seis tipos de projetos de edificação. Cada edificação foi denominada conforme Tabela 3.

Nomenclatura da Edificação	Caracterização da Edificação			
	Enquadramento com os projetos-padrão*		Áreas de projeção de cobertura (m <sup>2</sup> )*	Altura dos edifícios (m)*
Projeto 1	PIS	Padrão baixo	A<200	-
Projeto 2	PP-B	Padrão baixo	200≤A<220	H<17
	R8-B			H≥17
Projeto 3	PP-N	Padrão normal	220≤A<370	H<20
	R8-N			20≤H<35
	R16-N			H≥35
Projeto 4	R8-Y	Padrão normal	1.000≤A<1.400	H<35
Projeto 5	R8-A	Padrão alto	370≤A<750	H<35
	R16-A			H≥35
Projeto 6	R8-X	Padrão alto	750≤A<1.000	H<35

Tabela 3 – Definição tipos de Edificação

\*Dados Chaib (2016)

Fonte: Elaboração própria baseada em informações de Chaib (2016).

Para os projetos 1, 4 e 6 não foram possíveis obter o projeto padrão para utilizar como base da amostragem. No caso do Projeto 1 (projeto-padrão PIS), o layout não foi disponibilizado pela CBIC (*Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil*); já os Projetos 4 e 6, cujos respectivos projetos padrões são R8-Y e R8-X, foram desenvolvidos por Chaib (2016) para adequar aos projetos padrões do município de Belo Horizonte, os modelos não estão contemplados na NBR 12.721 (ABNT, 2006), e por consequência, não foram desenvolvidos projetos pelo CBIC.

Para o desenvolvimento dos projetos 4 e 6 foram utilizados como base dados os projetos padrão H16-N e R16-A da NBR 12.721 (ABNT, 2006); já para os layouts dos projetos 1, 4 e 6 foram utilizados os projetos padrão PP-B, H16-N e R16-A disponibilizados pelo CBIC.

As características dos seis projetos adotados são apresentadas a seguir:

(a) Projeto 1:

projeto: Elaboração própria;

faixa da área de cobertura: < 200 m<sup>2</sup>;

padrão: baixo;

característica: térreo + 4 pavimentos tipos com total de 20 unidades residenciais

(b) Projeto 2:

projeto: CBIC;

faixa da área de cobertura: 200 ≤ A < 220 m<sup>2</sup>;

padrão: baixo;

característica: térreo + 3 pavimentos tipos; total de 16 unidades residenciais

(c) Projeto 3:

projeto: CBIC;

faixa da área de cobertura:  $220 \leq A < 370 \text{ m}^2$ ;

padrão: normal;

característica: pilotis + 4 pavimentos tipo; total de 16 unidades residenciais

(d) Projeto 4:

projeto: Elaboração própria;

faixa da área de cobertura:  $1000 \leq A < 1400 \text{ m}^2$ ;

padrão: normal;

característica: garagem + pilotis + 8 pavimentos tipo; total de 64 unidades residenciais

(e) Projeto 5:

projeto: CBIC;

faixa da área de cobertura:  $370 \leq A < 750 \text{ m}^2$ ;

padrão: alto;

característica: garagem + pilotis + 8 pavimentos tipo; total de 16 unidades residenciais

(f) Projeto 6:

projeto: Elaboração própria;

faixa da área de cobertura:  $750 \leq A < 1000 \text{ m}^2$ ;

padrão: alto;

característica: subsolo + pilotis + 8 pavimentos tipo com total de 32 unidades residenciais

## Modelos adotados

Definidos os seis tipos de projetos a serem trabalhados, foram estudados as implantações de três modelos de cobertura verde para cada um dos projetos. Os modelos escolhidos foram adequados aos tipos de edificações estudadas, que no caso, são edificações já existentes cujas coberturas foram projetadas para receber uma carga “x”. A mudança do tipo de uso da cobertura irá acarretar em novas cargas sobre a laje, por esse motivo, optou-se por trabalhar com modelos que iram carregar menos a estrutura da edificação.

O sistema de aplicação de cobertura verde utilizado nos modelos adotados é a aplicação contínua, ou seja, o substrato é aplicado diretamente sobre a base impermeabilizada com todas as outras diferentes camadas. Os modelos de cobertura verde adotados foram:

(a) Modelo 1:

São retiradas as telhas e mantida a estrutura do telhado, que servirá como base da cobertura. A cobertura verde, composta por uma espécie de vegetação, é do tipo extensiva. A cobertura ocupa 100% da área do telhado existente e não tem área destinada ao uso comum dos moradores.

(b) Modelo 2:

A estrutura do telhado é removida e a cobertura verde é instalada sobre uma parte

da laje da cobertura. A cobertura verde, composta por uma espécie de vegetação, é do tipo extensiva. A cobertura tem uma parte da área destinada ao uso comum dos moradores.

(c) Modelo 3:

A estrutura do telhado é removida e a cobertura verde é instalada sobre uma parte da laje da cobertura. A cobertura verde é do tipo semi-intensiva, composta por duas ou mais espécies de vegetação. A cobertura tem uma parte da área destinada ao uso comum dos moradores.

### **Serviços de engenharia necessários para a implantação dos modelos de coberturas verdes adotados**

A partir dos Modelos 1, 2 e 3 propostos, foram detalhados os serviços de engenharia, necessários para a implantação das coberturas verdes nos projetos adotados. Para cada serviço, foram criadas as composições de preço unitário, também denominada CPU, que é composta pelo custo da mão de obra, custo dos materiais e custo dos equipamentos.

Na composição de preço unitário de cada serviço, foram adotados os valores do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil do estado de Minas Gerais, referente ao mês de maio de 2018 (SINAPI, 2018). Para a composição da mão de obra, foi considerado o encargo social desonerado e os valores de horista. Já para a composição dos insumos que não foram encontrados diretamente na SINAPI, foram realizadas pesquisas de preços dos insumos na região de Belo Horizonte e utilizado a média entre os valores encontrados.

Após finalizar as CPU's é feita a Relação de Insumos e Preços (RIP), para cada modelo adotado. Depois de preenchida a RIP, foi realizado o levantamento de quantidades e preços para obter o valor do custo da implantação do telhado verde dos Projetos 1 a 6, para cada um dos três modelos estudados.

Com base nas informações já obtidas, foram levantados os custos unitários de implantação da cobertura verde por metro quadrado para cada um dos projetos, de acordo com os modelos estudados.

Para a elaboração do custo unitário levam-se em consideração os custos diretos, os custos indiretos e o lucro. Os custos diretos foram calculados a partir da CPU, e o custo indireto e o lucro fazem parte do cálculo dos Benefícios e Despesas Indiretas (BDI). Na construção civil o BDI varia com o tipo de construção a ser executada, e não é um índice absoluto, pois as condições de cálculo e o preço de venda são específicos para cada caso. Os valores médios praticados pelas construtoras variam entre 20 a 50 por cento, sendo assim foi adotado o valor abaixo:

(a) BDI = 30%

## RESULTADOS

### Detalhamento Cobertura Verde

Foram definidos três modelos de cobertura verde a serem implantados nas edificações propostas. Os modelos apresentam características diferenciadas de acordo com cada tipo de projeto adotado:

(a) Modelo 1:

Caracteriza-se pela implantação de cobertura verde do tipo extensivo em toda cobertura de telha da cobertura. A estrutura do telhado existente, incluindo o sistema de calhas, foi mantida retirando somente as telhas e substituindo-as por placas OSB (*Oriented Strand Board*), sigla em inglês que significa Painel de Tiras de Madeira Orientadas. As placas devem ser fixadas alinhadas deixando o mínimo de abertura no encontro entre elas. A estrutura de OSB serve de base para a instalação da cobertura verde. A área de cobertura verde a ser utilizada neste modelo é de 100% da área de telhado existente, e a metragem varia de acordo com cada projeto.

Após a colocação das placas OSB, realiza-se a impermeabilização da superfície através da colocação de manta geotêxtil. Esta camada protege a geomembrana (camada posterior) do contato com o OSB e evitando assim, um possível dano ao material. Executada a proteção, instala-se a Geomembrana de PEAD (Polietileno de Alta Densidade), evitando que ocorram infiltrações devido ao acúmulo de água da chuva na cobertura.

Finalizada a impermeabilização, coloca-se uma nova camada de manta geotêxtil, que realiza o papel de filtrar a água, impedindo que partículas de areia e terra ou raízes passem pela tubulação de queda da água de chuva.

A seguir, aplica-se uma camada de argila expandida em toda a extensão da placa de OSB já com a manta geotextil. A camada de argila servirá para drenar a água no sistema.

Sobre a argila expandida, novamente é colocada a manta geotêxtil, que impede a terra de entrar em contato com a argila e, assim, com o tempo prejudicar a drenagem e a terra ser carregada pela água.

Após a camada manta geotêxtil, espalha-se o substrato, uma camada de terra adubada a qual dará suporte à vegetação. A altura da camada depende do tipo de vegetação que irá sobre a mesma. No caso do Modelo 1 a altura definida foi de 10 cm.

Após a camada de substrato, coloca-se a vegetação. Neste caso, o tipo de vegetação utilizada é a grama esmeralda (Quadro 1).

Espécies	Nome Científico	Porte
Grama Esmeralda	Zoysia japonica	Pequeno

Quadro 1– Espécies da Cobertura Verde Modelo 1

Fonte: Autores

Finalizada a colocação da vegetação, instalam-se as peças de rufos metálicos no encontro entre o telhado e a platibanda, por todo o perímetro da cobertura. Os rufos servem

para proteger a estrutura, diminuindo o risco de futuras infiltrações.

(b) Modelo 2:

É a instalação de cobertura verde do tipo extensiva, porém retirando toda a estrutura do telhado existente e utilizando a laje como base. A área de cobertura verde utilizada neste modelo varia de acordo com cada projeto.

O primeiro passo é a retirada da estrutura do telhado, liberando assim a laje para a próxima etapa da cobertura verde.

Após a retirada da estrutura do telhado é realizada a construção do muro de divisa que serve como separação da área destinada a cobertura verde, da área de circulação de pessoas. O muro de alvenaria de blocos de concreto é composto por blocos de concreto estrutural e argamassa de assentamento.

Primeiramente, foi realizada a marcação da alvenaria para, posteriormente, dar continuidade a paginação do muro. A altura do muro para todos os projetos é de 40 cm, este valor foi dimensionado de acordo com altura dos blocos de concreto utilizados e as juntas de argamassa.

Após a instalação do muro é realizada a marcação e furação da laje para instalação do sistema de drenagem. São necessários três drenos por cada lado da laje para os projetos 1 e 2, sendo dois na parte da cobertura verde e um para a área de circulação. Para os projetos 3 e 4 são quatro furos locados de cada lado da laje, sendo 2 locados na área da cobertura verde e 2 na área de circulação. Os projetos 5 e 6 são necessários 5 furos para cada lado da laje, sendo 4 locados de na cobertura verde e um para a área de circulação. Os furos serão locados conforme figuras 5.56 e 5.61. Toda a drenagem é direcionada para o tubo de queda já existente na estrutura.

Serão criados dois pontos de água que serão utilizados para a irrigação durante os períodos de seca. Os pontos serão instalados próximos à cobertura verde em ambos os lados da cobertura do edifício. Será realizado um desvio na prumada de água fria, no barrilete, localizado abaixo da caixa d'água. O desvio será realizado na prumada que alimenta a área comum da edificação, assim a conta de água pode ser rateada igualmente para todas as unidades do condomínio. As locações dos pontos são representadas nas figuras 5.62 a 5.67 abaixo.

Para definir a disposição dos furos, verifica-se primeiramente o projeto de armação da laje a ser implantada a cobertura verde. Com o projeto de armação em mãos, o responsável técnico realiza um estudo para verificar quais os possíveis pontos de instalação da drenagem na laje, os furos não podem causar interferências na armação existente.

Após a furação da drenagem é realizada a etapa de regularização do piso, onde se executa o nivelamento do piso com os caimentos para os ralos e arredondamento dos cantos verticais e horizontais, deixando-os em formato meia-cana. A regularização proporciona uma superfície uniforme de apoio adequado a camada subsequente.

Após a regularização é realizada a etapa de impermeabilização que é composta por: limpeza da superfície, primer, mata asfáltica e camada separadora. Primeiro a área deve ser limpa, retirando resíduos da superfície, como restos de argamassa, madeiras, etc. Em seguida aplica-se o Primer, solução asfáltica, que permite a melhor aderência da manta.

Passado o período de cura do Primer (4 a 6 horas) é colada a manta asfáltica. Aplica-se a manta asfáltica polimérica (SBS) em toda a extensão da cobertura, ou seja, na parte da cobertura verde, na área destinada a circulação, e também nas paredes laterais. Nas paredes com cobertura verde, a impermeabilização é feita em toda a parede, já na área de circulação a altura de aplicação da manta é de 30 cm. Com a área impermeabilizada executa-se o teste de estanqueidade da cobertura, enchendo os locais impermeabilizados com água e mantendo o nível por no mínimo 72 horas. O teste verifica se a impermeabilização foi bem executada garantindo que não há nenhum vazamento na estrutura. Após o teste, coloca-se uma camada de geotêxtil (camada separadora), que têm como função separar a impermeabilização da proteção mecânica.

A próxima etapa é a colocação da proteção mecânica, também chamada de contrapiso. A proteção mecânica na área da cobertura verde é armada com tela galvanizada e coberta com argamassa. Na área de circulação a proteção mecânica não é armada, é feita somente com argamassa.

Na área destinada à cobertura verde, coloca-se o substrato de terra vegetal, com altura de 20 cm.

Após o substrato é colocado à vegetação. No modelo 2 foi utilizada a grama da espécie esmeralda, que vêm em placas, o que facilita sua fixação (Quadro 2).

<b>Espécies</b>	<b>Nome Científico</b>	<b>Porte</b>
Grama Esmeralda	Zoysia japonica	Pequeno

Quadro 2– Espécies da Cobertura Verde Modelo 2

Fonte: Autores

Para a área da circulação, após a realização do contrapiso, instala-se o piso de acabamento, utilizando como insumo a argamassa pronta para contrapiso. A próxima etapa é a instalação do piso cerâmico e do mastique. O mastique, material adesivo utilizado para o fechamento das juntas, é colocado em todo perímetro do encontro entre o piso e o muro de divisa com a cobertura verde. Por fim, aplica-se o rejunte em toda área do piso.

(c) Modelo 3:

É a instalação de cobertura verde do tipo semi-extensiva, porém retirando toda a estrutura do telhado existente e utilizando a laje como base. A área de cobertura verde utilizada neste modelo varia de acordo com cada projeto.

Após a retirada da estrutura do telhado é realizada a construção do muro de divisa que serve como separação da área destinada a cobertura verde, da área de circulação de pessoas. O muro caracteriza-se por ser de alvenaria em bloco de concreto preenchido por pontos de graute e armação, os quais proporcionam a resistência necessária para suportar o peso da cobertura verde. Primeiramente realiza-se a marcação da alvenaria e a locação da armação. Posteriormente, realizam-se as aberturas na laje para fixar a armação na estrutura. A altura do muro todos os projetos é de 80 cm, valor este dimensionado de acordo com altura padrão de blocos de concreto disponíveis no mercado. A paginação para

atender a paginação de acordo com cada tipo de projeto.

Após a instalação do muro é realizada a marcação e furação da laje para instalação do sistema de drenagem. Conforme descrito no Modelo 2, são necessários três drenos por cada lado da laje para os projetos 1 e 2, sendo dois na parte da cobertura verde e um para a área de circulação. Para os projetos 3 e 4 são quatro furos locados de cada lado da laje, sendo 2 locados na área da cobertura verde e 2 na área de circulação. Os projetos 5 e 6 são necessários 5 furos para cada lado da laje, sendo 4 locados de na cobertura verde e um para a área de circulação. Os furos serão locados conforme figuras 5.86 e 5.91 mostradas abaixo. Toda a drenagem é direcionada para o tubo de queda já existente na estrutura.

Serão criados dois pontos de água que serão utilizados para a irrigação durante os períodos de seca. Os pontos serão instalados próximos à cobertura verde em ambos os lados da cobertura do edifício. Será realizado um desvio na prumada de água fria, no barrilete, localizado abaixo da caixa d'água. O desvio será realizado na prumada que alimenta a área comum da edificação, assim a conta de água pode ser rateada igualmente para todas as unidades do condomínio.

Para definir a disposição dos furos, verifica-se primeiramente o projeto de armação da laje a ser implantada a cobertura verde. Com o projeto de armação em mãos, o responsável técnico realiza um estudo para verificar quais os possíveis pontos de instalação da drenagem na laje, os quais não podem causar interferências na armação existente.

Após a furação da drenagem é realizada a etapa de regularização do piso, onde se executa o nivelamento do piso com os caimentos para os ralos e arredondamento dos cantos verticais e horizontais, deixando-os em formato meia-cana. A regularização proporciona uma superfície uniforme de apoio adequado a camada subsequente.

Após a regularização é realizada a etapa de impermeabilização que é composta por: limpeza da superfície, primer, mata asfáltica e camada separadora. Primeiro a área deve ser limpa, retirando resíduos da superfície, como restos de argamassa, madeiras, etc. Em seguida aplica-se o Primer, solução asfáltica, que permite a melhor aderência da manta. Passado o período de cura do Primer (4 a 6 horas) é colada a manta asfáltica. Aplica-se a manta asfáltica polimérica (SBS) em toda a extensão da cobertura, ou seja, na parte da cobertura verde, na área destinada a circulação, e também nas paredes laterais. Nas paredes com cobertura verde, a impermeabilização é feita em toda a parede, já na área de circulação a altura de aplicação da manta é de 30 cm. Com a área impermeabilizada executa-se o teste de estanqueidade da cobertura, enchendo os locais impermeabilizados com água e mantendo o nível por no mínimo 72 horas. O teste verifica se a impermeabilização foi bem executada garantindo que não há nenhum vazamento na estrutura. Após o teste, coloca-se uma camada de geotêxtil (camada separadora), que têm como função separar a impermeabilização da proteção mecânica.

A próxima etapa é a colocação da proteção mecânica, também chamada de contrapiso. A proteção mecânica na área da cobertura verde é armada com tela galvanizada e coberta com argamassa. Na área de circulação a proteção mecânica não é armada, é feita somente com argamassa.

Na área destinada a cobertura verde, coloca-se o substrato, terra vegetal, com

altura de 20 cm.

Após o substrato, coloca-se à vegetação em toda a área destinada a cobertura verde. No Modelo 3 foi utilizada mudas e placas das espécies: Grama esmeralda, Azulzinha e Vedélia (Quadro 3).

<b>Espécies</b>	<b>Nome Científico</b>	<b>Porte</b>
Grama Esmeralda	Zoysia japonica	Pequeno
Azulzinha	Evolvulus glomeratus	Médio
Vedélia	Wedelia	Médio

Quadro 3 – Espécies da Cobertura Verde Modelo 3

Fonte: Autores

Para a área da circulação, após a realização do contrapiso, instala-se o piso de acabamento, utilizando como insumo, a argamassa pronta para contrapiso. A próxima etapa é a instalação do piso cerâmico e do mastique. O mastique, material adesivo utilizado para o fechamento das juntas, é colocado em todo perímetro do encontro entre o piso e o muro de divisa com a cobertura verde. Por fim, aplica-se o rejunte em toda área do piso.

### **Levantamento dos custos necessários para a implantação dos modelos de coberturas verdes adotados**

Com base nos orçamentos realizados, foi elaborada a tabela a seguir que mostra um resumo dos custos para a implantação dos modelos de coberturas verde nos projetos adotados (Tabela 4).

Considerando as faixas de áreas de cobertura de cada projeto, calcula-se a faixa do custo unitário por metro quadrado, da implantação dos três modelos de cobertura verde (ver tabela 5).

A partir dos custos de implantação dos modelos 1, 2 e 3 para os projetos de 1 a 6, foram elaboradas curvas dos custos unitários de implantação versus projetos (ver figuras 8 a 10).

<b>Projeto</b>	<b>Custo de Implantação (R\$)</b>		
	<b>Modelo 1</b>	<b>Modelo 2</b>	<b>Modelo 3</b>
1	37.999,29	98.068,63	106.353,40
2	45.695,08	120.576,76	130.824,88
3	76.725,86	142.062,56	153.883,95
4	287.835,32	535.884,62	582.589,91
5	85.423,78	230.363,87	250.292,89
6	207.079,08	573.083,99	623.675,95

Tabela 4 – Custo de Implantação dos Modelos de acordo com cada projeto.

Fonte: Autores

Projeto	Área cobertura (m <sup>2</sup> )	Custo Unitário de Implantação (R\$/m <sup>2</sup> )		
		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
1	A<200	C<190,00	C<490,34	C<531,77
2	200≤A<220	207,70≤C<228,48	548,08≤C<602,88	594,66≤C<654,12
3	220≤A<370	207,37≤C<348,75	383,95≤C<645,74	415,90≤C<699,47
4	1.000≤A<1.400	205,60≤C<287,84	382,77≤C<535,88	416,14≤C<582,59
5	370≤A<750	113,90≤C<230,88	307,15≤C<622,61	333,72≤C<676,47
6	750≤A<1.000	207,08≤C<276,11	573,08≤C<764,11	623,68≤C<831,57

Tabela 5 – Custo unitário de implantação dos modelos de cobertura verde.

Fonte: Autores

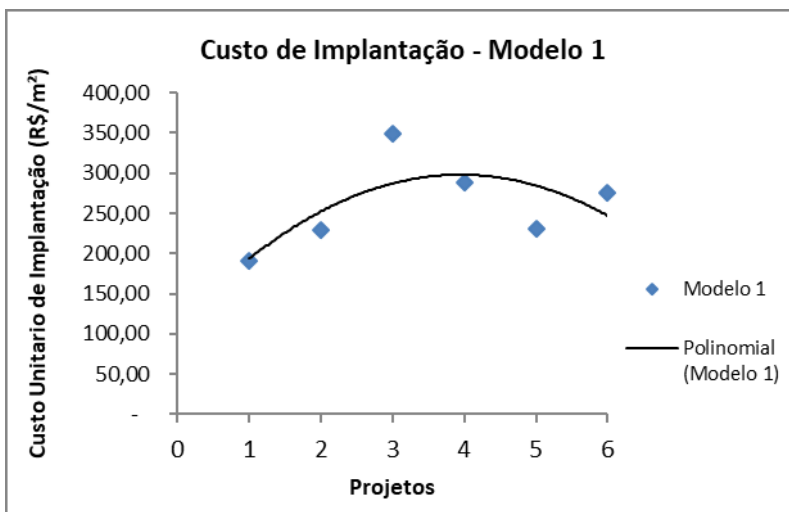


Figura 8- Custo de Implantação Modelo 1

Fonte: Autores

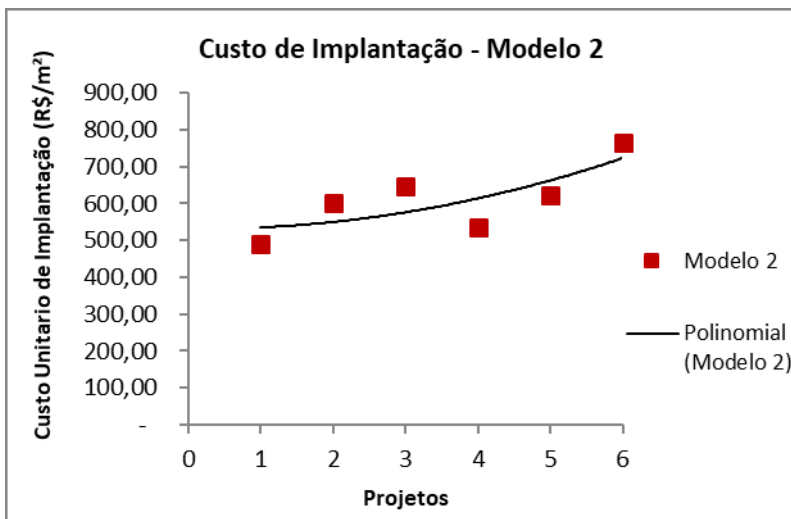


Figura 9- Custo de Implantação Modelo 2

Fonte: Autores

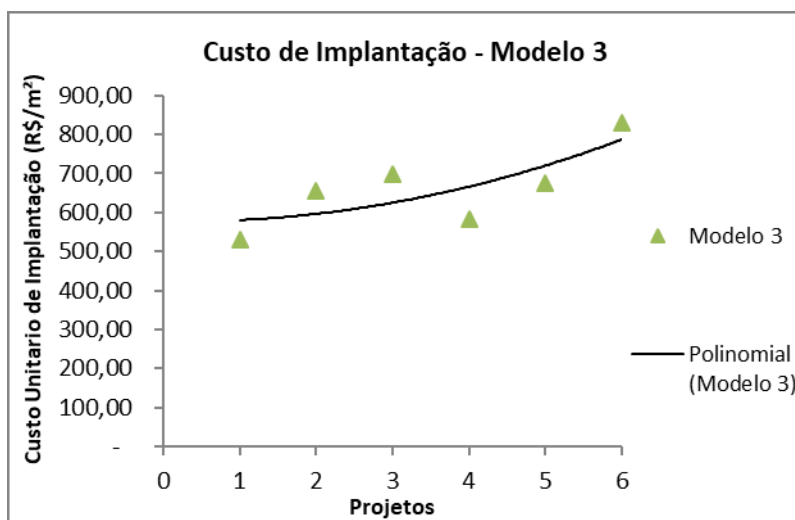


Figura 10- Custo de Implantação Modelo 3

Fonte: Autores

## CONCLUSÕES

Analisando os três modelos escolhidos, verifica-se que os modelos 2 e 3 são mais complexos, pois é necessário realizar furação da laje existente para criar a drenagem necessária para o sistema, regularização do piso e impermeabilização. Para a execução da drenagem, é necessário possuir os projetos estruturais da edificação, que incluem a

armação da laje, para não correr o risco dos furos ocorrem em locais que passam armação. A drenagem provavelmente irá interferir na altura do pé direito das unidades localizadas abaixo da laje da cobertura, o que causará transtornos aos moradores com os serviços a serem realizados e necessitará de aprovação do dono da unidade para a realização. No modelo 1 não é necessário realizar a furação da laje e regularização do piso, o que torna o sistema mais simples de se executar.

O estudo comparativo da implantação dos modelos 1, 2 e 3 de cobertura verde nas tipologias de projetos 1 a 6 adotadas, os custos variam com o tipo de modelo e o tamanho da área a ser considerada na implantação. O valor final da cobertura verde em cada uma das tipologias variou de R\$37.999,29 à R\$ 623.675,95, uma diferença de aproximadamente dezesseis vezes.

Verifica-se que dos três modelos adotados, o Modelo 1 diferentemente dos outros modelos, não apresenta uma linha de custo unitário de implantação crescente. A linha de custo chega ao ápice no projeto 3 e cai para os demais, isto acontece pois a medida que o tamanho das áreas de cobertura aumentam o custo de implantação do m<sup>2</sup> tende a diminuir.

Percebe-se que dentre as possibilidades estudadas, o modelo 1 no projeto 1 é o que apresenta o menor custo unitário de implantação da cobertura verde, ao contrário do modelo 3 no projeto 6 que têm o maior custo. Os modelos 2 e 3, por exigirem uma maior quantidade e complexidade de serviços, tendem a ficarem restritos às edificações dos tipos de padrão normal a alto (projetos 3 a 6). Com o custo unitário mais elevado, a implantação desses modelos se torna quase inviável nas edificações de padrão baixo (projetos 1 e 2), que tem como público alvo a população de baixa renda.

Conclui-se que a implantação do modelo 1 é viável nas tipologias de projetos adotadas, já dos modelos 2 e 3 devido a falta de dados da sobrecarga sofrida pelas estruturas, necessitam ser melhores estudados.

Como perspectivas para trabalhos futuros sugerem-se o estudo da sobrecarga dos modelos de coberturas verdes estudados nas tipologias de projeto adotados, proporcionando assim uma análise da viabilidade das coberturas verdes do ponto de vista matemático.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios – Procedimento. NBR 12721. Rio de Janeiro, 2006. 91p.

BALDESSAR, S.M.N. Telhado Verde e sua Contribuição na Redução da Vazão da Água Pluvial Escoda. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil Área de Concentração em Ambiente Construído) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

CHAIB, E.B.D. Avaliação de Estratégias para a Redução do Consumo de Água de Abastecimento como Meio de Diminuição da Pressão sobre os Recursos Hídricos. Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Área de Concentração em Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

GOOGLE EARTH. [Imagem]. Disponível em: <<https://www.google.com/earth/>>. Acesso em: 2017.

IGRA. GREEN ROOF INTERNATIONAL ASSOCIATION. Nuertingen, Germany. Disponível em: <<http://www.igra-world.com/>>. Acesso em: 04 jan. 2017.

JONOV, C.M.P. Avaliação dos danos às edificações causados por águas de inundações e estudo de alternativas de proteção para tornar as edificações mais resilientes. Tese (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Área de Concentração em Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

KIBERT, C.J. Sustainable Construction. Green Building Design and Delivery. John Wiley e Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, v. 3, p. 215-242, 2012.

LIMA, G. C. O. Avaliação do Desempenho de Telhados Verdes: Capacidade de Retenção Hídrica e Qualidade da Água Escoada. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Área de Concentração em Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2013.

MAGALHÃES, F. R. Avaliação de condicionadores em solo para uso em telhados verdes com vistas à retenção hídrica. 2015. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

OLIVEIRA, E. W. N. *Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico*. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Área de Concentração em Recursos Hídricos) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

PLACITELLI, C.H. *Techos verdes en el Cono Sur*. v.1. Argentina, 2010. 83p. Disponível em: <<https://bioantu.files.wordpress.com/2012/01/techos-verdes-en-el-cono-sur.pdf>>. Acesso em: 08 jan.2017.

REDA, A.L.L., TANZILLO; A.A., COSTA, G.B. Telhados Verdes: uma proposta econômica em busca do desenvolvimento urbano sustentável. 1º Congresso Brasileiro de Avaliação de Impacto, ABAI. 2012, 10p. Disponível em: <[http://avaliacaodeimpacto.org.br/wp-content/uploads/2012/10/090\\_EnergiaDesenvolvimento.pdf](http://avaliacaodeimpacto.org.br/wp-content/uploads/2012/10/090_EnergiaDesenvolvimento.pdf)>. Acesso em: 10 fev. 2017.

TOMAZ, P. *Cobertura Verde*. In: Curso de manuseio de águas pluviais. Cap.51. 2008. 13p. Disponível em: <[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos\\_livros/livro\\_poluicao\\_difusa/capitulo51.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_poluicao_difusa/capitulo51.pdf)>. Acesso em: 15 fev. 2017.

VACILIKIO.D.V, FLEISCHFRESSER.L. Comparação entre Telhado Verde e Convencional nas Temperaturas Internas de Ambientes. II Simpósio Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – 2011. Curitiba, 2011.

## PLANEJAMENTO DE CRONOGRAMAS FÍSICO FINANCEIROS UTILIZANDO LINHA DE BALANÇO E TECNOLOGIA BIM

### Danielle Meireles de Oliveira

Dr<sup>a</sup>. em Engenharia de Estruturas, UFMG,  
danielle@demc.ufmg.br

### Sidnea Eliane Campos Ribeiro

Dr<sup>a</sup>. em Engenharia de Estruturas, UFMG,  
sidnea@ufmg.br

### Aldo Giuntini de Magalhães

Dr. em Engenharia de Estruturas, UFMG,  
aldom@ufmg.br

### Sérgio Geraldo dos Reis Júnior

Mestrando em Construção Civil, UFMG,  
sergioreiseng@gmail.com

**RESUMO:** O setor da construção civil tem investido em novos processos gerenciais em busca de melhoria nos resultados físicos e financeiros dos empreendimentos. Este trabalho busca complementar os estudos realizados por Reis Júnior et al. (2019), apresentando os resultados obtidos ao planejar cronogramas físico financeiros por meio da metodologia de linha de balanço auxiliado por tecnologia da Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling* - BIM). A fim de identificar os benefícios obtidos no gerenciamento de edifícios verticais, foi realizado um estudo de caso com o cronograma proposto pela equipe de construção responsável pela reforma da antiga Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Como resultado, foi possível replanejar as atividades de modo mais equilibrado, desconcentrando o dispêndio financeiro do empreendimento e ainda assim,

apresentando um planejamento de finalização do empreendimento antes do previsto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cronograma físico financeiro, gestão de projetos, planejamento, linha de balanço, *Building Information Modeling*.

### BIM TECHNOLOGY AS A TOOL FOR IMPLEMENTING LINE OF BALANCE TECHNIQUE IN CONSTRUCTION PROJECTS

**ABSTRACT:** Civil construction has large gaps in terms of constructive methods, management and productivity. Many countries, including Brazil, are investing in new management methods, aiming to complete future projects on time and budget. This research is aligned with these objects, as the main objective of this paper is to complement Reis Júnior et al. (2019) analysis, introducing Building Information Modeling (BIM) to improve the previous practices to manage, control and monitor construction projects, materializing this strategies in a unique cost and progress schedule. To identify benefits in vertical building projects, a case study was run to analyze the planning construction proposed for the renovation of the Engineering School of the Federal University of Minas Gerais (UFMG). This paper proposes to identify how line of balance methodology assisted by BIM could help managers to improve the creation of schedules and manage they projects. Was verified that this method allowed to schedule tasks more efficiently, focusing in how the construction in field happens and accelerating the process to find the optimum production rate.

**KEYWORDS:** Project Management, Planing, Scheduling, Line of Balance, Building Information Modeling.

## 1 | INTRODUÇÃO

Tradicionalmente o planejamento é obtido por meio da combinação da experiência pessoal de gestores e as características individuais do projeto, atribuindo às atividades uma duração baseada nesta experiência ao invés de informações, como as quantidades necessárias, os índices de produção e os recursos (DAVE et al., 2015). Além disso, é comum que gestores do setor da construção fixem sua atenção nas atividades pesadas, como as de infraestrutura e estruturas, em detrimento de atividades complementares que também fazem parte do projeto, como os acabamentos e instalações hidráulicas e elétricas. Os resultados são frequentes descompassos entre as atividades que estão ocorrendo no canteiro de obras e aquelas planejadas (KENLEY e SEPPÄNEN, 2010).

Diante dessa realidade, existe uma demanda cada vez maior de métodos e tecnologias de planejamento que contribuam para uma boa gestão, fiscalização e execução das obras. Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar a contribuição proveniente do uso da metodologia de linha de balanço e da tecnologia da Modelagem da Informação da Construção (ou *Building Information Modeling* - BIM) na criação de cronogramas físico financeiros para edificações verticais, ao invés do planejamento convencional. Para conduzir o estudo, os resultados obtidos por Reis Júnior et al. (2019), que realizaram um estudo de caso da obra da antiga Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), serão analisados e complementados.

## 2 | REVISÃO DA LITERATURA

A gestão de projetos é um conjunto de políticas, processos e ferramentas cuja finalidade é planejar e controlar a execução de projetos (PRADO, 2015).

Segundo Magalhães et al. (2018), no sistema tradicional de planejamento existe uma predominância da produção empurrada, sendo baseado no Método do Caminho Crítico (CPM) e na Técnica de Avaliação e Revisão de Programa (PERT). Este método apresenta falhas conceituais que resultam em ineficiências para a construção civil, sendo necessária a utilização de novas formas de programação que levem em conta as particularidades do setor, como por exemplo o fato da maior parte do trabalho ser construído no próprio canteiro de obras.

Os modelos complementares como a Linha de Balanço, a Linha de Fluxo e o *Last Planner System*, são técnicas que estão relacionadas com a construção enxuta (KOSKELA, 1992). Estes processos não se baseiam apenas nas atividades, mas concentram os esforços em um planejamento voltado para a movimentação dos recursos dentro do canteiro, com atividades programadas de forma sequenciadas e paralelas. Dessa forma, são priorizados os fluxos de recurso e a entrega do empreendimento de forma global.

Diversos são os estudos que ilustram as sinergias da utilização do BIM e a construção enxuta (BRIOSO et al., 2017; TEZEL et al., 2019). A segmentação de dados possibilitada pela tecnologia pode agilizar a construção de linhas de balanço e linhas de fluxos, viabilizando a elaboração de planejamentos que representem de forma mais fidedigna as condições de campo e estreitando as relações dos planejamentos de curto, médio e longo prazo.

## 2.1 Building Information Modeling (BIM)

O *Building Information Modeling* é um conjunto de políticas, processos e tecnologias que permitem criar uma metodologia progressiva para gerenciar projetos da construção civil. Sua adoção tem sido difundida como uma necessidade para alcançar melhores resultados do setor da construção e diversos autores têm demonstrado o sucesso da sua aplicação a todo o ciclo de vida dos empreendimentos (CBIC, 2016; EASTMAN et al., 2014; TEZEL et al., 2019, entre outros).

Os *softwares* BIM permitem a modelagem virtual em 3D dos elementos que serão construídos em um projeto, possibilitando assim a simulação de diversas opções de *design*, e conseqüentemente, a antecipação de potenciais problemas.

Aos elementos visuais são atribuídas fórmulas paramétricas e informações geométricas, facilitando a sua modelagem, alteração e rastreamento. De acordo com o Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2016), as soluções BIM trabalham como gestores de bancos de dados, de forma que qualquer alteração ou revisão realizada em qualquer parte de um modelo será automaticamente considerada em todas as demais formas de visualização da correspondente massa de dados e informações, sejam elas tabelas, relatórios ou desenhos (documentos), gerados a partir do modelo. Esta é uma das grandes diferenças para as ferramentas CAD (*Computer Aided Design*), onde a modificação de um parâmetro não realiza, necessariamente, todas estas alterações.

Quando estes modelos BIM de três dimensões incorporam informações referentes ao tempo, geralmente relacionadas com o cronograma da obra, recebem o nome de BIM 4D (ANTWI-AFARI et al., 2018). Dessa forma, as tarefas que compõem o cronograma da construção são associadas às famílias virtuais, permitindo, assim, a visualização da sequência de execução, de forma a contribuir para o entendimento do processo de produção por parte dos envolvidos em sua gestão e a apoiar a tomada de decisão (KYMMEL, 2008).

## 3 | METODOLOGIA CIENTÍFICA

Para este trabalho, cuja finalidade é desenvolver uma metodologia de planejamento capaz de solucionar um problema específico da construção civil, foi adotada a modalidade de pesquisa do tipo aplicada, qualitativa, exploratória e que contou com um estudo de caso.

O estudo teve início com a necessidade de planejar a execução da obra de reforma dos edifícios que compõem a antiga Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Localizado no Centro de Belo Horizonte – entre as ruas Espírito Santo e Bahia, e rua dos Guaicurus com Avenida do Contorno – o imóvel, que inclui os edifícios Álvaro da Silveira (AS) e Arthur Guimarães (AG), tombados nas instâncias estadual e municipal, tem cerca de 25.000 m<sup>2</sup> e passava pela fase de planejamento pela equipe de operação da Construtora vencedora da licitação.

A pesquisa considerou os resultados obtidos por Reis Júnior et al. (2019), que realizaram uma análise de dois cronogramas físico financeiros do edifício Álvaro da Silveira, um elaborado pela equipe de planejamento e construção da empresa e outro por meio da metodologia de linha de balanço. Neste estudo, foi proposto um terceiro cronograma, baseado na metodologia de linha de balanço e auxiliado por plataformas BIM.

Foram utilizados os *softwares* Autodesk NavisWorks, Microsoft Excel e MS Project para transformar a modelagem BIM 3D em quantidades de insumos (homem hora, equipamento hora e materiais) necessários para construir o empreendimento. A partir dessas informações, os dados foram tratados e o planejamento foi automatizado por meio da orientação do fluxo de trabalho e definição das equipes de trabalho e ritmo de produção.

#### 4 | ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste trabalho foi realizado um estudo de caso da obra da antiga Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). O complexo será reformado para receber até 70 varas do Tribunal Regional do Trabalho de Minas Gerais (TRT-MG). Faz parte do escopo da licitação a execução dos trabalhos de demolição e reforma dos Edifícios Álvaro da Silveira (AS) e Arthur Guimarães (AG), além da construção de um Edifício Acesso para interligação entre os dois existentes. Na Figura 1 (a) e (b) são apresentados, respectivamente, os edifícios atuais e o modelo virtual da reforma.

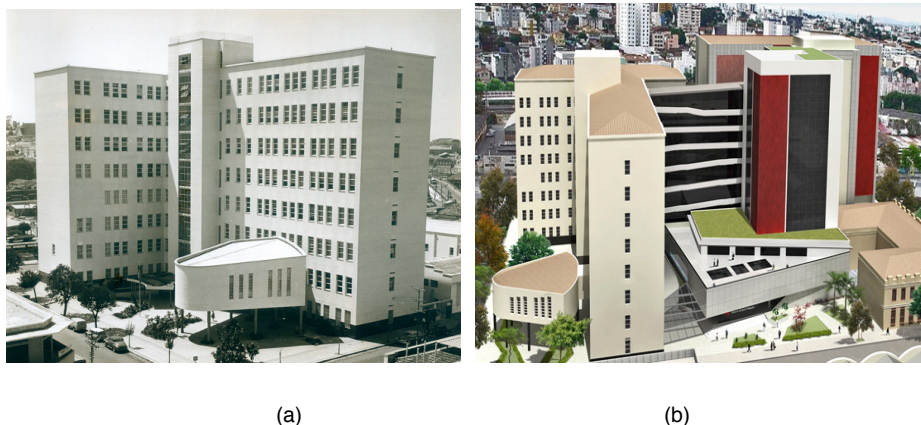


Figura 1 – Obra da antiga Escola de Engenharia da UFMG:

(a) edifícios AG e AS atualmente; (b) modelo virtual da reforma.

Fonte: Associação dos Magistrados da Justiça do Trabalho da 3ª Região - AMATRA3 (2016).

Um dos pré-requisitos contratuais desta licitação foi a necessidade de apresentar cronogramas físico financeiros condizentes com o processo executivo do empreendimento. Esses cronogramas são criados com a finalidade de prever o dispêndio financeiro de uma obra à medida que seu avanço físico ocorre, embora nem sempre reflitam a realidade. Enquanto um dispêndio financeiro superior ao previsto pode inviabilizar o fluxo de caixa da companhia, gastos muito inferiores podem estar relacionados à atrasos na execução do empreendimento. Uma das formas de se evitar estes problemas é aperfeiçoar a qualidade do planejamento e controlar para que a execução das atividades em campo esteja alinhada com o cronograma previsto.

As cláusulas contratuais, estabelecidas pelo órgão contratante, impediam o pagamento da etapa caso um ou mais serviços, dos 27 previstos até aquela etapa, não estivessem concluídos. Dessa forma, era necessário criar cronogramas que refletissem o processo executivo e que melhor atendessem às necessidades de construção do empreendimento no prazo previsto. Reis Júnior et al. (2019) desenvolveram um estudo que contempla o cronograma físico financeiro preliminar elaborado pela equipe de execução do projeto e o elaborado por meio da metodologia de linha de balanço.

O cronograma físico financeiro preliminar, contendo 30 etapas para execução dos 27 itens acordados contratualmente, foi criado considerando os macros quantitativos apresentados na proposta de licitação, dessa forma, as durações dos itens, como execução de Alvenarias, foram estabelecidas com base na experiência dos profissionais e dos índices da Tabela de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO). Por não haver segmentação suficiente dos quantitativos, não foi possível levar em conta a disposição das equipes ao longo do edifício, não sendo considerada a improdutividade por conta da movimentação excessiva dentro do canteiro de obras ou a necessidade de montagem e desmontagem frequente de andaimes. Além disso, o plano de ataque para execução concomitante de atividades dependentes, dificultava o avanço físico na formatação prevista por conta do fluxo de material necessário no empreendimento. Um possível atraso na retirada de material ou na entrega das esquadrias resultaria em atraso nos pagamentos das etapas relacionadas.

O planejamento que considerou a metodologia de linha de balanço permitiu dilatar o avanço físico e financeiro ao longo das etapas. As principais atividades alteradas foram aquelas relacionadas aos itens de Pavimentação, Esquadrias, Revestimento, Impermeabilização, Forro e Ar Condicionado. Esta alteração permitiu uma construção com ritmo constante, o que resultou, por exemplo, em um avanço acumulado até a 14ª etapa, ou 14º mês de obra, de 38,81%, contra os 57,76% previstos inicialmente, muito embora a nova proposta de execução permita antecipar a finalização do empreendimento. Além disso, a procura por informações detalhadas dos quantitativos nos projetos evidenciou uma diferença, a maior, de aproximadamente R\$5 milhões de reais entre a lista de quantitativos licitados e os levantados.

#### **4.1 Cronograma Elaborado por meio da metodologia de Linha de Balanço e auxiliado pela tecnologia BIM**

Ao elaborar um cronograma é necessário associar a cada uma das atividades a data de início, a duração e a sequência lógica de construção. Uma das principais dificuldades no momento de realizar o planejamento está em como utilizar uma produtividade que condiz com a realidade para os grupos distintos de serviços licitados. Estes serviços geralmente são apresentados pelos Contratantes sem que haja juízo de valor quanto a dificuldade para a execução de quantidades unitárias em locais diferentes do mesmo empreendimento. Entretanto, ao modelar estes parâmetros dentro do modelo BIM, é possível planejar de maneira mais realista o início e fim das atividades, e conseqüentemente, da obra.

Para esta metodologia, todas atividades do cronograma são sequenciadas de forma que seu início ocorra após o término da atividade antecessora. Embora esta abordagem de planejamento das atividades aumente a duração para conclusão das unidades de repetição,

o empreendimento como um todo é finalizado em menor prazo. Ao definir as equipes de trabalho de maneira que todos os pacotes de serviço sejam executados de acordo com aquele de maior duração, é possível definir o ritmo de produção. Dessa forma, evita-se improdutividade por conta de excesso nas folgas entre as atividades ou de mão de obra.

A sequência de atividades da Estrutura Analítica do Projeto (EAP) pode ser criada em ferramentas de planejamento, como o Primavera ou o MS Project. Para isso, é necessário adicionar a duração de cada atividade para encontrar o tempo total de construção de uma unidade de repetição ou de todo o empreendimento. Como a duração dos serviços é uma relação entre a quantidade de insumos necessários e a disponível, é possível utilizar dos códigos da EAP do banco de dados e das unidades de repetição, para automatizar o processo de associação da duração com as respectivas atividades.

Para este estudo de caso, os insumos de mão de obra, equipamentos e materiais extraídos dos modelos foram tratados no *Microsoft Excel* por pavimento, item e edifício. De posse dessas informações, as equipes de execução, fixas durante todo o período da obra, foram pré-definidas para cada item licitado, possibilitando a estimativa da duração de cada atividade por pavimento. Os dados foram importados pelo *MS Project* de forma automatizada, para possibilitar melhor visualização da execução das atividades e controle das datas de término. Para atender ao prazo previsto, foram realizadas interações entre o cronograma e o tamanho das equipes de trabalho.

De posse da duração de início e fim das atividades, foi criado um cronograma físico de acompanhamento cujo percentual de avanço previsto estava relacionado com o número de dias necessário para completar cada atividade. Quanto ao avanço financeiro, foram considerados os mesmos preços licitados, conforme realizado pela equipe de obra. Dessa forma, é possível atrelar o avanço percentual financeiro com o avanço físico.

O cronograma do Edifício Álvaro da Silveira foi elaborado a partir do banco de dados criado pelos Modelos Virtuais em BIM e a sequência de execução das atividades seguiu a metodologia de linha de balanço. A segmentação das atividades, do nível macro para o micro, possibilitou o entendimento dos insumos necessários para executar o empreendimento. Dessa forma, foi elaborado um cronograma cujo foco é o tempo de execução das unidades de repetição e por consequência, a entrega da obra dentro do prazo previsto.

Foi possível alcançar maior previsibilidade na duração das atividades e assertividade nas escolhas das datas de início e término provenientes da segmentação precisa dos insumos das unidades de repetição. Entretanto, foram excluídas as atividades que não foram modeladas, como as instalações de ar condicionado e os elevadores.

O processo de definição das equipes, para o cálculo do prazo das atividades, permite prever a alocação de mão de obra direta relacionada. Diferente dos demais cronogramas, foi possível plotar uma curva de histograma prevista para as atividades e conseqüentemente, para a execução completa do edifício AS. Conforme representado na Figura 2, foram estimados 1420 homens-mês para execução completa das atividades em 26 meses.

Assim, neste cronograma, a duração prevista para execução do empreendimento foi de 26 etapas, que correspondem a 26 meses de execução. Entretanto, por conta de as atividades ocorrerem em paralelo, a duração média dos itens foi de aproximadamente 15

etapas. De fato, as atividades foram dilatadas com o intuito de viabilizar uma única equipe de determinada função por vez por pavimento, no caso da Pintura, por exemplo, a duração foi de 20 etapas.

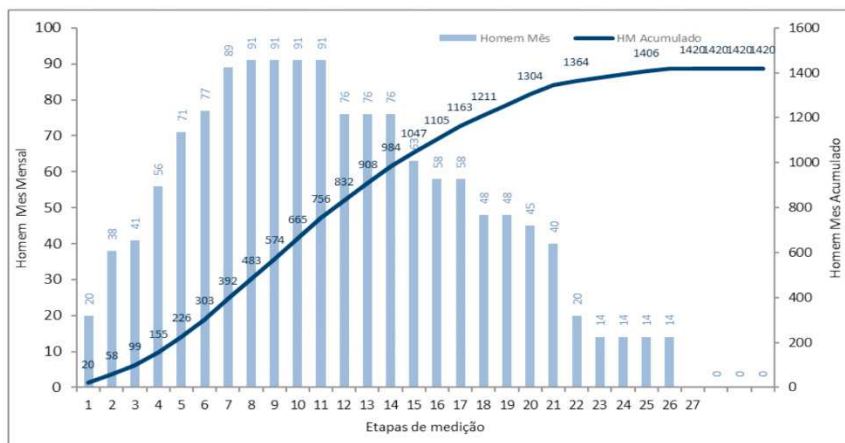


Figura 2 – Histograma de mão de obra direta do edifício AS.

Fonte: Elaborada pelo Autor.

## 4.2 Comparação dos Cronogramas do Edifício Álvaro da Silveira

Os três cronogramas do Edifício Álvaro da Silveira estão representados na Figura 3.

O avanço proposto no terceiro cronograma, elaborado com o auxílio das informações do banco de dados extraído dos modelos BIM, prevê um ritmo constante de trabalho para todas as equipes. Essa formatação, ao manter as frentes de trabalho por maior tempo dentro do canteiro de obras, resulta em maior avanço nas etapas iniciais e conseqüentemente, menor número de etapas para a conclusão das atividades. Dessa forma, o avanço acumulado dos cronogramas de linha de balanço atinge valores maiores ainda no início do empreendimento, em comparação com o cronograma elaborado pela equipe de obra.

O uso da linha de balanço e da tecnologia BIM resultou, para o Edifício AS, em cronogramas com avanços físicos e financeiros iniciais maiores que os propostos pela equipe de obra. Conforme representado na Figura 4, o avanço acumulado do cronograma proposto neste trabalho é até 172% maior que os previstos inicialmente. Essa diferença diminui entre as etapas 6 a 14, devido a concentração das atividades de revestimento, forro, esquadrias, impermeabilização e pavimentação no cronograma previsto pela equipe de obra. Os refinamentos no cronograma da linha de balanço, realizados por meio da metodologia de base de dados em BIM, permitiram que o avanço acumulado permanecesse superior ao idealizado inicialmente.

Estes avanços superiores são resultado da execução rítmica e constante das atividades

ao longo de todo o empreendimento. A execução das demolições, impermeabilização e forro, planejadas pela equipe de obra para serem executadas em poucas etapas, foram substituídas por longas durações. Na etapa 18, em que o planejamento da metodologia BIM atinge 91% de avanço previsto, os demais cronogramas apresentam avanços de 71% e 51%, como pode ser verificado na Figura 3. Este desenvolvimento físico financeiro rápido, além de resguardar o cliente do empreendimento quanto à segurança no prazo, possibilita que a Contratada receba os pagamentos pelas tarefas realizadas de maneira antecipada. Dessa forma, podem ser reduzidos os custos indiretos com seguros e empréstimos.

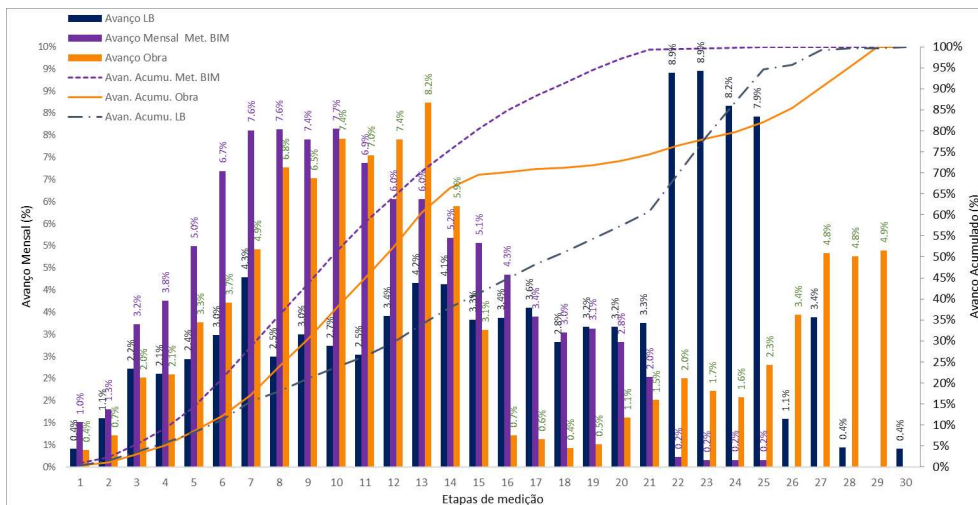


Figura 3 – Comparação entre cronogramas do avanço físico para o Edifício AS.

Fonte: Elaborada pelo Autor.

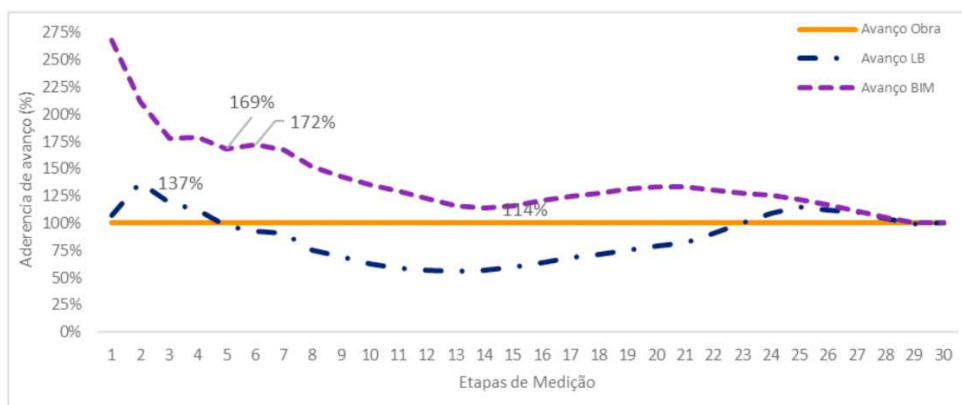


Figura 4 – Aderência dos avanços físicos acumulados dos cronogramas em relação ao proposto pela equipe de obra para o Edifício AS.

Fonte: Elaborada pelo Autor.

## 51 CONCLUSÃO

Este trabalho foi motivado pelos resultados obtidos na pesquisa realizada por Reis Júnior et al. (2019), ao levar em conta a segmentação dos dados e a metodologia de linha de balanço no planejamento de cronogramas físico financeiros. Por sua vez, este estudo prosseguiu para uma abordagem de segmentar os serviços por insumos por meio do auxílio da tecnologia BIM. Esta consideração está alinhada à tendência de utilização desta ferramenta e explora os possíveis benefícios do compartilhamento dos modelos virtuais, pelo Contratante, para a execução das atividades contratualmente acordadas, pela Contratada.

Durante a pesquisa foi proposto um conjunto de políticas, processos e tecnologias que permitiram a criação de uma metodologia orientada na construção de um banco de dados que representasse, de maneira confiável, as condições de trabalho para a reforma do empreendimento. Sendo assim, foi possível utilizar os modelos virtuais em BIM para obter os insumos necessários, definir as equipes e calcular o ritmo de produção do empreendimento que atendessem aos 30 meses de serviço.

Esta abordagem, em conjunto com o sequenciamento proveniente da linha de balanço, permitiu a construção de um cronograma cujo término do empreendimento é 10% menor e é possível alcançar avanço físico de 90% em 67% do tempo previsto originalmente pela equipe de obra. Estes resultados encorajam a modelagem dos projetos auxiliares cujos serviços são complexos e seus custos são representativos do todo, como os projetos de ar condicionado, de hidráulica e infraestrutura elétrica.

Desta forma, entende-se que o presente trabalho contribui para o avanço do conhecimento sobre a utilização da tecnologia BIM para aumento da maturidade dos projetos, principalmente na elaboração de cronogramas e programação das atividades. A construção de um banco de dados confiável por meio de modelos virtuais permite, ainda, a automatização de tarefas cotidianas de fiscalização e o melhor entendimento dos insumos necessários, atividades que vão além da representação visual possibilitada pela modelagem dos elementos em *softwares* BIM. Os resultados obtidos neste trabalho abrem espaço para trabalhos futuros, como a identificação e teste de possíveis benefícios ao associar cada um dos elementos modelados nos *softwares* BIM com os *softwares* de planejamento, a criação de cronogramas não determinísticos, a associação com a metodologia de planejamento *Advanced Work Packaging* (AWP) e o possibilidade de aproveitar esse banco de dados no gerenciamento de materiais e no controle e monitoramento dos projetos.

## REFERÊNCIAS

ANTWI-AFARI, M. F. et al. Critical success factors for implementing building information modelling (BIM): A longitudinal review. *Automation in Construction*, v. 91, p. 100-110, 2018.

Associação dos Magistrados da Justiça do Trabalho da 3ª Região - AMATRA3, 2016. Disponível em: <[www.amatra3.com.br](http://www.amatra3.com.br)>. Acesso em: 10 de junho de 2019.

BRIOSIO, X. et al. Comparing three scheduling methods using BIM models in the Last Planner System. *Organization, Technology and Management in Construction*, v. 9, n. 1, p. 1604-1614, 2017.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção, Implementação BIM - Parte 2: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras, Brasília: CBIC, 2016.

DAVE, B. et al. Suggestions to Improve Lean Construction Planning. Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Perth, Austrália, 29-31, July 2015.

EASTMAN, C. et al. Manual de BIM - Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Porto Alegre: Bookman Editora, 2014.

KENLEY, R; SEPPÄNEN, O. Location-based management system for construction: improving productivity using flowline. Londres: Editora Spon Press, 2010.

KOSKELA, L. Application of the new production philosophy in Construction (CIFE Technical Report, No.72). Salford: Center for Integrated Facility Engineering, 1992.

KYMMELL, W. Building Information Modeling: planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations. New York: McGraw-Hill, 2008.

MAGALHÃES, R. M. et al. Planejamento e controle de bras civis: estudo de caso múltiplo em construtoras no Rio de Janeiro. Gestão & Produção, São Carlos, v. 25, n. 1, p. 44-55, 2018.

PRADO, D. PERT/COM. Gerenciamento de Projetos. 5 ed. Nova Lima: FALCONI Editora, 2015.

REIS JÚNIOR, S. G. et al. Planejamento de Cronogramas Físicos Financeiros por meio da Metodologia de Linha de Balanço. In: XV CNEG - CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO & VI INOVARSE, 2019, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: XV CNEG & VI INOVARSE, 2019.

TEZEL, A. et al. Lean Construction and BIM in Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs) in Construction: A Systematic Literature Review. Canadian Journal of Civil Engineering. 2019.

## POSSIBILIDADE DE PRODUÇÃO DE ARGAMASSA E CONCRETO COM RESÍDUOS DE MÁRMORES E GRANITOS

### **Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco**

Engenheiro Civil, Prof Dr, Universidade FUMEC  
luizmelg@fumec.br

### **André Ricardo de Souza**

Arquiteto e Urbanista, Esp. em Engenharia de  
Produção Civil; Esp. em Gestão e Inovações  
Tecnológicas na Construção; Mestre em  
Processos Construtivos. Universidade FUMEC  
andre.arquitetas@gmail.com

**RESUMO:** Os resíduos de corte de mármore e granitos (RCMG) são materiais de elevado custo de descarte para empresas e indústrias beneficiadoras de pedras ornamentais, além de causar um alto impacto ambiental quando despejados indevidamente na natureza. Neste trabalho são comparados dois traços usuais de argamassa e concreto com os executados experimentalmente em laboratório, adicionando 30% de pó de RCMG na argamassa e substituindo por completo os agregados no traço do concreto. Foram realizados ensaios de resistências à compressão da argamassa e do concreto e de resistência à tração na flexão da argamassa, todos aos 7 dias. Tanto para o concreto quanto para a argamassa obteve-se uma queda na resistência à compressão, por outro lado, nos ensaios de tração na flexão houve uma elevação considerável de sua resistência. Com relação ao uso destes resíduos na confecção do concreto, os resultados indicam que a utilização desse tipo de material pode ser vantajosa para concretos de baixos e médios desempenhos, necessitando somente de adequações nas

porcentagens das adições para se alcançar as características preestabelecidas. A adição do RCMG à argamassa evidenciou a possibilidade do seu uso para confecção de argamassas de revestimentos e de assentamento de alvenarias de vedação

**PALAVRAS-CHAVE:** resíduos; mármore; granitos; análise experimental.

### POSSIBILITY OF MORTAR AND CONCRETE PRODUCTION WITH MARBLE AND GRANITE RESIDUES

**ABSTRACT:** Marble and granite cutting residues (MGCR) are high-cost disposal materials for companies and industries that use ornamental stones, as well as causing a high environmental impact when improperly dumped in the nature. In this work two usual mortar and concrete traces are compared with those performed experimentally in the laboratory, adding 30% of MGCR powder in the mortar and completely replacing the aggregates in the concrete trace. Tests of resistance to compression of mortar and concrete and of tensile strength were carried out in the mortar flexion, all at 7 days. For both the concrete and the mortar, a decrease in the compressive strength was obtained; on the other hand, in the tensile tests in the flexion there was a considerable increase of its resistance. Regarding the use of these residues in concrete making, the results indicate that the utilization of this type of material can be advantageous for concrete of low and medium performances, requiring only adjustments in the percentages of the additions to reach the preestablished characteristics. The addition of the MGCR to the mortar showed the possibility of its use for the preparation of mortars for coverings and for the laying of masonry.

**KEYWORDS:** residues, marbles, granites,

experimental analysis.

## 1 | INTRODUÇÃO

O ser humano sempre dependeu de recursos minerais para sua sobrevivência e evolução. De acordo com BUEST NETO (2006), as rochas que inicialmente eram empregadas mantendo as características originais, na forma de seixos rolados e de lascas encontradas na natureza, posteriormente foram sendo trabalhadas de forma a serem utilizadas como instrumentos de guerra e produzindo fogo mediante atrito.

HERRMANN (2002), baseado em suas pesquisas, evidenciou que o consumo humano por indivíduo de insumos minerais é na ordem de 2000 a 20000 kg/ano, enquanto o do reino vegetal varia em torno de 400 a 500 kg/ano e, do reino animal, entre 300 a 350 kg/ano.

Sendo assim, devem ser buscadas soluções e estratégias que assegurem um adequado uso dos recursos minerais e propicie um consumo sustentável e consciente destes insumos. Dentro deste contexto, a indústria da construção civil como sendo uma das maiores consumidoras de matérias primas naturais se torna um alvo a ser atacado para esse fim.

No Brasil, a demanda de agregados vem aumentando a cada ano. De acordo com a ANEPAC (2015), o consumo mundial de agregados é da ordem de 45.370 milhões de toneladas ano, sendo o Brasil consumidor de cerca de 741 milhões de toneladas. Números menores que somente o consumo de água do planeta.

De acordo com SILVA (2006), atualmente grande parte do agregado miúdo natural é extraída de leitos de rios, provocando a retirada da cobertura vegetal e a degradação dos cursos d'água, causando um enorme impacto ao meio ambiente.

### 1.1 Histórico

O Brasil é um dos grandes produtores e exportadores mundiais do setor de rochas ornamentais. Com produção estimada de 9,5 milhões de toneladas de rochas ornamentais (7% da produção mundial) e quinto maior produto de base mineral exportado pelo Brasil, atrás do minério de ferro, minério de cobre, ouro e ferro-nióbio (ABIROCHAS, 2016). Esclarece assim a importância do setor de rochas para a economia e seu impacto no meio ambiente.

O sistema de processamento das rochas divide-se em duas etapas: extração dos blocos nas lavras e beneficiamento nas serrarias. Na etapa do beneficiamento dos blocos, há a geração de um grande volume de resíduos. Cerca de 20 a 25% do bloco é perdido e transformado em pó no sistema de desdobramento em chapas através dos teares. Essa quantidade pode alcançar de 25 a 30% do volume do bloco.

O resíduo é constituído por pó de rocha acrescido de água no caso dos teares que usam fios diamantados, e no caso dos teares que utilizam lâminas metálicas, acrescenta-se também cal, gralha e fragmentos metálicos provenientes do desgaste das lâminas, formando assim a lama, responsável por diversos problemas, principalmente ambiental.

A lama re-circula no tear por meio de uma bomba submersa de eixo vertical, situada num poço de recolhimento durante a serragem. A viscosidade da lama é controlada e a parte da lama que se torna muito viscosa é descartada, tornando-se o resíduo, que em geral, é depositado em lagoas de sedimentação, diretamente no solo, nos pátios das empresas. Há casos em que o resíduo passa por um equipamento chamado filtro prensa para diminuir sua umidade e conseqüentemente seu volume. Após a perda de umidade do resíduo na lagoa de decantação ou nos filtros prensa, o material é transportado e disposto em aterros industriais e geram despesas consideráveis para as empresas.

De acordo com MOURA (2006), o resíduo gerado no beneficiamento das rochas alcança cerca de 800.000t/ano nos estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia e Ceará. Devido a esse grande volume gerado, que é frequentemente lançado diretamente nos ecossistemas, sem um processo de tratamento para eliminar ou reduzir os constituintes presentes, as indústrias do setor vêm sendo citadas pelos ambientalistas como fontes de contaminação e/ou poluição do meio ambiente, cita NUNES (2003).

Com esses dados, nota-se a importância do aproveitamento desse resíduo. Logo, é de suma importância a preocupação com estudos que tornem esse processo mais sustentável do ponto de vista ambiental.

## 1.2 Caracterizações e impressões sobre os resíduos

As considerações se baseiam em análises bibliográficas sobre adições de resíduos de corte de rochas ornamentais em argamassas e concretos.

Os resíduos são constituídos predominantemente por sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), além do óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e do óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ), provenientes da granalha de aço e da cal presentes na lama abrasiva. Os resíduos possuem ainda outros elementos químicos minoritários, tais como:  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ . A granulometria do pó é extremamente fina, com a maior parte das partículas menores que  $75\mu\text{m}$ .

Quanto à massa específica deste pó, pode-se dizer que, em geral, é menor que a massa específica do cimento e é maior que a massa específica da areia. Foi observado também que os valores de massa específica do resíduo encontrados nos estudos já realizados, não apresentam grandes variações, e são maiores quando há maior quantidade de ferro no resíduo devido à granalha de aço presente no processo de serragem do bloco de granito.

O resíduo foi caracterizado ambientalmente como pertencente à Classe II – não inerte (NBR 10005/1987 e NBR 10006/1987). Logo, trata-se de um resíduo não perigoso, porém não inerte. Verificou-se que o resíduo pode sofrer contaminação por matéria orgânica, de acordo com a sua disposição em lagoas de decantação e seu manejo, o que pode afetar o desempenho do resíduo quando for reciclado. Neste caso, a forma de deposição e manejo é fundamental para obtenção de resíduo que possa ser reaproveitado.

Os resíduos apresentam baixa possibilidade de reatividade pozolânica com cimento e com cal, o que já era esperado pelos resultados dos ensaios de difração de raios X, pesquisados nos trabalhos bibliográficos, que revelam que os minerais componentes do resíduo estão na forma cristalina.

O resíduo em pó, extremamente fino, age como um “fíler” preenchendo os vazios na

argamassa, contribuindo para melhoria de densidade e diminuição da porosidade. O efeito “fíler” nas propriedades das argamassas é associado ao aumento de densidade de mistura e uma aceleração de hidratação do cimento Portland, fato confirmado no estudo realizado em 1998 de CABRERA, BONAVENTI E IRASSAR.

A consistência da argamassa com resíduo teve que sofrer ajustes no fator água/cimento para obter-se uma pasta com adequada consistência. Com a introdução do resíduo em substituição da areia, a massa específica tende a ser maior do que quando se substitui o cimento pelo resíduo, devido à massa específica do resíduo ser menor que a do cimento e maior que a da areia. Isto poderá dificultar o trabalho de aplicação da argamassa, tendo em vista que o pedreiro terá que lançar uma argamassa mais pesada na superfície a ser revestida. O resíduo não interferiu significativamente na retenção de água, mantendo a plasticidade da argamassa durante todo o período dos ensaios.

## 2 | OBJETIVOS

Avaliar as propriedades tecnológicas do concreto e da argamassa obtidos com a substituição parcial e integral dos agregados por resíduos do beneficiamento do mármore e granito, fornecendo assim uma alternativa em termos de agregados para concreto e argamassa e contribuindo, também, para a redução do impacto ambiental gerado pelo descarte desses resíduos e o uso da matéria prima mineral da produção dos agregados.

## 3 | LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Este trabalho é atinente a um estudo experimental de um traço de argamassa e um de concreto com substituição de agregados triturados proveniente de empresa situado na região do Vale do Aço, Minas Gerais, que atravessa por problemas de descarte e manejo dos resíduos de processamento de mármore e granitos. Atualmente a empresa vem usando empiricamente os resíduos na execução de paredes de apoio para estocagem de chapas de mármore e granitos.

## 4 | METODOLOGIA

Com a finalidade de atingir os objetivos propostos, foi desenvolvido um programa experimental para avaliar a resistência à compressão da argamassa e do concreto e à tração na flexão da argamassa produzida com os resíduos de mármore e granitos. O desenvolvimento do trabalho seguiu as seguintes etapas:

- Levantamento bibliográfico dos estudos realizados com resíduos de processamento de rochas ornamentais;
- Análise experimental de traços de concreto e argamassas convencionais. Executando os ensaios de compressão e tração na flexão conforme nas normas da NBR 13279/95: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão, NBR 7215/96 - Versão Cor-

rigida: 1997 – Resistência a Compressão do Cimento Portland e NBR 12142/10 Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.

- Análise experimental do concreto e argamassa executados com resíduos de mármore e granitos.

Para tais avaliações foram comparados os resultados de resistência à compressão e a tração obtidos por meio das revisões bibliográficas com os obtidos através dos ensaios em laboratório com os resíduos de mármore e granitos.

## 4.1 Materiais utilizados na pesquisa

### *Cimento*

O cimento Portland usado nos ensaios foi o Cimento de alta resistência inicial CPV ARI FÁCIL – Ultra Rápido (HOLCIM). Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados resultados da análise física e química fornecidos pelo fabricante.

Compostos	Teor (%)	Ensaio Físico	NBR 11578	Resistência à compressão		NBR 11578
				Idade (dias)	fc (MPa)	
SiO <sub>2</sub>	19,21	Início de pega (min.)	125	≥60		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,98	Fim de pega (min.)	165	≤600	1	30,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,95	Finura #325 (%)	2,8	≥12,0	3	40,8
CaO	64,00	A/C (%)	29,8	-	7	45,5
MgO	0,73	Superfície específica (cm <sup>2</sup> /g)	4619	≥2600	28	52,3
K <sub>2</sub> O	0,81	Expansão a quente (mm)	0,0	≤5,0		
C <sub>3</sub> A	8,00	RI (%)	0,38	≤2,5		
CO <sub>2</sub>	1,14	PF (1000°C)	2,70	≤6,5		
SO <sub>3</sub>	2,59					
Sulfeto	0,0					

Tabela 1 – Composição química, resistência e índices físicos do cimento CPV ARI FÁCIL Ultra Rápido

Fonte: HOLCIM do Brasil

### *Areia*

A areia utilizada foi a areia industrial lavada fina da empresa Martins Lanna com granulometria passante 100% na peneira N.50 (0.3mm), teor de material fino de ~ 30%.

### *Brita*

Brita de gnaiss 1 lavada foi utilizada como agregado graúdo.

O resíduo foi coletado em uma empresa localizada na cidade de Timóteo, estado de Minas Gerais, que utiliza mármore e granitos para as mais diversas aplicações. Nesta empresa, os cacos de mármore e granito, após a lavagem e secagem, foram para o

processo de moagem, em moinhos de bolas, ressaltando-se que os mesmos passaram previamente pelo britador de mandíbulas. Só então são separados por peneiramento e ensacados por fração granulométrica, resultando em:

1. Pós de resíduo com massa específica aparente de 1,05 g/cm<sup>3</sup>.
2. Pedriscos de resíduos correspondentes a brita 0;
3. Frações de resíduos correspondentes a brita 1.

### Água

A água utilizada foi a proveniente da rede pública de abastecimento da COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais).

## 4.2 Dosagem convencional x Dosagem com RCMG

### 4.2.1 Dosagem do concreto convencional

Optou-se por utilizar uma referência de traço de concreto convencional, em massa, que resultasse em um valor médio de resistência à compressão em torno de 25 MPa afim de comparar com os resultados experimentais com adição de resíduos de mármore e granitos. Os materiais utilizados para a execução dos traços foram: areia artificial e brita 0 do fornecedor Martins Lanna e cimento CPV-ARI da Holcim.

Dosagem A
1:2:2,5
a/c = 0,55
Sem aditivo

Tabela 2 – Dosagem, concreto convencional em massa.

Fonte: Adaptado de Guimarães, Juliana; Diamantino, Luanna; Rabelo, Nathália. 2016.

Foi adotado o traço 1:2:2,5 (1 kg de cimento, 2 kg de areia e 2,5 kg de brita), com relação água/cimento de 0,55, visando criar uma referência de resistência a compressão normalmente utilizados em serviços que requerem função estrutural ou de suporte em elementos pré-moldados, podendo ser produzidos no próprio canteiro de obras.

### 4.2.2 Dosagem do concreto com resíduos de mármore e granitos

Realizou-se a dosagem de concreto com resíduos seguindo o mesmo traço da referência convencional do concreto, 1:2:2,5 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo) e o mesmo cimento CPV-ARI da Holcim. Como havia disponibilidade além do pó, mais duas granulometrias de agregados, sendo uma correspondente a brita 0 e outra correspondente

a brita 1, partiu-se para o traço 1:2:0,75:1,75 (cimento; pó de resíduo, resíduo #12 mm, resíduo #24 mm).

Inicialmente o fator água/cimento foi adotado seguindo a referencia de 0,55 como o convencional ensaiado. Mas esse volume de água não proporcionou uma plasticidade, nem tão pouco uma aderência coerente da pasta, sendo necessário adição de mais 1 litro de água na mistura. Resultando, portanto, em um fator final água/cimento de 0,89.

Dosagem do concreto com resíduo
1:2:0,75:1,75
a/c = 0,89
Sem aditivo

Tabela 3 – Dosagem, concreto com resíduo.

Fonte: OS AUTORES, 2016

Este fenômeno foi causado pelo volume de finos presentes no resíduo em pó. Esse material apresentou uma massa específica de 1.005 kg/m<sup>3</sup>, resultando em um efeito filler que provoca um aumento considerável do consumo de água.

O efeito filler é definido pelo preenchimento dos vazios entre as partículas do cimento por grãos, aumentando assim a compacidade do material (CORDEIRO, 2006; MOTA 2006). Além disso, a granulometria com alta presença de finos do agregado influencia na dosagem do aglomerante e na quantidade de água da mistura. Desta forma, quando há deficiências na curva granulométrica (isto é, a curva não é contínua) ou há excesso de finos, ocorre um maior consumo de água de amassamento, reduzindo as propriedades mecânicas e causando maior retração por secagem. É justamente esta característica que se obteve quando da adição do pó de resíduo de mármore e granitos à pasta.

#### 4.2.3 *Dosagem da argamassa convencional*

A metodologia comparativa usada para a argamassa foi comparando o traço 1:0,25:3 realizado por SELMO (1989), conforme norma DIN 18550, para testes de dosagens de argamassas para revestimentos externos de edifícios (Figura 4), e os ensaios de França (2009) com traço 1:3 que elaborou a caracterização conforme Figuras 5 e 6.

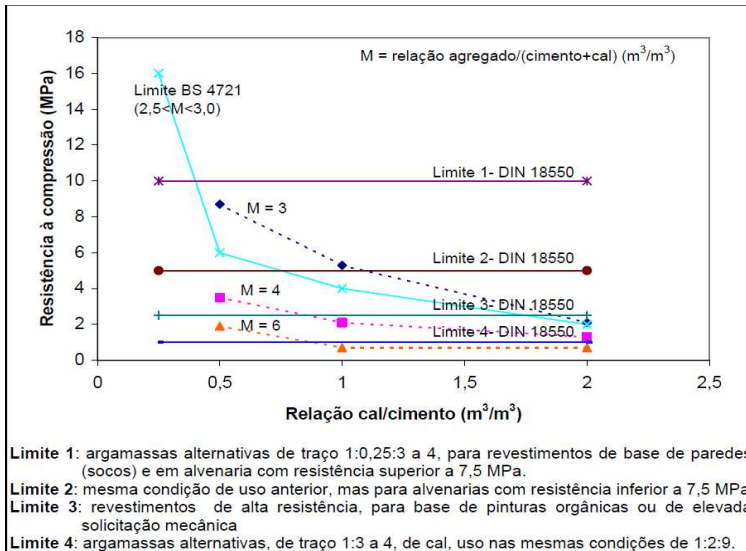


Figura 1 – Variação de retenção de água e da resistência à compressão de argamassas mistas.

Fonte: Selmo (1989)

SELMO (2009), destacou o limite 1 da norma DIN 18550-2 para argamassas alternativas de traço 1:0,25:3 a 4, para revestimentos externo de base de paredes junto ao solo (socos) e em alvenaria com resistência superior a 7,5 MPa.

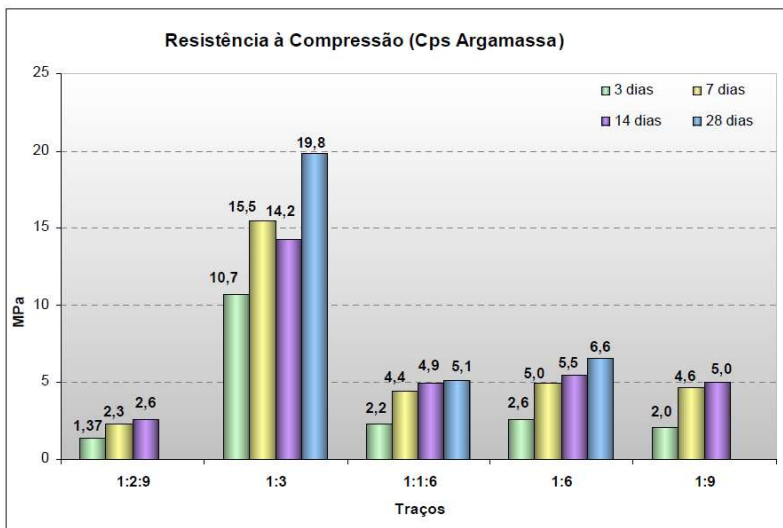


Figura 2 – Resistência à compressão de argamassas de cimento.

Fonte: Adaptado de França 2009.

Já FRANÇA (2009) comparou traços diversos de argamassas com as respectivas resistências à compressão e à tração na flexão.

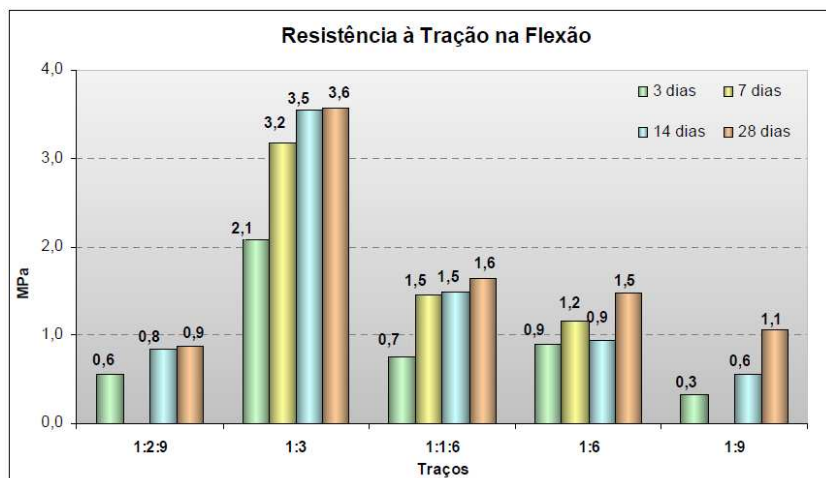


Figura 3 – Resistência à compressão de argamassas de cimento.

Fonte: Adaptado de França 2009.

#### 4.2.4 Dosagem da argamassa com resíduos de mármore e granitos

Para a dosagem da argamassa com resíduos foi estipulado um traço também facilmente executável em canteiros de obras, que substitua e economize em 30% o uso do agregado convencional. Sendo o traço 1:2,1:0,9 (cimento: areia fina: resíduo de pó de mármore e granito). Com esse traço buscamos comparar os valores de compressão e flexão com as referências de limites da norma DIN 18550 e com os resultados obtidos por França (2009);

Da mesma forma como ocorreu no traço com resíduos de concreto, foi necessária uma correção no fator água/cimento, onde inicialmente adotado com o valor de 0,6 mas devido ao alto consumo de água foi necessário adicionar mais 100 ml, quantidade mínima de água que conseguiu-se estabelecer para sanar a falta de plasticidade e a pouca aderência apresentada na primeira tentativa;

Após a adição dos 100 ml de água obteve-se um fator água/cimento de 0,7 resultando numa pasta com consistência e plasticidade adequadas.

Dosagem argamassa com resíduo
1:2,1:0,9
a/c = 0,7
Sem aditivo

Tabela 4 – Dosagem, argamassa com resíduo.

Fonte: Autores (2016)

## 5 | ENSAIOS REALIZADOS

O ensaio realizado para os traços de concreto foi de resistência compressão em 7 dias, conforme a NBR 5739/2007: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. A figura 5 mostra o equipamento para realização do ensaio de resistência à compressão.



Figura 4 - Ensaio de resistência à compressão

Fonte: Autores (2016)

Já com as argamassas, realizaram-se os testes de resistência à compressão e à tração na flexão conforme NBR 13279/2005: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão. A figura 6 apresenta detalhe do ensaio realizado.

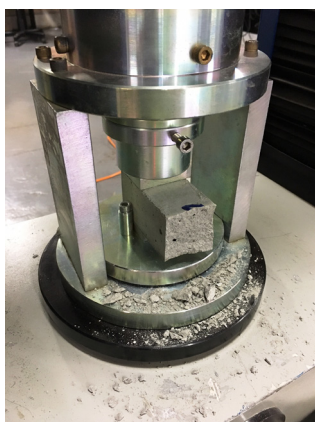


Figura 5 – Detalhe do ensaio de resistência à compressão axial

Fonte: Autores (2016)



Figura 6 – Detalhe do ensaio de resistência à tração na flexão

Fonte: Autores (2016)

## 6 | RESULTADOS

Nos ensaios à compressão do concreto convencional para cura de sete dias obteve-se uma resistência a compressão de 25,5 MPa. Com a adição dos resíduos de mármore e granitos, com mesmo período de sete dias de cura, obteve-se uma resistência à compressão de 12,2 MPa.

Os ensaios da argamassa com resíduos de mármore e granitos resultou no valor de 11,4 MPa de resistência à compressão e 3,7 MPa de resistência à tração na flexão.

## 7 | ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensaio de compressão do concreto convencional com sete dias resultou em 25,5 MPa, muito acima do obtido com a adição dos resíduos, 12,2 MPa. Esse valor parece indicar que a adição desse tipo de material deve ser criteriosa e necessita de um estudo mais profundo de dosagens, para adequarem-se as porcentagens de adições às propriedades do concreto a ser utilizado.

Os resultados da adição do resíduo em pó de mármore e granitos à argamassa surpreenderam muito positivamente, na resistência à compressão houve apenas uma razoável queda de 15,5 MPa obtido por FRANÇA (2009) contra 11,4 MPa obtido experimentalmente em laboratório com a adição dos resíduos. Já na tração na flexão partiu de 2,1 MPa alcançado por FRANÇA (2009) para 3,7 MPa com os ensaios com a pasta com resíduos adicionados.

Apesar desses resultados, deve-se ter cautela com a aplicação dessa técnica, necessitando ainda estudos para aplicação sistematicamente de resíduos aos usos na construção civil. Deve-se analisar possíveis manifestações patológicas oriundas da adição desse tipo de resíduo ao concreto e argamassas, como fissuras provocadas por altos índices de retração, ocorrência da carbonatação e até mesmo surgimento de corrosões químicas no concreto.

A peculiaridade de trabalhar-se com este tipo de resíduo está na composição mineralógica do material, onde nas frações mais finas dos constituintes do granito por exemplo, como a mica e feldspato, afetar o desempenho da pasta. Isso tudo leva a julgar que é de extrema importância pesquisas para a análise química do material e o estudo do seu comportamento na durabilidade da argamassa e do concreto, bem como a análise de possíveis manifestações patológicas.

Outra problemática da utilização desses resíduos está na sua caracterização granulométrica, podendo haver uma grande variação na sua curva, de acordo com o modo e a técnica de moagem utilizada e a eficiência do maquinário utilizado para tal processo, bem como em função de sua origem.

Por fim, ressalta-se a importância dos estudos de aplicações de resíduos na construção civil, pois a geração destes não ocorre apenas nos canteiros de obra, mas também nos setores fornecedores de matéria-prima para a indústria da construção. Assim, os resíduos gerados pelas empresas beneficiadoras de pedras naturais se tornam um foco oportuno de ataque para a inserção de técnicas de reaproveitamento de materiais ao seu processo produtivo, oferecendo uma nova possibilidade de comercialização sustentável deste tipo de rejeito.

## REFERÊNCIAS

ABIROCHAS (Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais). O setor de rochas ornamentais e de revestimento. Informe 005/2006. São Paulo. 2006. Disponível em: <<http://www.abirochas.com.br>>. Acesso em: 15 dez. 2016.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5739/2007: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7215/96 Versão Corrigida: 1997 – Resistência a Compressão do Cimento Portland. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12142: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ANEPAC - Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção. Panorama e perspectivas para o setor de agregados para construção. O Mercado de Agregados no Brasil. Nov. 2015.

CABRERA, O.; BONAVETTI, V.; DONZA, H. IRASSAR, E. F. Hormigones de alta resistência com cimentos de filler calcáreo. In: 1er Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón. Buenos Aires - Argentina, jun/1998, p. 195-204.

BUEST NETO, G. T. Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland. 2006. 169f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006

CORDEIRO, G. C. Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto. 2006. 445 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

FRANÇA, Marcela. Estudo da aplicabilidade da argamassa produzida a partir da reciclagem de resíduo sólido de siderurgia em obras de engenharia. Artigo para o 15º Concurso Falcão Bauer. Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil. 2009.

GUIMARÃES, Juliana; DIAMANTINO, Luanna; RABELO, Nathália. Análise da Influência da Relação água/cimento na Resistência à Compressão do Concreto e no Módulo de Elasticidade. Artigo acadêmico. 2016.

HERRMANN, H. Política de aproveitamento de areia no estado de São Paulo: dos conflitos existentes às compatibilizações possíveis. Rio de Janeiro. CETEM/CNPQ, 186p. 2002.

LAFARGE HOLCIM. <http://www.lafarge.com.br/>. Cimentos Holcim - Ultra Rápido - CPV ARI Fácil. Acesso em 20/12/2016.

MOTA, J. M. F. Influência da Argamassa de Revestimento na Resistência à Compressão Axial em Prisma de Alvenaria Resistente de Blocos Cerâmicos. Universidade Federal de Pernambuco – Dissertação de Mestrado. Recife, 2006.

MOURA, Washington A.; LIMA, Mônica B. Leite; CALMON, João Luiz; MORATTI, Markus; SANTOS SOUZA, Fernando Lordello dos. Produção de pisos intertravados com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. ENTAC. 2006. Florianópolis. Santa Catarina. p. 4227-4236. 2006.

NEVILLE, A. M., Propriedades do Concreto. São Paulo: PINI, 1997. 828p

NUNES, R. L. S.; NEVES, G. A.; SANTANA, L. N. L.; FERREIRA, H. C. Placas cerâmicas obtidas pelo processo de laminação utilizando resíduo de granito. In: 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica. João Pessoa, 15-18/junho, 2003, p.14-23.

SELMO, S.M.S. Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo e fachada de edifícios. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1989.

SILVA, N. G. Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária. 2006. 164f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006

Standard: DIN 18550-1 - Design, Preparation and Application of External Rendering and Internal Plastering - Part 1: Supplementary Provisions for Din En 13914-1 for External Rendering

## TIJOLITO – SISTEMA AG CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA

### João Batista Santos de Assis

Engenheiro Civil, Professor, Dr. em Estruturas pela UFMG, E-mail: jbsassis@yahoo.com.br;

### Juliana Senna Guimarães

Engenheira Civil e Ma. em Construção Civil pela Universidade FUMEC, E-mail: juliana.msguimaraes@gmail.com

### Rúbia Nunes Vieira

Graduanda em Engenharia Civil pela PUCMINAS, E-mail: rubia.nunes@sga.pucminas.br.

**RESUMO:** Este capítulo tratará da apresentação do TIJOLITO – Sistema Andrade Gutierrez de Construção industrializada (SAGCI). As pesquisas iniciaram em 1979, a partir de uma preocupação com a qualidade das paredes construídas naquele ano. Assis notou que a má qualidade delas estava relacionada à grande variação nas dimensões dos tijolos. Após vários estudos e experimentos em laboratório, verificou que tijolos de solo cimento, prensados poderiam ser a solução, pois a variação dimensional passou para o nível de milímetro, o que seria praticamente impossível para os tijolos cerâmicos. Durante o desenvolvimento da pesquisa, verificou-se que várias manifestações patológicas poderiam inviabilizar os estudos com o solo cimento. O pesquisador resolveu fazer uma experiência de produzir um bloco com sistema macho e fêmea, para construir as paredes. A ideia deu tão certo que a Construtora Andrade Gutierrez resolveu patrocinar toda a parte experimental da

pesquisa, o que resultou em aplicações diversas em casas e equipamentos públicos, resultando daí o nascimento do TIJOLITO – SAGCI.

**PALAVRAS CHAVE:** Tijolos de solo cimento, Tijolito, Sistema construtivo industrializado em solo cimento, Tijolo ecológico.

### “TIJOLITO - SISTEMA AG” INDUSTRIALIZED CONSTRUCTION

**ABSTRACT:** This chapter will deal with the presentation of “TIJOLITO - Andrade Gutierrez” System of Industrialized Construction (SAGCI). Research began in 1979, out of concern for the quality of the walls built that year. Assis noticed that their poor quality was related to the great variation in the dimensions of the bricks. After several studies and experiments in the laboratory, he found that pressed cement soil bricks could be the solution, since the dimensional variation has passed to the millimeter level, which would be practically impossible for ceramic bricks. During the development of the research, it was found that several pathological manifestations could make studies with cement soil unfeasible. The researcher decided to make an experiment to produce a block with male and female system, to build the walls. The idea was so successful that Construtora Andrade Gutierrez decided to sponsor the entire experimental part of the research, which resulted in different applications in houses and public facilities, resulting in the birth of TIJOLITO - SAGCI.

**KEYWORDS:** Cement soil bricks, Brick, Industrialized construction system on cement soil, Ecological brick.

Para iniciar este capítulo, torna-se necessário definir o que é um sistema construtivo industrializado.

Um sistema construtivo é um conjunto de técnicas, materiais, componentes e elementos empregados em determinada construção.

Os sistemas conhecidos como convencionais usam fundações, paredes, lajes, coberturas, executados *in loco* e utilizam-se de materiais tradicionais como, tijolos ou blocos, concreto, madeira, telhas de fibro cimento, plástica, metálica ou cerâmica.

Os sistemas construtivos podem ser racionalizados e/ou industrializados. Os racionalizados são aqueles em que um ou mais elementos que compõem a construção são industrializados, isto é, vêm de uma fábrica, mas, a sua característica predominante é o uso de materiais de execução convencionais. Os industrializados são totalmente fabricados fora do canteiro da obra e para esta transportados para montagem e acabamento final. O sistema que vamos relatar neste capítulo poderia estar enquadrado como racionalizado/ industrializado.

Erroneamente, é comum a associação dos conceitos de racionalização e industrialização a técnicas complexas, que demandam estruturas de grande porte para a produção dos materiais de construção e necessitam de pessoal com alto grau de qualificação, realidade esta, muitas vezes, distante da engenharia do dia a dia, daquela que é empregada em canteiros de obras tradicionais. Diferentemente dessa concepção, a racionalização está presente em técnicas construtivas simples, porém inteligentes, as quais propiciam a utilização adequada dos recursos disponíveis, maximizando as propriedades cada material de construção empregado, evitando desperdícios, economizando tempo de produção e possibilitando a produção em escala. Com um material disponível em todo o planeta, como o solo, aliado a outros recorrentes no mercado da construção como o cimento e cal e o emprego de técnicas utilizando os conceitos de racionalização e industrialização, foi possível desenvolver um sistema construtivo eficiente, que produz unidades de alvenaria de forma industrial, porém acessível à população em geral TIJOLITO – O Sistema Andrade Gutierrez de Construção Industrializada (SAGCI).

O tijolito, parte do SAGCI, é um bloco criado e patenteado pelo prof. Doutor João Batista Santos de Assis e, que foi desenvolvido na PUCMINAS e patrocinado pela Construtora Andrade Gutierrez.

O estudo que deu origem ao tijolito, na década de 1970, foi a baixa qualidade dos tijolos cerâmicos da época, principalmente em relação às dimensões. Como a espessura dos tijolos cerâmicos variavam muito, as paredes só podiam ser alinhadas numa das faces. Este grave problema foi o catalizador da pesquisa do prof. Joao Batista, que viu na mistura de solo e cal e posteriormente de solo e cimento, uma possibilidade de produzir-se um bloco com regularidade dimensional. O solo, matéria prima renovável, conjuntamente com o cimento e a cal formam um conjunto coeso. A água presente entre os grãos de solo reage com o cimento, produzindo silicato de cálcio hidratado (CSH) e alumina de cálcio hidratada (CAH), compostos químicos que encapsulam as partículas de argila, formando ligações fortes, conferindo ao bloco resistência mecânica considerável, resistência às intempéries e a fungos e bactérias.

De acordo com as necessidades que surgiam durante a realização da pesquisa do

Prof. João Batista, a geometria inicial que era um simples prisma evoluiu até a geometria atual: um bloco encaixável. O sistema de encaixe, inicialmente produzido em 1986, foi pensado e aprimorado especialmente para reduzir a massa do bloco e conferir leveza a edificação. O encaixe perfeito entre suas unidades somente foi possível a partir do desenvolvimento do controle de qualidade das dimensões das unidades, hoje, da ordem de  $\pm 0,5$  mm em todas as faces.

Esse rigor dimensional permitiu que fossem desenvolvidos encaixes horizontais e verticais no corpo do bloco, garantindo o acoplamento perfeito entre suas unidades, permitindo que a argamassa de assentamento – material de construção presente nas alvenarias tradicionais - fosse dispensada, dando lugar a fiadas com juntas horizontais secas. Para conferir estabilidade à parede, foi desenvolvido um orifício, de aproximadamente 30 mm de diâmetro, que recebe uma argamassa – mistura fluida de cimento, cal e areia. Esta argamassa pode ser substituída pelo graute existente no mercado, quando se solidifica forma mini colunas de estabilização, na parte interna da alvenaria, conferindo estabilidade ao painel e permitindo que este seja, inclusive, para paredes estruturais, dispensando a construção de outros elementos estruturais como pilares e vigas. A Figura 1 apresenta a evolução das geometrias do bloco padrão do Tijolito, desde sua concepção inicial, até os dias de hoje, finalizando com o design contemporâneo, o bloco TJ 110.

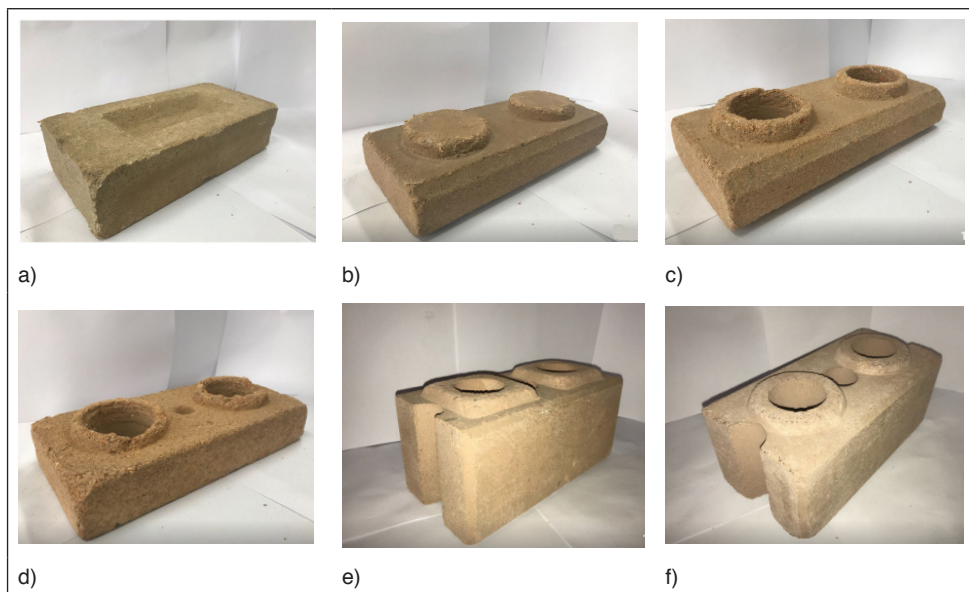


Figura 1 – Evolução da geometria do Tijolito a) primeiro bloco (1979) b) criação do encaixe vertical c) inserção de dois orifícios d) criação do orifício de injeção da argamassa e) machos quadrados f) geometria atual TJ 110 – machos tronco cônicos

A presença de apenas um orifício para a injeção da argamassa estabilizadora do painel confere ao Tijolito uma característica única: a possibilidade de usar os dois orifícios

maiores, com 45 mm de diâmetro, cada, para a passagem de cablagem elétrica ou tubos das redes hidráulicas. As utilidades são inseridas concomitantemente com a execução da parede, dispensando os cortes (quebra) dos blocos, depois que a alvenaria é finalizada, evitando-se desperdícios e retrabalho. Especificamente para a instalação elétrica, o orifício funciona como um eletroduto, dispensando o uso de tubos ou mangueiras para a passagem da fiação, pois a regularidade na superfície interna dos orifícios do tijolito impedem que os fios sejam danificados por eventuais arestas vivas com superfície cortante. A figura 2 apresenta o tijolito produzido em prensa manual e uma vista de uma mini parede.

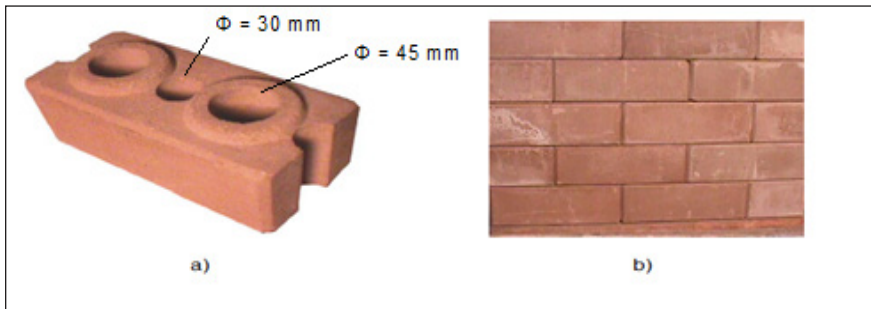


Figura 2 - a) Tijolito, bloco padrão TJ 110 b) vista de um painel executado com o Tijolito

Fonte: Assis (2001).

Com o passar do tempo e com o aprofundamento das pesquisas, não apenas a geometria do bloco evoluiu, mas também se desenvolveu um sistema construtivo completo, possibilitando a construção de edificações inteiras utilizando o SAGCI como material de construção principal, sem recorrer, na execução da alvenaria, aos materiais tradicionalmente empregados nas construções da época, como os tijolos cerâmicos e os blocos de concreto. A figura 3 apresenta os diversos formatos dos tijolitos do SAGCI.

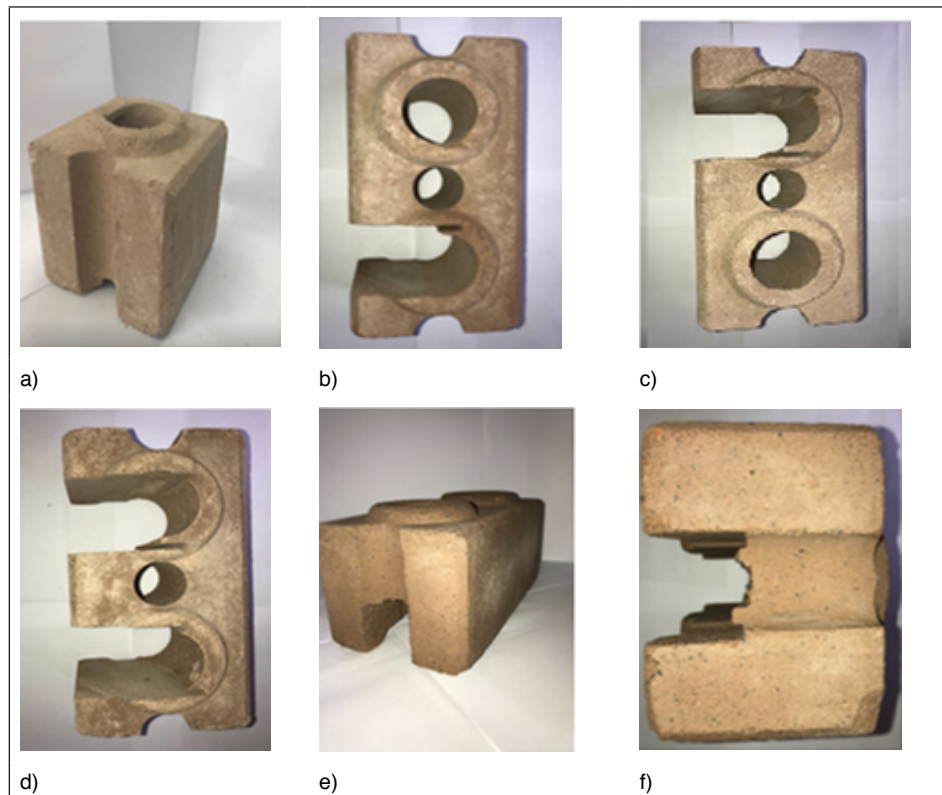


Figura 3 - Tipologias do Tijolito: a) TJ 111- meio Tijolito; b) vista superior do TJ 112; c) vista superior do TJ 113; d) vista superior do TJ 114; e) vista do TJ 115 f) TJ 115 - vista lateral

Fonte: Guimarães (2018).

Blocos com características específicas foram criados para integrarem o conjunto de unidades necessárias para construir uma edificação por completo. Durante a etapa do desenvolvimento das outras tipologias sempre se preservou a ideia de manter a linha de um sistema construtivo que tivesse a mínima variabilidade de peças para não onerar a fabricação da prensa com várias matrizes e para não demandar muito tempo dos executores, na montagem dos painéis. Alguns blocos encaixáveis alemães chegam a ter seu conjunto formado por mais de 20 peças, enquanto o SAGCI apresenta apenas 6. Além do bloco padrão, o TJ 110, o TJ 111 é o meio bloco usado nas amarrações e finalizações das paredes, o TJ 112, TJ 113 e TJ 114 são utilizados para a instalação de caixinhas elétricas. O TJ 115, bloco canaleta, é produzido na fábrica de tijolito, por corte longitudinal com largura aproximada de 32 mm, podendo ser cortado com o canal maior que este, mas não maior que 45 mm, pois se houver necessidade de base da canaleta maior que 45 mm, então, recomenda-se um verga ou contraverga aparente. Importante salientar que para compor a verga e contraverga, seria recomendável a armação necessária para vencer o vão ao invés de concreto deve-se utilizar o graute adequado ou argamassa de cimento e areia.

Para compor o tijolito – SAGCI, além da fabricação dos blocos, foi necessário desenvolver outros componentes para a construção, como marcos em aço para portas e janelas, de tal forma que estes produtos industrializados pudessem melhorar o processo construtivo. Os marcos para portas e janelas são fabricados com jabre duplo para favorecerem a instalação de portas com abertura para esquerda ou direita, além disto é possível usar-se quadros metálicos ou de madeira com tela mosquiteiro, a porta abrindo para dentro da construção e a tela mosquiteiro abrindo para fora. Os marcos das janelas também apresentam jabre duplo. O externo serve para a instalação de janelas tipo veneziana e o interno serve para instalação de janelas com vidros ou tela mosquiteiro. A figura 4, mostra como é o detalhe do marco com jabre duplo.



Figura 4 – Detalhe do jabre duplo em porta e janela

Quando o marco de madeira for qualquer um dos comerciais existentes, para portas de 62 cm, 72 cm e 82 cm, a instalação deles, no SAGCI é muito simples. Ajusta-se o vão deixado, múltiplo de 110 mm, com argamassa 1:1:5 e posteriormente instala-se o marco com parafusos e buchas de nylon.

A dimensão do tijolito, relativamente à sua altura é totalmente adequada para a instalação de caixas elétricas do tipo 2"x4" ou 4"x4". A figura 3 mostra os tijolitos especiais para a instalação de caixa 2"x4" comercial. São eles: TJ 112 e TJ 113.

Quanto às fundações necessárias para a construção de uma edificação utilizando o SAGCI, estas podem ser as tradicionais, como por exemplo: radier ou sapata corrida com ou sem finalização de vigas baldrame. O SAGCI adapta-se perfeitamente a todos os tipos

de fundação, não onerando a construção, se comparado com os materiais tradicionais usuais em alvenaria, similares ao bloco tijolito.

No tocante à cobertura da edificação, o engradamento do telhado pode ser com engradamento de madeira ou perfis metálicos e as telhas já utilizadas nas construções com o SAGCI foram de: fibrocimento; plástico; cerâmica; concreto; vidro e papelão. Pode-se dizer que dependendo do número de telhados é possível fazer uso de estrutura metálica de aço previamente estudada de tal forma que contemple acréscimos futuros para a edificação. O projeto do engradamento, racionalizado, favorece e reduz bastante o custo final do telhado.

A figura 5 mostra como os detalhes de alvenaria, esquadrias e cobertura se integram formando um sistema único. Essa edificação foi exposta em uma feira de tecnologias de baixo custo, mostrando a viabilidade do emprego do sistema.



Figura 5 - Casa construída em Brasília – Distrito Federal - 1992

Fonte: Assis (2008)

O SAGCI foi testado em edificações de um, dois e três pavimentos, no Brasil e Exterior e, o seu comportamento foi considerado satisfatório diante das exigências normais para quaisquer sistemas construtivos conhecidos como tradicionais. Além do desempenho satisfatório em relação ao carregamento que as alvenarias estão geralmente submetidas como solicitações à tração e à compressão, dentre outras, o Tijolito também se mostrou adequado quando submetido aos esforços de cisalhamento gerados por abalos sísmicos. Em alguns locais onde foi empregado, como na Argentina e nas ilhas caribenhas de Trinidad e Tobago, esses esforços mostram-se atuantes, exigindo que as alvenarias resistissem às suas solicitações.

Avaliações técnicas do elemento principal do sistema construtivo foram feitas na

PUC Minas, UFMG, PUCRJ, UFRJ, IPTSP e Universidade de Colúmbia nos EUA. Estas avaliações foram: i) durabilidade por molhagem e secagem; ii) controle da quantidade de cimento no produto pronto, visando verificar a qualidade e homogeneidade da mistura no tijolito; iii) controle dimensional logo após a fabricação do bloco.

O controle dimensional do tijolito é fundamental para a qualidade da construção acabada utilizando o SAGCI. Os encaixes precisam ser regulares para conferir estabilidade quando do intertravamento das fiadas da alvenaria. Se não forem estáveis e contarem com alguma imperfeição na sua fabricação, a alvenaria pode desenvolver fissuras prejudicando o desempenho da construção. Principalmente em alvenarias estruturais, como no caso do Tijolito, ao receberem o carregamento, as paredes devem manter-se íntegras para transmiti-lo efetivamente ao solo, fato este que só é possível se as unidades possuírem entre si uma variabilidade dimensional mínima, no caso do sistema de  $\pm 0,5$  mm, para a dimensão mais crítica, a altura do bloco. A figura 6 mostra outros resultados para as principais medidas do Tijolito.

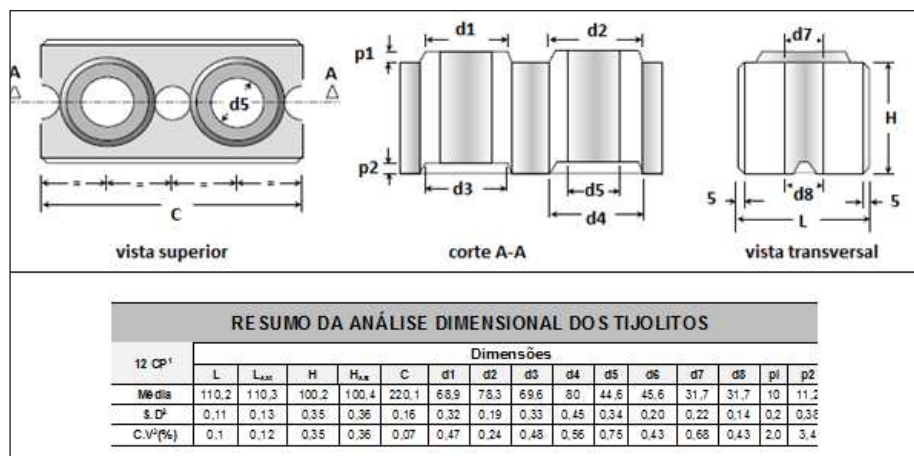


Figura 6 – Análise dimensional do Tijolito

Fonte: Guimarães (2018).

iv) resistência à compressão do TJ 110, visando a garantia da qualidade do produto final. O SAGCI possui resistência média à compressão da ordem de 1,88 MPa, mostrando-se superior, quando em comparação com outras técnicas que empregam terra crua, que são da ordem de 1,0 Mpa; v) determinação da unidade padrão para entender como funciona a distribuição de carga até a ruptura do tijolito padrão; vi) comportamento de parede construída com o tijolito ao choque térmico; vii) comportamento de alvenaria construída com os blocos TJ 110 e TJ 111, relativamente ao fogo; viii) como é a condutividade térmica do tijolito?; ix) como funciona o isolamento acústico de alvenaria do SAGCI?; x) qual a capacidade de pilares executados com este sistema?; xi) como é a forma mais comum de ruptura de paredes deste sistema?; xii) qual o módulo de elasticidade do tijolito padrão?; xiii) estudo de compressão diagonal. Esforços de cisalhamento influenciam no projeto de edificações

que estejam em locais que sofram abalos sísmicos. Como o Tijolito foi empregado em alguns desses locais, o estudo dessa característica torna-se importante. A determinação da tensão de cisalhamento foi verificada com a aplicação de compressão nas diagonais de mini paredes, com cinco fiadas e com dimensões de 550x550 mm<sup>2</sup>, obtendo-se 1,05 MPa de resistência média ao cisalhamento, valor superior aos blocos similares disponíveis no mercado, que apresentam resistência de 0,34 MPa. O módulo de elasticidade transversal do Tijolito a 20% e a 50% da carga de ruptura da alvenaria são 22,2 MPa; 55,4 MPa, respectivamente; xv) determinação da resistência de paredes do sistema com compressão excêntrica; xvi) controle de absorção de água do bloco padrão, objetivando a garantia da qualidade do produto final;

A quantificação da absorção d'água é fundamental para a verificação se a alvenaria sofrerá expansão quando submetida à umidade. Pouca absorção faz com que as paredes sejam mais duráveis, conservando os revestimentos empregados em suas superfícies, não deixando que esses se desprendam do substrato. A absorção d'água do Tijolito é de 9,9%, valor compatível com as normas vigentes no Brasil.

A tabela 1 apresenta algumas características do tijolito avaliado durante o desenvolvimento do mestrado de Guimarães (2018).

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS TIJOLITOS					
12 CP	Massa seca ao ar (g)	Massa após saturação (g)	Absorção D'água (%)	Massa unitária seca (g/cm <sup>3</sup> )	Massa unitária saturada (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Média</b>	2797,7	3103,2	9,9	1,46	1,49
<b>S.D</b>	1466,9	1637,4	3,2	0,65	0,55
<b>C.V(%)</b>	52,4	52,8	31,9	44,38	37,32

Tabela 1 – Controle de absorção de água no TJ 100

Fonte: Guimarães (2018).

xvii) como o produto funciona em fogão a lenha? xviii) como o tijolito funciona em churrasqueira doméstica?; xix) como a alvenaria deste sistema funciona com fundação em areia?; como funciona a parede deste sistema à cargas horizontais uniformemente distribuídas?

A figura 7 mostra uma churrasqueira construída em 2005 e em uso, em Belo Horizonte. Até o momento não apresentou nenhum dano estrutural.



Figura 7 – Churrasqueira construída em 2005 e em uso

Fonte: Autores

## ALGUMAS CONSTRUÇÕES COM O TIJOLITO – SAGCI

Muito mais do que apenas um bloco, o Tijolito é a peça fundamental do sistema construtivo adequado às necessidades da engenharia contemporânea. Ao longo de sua história foi empregado em diversas construções, em muitos estados do Brasil e em vários países no exterior. A geometria singular de suas unidades confere ao sistema simplicidade e celeridade na execução e montagem. Essa característica permitiu que prédios até três pavimentos, escolas, escritórios e casas fossem construídos por pessoas sem o conhecimento técnico construtivo prévio, que foram brevemente treinadas por arquitetos e/ou engenheiros, fato esse que demonstra como a execução do SAGCI é acessível à população, e não somente a profissionais como pedreiros e mestres de obras.

Na década de 90 o Tijolito foi utilizado como aliado a políticas governamentais no combate ao déficit habitacional brasileiro, proporcionando a execução de moradias dignas e de qualidade, com pouco tempo de construção. O Conjunto Sapucaias, construído em 1997, na cidade de Contagem, estado de Minas Gerais – Brasil foi construído por moradores, muitos deles mulheres, donas de casa, que viram no Sistema a possibilidade de com o seu próprio trabalho erguer a moradia tão sonhada. O conjunto Granja de Freitas III, construído também em 1997, contou com a construção de 146 casas geminadas para abrigarem famílias que residiam inicialmente em áreas de risco na cidade de Belo Horizonte – Minas Gerais – Brasil. A figura 8 mostra duas obras de maior impacto para a população de Contagem e Belo Horizonte.



Figura 8 – a) Vista parcial do conjunto Sapucaias, com casas de 40 m<sup>2</sup>, em Contagem – MG; e b) Parte do conjunto habitacional Granja de Freitas III com 146 unidades geminadas construídas para a Prefeitura de Belo Horizonte - MG

Fonte: Assis (2008).

Não somente utilizado na construção de conjuntos habitacionais e em programas governamentais, o Tijolito também foi utilizado na construção de casas de alto padrão, demonstrando que o SAGCI é aplicável tanto no desenvolvimento de projetos básicos, para atender as demandas sociais dos menos favorecidos, quanto em construções sofisticadas. A figura 9a) mostra um condomínio de alto padrão, em Luanda, Angola, destacando que o Sistema é compatível com os padrões de qualidade e desempenho exigidos no exterior. A figura 9b) mostra uma Casa Laboratório, onde diversos, porém harmônicos, detalhes construtivos mostram-se adequados com o Tijolito, como por exemplo: revestimentos cerâmicos; gesso; madeira, adequam-se perfeitamente às alvenarias, permitindo que arquitetos e *designers* utilizem-se de toda criatividade em seus projetos, sem limitações técnicas.



Figura 9 a) Condomínio de alto padrão em Luanda, Angola; b) Casa Laboratório em Belo Horizonte, Minas Gerais.

Fonte: Assis (2008)

## O TIJOLITO E A SUSTENTABILIDADE

Adicionalmente ao aspecto da qualidade do material de construção, a mistura entre solo, cimento e/ou cal origina a um produto sustentável. O solo, material que pode ser encontrado em abundância em todo o planeta, o cimento, utilizado em teores mínimos

em relação aos tradicionais blocos de concreto, faz com que o bloco acabado consuma menos deste material, que demanda tanta energia para ser produzido. A cura em ambiente controlado, simplesmente com umidade elevada e ao ar, dispensa a queima em fornos, faz com que não sejam utilizados combustíveis fósseis na sua produção e que não sejam expelidos gases que afetem o meio ambiente. O orifício próprio para injeção de argamassa ou graute faz com que haja redução do desperdício de argamassa – material que gera resíduos consideráveis em canteiros de obras tradicionais. A passagem interna de utilidades, dispensando a quebra da parede final para sua instalação faz com que menos resíduos de demolição sejam gerados, contribuindo para a sustentabilidade, e, também, para a segurança no canteiro de obras, reduzindo os riscos de acidentes de trabalho. Estima-se que em relação ao custo total de uma construção utilizando o Tijolito o desperdício esteja abaixo de 2%, valor abaixo de países desenvolvidos como o Japão, que apresentam um desperdício acima de 5%, enquanto os sistemas tradicionais desperdiçam cerca de 30% da alvenaria comum.

Portanto, devido aos temas elencados nesse capítulo, conclui-se que o Tijolito é a materialização dos conceitos de qualidade, responsabilidade social e sustentabilidade. É um sistema industrial/racionalizado que pode ser empregado em larga escala para a construção de moradias, escritórios, escolas e outras edificações, com níveis elevados de qualidade e desempenho, permitindo o emprego conjugado com vários tipos de acabamentos e revestimentos, conferindo alta liberdade aos projetos arquitetônicos. Com um treinamento simples, pessoas que nunca construíram edificações com este sistema, tornam-se aptas a trabalhar em seus próprios projetos. Governos podem aproveitar da celeridade da construção utilizando o Tijolito para colocar em prática as suas ações sociais. Não só em relação a estética e a construção de moradias de qualidade, o SAGCI emprega conceitos sustentáveis desde a produção do bloco até o produto final, a construção acabada, gerando benefícios para o meio ambiente em seu aspecto biológico, como a redução do desperdício, como também para o meio ambiente do trabalho, gerando menos resíduos no canteiro, evitando acidentes, sendo um sistema seguro, de qualidade e ecologicamente sustentável.

## REFERÊNCIAS

ASSIS, João Batista Santos de. Avaliação do comportamento estrutural de paredinhas construídas com blocos de solo-cimento, isentas de argamassa de assentamento e submetidas à carga axial de compressão. In: INTERNACIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 7., 2002, Belo Horizonte. Proceedings... Belo Horizonte: Centro Federal de Educação Tecnológica, 2002. V. 1.

\_\_\_\_\_. Avaliação experimental do comportamento estrutural de paredes não armadas, submetidas à compressão axial, construídas com Tijolito. Orientador: Eduardo Chahud. 2001. 188 f, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

\_\_\_\_\_. Bloco intertravado de solo-cimento Tijolito. In: WORKSHOP – ARQUITETURA DE TERRA, 1995, São Paulo: Anais ... São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, 1995.

\_\_\_\_\_. Evaluation of the structural behavior of small walls with soil-cement blocks and without the use of mortar in the horizontal joints: Tijolito Compressed by axial load. In: SEMINAR INTERNATIONAL OF HOUSES CONSTRUCTION, 31.Jun. de 2003, Montreal. Proceedings... Montreal, Canada, 2003.

\_\_\_\_\_. Manual de Construção para obras que utilizam o Tijolito: Sistema Ag de Construção Industrializada. 4. Ed. Belo Horizonte: Construtora Andrade Gutierrez S.A.

\_\_\_\_\_. Manual para projetistas: Tijolito: Sistema Ag de Construção Industrializada. Belo Horizonte: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2005.

\_\_\_\_\_. A influência da insolação, em paredes de solo-cimento, nas fissuras e trincas devidas à retração por secagem. Dissertação de trabalho financiado pelo FIP-PUCMINAS. Belo Horizonte, 1989.

\_\_\_\_\_. Manual de Uso de Manutenção da Vila Tecnológica de Juiz de Fora. Construtora Andrade Gutierrez S.A. Belo Horizonte, 1996.

\_\_\_\_\_; CHAHUD, Eduardo. Avaliação do comportamento estrutural de mini paredes construídas com blocos de solo-cimento, isentas de argamassa entre as fiadas: Tijolito: Sistema AG de Construção Industrializada. In: SEMINÁRIO IBERO AMERICANO DE CONSTRUCCION COM TIERRA (SIACOT), 3., OUT. DE 2004, San Miguel de Tucuman, Argentina. Anais... San Miguel de Tucuman, Argentina: Universidad Nacional de Tucuman, 2004.

GUIMARÃES, Juliana Moreira Senna. OLIVEIRA, Edna Alves; ASSIS, João Batista Santos de. Avaliação experimental do comportamento ao cisalhamento de paredes de alvenaria estrutural construídas com blocos encaixáveis de solo cimento. 2018. Dissertação (Mestrado em Mestrado Profissional em Processos Construtivos) - Universidade FUMEC. Orientadora: Edna Alves Oliveira; Coorientador: João Batista Santos de Assis.

## VERIFICAÇÃO DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS MISTOS EM CONCRETO E BLOCO CERÂMICO PARA VEDAÇÃO

**Jamile Salim Fuina**

Profa. Dra. do Curso de Mestrado Profissional  
em Processos Construtivos  
Universidade Fumec, jamile@fumec.br

**Bernardo Caetano Chaves**

Mestre em Processos Construtivos  
Universidade Fumec,  
bernardocaetanochaves@gmail.com

**RESUMO:** O presente trabalho apresenta a avaliação do desempenho acústico de edificações executadas com painéis pré-fabricados mistos, de concreto armado e blocos cerâmicos, usados como parede de vedação e sem função estrutural. As análises acústicas, aqui abordadas, foram realizadas conforme recomendações da ABNT NBR 15575-4:2013. Foi objeto de estudo analisar o desempenho acústico do referido sistema construtivo por meio de ensaios *in loco*; avaliar e comparar o nível de desempenho acústico obtido com os níveis apresentados num Documento de Avaliação Técnica disponível na literatura. Os ensaios de campo foram realizados em três etapas, direcionados pelo método simplificado em campo. A diferença padronizada de nível ponderada foi medida em campo, através do uso do aparelho de medição de pressão sonora ou decibelímetro da marca INSTRUTHERM, modelo THDL 400. Verificou-se, a partir da análise dos resultados obtidos, que parte do sistema atende diretamente às necessidades da norma, contudo, existe desconformidade com as exigências da norma de desempenho, para os sistemas de vedação internos, em áreas de circulação comum, possivelmente em função dos detalhes construtivos adotados no preenchimento das

juntas entre os painéis e a estrutura.

**PALAVRAS-CHAVE:** painéis pré-fabricados mistos, desempenho acústico, paredes de vedação

### VERIFICATION OF THE ACOUSTIC PERFORMANCE OF MIXED PREFABRICATED PANELS IN CONCRETE AND CERAMIC BLOCK FOR SEALING WALL

**ABSTRACT:** The present work presents the evaluation of the acoustic performance of buildings made with mixed prefabricated panels, reinforced concrete and ceramic blocks, used as sealing wall and without structural function. The acoustic analyses, discussed here, were performed according to the recommendations of ABNT NBR 15575-4: 2013. The object of the study was to analyze the acoustic performance of this constructive system by means of on-site tests; evaluate and compare the level of acoustic performance obtained, with the levels presented in a Technical Evaluation Document available in the literature. The field tests were performed in three stages, directed by the simplified method in the field. The standardized difference in weighted level was measured in the field, using an INSTRUTHERM sound pressure measurement device or decibelmeter, model THDL 400. From the analysis of the results obtained, it was found that part of the system directly serves to the requirements of the standard, however, there is a non-compliance with the requirements of the performance standard, for internal sealing systems, in areas of common circulation, possibly due to the construction details adopted in the filling of the joints between the panels and the structure.

**KEYWORDS:** mixed prefabricated panels, acoustic performance, walls for sealing

## 1 | INTRODUÇÃO

Diante dos diversos tipos de processos construtivos empregados no mercado imobiliário do Brasil, especialmente quanto à construção de residências, torna-se necessário obter materiais por um custo menor para as moradias das classes de baixa renda (famílias com rendas entre um e três salários mínimos).

Para atender a tal necessidade, e ao mesmo tempo obter melhor retorno financeiro, busca-se construir um número maior de unidades em um mesmo empreendimento, maximizando a produtividade por meio de alternativas construtivas pré-fabricadas. Esses processos construtivos envolvem alternativas e proporcionam inovações à construção civil, além de agilidade, devido aos sistemas flexibilizados de pré-fabricação e às suas especificações. Aliado aos fatores relacionados, há o fator econômico, já que há redução de desperdícios na sua execução e montagem em obra.

Dentre os produtos pré-fabricados, há os painéis pré-fabricados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos, foco de análise deste trabalho em termos acústicos, registrados como “painéis pré-fabricados mistos de concreto armado e blocos cerâmicos sem função estrutural”, neste trabalho denominados como painéis em estudo. Estes painéis são empregados como paredes, sem função estrutural, de edifícios residenciais multifamiliares de até 16 pavimentos.

A avaliação abordada neste trabalho refere-se ao desempenho acústico dos painéis, consistindo em um estudo na área de processos construtivos e seguindo as orientações da NBR 15575-4, em sua parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE, tópico 12, item da norma que apresenta os critérios mínimos de desempenho acústico que devem ser atendidos por todas unidades habitacionais construídas após 2013 (ABNT, 2013).

## 2 | PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS MISTOS EM CONCRETO E BLOCO CERÂMICO

Tecnologias construtivas aplicadas aos modelos habitacionais levam à redução tanto do preço, prazo, como da redução de resíduos de construção, ao mesmo tempo que aumentam o desempenho e habitabilidade, proporcionando, assim, a melhoria no espaço das habitações construídas em grande escala. Portanto, como enfatiza Ornstein *et al.* (2017), ampliam as condições para reduzir o déficit habitacional brasileiro, nas esferas Federal, Estadual e Municipal.

Os sistemas construtivos “inovadores” são assim denominados, como qualquer outra inovação tecnológica, por entendimento de que são produtos que ainda não possuem normas técnicas que especifiquem suas características, ou mesmo que tenham procedimentos de projeto e execução definidos, como explicam Fabrício e Ono (2015). Este conceito é válido em outros países, conforme Ornstein *et al.* (2017).

Segundo Amâncio *et al.* (2012), Barros (2013), Castilho *et al.* (2001), El Debs (2017), Zenerato *et al.* (2018), os painéis pré-fabricados possuem um campo de aplicação amplo, com linha de produção industrializada e montagem no canteiro de obras, sendo considerados sistemas construtivos inovadores.

O foco principal deste estudo é direcionado para um sistema construtivo pré-fabricado, os “painéis pré-fabricados mistos em concreto e bloco cerâmico”, ou, como aqui chamados, painéis em estudo. Estes, de acordo com Amâncio *et al.* (2012), Barros (2013) e DATec– Documento de Aprovação Técnica, são constituídos de materiais como blocos cerâmicos, mangueiras corrugadas de plástico para passagem dos cabamentos dos circuitos elétricos, nervuras de concreto auto adensável e treliça metálica com função de armadura para absorção de impactos no manuseio e transporte, sendo sem função estrutural.

O DATec, desenvolvido para amparar a normatização dos processos, resume que os painéis pré-fabricados em estudo são confeccionados em fôrmas metálicas, na posição horizontal, com aplicação de um desmoldante. Nas fôrmas, as armaduras são configuradas, sendo posteriormente posicionadas e ajustadas com auxílio de espaçadores plásticos distribuídos conforme projeto.

As armaduras são de aço CA 50 e/ou CA 60, de acordo com o projeto. As nervuras são dispostas tanto na horizontal, como na vertical e como também no perímetro do painel, com função exclusiva para estruturar o painel no momento da desenforma, durante o manuseio, transporte e montagem.

A avaliação da isolamento sonora dos painéis aqui estudados é direcionada pela ABNT NBR 15575-4 na versão 2013, intitulada de Edificações Habitacionais – Desempenho.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) é composta de 06 (seis) partes, sendo: Parte 1: Requisitos gerais; Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais; Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos; Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas; Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas e Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários (ABNT, 2013).

### **3 | O SOM E SUAS PARTICULARIDADES**

O ruído urbano está presente nas residências, locais de trabalho, hospitais, escolas, ambiente de lazer, enfim, cada vez mais presente no cotidiano da população. Porém, prejudica as relações sociais, o comportamento, rendimento de trabalho e escolar, assim como a saúde das pessoas (ENIZ e GARAVELLI, 2006). Em razão de tais interferências que tanto afetam a vida da população, como afirma Silva (2005), os fenômenos da acústica devem ser estudados, pois são pouco conhecidos e equacionados.

Durante o projeto da edificação, como detalham Ferreira Neto e Bertoli (2008), não é raro que as questões de conforto ambiental fiquem em segundo plano, pois, muitas vezes, somente depois do edifício pronto e entregue, é que esse item passa a ser questionado, e geralmente, pelo usuário, podendo o ruído ser de fontes externas (tráfego rodoviário, ferroviário ou aéreo, estabelecimentos comerciais e industriais), ou mesmo de fontes internas à edificação (como aqueles que são causados por conversas, passos, rádio, televisão, casas de máquinas, elevadores), completa Michalski (2011).

A energia sonora produzida em um cômodo de uma unidade se propaga por toda a edificação, como alega Michalski (2011), e por qualquer caminho disponível, podendo chegar aos outros ambientes como ruído. A transmissão pode ser, ainda de acordo com

Michalski (2011), direta, ou seja, através dos elementos de divisória entre as salas, ou indireta, através das paredes laterais, teto e chão.

Aos fatores citados, torna-se importante acrescentar que a energia sonora pode ser transmitida pelo ar através de ondas longitudinais, ou seja, a vibração das partículas de ar ocorre na mesma direção da propagação da onda, ou por meio sólido, quando a propagação ocorre em uma estrutura da edificação, através de vários tipos de onda sonora, ou seja, longitudinal, de cisalhamento, torsional e de flexão (MICHALSKI, 2011).

Com a entrada em vigor da norma de desempenho NBR 15.575 em 2008, os construtores ficaram bastante preocupados com o impacto financeiro da aplicação de seus preceitos em seus empreendimentos. Um dos principais pontos de polêmica foi o isolamento acústico garantido pelos sistemas construtivos utilizados (KLAVDIANOS e ALMEIDA, 2013).

A NBR 10151 – Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento (ABNT, 2000), fixa as condições exigíveis para avaliação do ruído em comunidades. A ABNT (2000) também especifica um método para a medição de ruído, aplicação de correções nos níveis medidos se o ruído apresentar características especiais e uma comparação dos níveis corrigidos com um critério que leva em conta vários fatores. O método de avaliação envolve as medições do nível de pressão sonora equivalente ( $L_{Aeq}$ ) em decibel dB (A), ou seja, como define a ABNT (2000), é o “nível obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora (com a ponderação A) referente a todo intervalo de medição”. O método de avaliação do ruído traduz-se em uma comparação entre o nível de pressão sonora corrigido ( $L_c$ ) e o nível de critério de avaliação (NCA), estabelecido pela NBR 10151 (ABNT, 2000). A Tabela 1 mostra o nível de critério de avaliação (NCA) para ambientes externos, em dB (A).

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Tabela 1: Nível de critério de avaliação para ambientes externos, em dB (A)

Fonte: ABNT, 2000

A Tabela 2 apresenta valores mínimos de desempenho da diferença padronizada de nível ponderada, denominada como  $D_{2m,n,T,w}$ , da vedação externa de dormitório.

CLASSE DE RÚIDO	LOCALIZAÇÃO DA HABITAÇÃO	$D_{2m,nT,w}$ [dB]
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	$\geq 20$
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	$\geq 25$
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação.	$\geq 30$

Nota 1: Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há exigências específicas.

Nota 2: Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias há necessidade de estudos específicos

Tabela 2: Valores mínimos da  $D_{2m,nT,w}$  para vedação externa de dormitório.

Fonte: ABNT, 2013

Com relação ao nível mínimo de desempenho, a NBR 15575 (ABNT, 2013), no tópico 12.3.2.2, apresenta os valores de diferença padronizada de nível ponderada,  $D_{nT,w}$ , que é a diferença entre a leitura do ruído no local emissor subtraída da leitura do ruído que chega ao local receptor, como mostra a Tabela 3.

ELEMENTO	$D_{nT,w}$ [dB]
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	$\geq 40$
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório	$\geq 45$
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	$\geq 40$
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	$\geq 30$
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	$\geq 45$
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo <i>hall</i> ( $D_{nT,w}$ obtida entre as unidades).	$\geq 40$

Tabela 3: Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada,  $D_{nT,w}$ , entre ambientes

Fonte: ABNT, 2013

## 4 | METODOLOGIA

Os ensaios foram realizados em três etapas. Adotou-se o método de ensaio simplificado em campo. O local escolhido para a realização dos mesmos foi uma unidade de uma edificação que pertence a um conjunto residencial multifamiliar para pessoas de baixa renda, localizado em Betim-MG. O critério para a escolha do local dos ensaios foi de acessibilidade, aliado às características técnicas da edificação.

Quanto à parte estrutural dos edifícios, esta é composta por peças pré-fabricadas de concreto armado, como os pilares, as vigas e as lajes, bem como as cintas de fundação. Quanto à fundação, foram executados tubulões e os blocos de equalização de esforços, concretados *in loco* com concreto usinado. A planta baixa do padrão dos apartamentos é apresentada na Figura 1, sendo dois quartos, um banheiro, uma sala e uma cozinha conjugada com a área de serviço.

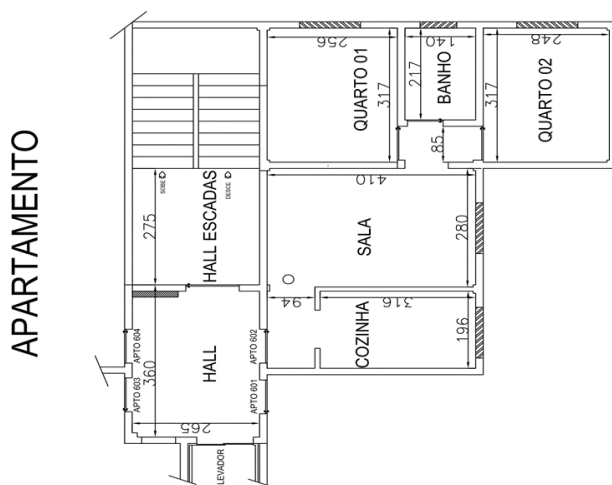


Figura 1: Planta baixa padrão dos apartamentos

Fonte: Os autores, 2019

Os apartamentos acessíveis para os ensaios estavam desabitados, sem mobiliário. As paredes externas possuem 130 mm de espessura, as paredes internas e de áreas secas possuem 140 mm de espessura, e as paredes de geminação de divisa e áreas comuns 180 mm de espessura. Além de que, o pé direito de todo o apartamento é de 2,58 m.

O aparelho usado para as medições de ruído (pressão sonora) foi um decibelímetro digital multifunção (termo-higro-decibelímetro-luxímetro) da marca Instrutherm® modelo THDL-400, ilustrado na Figura 2. Este aparelho em específico, por suas citadas características multifuncionais, configura como temperatura de -20° a 750°C, umidade de 25 a 95% U.R. (umidade relativa), luxímetro de 0,01 a 200000 Lux, com função Max. Hold, e por fim, decibelímetro de 35 a 130 dB. O funcionamento deste decibelímetro se dá

apontando o microfone para o local a ser medido e captando o ruído formado pelas ondas sonoras no ambiente analisado. Como não se dispunha de equipamento para acoplar no decibelímetro a fim de armazenar as medições, estas foram filmadas, fotografadas e anotadas, e transferidas para formulário.



Figura 2: Aparelho de medição de pressão sonora ou decibelímetro

Fonte: Os autores, 2019

Os locais de medição são ilustrados na Figura 3, destacando o Bloco A, o pátio de convivência do residencial, o Bloco B, o pátio de estacionamento do Bloco B, e o pátio de estacionamento do Bloco E.



Figura 3: Vista aérea do conjunto residencial multifamiliar, com os locais de medição marcados

Fonte: Adaptado de Google, 2018

A segunda etapa de ensaio foi feita com o uso do medidor de nível de pressão sonora, no local, para avaliação do desempenho das vedações verticais e horizontais internas do sistema construtivo, de acordo com a norma NBR 15575 (ABNT, 2013), no tópico 12.2.1.2 – Método de engenharia, realizado em campo, onde, para paredes internas (SVVI), determina, entre unidades autônomas e entre uma unidade e áreas comuns, o isolamento sonoro global, caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema. O método é descrito na norma *ISO 140 – 4* (ISO, 1998a).

A terceira e última etapa foi feita com o uso do medidor de nível de pressão sonora, no local, para avaliação do desempenho das fachadas em edificações do sistema construtivo, também de acordo com as recomendações da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), tópico 12.2.1.2, só que para fachadas externas – Método de engenharia, realizado em campo, onde, para fachadas (SVVE), determina, para conjunto de fachada e cobertura, no caso de casas térreas e sobrados, e somente fachada nos edifícios multipiso, o isolamento sonoro global, caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema. O método também é descrito pela *ISO 140 – 5* (ISO, 1998b).

Para a execução dos ensaios acústicos, foi desenvolvido um formulário para organização das medições e ponderações, de acordo com as já citadas normas, que se aplica aos três ensaios.

Na sequência dos ensaios, diante do critério já mencionado, de acessibilidade, o ambiente estudado passou a ser uma unidade autônoma, o apartamento 602, localizado no sexto andar, do Bloco B, e, em seguida, leituras em áreas de uso comum, sendo o *hall* de acesso ao elevador social e aos apartamentos, o patamar da caixa de escadas e o salão de recepção. No Bloco A, o salão de festas e a unidade 603.

Na primeira etapa, há a necessidade de classificar e determinar o tipo de área onde se encontra o condomínio, e, então, após as medições, comparar com os parâmetros da NBR 10151 (ABNT 2000). Portanto, o método de avaliação do ruído baseia-se em uma comparação entre o nível de pressão sonora corrigido ( $L_c$ ) e o nível de critério de avaliação (NCA). Para ambientes externos o NCA está indicado na Tabela 1.

Na segunda etapa, para a unidade autônoma, o apartamento 602 do Bloco B, definiu-se a sala como fonte geradora, onde foram instalados os equipamentos, um *notebook* acoplado com duas caixas de som externas e um celular com um programa de música ligado. Neste local, fez-se uso do equipamento, o medidor de nível de pressão sonora e este ponto foi denominado emissor.

Após as leituras do emissor, foram feitas as leituras no quarto 1, que faz divisão com a sala. Neste local, foram determinados pontos distintos de medição, denominados receptores, demarcados como R01, R02, R03, R04 (FIGURA 4).

Posteriormente, foram feitas as leituras nas áreas comuns, sendo o *hall* de elevador de acesso aos apartamentos e o patamar da caixa de escadas, como mostrado nas Figuras 5 e 6 demarcados como R05 e R06.

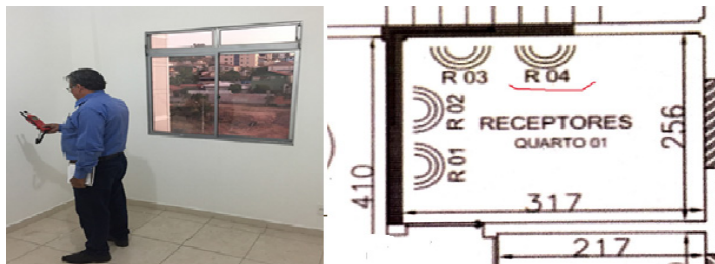


Figura 4: Medição de pressão sonora, equipamento posicionado em R04

Fonte: Os autores, 2019



Figura 5: Medição de pressão sonora, equipamento posicionado em R05

Fonte: Os autores, 2019



Figura 6: Medição de pressão sonora, equipamento posicionado em R06

Fonte: Os autores, 2019

As medições foram feitas entre os horários de 17:00h e 18:00h, do dia 12/07/2019, numa sexta-feira.

Para a segunda parte dos ensaios foram consideradas quatro situações distintas referentes à fonte geradora: situação 1: emissora com 60 dB(A); situação 2 - emissora com 70 dB(A); situação 3 - emissora com 80 dB(A) e situação 4 - emissora acima de 60 dB(A) acrescido de fala.

Na terceira etapa de ensaios, fez-se o uso do medidor de nível de pressão sonora, no local, para avaliação do desempenho das fachadas do sistema construtivo. O método é descrito na norma ISO – 140 – 5 (ISO, 1998b).

Conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013), no tópico 12.2.1.2, cabe registrar que os resultados obtidos restringem-se somente às medições efetuadas.

Para fachadas, definiu-se, diante do espaço acessível, os seguintes ambientes: o *hall* social do edifício denominado Bloco B; o salão de recepção, localizado no mesmo Bloco, na fachada frontal, ao lado direito da entrada social do edifício e o salão de festas do condomínio residencial, localizado à esquerda da entrada social do edifício denominado de Bloco A. Estes locais são os receptores e fazem parte das fachadas dos dois blocos acima mencionados e estão voltados para o Norte.

As medições foram feitas entre os horários de 12:00h e 13:30h, do dia 18/07/2019, numa quinta-feira.

A fonte geradora, com 70 dB(A), foi instalada próximo ao muro de divisa do condomínio com a rua, a 2 metros da fachada frontal do Bloco B e o mesmo foi feito para o Bloco A, conforme recomendações da ISO 140-5 (ISO, 1998b).

Nos locais mencionados, após as leituras do emissor, próximo à fonte geradora, foram feitas as leituras no salão de recepções de visitas, no *hall* de entrada social e no salão de festas do condomínio residencial, locais estes denominados de receptores, que foram denominados como RE01, RE02 e RE03, respectivamente, e também mostrados nas Figuras 7, 8 e 9.



Figura 7: Medição interna do salão de recepção de visitas, no bloco B, RE01

Fonte: Os autores, 2019



Figura 8: Vista externa de RE01 e interior do hall social do bloco B, RE02

Fonte: Os autores, 2019



Figura 9: Vista do salão de festas do condomínio e dos pontos de RE03

Fonte: Os autores, 2019

## 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos ensaios também foram divididos em três etapas distintas e podem ser visualizados, a seguir, nas Tabelas 4, 5 e 6, onde são comparados com os padrões normativos, estando na ordem, da primeira para a terceira etapa, respectivamente.

De acordo com os documentos normativos analisados, com o estudo desenvolvido e com os ensaios apresentados, são feitas algumas discussões, a seguir, sobre os resultados obtidos.

Referente ao local onde o condomínio residencial foi implantado, de acordo com

a NBR 10151 (ABNT, 2000), conclui-se que o local classifica-se, através da comparação com a Tabela 1, como área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas, sendo a escolha do terreno para implantação do condomínio residencial correta para o empreendimento. A Tabela 4 apresenta o resultado ensaiado comparado com o NCA – Nível de critério de avaliação conforme NBR 10151 (ABNT, 2000), onde a comparação, para período diurno, se aproxima de 50 dB (A).

Número Apartamento	Bloco	Local de leitura	Posição da Janela		Mobiliário		Leitura Laeq - dB(A)	Parâmetro NBR - dB(A)	Período	Tipo de área conforme NBR
			Fechadas	Abertas	presente	ausente				
803	A	sala		X	X		48,6	50	Diurno	Estritamente residencial urbana
602	B	quarto 1	X			X	48,6	50	Diurno	Estritamente residencial urbana
602	B	quarto 2	X			X	48,7	50	Diurno	Estritamente residencial urbana
602	B	sala	X			X	48,0	50	Diurno	Estritamente residencial urbana
602	B	cozinha	X			X	48,5	50	Diurno	Estritamente residencial urbana

Tabela 4: Resultados da primeira etapa

Fonte: Os autores, 2019

Referente aos ensaios de desempenho para o sistema de vedações verticais internos, (SVVI), percebem-se pelos resultados obtidos, que as paredes pré-fabricadas do apartamento analisado estão em desconformidade com as exigências normativas da NBR 15575 (ABNT, 2013). Foram realizados procedimentos direcionados pela ISO 140-4 (ISO, 1998a) e os parâmetros apresentados na Tabela 3.

Constata-se, em análise normativa, que os locais ensaiados são classificados como parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos, onde no ensaio foram denominados de R05 e R06, com exigência de  $D_{nT,w}$  maior ou igual a 30 dB. Entretanto, conforme Tabela 5, foram obtidos resultados inferiores aos esperados. Para os pontos denominados de R01, R02, R03 e R04, classificados como parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório, com exigência de  $D_{nT,w}$  maior ou igual a 45 dB, os resultados obtidos também foram inferiores aos esperados. Contudo, existem outros pontos a serem considerados, abordados nas considerações finais.

Como nenhum valor obtido através dos ensaios realizados na segunda etapa ultrapassou o valor de 29 dB (TABELA 5), conclui-se que o SVVI não se enquadra nos padrões normativos, levando em consideração a metodologia aplicada para os ensaios e a necessidade de se obter os níveis apresentados na Tabela 3.

Número Apto./Local	Bloco	Local de leitura	Denominação Local	Posição da Janela		Mobiliário		Emissor dB(A)	Laeq - dB(A) Emissor	Laeq - dB(A) Receptor	DnT,w Encontrado	Parâmetro ABNT - DnT,w
				Fechadas	Abertas	presente	ausente					
602	B	quarto 1	R1	X			X	60,0	61,0	49,2	11,8	≥ 45
602	B	quarto 1	R1	X			X	70,0	70,2	56,1	14,1	≥ 45
602	B	quarto 1	R1	X			X	80,0	80,8	62,6	18,2	≥ 45
602	B	quarto 1	R1	X			X	60,0+ fala	77,4	56,8	20,6	≥ 45
602	B	quarto 1	R2	X			X	60,0	61,0	49,0	12,0	≥ 45
602	B	quarto 1	R2	X			X	70,0	70,2	51,2	19,0	≥ 45
602	B	quarto 1	R2	X			X	80,0	80,8	63,0	17,8	≥ 45
602	B	quarto 1	R2	X			X	60,0+ fala	77,4	51,8	25,6	≥ 45
602	B	quarto 1	R3	X			X	60,0	61,0	48,1	12,9	≥ 45
602	B	quarto 1	R3	X			X	70,0	70,2	49,3	20,9	≥ 45
602	B	quarto 1	R3	X			X	80,0	80,8	58,3	22,5	≥ 45
602	B	quarto 1	R3	X			X	60,0+ fala	77,4	49,3	28,1	≥ 45
602	B	quarto 1	R4	X			X	60,0	61,0	48,2	12,8	≥ 45
602	B	quarto 1	R4	X			X	70,0	70,2	52,3	17,9	≥ 45
602	B	quarto 1	R4	X			X	80,0	80,8	67,5	13,3	≥ 45
602	B	quarto 1	R4	X			X	60,0+ fala	77,4	56,5	20,9	≥ 45
602	B	6º andar / hall elevador	R5	X			X	70,0	70,2	47,9	22,3	≥ 30
602	B	6º andar / hall escada	R6	X			X	70,0	70,2	47,5	22,7	≥ 30

Tabela 5: Resultados da segunda etapa

Fonte: Os autores, 2019

Local	Bloco	Local de leitura	Denominação Local	Posição da Janela		Mobiliário		Emissor dB(A)	Laeq - dB(A) Emissor	Laeq - dB(A) Receptor	D <sub>2m,n,T,w</sub> Encontrado	Parâm.ABNT D <sub>2m,n,T,w</sub> (dB)
				Fechadas	Abertas	presente	ausente					
salão	B	salão recepção	R01	X			X	70,0	75,4	48,7	26,7	>= 20
hall	B	hall social/elevador	R02	X			X	70,0	75,4	52,2	23,2	>= 20
salão	A	salão de festas	R03	X			X	70,0	69,7	48,9	20,8	>= 20

Tabela 6: Resultados da terceira etapa

Fonte: Os autores, 2019

Referente aos ensaios de desempenho para o sistema de vedações verticais externos, (SVVE), desenvolvidos na terceira etapa de ensaios deste trabalho, observados na Tabela 6, conclui-se que as paredes pré-fabricadas, do edifício analisado, atendem as exigências normativas da NBR 15575 (ABNT,2013), tendo a metodologia aplicada nos ensaios sido direcionada pela ISO 140-5 (ISO, 1998b) e aparecem na Tabela 2, que coloca como valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada,  $D_{2m,n,T,w}$ , da vedação externa de dormitório, como classe de ruído do tipo I – Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas, o valor maior ou igual a 20 dB. Assim, conclui-se que o sistema de vedações verticais externos, conforme locais analisados na terceira etapa, atende às normas, visto que os valores encontrados, nos três locais ensaiados, foram satisfatórios, sendo superiores ao mínimo exigido (ver Tabela 6).

O DATec apresenta os resultados obtidos para a avaliação técnica referente ao desempenho acústico analisado aqui. Assim, a Tabela 7 apresenta uma comparação dos resultados obtidos pelo DATec com os melhores resultados obtidos nos ensaios feitos na segunda e na terceira parte deste trabalho. No DATec, foram usados dois métodos de avaliação. O método de engenharia realizado em campo, com os resultados apresentados na Tabela 7 e o método de precisão, realizado em laboratório, onde apresentou-se resultado para o índice de redução sonora ponderado ( $R_w$ ) de 42 dB.

Local	Espessura da parede (mm)	Critérios mínimos de desempenho da diferença padronizada de nível ponderado (ABNT NBR 15.575-4:2013) (dB)	Resultado do ensaio	PARTE 2	PARTE 3
			de campo (dB)	(SVVI)	(SVVE)
			DATec	DnT,w(dB)	D2m,nT,w (dB)
Fachada de habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído da Classe de ruído II.	135	$D_{2m,nT,w} \geq 25$	31	-	-
Fachada de habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas (Classe I).	135	$D_{2m,nT,w} \geq 20$	-	-	26,7
Parede cega entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório.	140	$D_{nT,w} \geq 40$	40	-	-
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório.	140	$D_{nT,w} \geq 45$	-	28,1	-
Parede cega de salas e de cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria nos pavimentos.	140	$D_{nT,w} \geq 30$	33	22,7	-

Tabela 7: Comparação de resultados

Fonte: Os autores, 2019

Neste trabalho, abordou-se o método simplificado em campo, que permite obter estimativa do isolamento sonoro global da vedação (SVVE) e (SVVI), em situações onde não se dispõe de instrumentação necessária para medir o tempo de reverberação, ou quando as condições de ruído de fundo não permitem obter este parâmetro e, logo, diz-se menos preciso. Contudo, obteve-se como o melhor resultado da diferença padronizada de nível ponderada ( $D_{2m,n,T,w}$ ) (Tabela 7), para SVVE, resultado satisfatório de 26,7 dB.

Já para a diferença padronizada de nível ponderada ( $D_{nT,w}$ ), para SVVI, obteve-se como os dois melhores resultados, 28,1 dB e 22,7 dB, que, comparando-se aos resultados obtidos pelo DATec, são inferiores e não satisfatórios.

## 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo geral de avaliar o desempenho acústico dos painéis em estudo foi alcançado em três etapas. Avaliou-se, na primeira etapa, o ruído sonoro da região em que está inserido o condomínio multifamiliar, na segunda, o desempenho acústico para paredes internas (SVVI), em que contemplou-se uma fonte denominada emissora e outras seis denominadas receptoras, sendo quatro internas à unidade ensaiada e duas externas, em áreas internas de circulação comum, e, na terceira etapa, o desempenho acústico para isolamento aéreo em sistema de vedação vertical externa (SVVE) de edificação.

Para a primeira parte dos ensaios, os resultados encontrados comprovam a classificação da região onde se localiza o condomínio multifamiliar como área mista, predominantemente residencial, pois nenhum resultado ultrapassou 50 dB (A) em horário diurno, conforme a Tabela 4.

Para a segunda parte dos ensaios, embora os resultados encontrados traduzam-se na não satisfação normativa, onde a diferença padronizada de nível ponderada não atingiu a exigência mínima da norma que é de, no mínimo, 30 dB (A) para parede cega de salas e cozinhas entre unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, bem como de 45 dB (A) para parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório, cabe registrar que os ensaios foram feitos

direcionados pelo método simplificado em campo, onde não se dispõe de instrumento que seja capaz de medir o tempo de reverberação e também que faz-se necessário avaliar com mais riqueza de detalhes o sistema construtivo como um todo, levando em consideração os materiais usados para o preenchimento das juntas formadas entre os painéis e as estruturas que circundam o mesmo. Registra-se ainda, a hipótese deste material deixar vazios e estes propagarem maior quantidade de ruídos, interferindo, assim, diretamente nos resultados encontrados. Outro fator determinante para a definição mais elaborada dos resultados encontrados na segunda parte de ensaios é direcionado pela ciência da probabilidade e estatística, onde, só pode-se fazer afirmativas com precisão, onde tem-se um significativo número de lotes avaliados. No caso deste trabalho, foi avaliada apenas uma unidade autônoma, logo, para precisão, seria necessária a ampliação deste número, preferencialmente para todas as unidades do edifício analisado.

Para a terceira e última parte dos ensaios os mesmos atenderam à norma de desempenho, que diante dos resultados obtidos, o nível de ruído se classifica como classe I - habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas, como o condomínio residencial (Tabela 2). Os valores obtidos para a diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância da edificação tiveram resultados superiores a 20 dB (A), conforme o mínimo exigido pela norma.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10151: Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_NBR 15.575-4: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

AMANCIO, R. C. A.; FABRICIO, M. M.; MITIDIERI FILHO, C. V. Avaliações técnicas de produtos de construção inovadores no Brasil. IN: Jornada para engenharia para a sociedade, investigação e inovação – cidades e desenvolvimento. Lisboa, Portugal, 2012. p. 1-7.

BARROS, M. M. S. B. Tecnologias construtivas para produção de edifícios no Brasil: Perspectivas e desafios. Relatório Final da Pesquisa “Subsídios para a Definição de Estratégias de Apoio à Indústria da Construção Civil”. Fundação Getúlio Vargas (FGV) e Instituto Euvaldo Lodi (IEL) - Núcleo Regional do Estado do Rio de Janeiro - Produto 4 - Diagnóstico da Divisão da Construção de Edifícios - 2ª Versão. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2013.

CASTILHO, V. C.; EL DEBS, M. K.; GIL, L. S.; Contribuição dos painéis pré-moldados de fechamento no enrijecimento da estrutura principal: estudo de caso. Cadernos de Engenharia de Estruturas. n. 17. São Carlos, 2001.

EL DEBS, M. K. Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações. Oficina de Textos, 2. ed. São Paulo, 2017. ISBN: 978-85-7975-279-7.

ENIZ, A.; GARAVELLI, S. S. L. A contaminação acústica em ambientes escolares devido aos ruídos urbanos no Distrito Federal. Holos Environment, v. 6, n. 2, p. 137, Brasília, 2006. ISSN: 1519- 8421.

FABRÍCIO, M. M., ONO, R. O., Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras. Manutenção e Percepção dos Usuários. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído –ANTAC. Porto Alegre, 2015. ISBN 978-85-89478-42-7. DOI: 10.4322/978-85-89478-42-7.

FERREIRA NETO, M. F.; BERTOLI, S. R. Critérios de Desempenho Acústico e Níveis de Conforto Acústico: Uma Pequena Análise em Edifícios Residenciais de São Paulo, Brasil. IN: VI Congresso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008, Buenos Aires, 2008.

GOOGLE, 2018 – Imagem residencial multifamiliar – Acesso em 14 de julho de 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 140- 4: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 4: Field measurement airborne sound insulation between rooms. Geneva, 1998a.

\_\_\_ ISO 140-5: Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of fachade elements fachades. Genebra, 1998b.

KLAVDIANOS, D. A. M.; ALMEIDA, E. A. A. Avaliação do desempenho acústico de edificações em diferentes sistemas construtivos, conforme a Norma de Desempenho ABNT NBR 15575. Apostila para Sinduscon-DF. Brasília, 2013.

MICHALSKI, R. L. X. N. Metodologias para medição de isolamento sonoro em campo e para expressão da incerteza de medição na avaliação do desempenho acústico de edificações. Tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2011. 235 f.

ORNSTEIN, S. W.; OLIVEIRA, F. L.; ONO, R. Em busca da qualidade na habitação social no Brasil: instrumentos para a avaliação pós ocupação (APO) aplicada a sistemas construtivos inovadores. IN: 4º CIHEL – Congresso Internacional da Habitação no Espaço Lusófono - A Cidade Habitada. Porto, Portugal, 2017.

SILVA, P. Acústica Arquitetônica e condicionamento de Ar. 5. ed. EDTAL – Empresa Termo Acústica LTDA. Belo Horizonte, 2005. ISBN-13: 9788010048601 ISBN-10: 8010048607.

TELLO, R.; LAURIANO, L. A.; CARVALHAES, E. R. Inovação, Industrialização e Sustentabilidade: A Solução Habitacional X. FDC. Nova Lima, 2012.

ZENERATO, T.; OLIVEIRA, A. K. D; BERTOLI, S. R.; GOMES, C. E. M.; PICCHI, F. A. Desempenho acústico de fachada de sistemas construtivos inovadores: análise dos DATEC's. IN: XXVIII Encontro Sociedade Brasileira de Acústica. Porto Alegre-RS, 2018. DOI: 10.17648/sobrac-87080.

# SOBRE OS ORGANIZADORES

**EDNA ALVES OLIVEIRA** - Possui Graduação em Engenharia Civil pela Universidade FUMEC - Faculdade de Engenharia e Arquitetura da FUMEC (1997); Mestrado em Engenharia de Estruturas pela Universidade Federal de Minas Gerais (2001); Doutorado em Engenharia de Estruturas pela Universidade Federal de Minas Gerais (2009) - estudo experimental, para desenvolvimento da Tese de Doutorado, realizado no Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia da UFMG, e estudo numérico desenvolvido na Universidade do Minho em Guimarães/ Portugal. Atualmente é Docente do Curso de Mestrado Profissional em Processos Construtivos da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade FUMEC; professora coordenadora de projeto de pesquisa e professora Adjunta da Universidade FUMEC; Membro do Núcleo Docente Estruturante do Curso de Engenharia Civil da Universidade FUMEC; Diretora de Normas Técnicas da Sociedade Brasileira de Ferrocimento. Foi coordenadora do Setor de Pós-Graduação Stricto Sensu e Pesquisa da Universidade FUMEC (2017 a 2019). Experiência em Engenharia Civil, com ênfase em Técnicas Construtivas. Disciplinas lecionadas em Graduação e Pós-Graduação: Estruturas, Patologia das construções, Edificações em Alvenaria e Concreto, Novas tecnologias.

**LUIZ ANTÔNIO MELGAÇO NUNES BRANCO** - Possui Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (1988), Mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Minas Gerais (2004), Doutorado em Geologia pela Universidade Federal de Minas Gerais (2010) e Pós-Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade do Porto/Portugal (2018). Atualmente é consultor - SAS - Sociedade dos Auditores de Sistemas, professor associado da Universidade Federal de Minas Gerais e professor adjunto da Universidade FUMEC na área de Materiais de Construção. Atua na graduação e mestrado, lecionando e orientando pesquisas e dissertações. Experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Construção Civil, atuando principalmente nos seguintes temas: ensino de engenharia, construção de edifícios, patologia das construções, ensaios não destrutivos, ensaios de materiais, construção enxuta e revestimentos pétreos. Autor de trabalhos e artigos técnicos e científicos publicados em congressos, eventos nacionais, internacionais e periódicos especializados. Coordenador do LESC – Laboratório de Ensaios de Sistemas Construtivos. Disciplinas lecionadas em Graduação e Pós-Graduação: Materiais de Construção, Novos Materiais e Experimentação na Construção Civil.

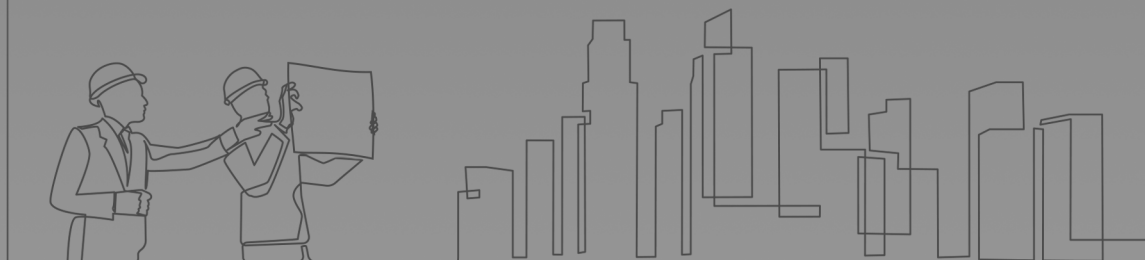
# TECNOLOGIA EM MATERIAIS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

@atenaeditora 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 



# TECNOLOGIA EM MATERIAIS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

@atenaeditora 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

