

# ENGENHARIA NA PRÁTICA: CONSTRUÇÃO E INOVAÇÃO

## VOL. 2

ORGANIZADORES

BRUNO MATOS DE FARIAS  
MARCELO GONÇALVES DOMINGOS ARAÚJO  
MARCOS AURÉLIO PINTO MARZANO JR

  
epitaya  
Editora

Bruno Matos de Farias  
Marcelo Gonçalves Domingos Araújo  
Marcos Aurélio Pinto Marzano Júnior  
Organizadores

ENGENHARIA NA PRÁTICA: CONSTRUÇÃO E INOVAÇÃO  
VOL.2

1ª Edição



Rio de Janeiro – RJ  
2021

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

EXX Engenharia na prática [recurso eletrônico] : construção e inovação –  
Vol.2 / Organizadores Bruno Matos de Farias; Marcelo  
Gonçalves Domingos Araújo; Marcos Aurélio Pinto Marzano  
Junior –  
Rio de Janeiro, RJ: Epitaya, 2020.  
234 p.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-87809-19-9

1. Engenharia civil. 2. Construção civil. I. Farias, Bruno Matos de. II.  
Araújo, Marcelo Gonçalves Domingos. III. Marzano Junior, Marcos  
Aurélio Pinto. IV. Título

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior –CRB6/2422**

Epitaya Propriedade Intelectual Editora Ltda  
Rio de Janeiro / RJ  
contato@epitaya.com.br  
<http://www.epitaya.com.br>

epitaya  
Editora

Bruno Matos de Farias  
Marcelo Gonçalves Domingos Araújo  
Marcos Aurélio Pinto Marzano Júnior  
Organizadores

ENGENHARIA NA PRÁTICA: CONSTRUÇÃO E INOVAÇÃO  
VOL.2



Rio de Janeiro – RJ  
2021

Epitaya Propriedade Intelectual Editora Ltda  
1<sup>o</sup> Edição - Copyright © 2021 dos autores  
Direitos de Edição Reservados à Epitaya Propriedade Intelectual Editora Ltda.

Nenhuma parte desta obra poderá ser utilizada indevidamente, sem estar de acordo com a Lei nº 9.610/98.  
Todo o conteúdo, assim como as possíveis correções necessárias dos artigos é de responsabilidade de seus autores.

---

### CONSELHO EDITORIAL

EDITOR RESPONSÁVEL	Bruno Matos de Farias
ASSESSORIA EDITORIAL	Helena Portes Sava de Farias
MARKETING / DESIGN	Gercton Bernardo Coitinho
DIAGRAMAÇÃO/ CAPA	Bruno Matos de Farias
REVISÃO	Autores

---

### CONSELHO EDITORIAL

COMITÊ CIENTÍFICO	Prof. Adriano Arpad Moreira Gomes
CIÊNCIAS DA TERRA E ENGENHARIAS	Prof. Bianca Marinho Quintella Borges Soares
	Prof. Emilio Farjalla Neto
	Prof. Everton Rangel Bispo
	Prof. Gercton Bernardo Coitinho
	Prof. Kátia Eliane Santos Avelar
	Prof. Luiz Felipe Dutra Caldeira
	Prof. Marcio Vieira Costa
	Prof. Marco Eduardo do Nascimento Rocha
	Prof. Paulo Antônio Pereira Igreja
	Prof. Rachel Cristina Santos Pires

## PREFÁCIO

A engenharia deve ser multidisciplinar, conter informações e conhecimentos variados, de diversas áreas de abrangência. Unificar, o quanto mais for possível, a vasta teoria existente com a prática de serviços e processos construtivos comprovadamente eficazes.

Este livro foi pensado e elaborado para agregar em um único material, nove trabalhos aprovados de conclusão de curso com diferentes temas e propostas. Estes trabalhos foram confeccionados por graduandos do curso de Engenharia Civil da Universidade Estácio de Sá, majoritariamente do Campus Petrópolis. Os graduandos/autores extrapolaram suas capacidades de pesquisa, organização, confecção de textos significativos, que colaborarão para o engrandecimento dos estudos na área de engenharia civil.

Os temas abordam e analisam estudos de casos e pesquisas a respeito de Patologias em Muros de Concreto, Viabilidade Técnica do Asfalto Borracha em Obras de Pavimentação, Controle para Cura Úmida de Concreto, Empregabilidade do Gesso na Construção Civil, Aplicativo Móvel para Compilação de Checklist na Entrega de Imóveis, Dimensionamento de Sistema de Drenagem Pluvial, Influência da Incorporação de Fibras de Aço em Vigas de Concreto Armado no Cisalhamento, Utilização de Poliestileno Expandido na Construção de Sobrados Geminados comparativamente com Alvenaria Tradicional de Tijolos Cerâmicos e as Principais Patologias em Revestimentos Cerâmicos em Fachadas por Inchamento da Armadura.

Normalmente, o percurso de um bom trabalho de conclusão de curso de graduação, fica restrito às cercanias da instituição acadêmica a que pertencem. São lidos, analisados, debatidos, esmiuçados e aprovados por bancas formadas por professores da instituição, renomados professores convidados, coordenadores de cursos, entre outros. Material humano superpreparado, cada um no seu segmento de atuação e especialização, que abrilhantam as apresentações/defesas destes trabalhos conclusivos.

Os três organizadores deste livro, intitulado Engenharia na Prática: Construção e Inovação - Vol.2 , têm por objetivo dar acesso a qualquer pessoa interessada nos conteúdos e temas destes trabalhos finais. Entendem que a popularização destes trabalhos é relevante aos estudos de engenharia.

Os colaboradores do livro, muito satisfeitos estão, por verem, alguns de seus alunos, em diversas disciplinas ao longo do árduo curso, tornarem-se partícipes de um livro a respeito de engenharia civil, segmento sempre pronto e na vanguarda para o desenvolvimento de qualquer nação.

Cumprimentos fazem-se necessários ao Prof. Marcos Aurélio Pinto Marzano Júnior, um dos três organizadores desta obra, coordenador brilhante do Curso de Engenharia Civil do Campus Petrópolis, contumaz incentivador dos alunos, que prontamente acolheu, deu força e incentivo à brilhante proposta da confecção do livro, do também professor desta instituição petropolitana, Prof. Bruno Matos de Farias, grande idealizador deste livro.

De minha parte, fico completamente lisonjeado em ter sido convidado para juntar-me aos dois nesta importante missão. Particpei, com muito orgulho e carinho, da seleção, orientação e organização deste material. Penso que esta iniciativa deva ser tomada como exemplo e, quem sabe, multiplicar-se por diversas instituições de graduação superior. A semente está plantada, o florescer é inevitável.

**Prof. Me. Marcelo Gonçalves Domingos Araújo**

Mestre em Desenvolvimento Local Engenharia Civil  
formado pelo Centro Universitário Augusto Motta.

## SUMÁRIO

<i>Capítulo 1</i> .....	09
ANÁLISE DE PATOLOGIAS EM MUROS DE CONCRETO ARMADO: UM ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS	
<i>André Augusto de Souza Ribeiro; Bruno Freitas de Azevedo; Marcos Aurélio Pinto Marzano Júnior</i>	
<i>Capítulo 2</i> .....	29
ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DO ASFALTO-BORRACHA PRÉ-MISTURADO A FRIO NAS OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO	
<i>Cleber Galvão Novo Júnior; Sidnei Luiz Silva Lima de Azevedo; Bruno Freitas de Azevedo; Marcos Aurélio Pinto Marzano Júnior</i>	
<i>Capítulo 3</i> .....	51
SISTEMA DE CONTROLE AUTÔNOMO PARA CURA ÚMIDA DO CONCRETO	
<i>Edenir Zabicki Soares Ramos; Elislene Dantas Monterio; Marcos Aurélio Pinto Marzano Junior</i>	
<i>Capítulo 4</i> .....	89
EMPREGABILIDADE DO GESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	
<i>Luana Freire Araújo; Bruno Matos de Farias</i>	
<i>Capítulo 5</i> .....	109
COMPILAÇÃO DE CHECKLIST PARA ENTREGA DE IMÓVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL COM O AUXÍLIO DE APLICATIVO MÓVEL	
<i>Fernanda Neves da Cruz; Márcia Nair Statzner Alves; Marcos Aurélio Pinto Marzano Júnior</i>	
<i>Capítulo 6</i> .....	132
DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL: UM ESTUDO DE CASO DE UM GRUPAMENTO RESIDENCIAL, NO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS - RJ.	
<i>Rafael Machado da Silva; Samara Francisco Zappala; Bruno Freitas de Azevedo</i>	
<i>Capítulo 7</i> .....	158
INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE AÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS AO CISALHAMENTO	
<i>Filipe Teixeira Medeiros; Rafael Vargas Gomes; Kíssila Botelho Goliath</i>	

*Capítulo 8* ..... 191  
PROJETO DE CONSTRUÇÃO DE SOBRADOS GEMINADOS COM POLIESTIRENO  
EXPANDIDO: COMPARATIVO COM A CONSTRUÇÃO EM ALVENARIA TRADICIONAL  
DE TIJOLOS CERÂMICOS

*Renan Assis Martins; Marcelo Gonçalves Domingos Araújo*

*Capítulo 9* ..... 214  
PRINCIPAIS PATOLOGIAS EM REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS POR  
INCHAMENTO DA ARMADURA

*Alexandre de Carvalho Araújo; Marcelo Gonçalves Domingos Araújo*

**André Augusto de Souza Ribeiro**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

**Bruno Freitas de Azevedo**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

**Marcos Aurélio Pinto Marzano Júnior**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

## RESUMO

A cidade de Petrópolis, localizada na região serrana do estado do Rio de Janeiro, possui um relevo acidentado, e ao longo dos anos a população vem se aglomerando próximo aos centros urbanos, diferente do projeto inicial, hoje áreas cada vez mais íngremes e encostas rochosas vem sendo ocupadas. Para tornar essas ocupações possíveis, faz-se necessário o uso dos muros de contenção, utilizados para conter e estabilizar taludes e encostas. Porém, muitos desses muros apresentam manifestações patológicas, que caso não sofram nenhum tipo de intervenção se agravam cada vez mais, podendo levar a estrutura à ruína, trazendo diversos prejuízos socioeconômicos. A fim de identificar um padrão de ocorrência de patologias nas contenções do município, este trabalho se utilizou de um estudo de caso, onde foi escolhido um tipo de contenção comum na cidade, os muros de concreto armado. Foi realizada uma revisão bibliográfica como embasamento teórico aos estudos, além de serem selecionadas também uma amostra de 10 muros com manifestações patológicas para o estudo de caso. Esses muros foram vistoriados e através da análise dos dados coletados, foi possível identificar o tipo de patologia mais comum e também as suas possíveis causas.

**Palavras-chave:** Petrópolis; Contenções; Patologias; Concreto.

## INTRODUÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no município de Petrópolis-RJ, que fica localizado no topo da Serra da Estrela, pertencente ao conjunto montanhoso da Serra dos Órgãos, a 838 metros acima do nível do mar, se estendendo por 791,144 km<sup>2</sup>, a cidade foi implantada pelo imperador D. Pedro II, e teve seu projeto elaborado pelo Major de engenharia Júlio Frederico Koeler.

Seguindo o projeto inicial de urbanização desenvolvido por Koeler, “[...]a ocupação urbana até 1945 restringia-se ao fundo dos vales e planícies fluviais, devido à menor densidade urbana e pela legislação vigente na época” (GUERRA, 2007, p. 39 apud GOLÇALVES, 1998).

Ainda de acordo com Guerra:

Entre 1945 e 1964, com a grande expansão urbana da cidade e as mudanças das leis de ocupação do município, ocorre o parcelamento indiscriminado dos lotes no sentido de sua profundidade, com a ocupação de encostas adjacentes às áreas já urbanizadas, além de encostas com menor declividade, como os terrenos extremamente perigosos, as faixas de sopé de encostas íngremes e rochosas (GUERRA, 2007, p. 39 apud IPT, 1991).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2020), a cidade conta atualmente com uma população estimada de 306.678 pessoas, apresenta uma densidade demográfica estimada de 387 habitantes por km<sup>2</sup>, e apesar de possuir uma extensa zona rural, grande parte dessa população se aglomera nos centros urbanos fazendo esse índice aumentar consideravelmente nessas áreas.

Dentre as construções mais antigas utilizadas pelo homem estão as estruturas de contenção, que também são muito utilizadas em Petrópolis, o muro (latim *murus*) é uma obra civil, geralmente de alvenaria, usada para separar terrenos contíguos ou formar cercas. Quando utilizado para prover estabilidade de taludes de terra ou rochas é chamado de muro de contenção ou de arrimo.

Os muros de contenção ou obras de arte, como também são conhecidos, assim como toda obra civil, estão sujeitos a apresentarem patologias construtivas.

Segundo Nazario e Zancan:

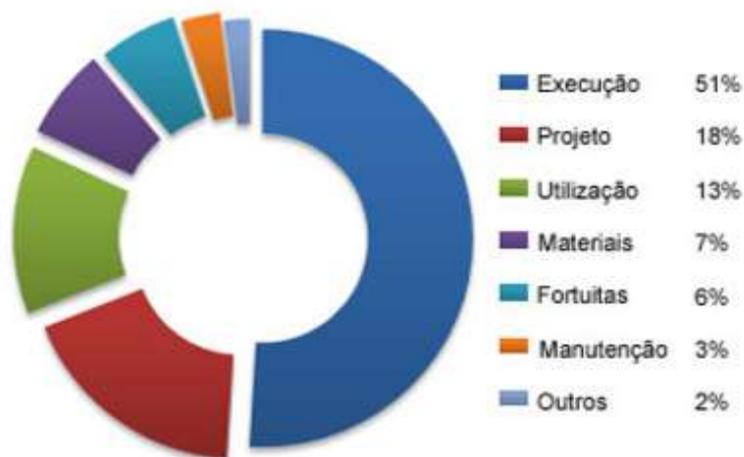
Patologia, de acordo com os dicionários, é a parte da medicina que estuda as doenças. A palavra patologia tem origem grega de “phatos” que significa sofrimento, doença, e de “logia” que é ciência, estudo. Então, conforme os dicionários existentes pode-se definir a palavra patologia como a ciência que estuda a origem, os sintomas e a natureza das doenças (NAZÁRIO E ZANCAN, 2011, p. 01).

Trazendo esta definição para a área da construção civil, podemos dizer que a patologia é o estudo das doenças de edifícios, ou das construções em geral. Toda construção é projetada de acordo com as normas, e tem um desempenho que deve ser atingido, se esse desempenho é insatisfatório por diversos motivos, seja na má qualidade do material, má execução ou falha de projeto, normalmente a estrutura apresenta manifestações, que dão alerta de que algo não está certo, chamamos de manifestações patológicas, podem ser fissuras, trincas, infiltrações, recalques, entre outras.

Segundo Santos (2014) as patologias podem ser geradas em três etapas, na etapa de concepção da estrutura (projeto), na fase de execução da estrutura (construção), e na fase de utilização da estrutura (manutenção), independente de quando apareça os sintomas, uma falha na execução, por exemplo, pode vir a gerar patologias depois de anos de utilização.

A Figura 01 mostra a proporção das principais causas de patologias:

**Figura 01** – Incidências e origens de manifestações patológicas.



**Fonte:** Santos (2014, p. 17 apud PIANCASTELLI, 2014)

O relevo acidentado do Município Petropolitano, juntamente com a densidade demográfica elevada nos polos urbanos e muitas vezes a falta de recursos, formam uma combinação muito perigosa. Por vezes as comunidades vão se estendendo em áreas cada vez mais íngremes e rochosas, ou próximo a rios e córregos, construindo de maneira irregular, sem mão-de-obra especializada e com estruturas fora das normas técnicas. Com as fortes chuvas de verão a situação se agrava, pois ocorrem diversas quedas de muros, deslizamentos de encostas e em casos mais extremos, até mesmo perda de vidas humanas.

Uma das características destas ocupações é a falta de estruturas de contenção, porém ainda mais grave são as contenções com patologias, que não estão mais em suas condições ideais, podendo romper com uma sobrecarga de saturação do solo por exemplo, mas ainda assim, aos olhos de leigos passam uma falsa sensação de segurança, o que pode ser fatal.

Desta forma, faz-se necessário um estudo na área das patologias em estruturas de contenção, fornecendo dados para que possam ser realizadas medidas preventivas. Por existirem diversas formas de contenção, foi escolhido uma que seja comum na região, assim, para este estudo, utilizamos uma amostra de muros de concreto armado que apresentam patologias.

O presente trabalho tem como objetivo principal identificar um padrão de ocorrência de patologias em muros de concreto armado no município de Petrópolis.

Para atingir o objetivo geral são listados abaixo alguns objetivos específicos:

I – Caracterizar os muros de concreto armado utilizados no estudo, apontando as patologias encontradas;

II – Analisar os dados e identificar um padrão de ocorrência das patologias.

## REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com Gerscovich (2016) muros de contenção são estruturas que garantem a estabilidade do solo, basicamente, a partir do seu peso próprio, a principal função do muro de arrimo é evitar possíveis deslizamentos do talude ou encosta, dando estabilidade a porção de terra arrimada e promovendo a segurança.

O tipo de contenção é escolhida de acordo com tipo de solo, inclinação, altura do talude, carga a ser suportada, pluviosidade, disponibilidade de materiais na região,

orçamento, dentre outros vários fatores, o profissional ou a equipe, se for o caso, opta pelo tipo de contenção mais viável.

## **Principais tipos de contenção**

As contenções em solo são as projetadas para resistir aos esforços provenientes do talude e de sobrecargas acidentais e/ou permanentes, segundo a Norma Brasileira - NBR 11682:2009, que trata de estabilidade de encostas, os principais tipos de obras de contenção em solo são:

- Muros de gravidade;
- Muros de flexão;
- Estruturas ancoradas (tirantes ancorados no terreno);
- Estruturas de solo reforçado (estruturas que trabalham conjuntamente com o terreno).

Além desses, existem alguns tipos de contenção específicos para rochas, e soluções mistas, que envolvem simultaneamente dois ou mais tipos de contenção, ou também elementos de estabilização especiais como estaca raiz, tubulão, dentre outros.

## **METODOLOGIA**

O presente trabalho apresenta abordagem qualitativa, exploratória de estudo de caso. Este, foi construído em quatro etapas: Levantamento bibliográfico, serviço de campo, análise dos dados e conclusão.

A busca bibliográfica foi efetuada em livros didáticos, artigos científicos inseridos em bases de dados como Scielo, Google Acadêmico, e notas de aulas do curso de engenharia civil na Universidade Estácio de Sá, Campus Petrópolis. Esse referencial busca embasar cientificamente os estudos e análises que foram desenvolvidos.

Foram utilizados os seguintes descritores: Concreto armado, patologias em estruturas de concreto armado, contenções, cortina atirantada, solo grampeado, muros de arrimo.

Os artigos científicos utilizados na presente busca bibliográfica foram publicados entre os anos de 1997 e 2020, estando dispostos no idioma português.

O serviço de campo, composto de vistorias técnicas em 10 muros de contenção na cidade de Petrópolis, serviu para coletar dados e imagens.

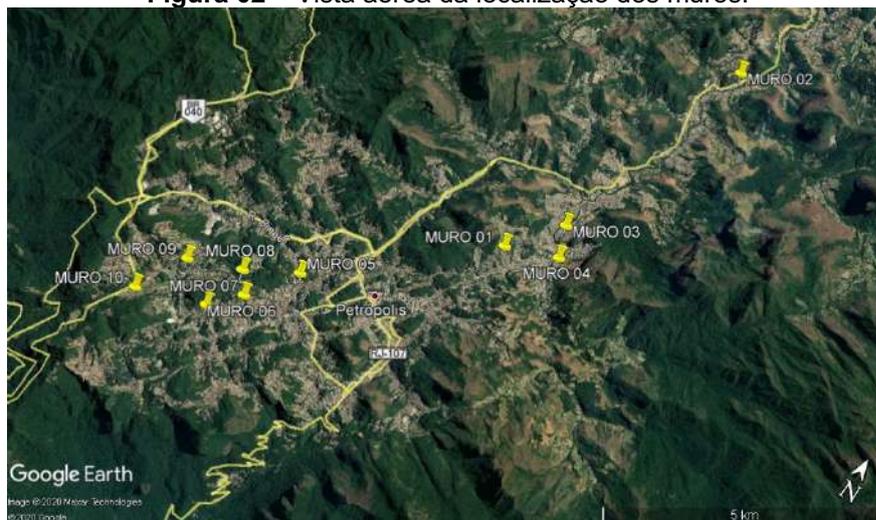
A partir dos dados coletados, foi realizada uma análise dos muros de contenção, identificando as principais patologias e suas possíveis causas.

Por fim, cruzando as informações foi possível identificar um padrão, mostrando as patologias e as possíveis causas mais ocorrentes nos muros de concreto armado no município Petropolitano.

## **ESTUDO DE CASO**

Como estudo de caso no município de Petrópolis, foram escolhidos 10 muros de concreto armado que apresentam patologias, os muros estão dispostos em diferentes bairros da cidade e suas localizações podem ser vistas na Figura 02.

**Figura 02** – Vista aérea da localização dos muros.



Fonte: Google Earth Pro (2020).

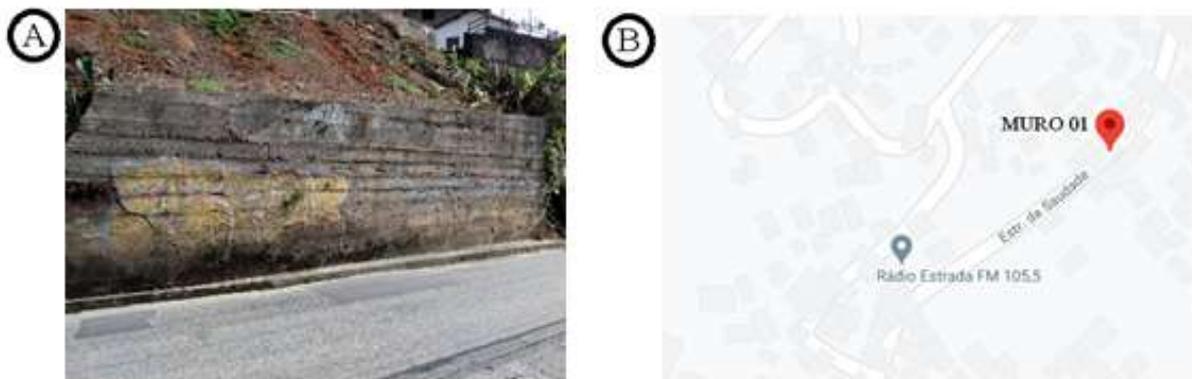
## Principais patologias

Foram realizadas vistorias técnicas nos 10 muros, afim de identificar as principais patologias e suas possíveis causas.

### a) Muro 01

O Muro 01, mostrado na Figura 03, fica localizado na Estrada da Saudade, número 1213, no bairro do mesmo nome, nas coordenadas geográficas 22°29'33.82" S 43°09'40.57" O.

**Figura 03** – Muro 01: (A) Vista; (B) Mapa.



Fonte: (A) Autor; (B) Google Maps (2020).

A Figura 04 mostra as principais patologias encontradas no Muro 01.

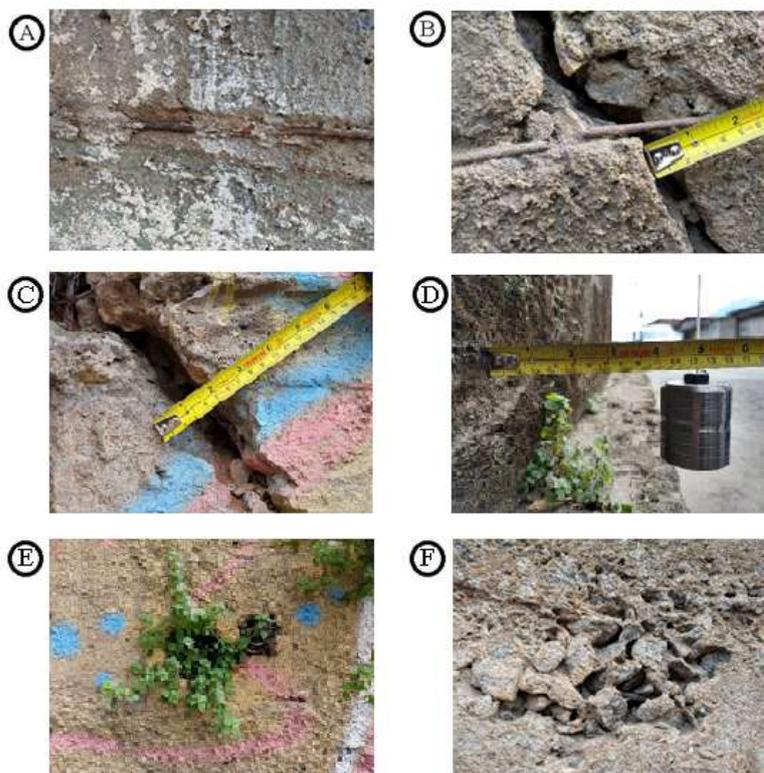
**Figura 04** – Quadro de patologias do Muro 01.

PATOLOGIAS	POSSÍVEIS CAUSAS
Aço exposto	Falha de projeto Falha de execução
Fissuras	Falha de projeto Falta de manutenção
Desaprumo	Falha de projeto
Drenos obstruídos	Falta de manutenção
Ninhos de concretagem	Falha de execução

Fonte: Autor.

A Figura 05 ilustra as patologias citadas acima.

**Figura 05** – Patologias do Muro 01: (A) Aço exposto; (B) Fissura; (C) Fissura; (D) Desaprumo; (E) Dreno obstruído; (F) Ninho de concretagem.

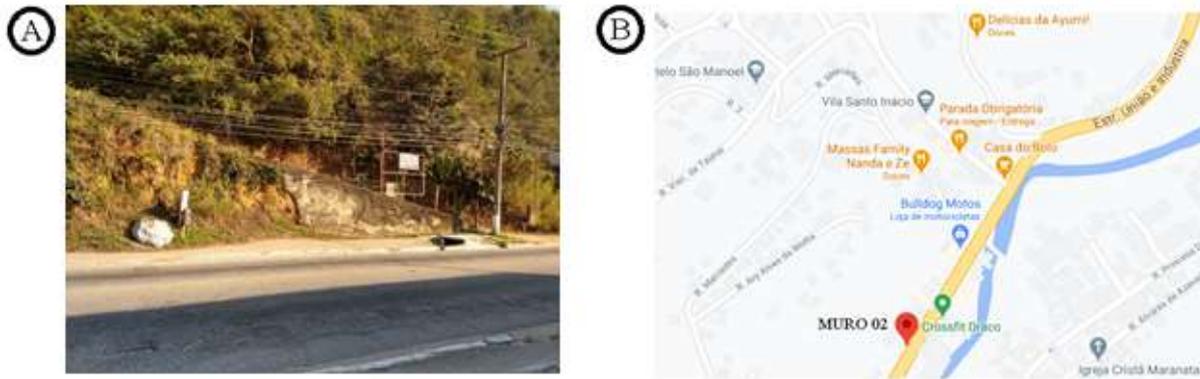


Fonte: Autor.

#### b) Muro 02

O Muro 02 fica localizado na Estrada União e Indústria, número 4625, no bairro Corrêas, nas coordenadas geográficas 22°26'24.22" S 43°08'21.12" O e pode ser visto na Figura 06.

**Figura 06** – Muro 02: (A) Vista; (B) Mapa.



**Fonte:** (A) Autor; (B) Google Maps (2020).

As patologias encontradas no Muro 02, são mostradas na Figura 07.

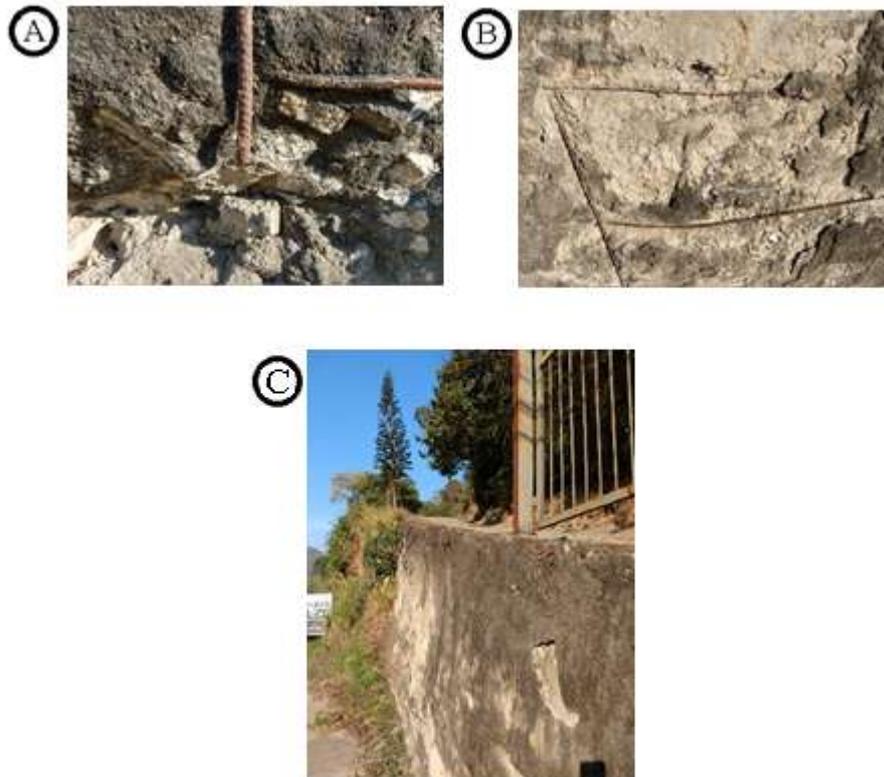
**Figura 07** – Quadro de patologias do Muro 02.

PATOLOGIAS	POSSÍVEIS CAUSAS
Aço exposto	Falha de projeto Falha de execução
Drenos inexistentes	Falha de projeto

**Fonte:** Autor.

A Figura 08 ilustra as patologias citadas acima.

**Figura 08** – Patologias do Muro 02: (A) Aço exposto; (B) Aço exposto; (C) Ausência de drenos.

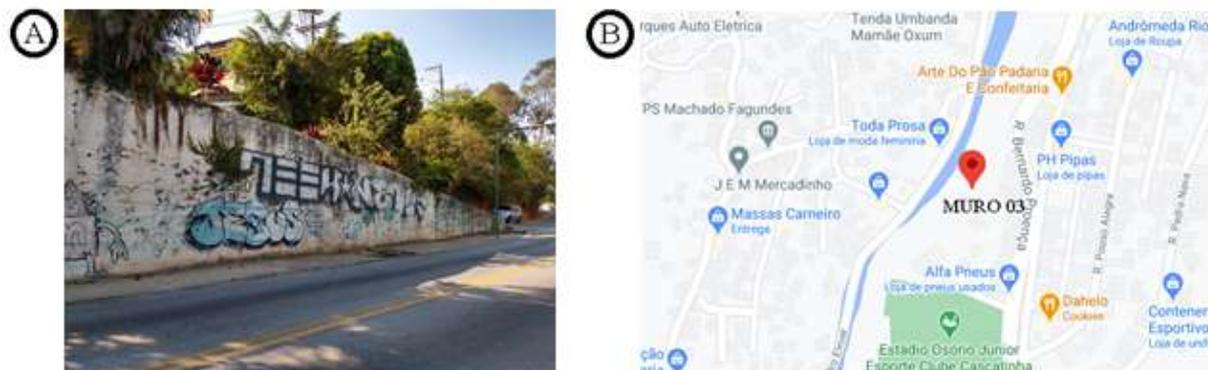


**Fonte:** Autor.

c) Muro 03

O Muro 03 fica localizado na Rua Bernardo Proença, em frente ao número 721, no bairro Itamarati, nas coordenadas geográficas 22°29'00.00" S 43°09'11.32" O e pode ser visto na Figura 09.

**Figura 09** – Muro 03: (A) Vista; (B) Mapa.



**Fonte:** (A) Autor; (B) Google Maps (2020).

As patologias encontradas no Muro 03, são mostradas na Figura 10.

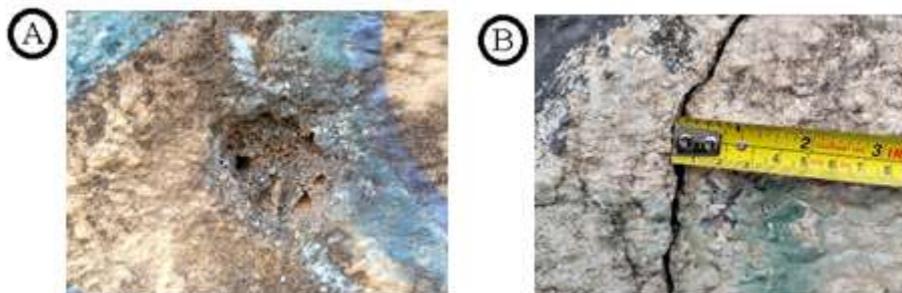
**Figura 10**– Quadro de patologias do Muro 03.

PATOLOGIAS	POSSÍVEIS CAUSAS
Fissuras	Falha de projeto Falta de manutenção
Drenos obstruídos	Falta de manutenção

**Fonte:** Autor.

A Figura 11 ilustra as patologias citadas acima.

**Figura 11** – Patologias do Muro 03: (A) Dreno obstruído; (B) Fissura.

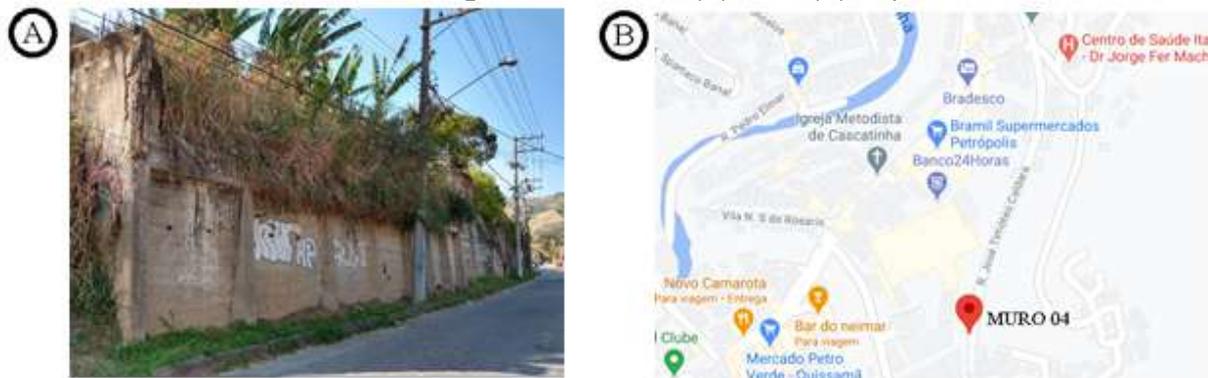


**Fonte:** Autor.

d) Muro 04

O Muro 04, como mostra a Figura 12, fica localizado na Rua José Timóteo Caldara, número 834, no bairro Itamarati, nas coordenadas geográficas 22°29'20.87" S 43°09'03.49" O.

**Figura 12**– Muro 04: (A) Vista; (B) Mapa.



**Fonte:** (A) Autor; (B) Google Maps (2020).

As patologias encontradas no Muro 04, são mostradas na Figura 32.

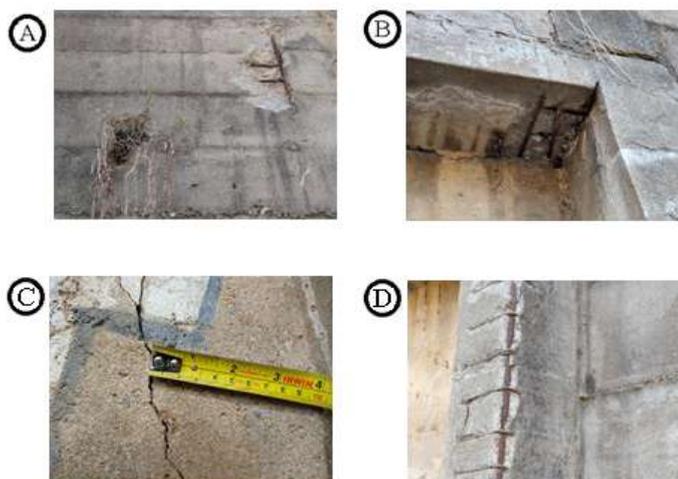
**Figura 13** – Quadro de patologias do Muro 04.

PATOLOGIAS	POSSÍVEIS CAUSAS
Aço exposto	Falha de projeto Falha de execução
Fissuras	Falha de projeto Falta de manutenção
Drenos obstruídos	Falta de manutenção

**Fonte:** Autor.

As patologias do Muro 14 podem ser vistas na Figura 33.

**Figura 14** – Patologias do Muro 04: (A) Dreno obstruído e aço exposto; (B) Aço exposto; (C) Fissura; (D) Aço exposto.



**Fonte:** Autor.

e) Muro 05

O Muro 05 fica localizado na Rua Corrêa Lima, número 50, no bairro Valparaíso, nas coordenadas geográficas 22°31'00.10" S 43°11'31.94" O e pode ser visto na Figura 15.

**Figura 15** – Muro 05: (A) Vista; (B) Mapa.



Fonte: (A) Autor; (B) Google Maps (2020).

A Figura 16 mostra as patologias encontradas no Muro 05.

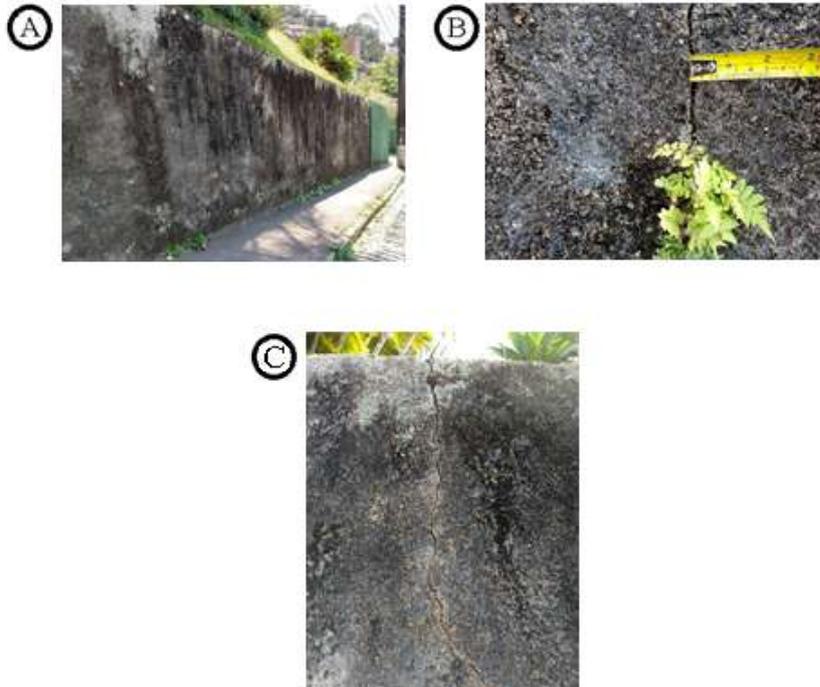
**Figura 16** – Quadro de patologias do Muro 05.

PATOLOGIAS	POSSÍVEIS CAUSAS
Fissuras	Falha de projeto Falta de manutenção
Drenos inexistentes	Falha de projeto

Fonte: Autor.

As patologias do Muro 05 podem ser vistas na Figura 17.

**Figura 17** – Patologias do Muro 05: (A) Ausência de drenagem; (B) Fissura; (C) Fissura.



Fonte: Autor.

f) Muro 06

O Muro 06, Figura 18, fica localizado na Rua Lopes de Castro, número 1651, no bairro Valparaíso, nas coordenadas geográficas 22°31'31.27" S 43°11'56.34" O.

**Figura 18** – Muro 06: (A) Vista; (B) Mapa.



**Fonte:** (A) Autor; (B) Google Maps (2020).

A Figura 19 mostra o quadro de patologias do Muro 06.

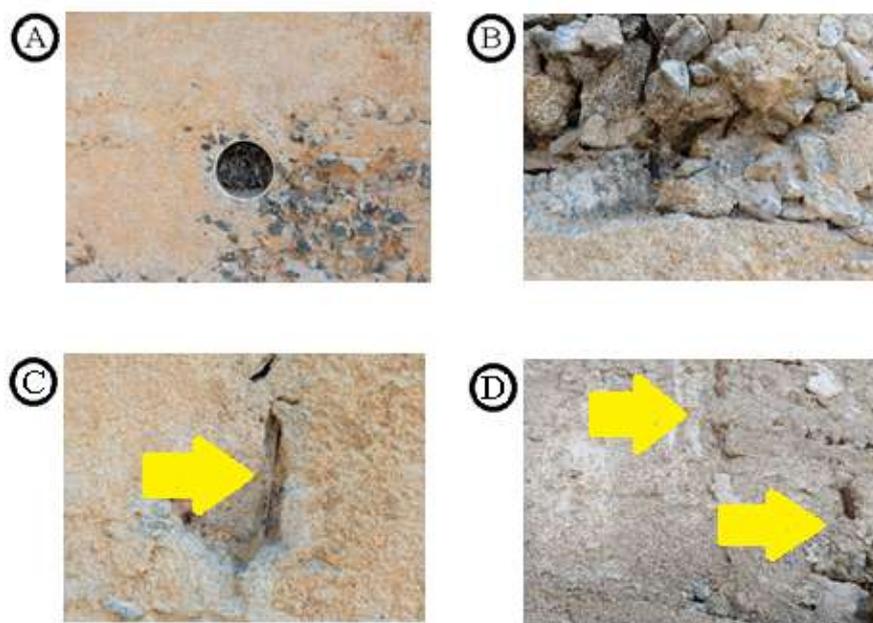
**Figura 19**– Quadro de patologias do Muro 06.

PATOLOGIAS	POSSÍVEIS CAUSAS
Aço exposto	Falha de projeto Falha de execução
Drenos obstruídos	Falta de manutenção
Ninhos de concretagem	Falha de execução

**Fonte:** Autor.

As patologias do Muro 06 podem ser vistas na Figura 20.

**Figura 20** – Patologias do Muro 06: (A) Dreno obstruído; (B) Ninho de concretagem; (C) Aço exposto; (D) Aço exposto.



**Fonte:** Autor.

g) Muro 07

O Muro 07 fica localizado na Rua Raul Veiga, número 326, no bairro Quitandinha, nas coordenadas geográficas 22°31'49.90" S 43°12'15.03" O e pode ser visto na Figura 21.

**Figura 21** – Muro 07: (A) Vista; (B) Mapa.



Fonte: (A) Autor; (B) Google Maps (2020).

A Figura 22 mostra o quadro de patologias do Muro 07.

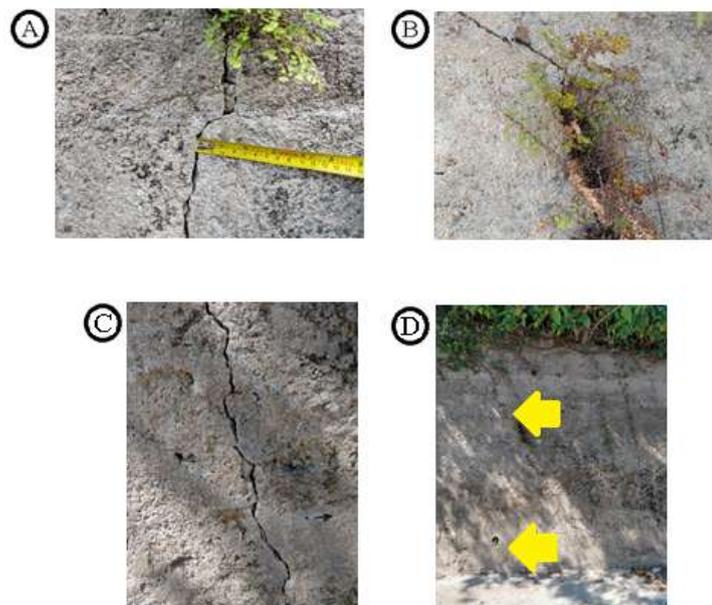
**Figura 22** – Quadro de patologias do Muro 07.

PATOLOGIAS	POSSÍVEIS CAUSAS
Fissuras	Falha de projeto Falta de manutenção
Drenos obstruídos	Falta de manutenção

Fonte: Autor.

As patologias do Muro 07 podem ser vistas na Figura 23.

**Figura 23** – Patologias do Muro 07: (A) Fissura; (B) Fissura; (C) Fissura; (D) Drenos obstruídos.



Fonte: Autor.

h) Muro 08

A Figura 24 mostra o Muro 08, que fica localizado na Avenida Getúlio Vargas, número 2194, no bairro Quitandinha, nas coordenadas geográficas 22°31'18.39" S 43°12'06.80" O.

Figura 24 – Muro 08: (A) Vista; (B) Mapa.



Fonte: (A) Autor; (B) Google Maps (2020).

A Figura 25 mostra o quadro de patologias do Muro 08.

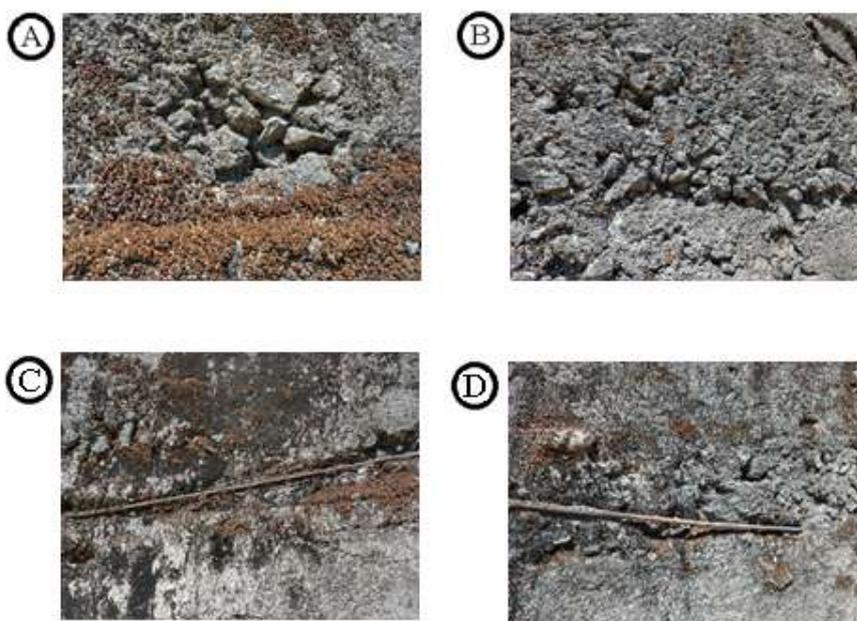
Figura 25 – Quadro de patologias do Muro 08.

PATOLOGIAS	POSSÍVEIS CAUSAS
Aço exposto	Falha de projeto Falha de execução
Ninhos de concretagem	Falha de execução

Fonte: Autor.

A Figura 26 mostra as patologias citadas acima.

Figura 26 – Patologias do Muro 08: (A) e (B) Ninhos de concretagem; (C) e (D) Aço exposto.



Fonte: Autor.

i) Muro 09

A Figura 27 mostra o Muro 09, que fica localizado na Rua São Paulo, próximo ao número 109, no bairro Quitandinha, nas coordenadas geográficas 22°31'30.90" S 43°12'44.80" O.

**Figura 27** – Muro 09: (A) Vista; (B) Mapa.



Fonte: (A) Autor; (B) Google Maps (2020).

A Figura 28 mostra as patologias encontradas no Muro 09.

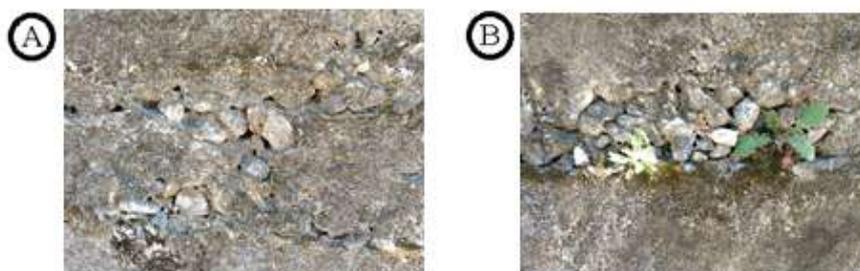
**Figura 28** – Quadro de patologias do Muro 09.

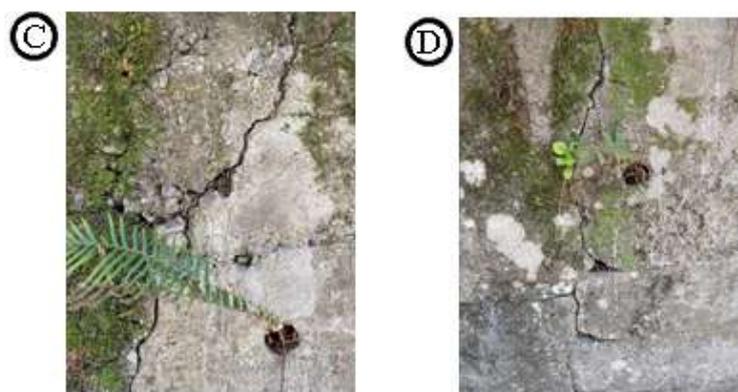
PATOLOGIAS	POSSÍVEIS CAUSAS
Fissuras	Falha de projeto Falta de manutenção
Drenos obstruídos	Falta de manutenção
Ninhos de concretagem	Falha de execução

Fonte: Autor.

A Figura 29 mostra as patologias citadas acima.

**Figura 29** – Patologias do Muro 09: (A) e (B) Ninhos de concretagem; (C) e (D) Fissuras e drenos obstruídos.





Fonte: Autor.

j) Muro 10

O Muro 10, Figura 30, fica localizado na Rua Nicarágua, número 150, no bairro Quitandinha, nas coordenadas geográficas 22°32'04.51" S 43°13'04.06" O.

Figura 30 – Muro 10: (A) Vista; (B) Mapa.



Fonte: (A) Autor; (B) Google Maps (2020).

As patologias encontradas no Muro 10 são mostradas na Figura 31.

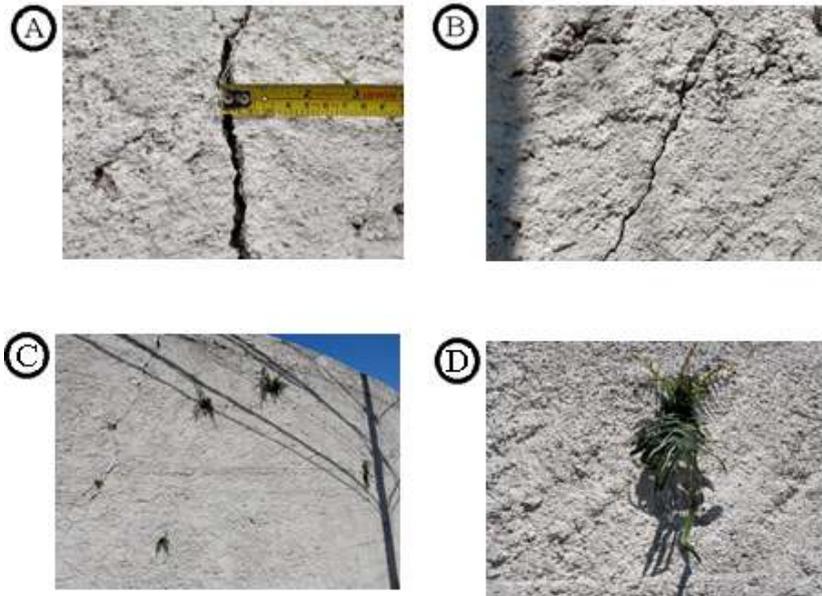
Figura 31 – Quadro de patologias do Muro 10.

PATOLOGIAS	POSSÍVEIS CAUSAS
Fissuras	Falha de projeto Falta de manutenção
Drenos obstruídos	Falta de manutenção

Fonte: Autor.

A Figura 32 mostra as patologias do Muro 10.

**Figura 32** – Patologias do Muro 10: (A) e (B) Fissuras; (C) e (D) Drenos obstruídos.



Fonte: Autor.

## RESULTADOS

Através da análise dos dados coletados nas vistorias dos muros foi possível identificar as principais patologias, bem como as possíveis causas mais encontradas.

Dentre as patologias, a que obteve maior percentual de incidência foi problemas com drenagem, drenos obstruídos ou inexistentes, como pode ser visto na Figura 33, esse tipo de problema ocorre em 90% dos muros estudados, seguido por fissuras (70%), aço exposto (50%), ninhos de concretagem (40%) e desaprumo (10%).

**Figura 33** – Quadro de patologias dos muros.

Patologias Muros	Aço exposto	Fissuras	Desaprumo	Drenos obstruídos / Drenos inexistentes	Ninhos de concretagem
Muro 01	X	X	X	X	X
Muro 02	X			X	
Muro 03		X		X	
Muro 04	X	X		X	
Muro 05		X		X	
Muro 06	X			X	X
Muro 07		X		X	
Muro 08	X				X
Muro 09		X		X	X
Muro 10		X		X	
Percentual dos muros com cada patologia:	<b>50%</b>	<b>70%</b>	<b>10%</b>	<b>90%</b>	<b>40%</b>

Fonte: Autor.

A Tabela 01 mostra a classificação dos níveis de risco para patologias utilizado por Cruz (2020).

**Tabela 01** – Níveis de risco.

Tipo de falha	Efeito da falha	Severidade	Índices Ocorrência	Deteção	Grau de Risco
Patologia no concreto	Fissuras	2	3	3	18 - Baixo
Erros de projeto	Sistema drenante inexistente ou mal dimensionado	4	5	4	80 - Muito alto
	Estrutura insuficiente	4	3	4	48 - Médio
Patologias na armadura	corrosão da armadura	4	3	5	60 - Médio
Erros de execução	Desempenho abaixo do esperado	3	3	3	27 - Médio

**Fonte:** Adaptado de Cruz (2020).

De acordo com Cruz (2020), as patologias nos sistemas drenantes são classificadas com Grau de Risco muito alto, o que chama atenção, pois foram as que obtiveram maior índice de ocorrência no estudo de caso.

As causas das patologias só podem ser determinadas com exatidão mediante análises de solo e de projetos dos muros. Diante da falta destes projetos e da impossibilidade de testes dos solos, foram levantadas possíveis causas para cada patologia utilizando os conhecimentos básicos de Engenharia.

Dentre os muros estudados, 100% apresentaram como possível causa de patologias falhas no projeto, 70% apresentaram falta de manutenção e 60% falha na execução, como mostra a Figura 34

**Figura 34** – Quadro de possíveis causas das patologias dos muros.

Muros	Possíveis causas		
	Falha de projeto	Falha de execução	Falta de manutenção
Muro 01	X	X	X
Muro 02	X	X	
Muro 03	X		X
Muro 04	X	X	X
Muro 05	X		X
Muro 06	X	X	X
Muro 07	X		X
Muro 08	X	X	
Muro 09	X	X	X
Muro 10	X		
Percentual dos muros com as possíveis causas:	<b>100%</b>	<b>60%</b>	<b>70%</b>

**Fonte:** Autor.

As falhas nos projetos resultam em patologias como inexistência de sistemas drenantes, desaprumos, fissuras e aço exposto, a falta de manutenção resulta em drenos obstruídos e fissuras, já as falhas na execução normalmente resultam em ninhos de concretagem e armadura de aço exposta.

A fim de criar um procedimento de verificação de patologias em muros de concreto armado foi elaborado um formulário para vistorias técnicas.

## CONCLUSÃO E SUGESTÕES

Como se pode observar são muitos os problemas que podem ocorrer em estruturas de contenção em concreto armado e que poderiam ser evitados, caso existissem maiores cuidados na elaboração de projetos, na execução das obras e nas manutenções.

Constatou-se que o problema com maior índice de ocorrência nos muros estudados foi a patologia nos sistemas drenantes, com drenos obstruídos ou inexistentes.

É importante frisar que essa patologia é classificada com Grau de Risco muito alto e apesar de ser fundamental em estruturas de contenção, a drenagem muitas vezes não é executada ou não recebe a manutenção adequada, tornando-se o motivo do surgimento de novas patologias, como corrosão da armadura, fissuras, lixiviação, e em casos mais graves, pode até mesmo levar a estrutura ao colapso devido à sobrecarga do solo a montante.

As possíveis causas das patologias que obtiveram maior percentual de ocorrência foram falhas nos projetos, falta de manutenção e falha na execução. O que reflete à realidade do município, onde grande parte das ocupações são realizadas de forma desordenada, e muitas vezes sem projetos, acompanhamentos técnicos, ou planos de manutenção, isso mostra que com bom planejamento e devida manutenção essas patologias poderiam ser evitadas.

Diante de todo o exposto, conclui-se que o padrão de ocorrência de patologias em muros de concreto armado no município de Petrópolis se dá principalmente nos sistemas drenantes, devido a falhas no projeto e falta de manutenções periódicas.

## SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista o aprimoramento dos sistemas de contenção na cidade de Petrópolis, são sugeridas algumas linhas de pesquisas para trabalhos futuros:

1. Desenvolvimento de um controle de qualidade na execução de estruturas de contenção;
2. Desenvolvimento de um programa de manutenção preventiva para estruturas de contenção;
3. Comparativos de custos entre tipos de muros de contenção;
4. Análise de técnicas de reforço estrutural para muros de contenção.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11682**: Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118**: Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, 2014.  
CRUZ, R. B. C. Método para análise do risco em estruturas de arrimo em concreto Armado. **Revista de Engenharia Civil**, n. 57, 36-49, abr, 2020. Disponível em: <<http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n57/Pag.36-49.pdf>> Acesso em: 26 set 2020.

DE OLIVEIRA, Alexandre Magno. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. 2012. 96 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Especialização em Gestão em Avaliações e Perícias) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012.

DOMINGUES, Paulo Cezar. **Indicação para projeto de muros de arrimo em concreto armado**. 1997. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia São Carlos - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

GERSCOVICH, Denise Maria Soares [et al.]. **Contenções: Teoria e aplicações em obras**. São Paulo: Oficina de textos, 2016. 240 p.

GERSCOVICH, Denise Maria Soares. **Estruturas de Contenção: Muros de Arrimo**. Rio de Janeiro: UERJ, 2010. Disponível em: <<http://www.eng.uerj.br/denise/pdf/muros.pdf>>. Acesso em: 09 maio 2020.

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**, 2015. 156 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro - Escola Politécnica – Rio de Janeiro, 2015.

GUERRA, Antonio José Teixeira [et al.]. **Evolução histórico-geográfica da ocupação desordenada e movimentos de massa no município de Petrópolis, nas últimas décadas**. In: Revista Brasileira de Geomorfologia. Ano 8, n.1, p. 35-43, Rio de Janeiro, 2007.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/petropolis/panorama>>. Acesso em: 13 setembro 2020.

MORE, Javier Zenobio Pérez. **Análise Numérica do Comportamento de Cortinas Atirantadas em Solos**. 2003. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2003.

NAZARIO, Daniel; ZANCAN, Evelise Chemale. **Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal de Criciúma: Inspeção dos sete postos de saúde**. Santa Catarina, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/151/1/Daniel%20Nazario.pdf>>. Acesso em: 16 maio 2020.

SANTOS, Camila Freitas. **Patologia de estruturas de concreto armado**, 2014. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria - Santa Maria, 2014.

SILVA, Rafael Cerqueira. **Análise do Comportamento de Estruturas de Solo Grampeado através da Monitoração de Obra e Modelos Físicos** (Escala 1:1). 2020. 354 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2010.

SOUZA, Damiane Marques. Muros de arrimo. **Revista online IPOG Especialize**. Cuiabá, MT, n. 11, p. 01-15, julho, 2016. Disponível em:  
<<https://pt.scribd.com/document/342453949/damiane-marques-de-souza-18271112-pdf>>  
Acesso em: 20 de set. 2020.

TAVARES, Lisiane Morfeo. **Estudo do processo de corrosão por íons cloreto no concreto armado utilizando armaduras comuns e galvanizadas**. 2006. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2006.

**Cleber Galvão Novo Júnior**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

**Sidnei Luiz Silva Lima de Azevedo**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

**Bruno Freitas de Azevedo**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

**Marcos Aurélio Pinto Marzano Júnior**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

## RESUMO

O asfalto pode ser feito por usinagem a quente ou pelo processo pré-misturado a frio, que utiliza agregado graúdo, agregado miúdo e emulsão asfáltica. Esta pesquisa visa abordar a incorporação da borracha de pneu inservível nas misturas asfálticas. Além de apresentar um avanço tecnológico na melhoria dos pavimentos traz um rótulo de construção sustentável, reduzindo esse passivo ambiental, já que se utiliza de restos de pneus que em muitos casos seriam descartados de forma inadequada na natureza. O presente estudo tem por objetivo analisar o desempenho do asfalto-borracha, seus benefícios e fazer um comparativo com os pavimentos comuns, sem adição da borracha. Para isso, atendendo o que preconiza as normas brasileiras a respeito do assunto, os ensaios realizados baseiam-se na adição de borracha pré-misturada a frio (PMF), adicionando por volta de 5% de borracha na amostra em relação à sua massa total. Características e comportamentos puderam ser observados com os resultados dos ensaios, como percentual de vazios, densidade aparente e estabilidade Marshall. Dessa forma, juntando todo referencial teórico, o que já foi conseguido em trabalhos anteriores, os resultados obtidos no presente trabalho e o que ainda é possível descobrir sobre o tema, conclui-se que os benefícios da adição de borracha nas pavimentações asfálticas são consideráveis se realizado nas melhores condições. No presente estudo observou-se que a porcentagem de vazios dos corpos de prova com adição de borracha foi menor do que os traços de referência, a densidade aparente foi menor e os valores de estabilidade Marshall não foram os desejados, algumas vertentes podem ter influenciado nos resultados de estabilidade, como a adaptação da base para rompimento do corpo de prova, já que a altura da prensa era grande e devido ao tamanho das amostras não seria possível fazer o rompimento.

**Palavras-chave:** Asfalto-borracha; Sustentabilidade; Pneus; Tecnologia

## INTRODUÇÃO

Durante toda a história, a construção civil tem efeito direto na vida dos seres humanos e do planeta como um todo, modificando a natureza, consumindo tanto recursos renováveis como não renováveis, gerando resíduos e emitindo gases na atmosfera, o que traz impactos ao meio ambiente e conseqüentemente às pessoas. No decorrer dos anos os materiais empregados nas pavimentações vêm evoluindo muito, com o intuito de se buscar melhores soluções aos problemas comuns encontrados nesse tipo de obra e uma melhor adequação às necessidades atuais, podemos citar/destacar dentre elas: durabilidade maior, resistência e redução de custos. (DI GIULIO, 2007).

Na maioria dos casos, após um período de tempo, é observado nas rodovias inúmeras patologias na sua superfície, trazendo um desconforto para quem a utiliza e colocando em risco a vida das pessoas, além de aumentar os custos com manutenções. A maioria das patologias que aparecem nos pavimentos são as trincas por fadiga e as famosas trilhas de rodas. Um dos motivos para a acentuada deformação permanente nas trilhas de roda é o fato de a resistência ao cisalhamento das misturas asfálticas ser baixa (NEVES FILHO, 2004).

O rápido avanço nas tecnologias dos meios de transportes faz com que o desenvolvimento das rodovias tenha um papel ainda maior, sabendo que esse sistema fomenta o crescimento econômico e favorece as atividades sociais. Impactos adversos acontecem quando planejamento, projeto, entres outros, não são realizados de maneira correta. Para minimizar isso, o estudo da engenharia precisa expandir as atenções nas questões ambientais e socioeconômicos, além de acesso de um ponto ao outro (BALAGUER, 2012).

Estradas de qualidade são de extrema importância. Responsável por movimentar a maior parte dos passageiros e mercadorias, a malha rodoviária pavimentada corresponde a apenas 12,4% e a grande maioria é de pista simples, além disso, as condições que se encontram apresentam algum tipo de problema. A quantidade de veículos aumentou 63,6% entre 2009 a 2017, chegando a aproximadamente 100 milhões em circulação (CNT, 2018).

A quantidade de veículos vem crescendo bastante, desse modo também há necessidade de fabricar pavimentos cada vez mais resistentes para que os usuários tenham mais conforto, economia e segurança em seus trajetos (ODA, 2000).

A vida útil dos pavimentos pode ser reduzida drasticamente quando seus procedimentos de execução não realizados adequadamente, como má compactação das camadas, drenagem inadequada e excesso de peso (BALAGUER, 2012).

Pavimentos podem ser nomeados de duas formas, em flexíveis, onde seu revestimento se constitui com ligantes asfálticos e agregados e em rígidos, onde se usam placas de cimento Portland, ambos devem resistir às tensões devido a ações do tráfego (BERNUCCI et al. 2008).

Os pavimentos flexíveis trazem aos usuários mais conforto, pois não precisam de juntas de dilatação e tem custo inferior em sua construção quando comparado com os rígidos. Dessa forma, a utilização de ligantes asfálticos tem sido indispensável nas obras de pavimentação (ODA, 2000).

Alternativas estão sendo estudadas para melhorar esses revestimentos, a inserção da borracha de pneus usados é uma delas, para que defeitos como trilhas de rodas e trincas por fadiga possam ser reduzidos ou retardados (ODA, 2000).

Outro fator positivo quando se pensa no uso da borracha nas pavimentações está diretamente ligado ao conceito de sustentabilidade, já que para tal é feita a reutilização de pneus descartados, resíduo poluente e que muitas vezes não tem uma destinação correta, sendo depositado na natureza, a céu aberto, acarretando sérios problemas ambientais, sociais, econômicos e custos indiretos com gastos na saúde.

O Ministério do meio Ambiente diz que o pneu possui um tempo muito longo para se degradar. O uso deste material como agregado na fabricação de asfalto pode ajudar na redução do impacto ambiental pelo grande descarte que existe dele.

A produção de pneu anual é enorme e após o seu uso ele precisa ser descartado corretamente para que não se torne um problema ambiental. A resolução número 416 de 2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) diz que os fabricantes de pneus e os importadores são obrigados a coletar e dar destinação adequada aos pneus inservíveis existentes no território brasileiro, uma maneira bem sustentável é o seu uso em pavimentos asfálticos na fabricação de asfalto-borracha.

Com a grande quantidade de resíduos oriundos da indústria da borracha e do volume descartado de pneumáticos vem aumentando os incentivos em reciclagem desses materiais até mesmo pelo seu tempo de deterioração. Em países onde o transporte rodoviário prevalece, pesquisadores tem visto como possibilidade atrativa o uso de pneus inservíveis adicionados em pavimentos (SPECHT, 2004).

A Reciclanip, que é a entidade gestora do sistema de Logística Reversa de pneus inservíveis divulgou que a destinação de pneus de forma ambientalmente correta foi cumprida em 100% no ano de 2019, o resultado consta no Relatório de Pneumáticos do IBAMA.

O asfalto convencional já tem como propriedade resistir às tensões sofridas devido ao carregamento dos veículos, mas com o tempo ele pode se deteriorar. Pesquisadores afirmam que os revestimentos asfálticos misturados com polímeros tentem a ficar com uma qualidade melhor, a borracha do pneu na fabricação de asfalto já é realizada há vários anos e os resultados são satisfatórios (SPECHT, 2004).

Devido ao fenômeno de êxodo rural, a população das grandes metrópoles vem crescendo de forma exponencial e desordenada, junto com esse crescimento, aumenta-se a necessidade de construção de vias de tráfego e melhoramento das já existentes, uma vez que é direito do ser humano o poder de se locomover, de ir e vir e fazer valer desse direito de forma mais segura e confortável possível.

As estradas brasileiras sofrem de grandes problemas, seja ele por erro de execução, uso de materiais com desempenho questionável, além da falta de manutenção, sendo estes responsáveis por uma parcela significativa dos acidentes ocorridos todos os dias no país, tirando a vida de diversas pessoas e deixando famílias inteiras desoladas.

Desta forma, fica evidente a tamanha relevância do tema e a necessidade de se dar uma atenção maior para o assunto, seja por mais incentivos fiscais do governo assim como pelo uso de materiais de melhor qualidade pelas empresas responsáveis pela execução das obras, para que se aumente a vida útil das pavimentações, melhorando o conforto de quem usufrui da via e dando mais segurança para os mesmos.

Além de retornos técnicos como aumento da vida útil, pavimento mais resistente aos esforços, flexibilidade elevada, entre outros, o uso de pneus inutilizáveis como agregado para a pavimentação asfáltica traz outros benefícios, como a redução dos impactos ambientais e sanitários.

A quantidade de pneus que são fabricados não corresponde os que são coletados e descartados de maneira correta, dessa forma encontramos em lixões, quintais de casas e beiras de rios. Como a decomposição do pneu é lenta, um dos graves problemas que pode acarretar é se tornar criadouros para o mosquito *Aedes Aegypti*, transmissor da Dengue. Além disso, ao serem queimados são altamente poluentes, liberando monóxido de carbono e dióxido de enxofre.

Transformar a borracha de pneu em asfalto pode mudar esse cenário, como é um material bem resistente, possui elasticidade, durabilidade, torna-se um item bem interessante para que se tenha uma pavimentação de maior qualidade. Assim, é possível

aumentar a sua vida útil, visando em um custo inferior com manutenções frequentes e trazendo um ganho ambiental enorme.

No presente trabalho tem-se como objetivo analisar o rendimento técnico do asfalto pré-misturado a frio com a incorporação de borracha triturada.

A borracha utilizada será aproveitada de pneus usados, trazendo junto de si o conceito de sustentabilidade, já que muitos desses pneus seriam descartados de forma inadequada na natureza, prejudicando diretamente o meio ambiente e de forma indireta a saúde das pessoas.

Para tanto, busca-se realizar uma comparação entre amostras com e sem a borracha. Essa verificação será feita por meio de ensaios de desempenho, tais como: estabilidade Marshall, índice de vazios e densidade aparente, além de ensaios para analisar algumas variáveis como: granulometria da borracha e do agregado, teor de ligante e percentual de borracha utilizado. Serão executados testes com amostras de asfalto comum, sem nenhuma adição, para poder com mais clareza, comparar o desempenho de cada um.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Comparado a modais como o ferroviário e o aquaviário, por exemplo, no Brasil, o principal meio de se deslocar são as estradas, seja para viajar, ir trabalhar ou até mesmo para transportar alimentos, combustíveis, entre outros. É notória a importância das vias e também a tamanha dependência que temos delas, elas tem impacto direto na vida da população e na economia do país, isso ficou evidente quando recentemente houve a famosa greve dos caminhoneiros, em que todos os estados de Norte a Sul do país pararam em sua totalidade praticamente.

No entanto, mesmo com uma enorme relevância, as rodovias brasileiras não possuem o devido cuidado e atenção que merecem dos governos. São inúmeros os pavimentos que estão em condições precárias, muitos definitivamente abandonados, desde pequenos buracos a problemas muito maiores, prejudicando o conforto de quem usa a rodovia e o pior, colocando a vida das pessoas em risco.

O modal ferroviário responde por 21 %, o aquaviário por 14 %, o dutoviário por 5 % e o aéreo por menos de 1 %, aproximadamente. O modal de transporte rodoviário se encontra em grande parte em estado ineficiente, sendo que os investimentos nas rodovias deveriam ser prioritários neste momento, não apenas por ser o modal mais utilizado, mas também por exigir um investimento de menor porte quando comparado aos outros tipos de modais do país. No Brasil, a malha rodoviária está em condições insatisfatórias aos usuários tanto quanto ao seu desempenho, também quanto à segurança e à economia (GEIPOT, 2001).

Pavimento pode ser definido como base de diversas elevações, onde sua construção é feita acima da superfície final de terraplenagem, com a finalidade de suportar os esforços resultantes do tráfego de veículos e reações climáticas, destinando também melhores condições aos usuários (BERNUCCI et al, 2008).

Pavimentar uma via de circulação de veículos é obra civil que enseja, antes de tudo, a melhoria operacional para o tráfego, na medida em que é criada uma superfície mais regular (garantia de melhor conforto no deslocamento do veículo), uma superfície mais aderente (garantia de mais segurança em condições de pista úmida ou molhada), uma superfície menos ruidosa diante da ação dinâmica dos pneumáticos, (garantia de melhor conforto ambiental em vias urbanas e rurais), seja qual for a melhoria física oferecida (BALBO, 2007, p.15).

O pavimento precisa resistir às agressões sofridas com o seu desgaste oriunda do tráfego e do meio ambiente, de modo que suas propriedades mecânicas e físicas ofereçam condições e desempenho favoráveis às múltiplas camadas que o constitui (SPECHT, 2004).

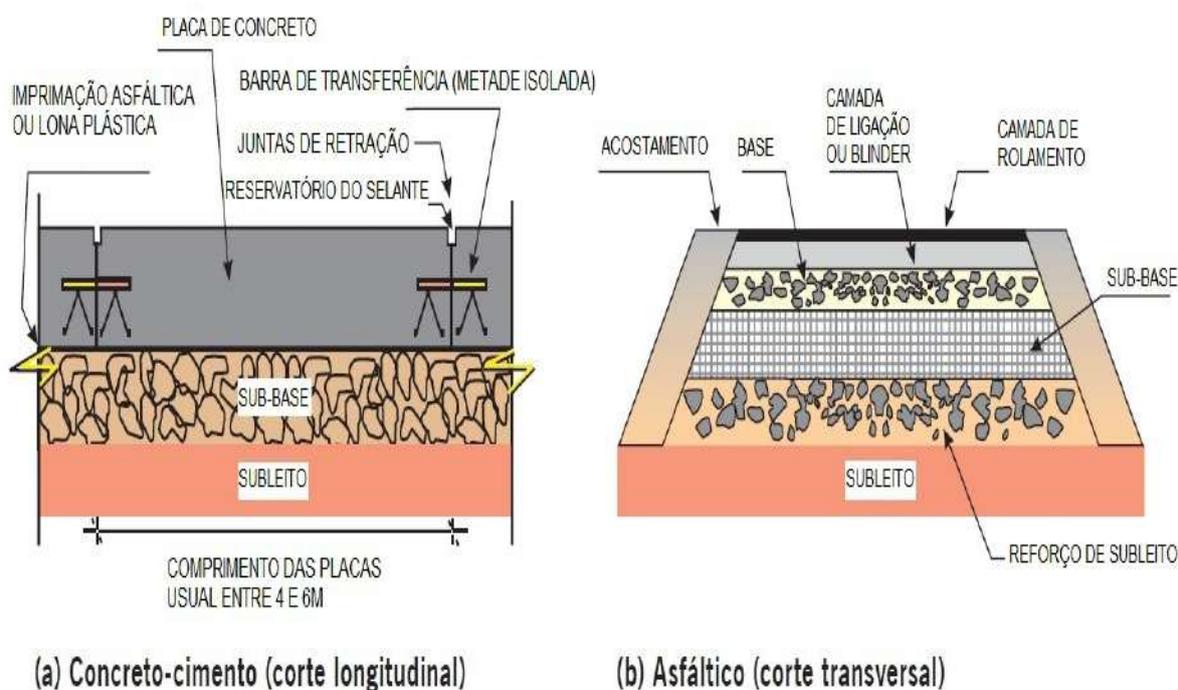
Segundo Bernucci et al. (2008) os revestimentos rígidos usam uma placa de concreto de cimento Portland, onde precisam resistir à flexão e as camadas subjacentes, pois a espessura da placa é fixada.

Os pavimentos podem ser classificados como rígidos e flexíveis, onde atualmente são chamados também de pavimentos de concreto Portland ou concreto-cimento e pavimentos asfálticos, onde indica qual é o tipo de revestimento dele, como visto na Figura 01.

a) Os pavimentos rígidos absorvem em quase toda sua totalidade as tensões provenientes dos carregamentos aplicados na via, isso se dá devido ao fato de os mesmos terem uma elevada rigidez.

b) Os pavimentos flexíveis sofrem uma deformação elástica por conta dos carregamentos existentes, nesse tipo de revestimento as tensões são distribuídas de forma quase que igual às camadas inferiores (base, sub-base, reforço de subleito e subleito).

**Figura 01 – Estrutura dos pavimentos rígido e flexível.**



**Fonte:** Adaptado Pavimentação Asfáltica (2008, p 10)

A NBR -7207 da ABNT define as camadas dos pavimentos da seguinte maneira:

- a) Subleito: terreno de fundação do pavimento ou do revestimento;
- b) Sub-base: camada corretiva do subleito, ou complementar à base, quando por qualquer circunstância não seja aconselhável construir o pavimento diretamente sobre o leito obtido pela terraplanagem;
- c) Base: camada destinada a resistir e distribuir esforços verticais oriundos dos veículos (ação de rolamento) sobre o qual se constrói um revestimento.

O revestimento é a camada superficial que recebe diretamente os esforços dos veículos e das pessoas que trafegam sobre a via, podem ser utilizados diferentes tipos de materiais no revestimento, o presente trabalho usa como referência de estudo o concreto asfáltico.

## METODOLOGIA

A metodologia usada neste trabalho foi realizada em duas partes, sendo a primeira por meio de revisão de literatura, pesquisas bibliográficas em teses de mestrado e doutorado, artigos científicos e conteúdos abordados nos períodos acadêmicos, sendo possível tomar conhecimento das normas, resoluções disponíveis e algumas questões que antes eram desconhecidas. Comparando as evidências científicas, tendo uma visão mais aprofundada e levantamento de dados com a finalidade de promover ou intensificar o uso desta tecnologia nas obras de pavimentação.

Tendo a visão de sustentabilidade e conscientização, foi feito um estudo literário sobre os efeitos causados pelos pneus inservíveis nos meios físico, biótico e socioeconômico.

Na segunda parte foi possível fazer uma análise geral sobre o desempenho do asfalto com borracha por meio de experimentos em laboratório, moldagem de corpos de provas, utilização de materiais que foram estudados e observação dos resultados obtidos por eles. Essa parte dos ensaios foi realizada no laboratório TECON da Universidade Estácio de Sá, campus Petrópolis.

## ENSAIOS LABORATORIAIS

Para análise das propriedades de engenharia e quantificar a decorrência dos principais fatores que podem aparecer sobre o desempenho de um material, neste caso o asfalto-borracha, é realizado uma programação de ensaios laboratoriais (ODA, 2000).

## ENSAIOS REALIZADOS POR ALGUNS AUTORES E SEUS RESULTADOS

Silva (2011) em seu trabalho realizou os ensaios de Cântabro que observa o desgaste do agregado nas etapas de usinagem, construção e vida de serviço no tambor Abrasão Los Angeles; dosagem Marshall para verificar as condições de vazios, estabilidade e fluência; comportamento mecânico para avaliar o desempenho em campo; resistência à tração e dano por umidade induzida que mensura problemas inesperados de aderência.

Os resultados obtidos pelos ensaios mostraram que o asfalto modificado por polímero teve um comportamento superior ao convencional, como mostra o Quadro 1.

**Quadro 1** – Resumo de resultados dos ensaios de laboratório

Tipo de emulsão	Peso Específico Aparente	Volumes de Vazios	Cântabro	Resistência à Tração	Resistência ao dano por umidade induzida
	KN/m <sup>3</sup>	%	%	Mpa	%
Emulsão Polímero	19,5	22,0	17,8	0,355	71,8
Emulsão Convencional	19,3	22,7	20,2	0,337	64,0

Fonte: Adaptado Silva (2011)

Em seu trabalho de mestrado, Dias (2005) realizou alguns experimentos para fazer um comparativo entre o asfalto comum (sem adição de borracha) e o asfalto com adição de borracha, utilizando aplicações de cargas de tráfego em escalas reais. O trabalho teve como foco o processo via seca, para tal, foi executado em uma via urbana, um trecho utilizando o asfalto comum e outro trecho com o asfalto modificado, tendo a incorporação da borracha como diferencial. O trecho em questão fica na Rua Dr. Murtinho, localizada no Município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. A pesquisa teve como foco analisar diversos pontos, tais como: variáveis de projetos, os processos executivos, as propriedades funcionais das camadas do pavimento, ensaios de laboratório e de campo em função da execução dos dois trechos experimentais.

A metodologia utilizada foi a de Marshall, para realizar os experimentos e assim ter um embasamento teórico ainda rico e consistente em seu trabalho, Dias (2005) seguiu as seguintes etapas:

- a) Projetos: geométrico, de drenagem superficial, de rede de água e de esgoto;
- b) Contagem de tráfego;
- c) Caracterização do subleito;
- d) Definição da estrutura do pavimento;
- e) Avaliação dos materiais disponíveis e caracterização dos mesmos;
- f) Elaboração dos projetos da mistura asfáltica convencional e com incorporação de borracha reciclada de pneus;
- g) Implantação da infraestrutura no local de rede de drenagem superficial, rede de água e esgoto;
- h) Execução de terraplanagem, regularização do subleito, execução da base de brita graduada, colocação dos meios-fios, imprimação e ensaios de controle tecnológico;
- i) Calibração das usinas: usina tipo gravimétrica para o concreto asfáltico convencional e usina tipo volumétrica para o concreto asfáltico com incorporação de borracha reciclada de pneus;
- j) Execução dos revestimentos com concreto asfáltico convencional e com incorporação de borracha reciclada de pneus;
- k) Ensaios de campo e de laboratório;
- l) Análise dos resultados.

Dias (2005) fez os ensaios de laboratório a partir da metodologia Marshall, para determinar o quanto de ligante seria usado nas misturas betuminosas, atribuídos às obras de pavimentação. Obtendo estabilidade e fluência e o volume de vazios dos corpos de prova ensaiados. Neste trabalho foram feitos corpos de prova moldados e extraídos da execução do pavimento.

O Quadro 2 mostra o comparativo e de fato pode-se ver que o asfalto com borracha extraído obteve resultado satisfatório no volume de vazios (VV), o convencional moldado ficou fora da especificação do Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER), já a relação de betumes vazios (RBV) só o asfalto convencional moldado ficou dentro da especificação, ficando abaixo pode prejudicar a sua durabilidade.

**Quadro 2** – Propriedades do concreto asfáltico convencional e com incorporação de borracha reciclada de

	Dap	pneu VV	VAM	RBV	Teor de	GC
Variáveis	(kN/m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	Bet (%)	(%)

Especificação		-	3 a 5	>16	75 a 82	-	>97
	Convencional	2,56	4,00	15,00	74,00	4,35	-
Projeto	C/Borracha	2,55	4,00	17,70	78,00	5,45	-
Convencional	Moldados	2,63	1,56	14,47	89,29	5,10	102,67
	Extraídos	2,54	4,85	17,43	72,71	5,10	99,24
C/ Borracha	Moldados	2,52	5,6	18,93	70,44	5,35	98,85
	Extraídos	2,47	7,35	20,20	63,62	5,35	97,01

**Fonte:** Adaptado Dias (2005)

Os resultados foram satisfatórios em alguns pontos, mas nem tanto em outros, mostrando a necessidade de se realizar mais estudos e se aprofundar ainda mais no método via seca, já que comparado ao processo via úmida, ainda é pouco conhecido e aplicado no Brasil e no mundo.

## PROGRAMA EXPERIMENTAL

Os ensaios laboratoriais preliminares foram realizados para fazer uma comparação entre uma mistura convencional, sem a adição de borracha triturada e uma mistura asfáltica com adição de pneu. Todos os ensaios realizados seguiram o que preconiza as normas do DNER – Departamento Nacional de Estradas e Rodagem publicado pelo DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

## ENSAIOS

O programa experimental desta pesquisa foi realizado no TECON, laboratório da Universidade Estácio de Sá, Campos Petrópolis, incluindo os equipamentos utilizados, bem como os materiais; areia, borracha triturada de pneus, brita graduada e emulsão asfáltica. Os experimentos foram divididos em etapas basicamente sendo estas: ensaios granulométricos dos agregados, análise termogravimétrica que serve para observar as mudanças no peso da amostra de borracha devido às transformações físicas e/ou químicas em função da temperatura ou intervalo de tempo, montagem de corpos de provas do asfalto com a incorporação de borracha e posteriormente o rompimento dos mesmos.

## ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Os ensaios de granulometria foram realizados de acordo com a norma DNER ME 83/98 – Agregados – Análise Granulométrica, que determina os procedimentos feitos por peneiramento para analisar a granulometria dos agregados.

O peneiramento pode ser mecânico ou manual, no presente estudo foi feito a análise granulométrica através do mecânico. A norma estabelece algumas exigências para o ensaio como as peneiras estarem previamente limpas para posteriormente serem colocadas no agitador, formando um conjunto único de peneiras, dispostos de forma decrescente, de cima até a base. Após o agitador ser desligado é observada e anotada a quantidade de material que ficou retido em cada peneira e esse valor é somado. O somatório de todas as massas retidas não pode variar mais do que um limite de 0,3% da amostra introduzida inicialmente.

Nos ensaios granulométricos, para os três tipos de agregados, foram utilizadas 5 peneiras com malhas diferentes, como visto na Figura 02 para que no final se obtivesse uma granulometria mais uniforme. As aberturas das peneiras utilizadas foram dispostas de forma decrescente, com a abertura das malhas respectivamente de:

- Malha 1", abertura de 25 mm;
- Malha 3/4", abertura de 19 mm;
- Malha 3/8", abertura de 9,5 mm;
- Malha 0,08", abertura de 2,0 mm;
- Malha 2", abertura de 0,075 mm;
- Fundo.

**Figura 02**– Peneiras utilizadas para ensaio granulométrico



Fonte: Autores

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram brita zero, areia e borracha triturada. Todos eles cedidos pela Universidade Estácio de Sá – Petrópolis. Já o ligante asfáltico RR – 1C foi cedido pela Companhia Municipal de Desenvolvimento de Petrópolis (COMDEP).

## **EMULSÃO ASFÁLTICA**

A emulsão asfáltica utilizada foi a RR 1 – C, como mostrado na Figura 03, sendo ela de ruptura rápida. A numeração corresponde ao teor de resíduo seco da emulsão e a letra C indica origem catiônica. Suas características são descritas na norma DNIT 165/2013 – EM.

**Figura 03 - Emulsão asfáltica RR 1 – C**



(A)

(B)

Fonte: Autores

## **ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA BORRACHA**

Neste trabalho foi utilizada a borracha triturada, proveniente de pneus usados, também cedidas pelo próprio laboratório da faculdade. As amostras trituradas apresentavam uma dimensão não uniformes, conforme a Figura 04, por isso foi realizado o peneiramento com aberturas de peneiras diferentes para conseguir obter uma amostra mais uniforme para assim poder testar os efeitos do percentual e granulometria das mesmas depois de incorporadas no asfalto.

**Figura 04 – Amostra de borracha triturada**



Fonte: Autores

## **DOSAGEM DE MARSHALL**

O método de dosagem que foi mais usado mundialmente é o de Marshall, ele faz por impacto a compactação da mistura e no Brasil ele ainda é referência sendo o mais utilizado (BERNUCCI et al, 2008).

Este método foi desenvolvido na década de 30 por Bruce G. Marshall, integrante do Departamento de Transporte do Estado do Mississippi, localizado nos Estados Unidos para determinar a quantidade de ligante que deveria ser utilizada na composição de misturas betuminosas, destinadas a serviços de pavimentação rodoviária. Com a Metodologia

Marshall é possível dimensionar uma mistura asfáltica por meio de uma análise de estabilidade e densidade/vazios. É possível obter também a massa específica aparente, a relação betume- vazios e os vazios e os vazios do agregado mineral dos corpos de prova ensaiados.

Esse ensaio considera-se valores admissíveis empíricos para estabilidade e a fluência. A estabilidade pode ser denominada como as misturas que se deformam pouco plasticamente sob ação de cargas. A mistura compactada quando submetida à tensão constante sofre uma deformação e definida como fluência (BERTOLLO, 2002).

O método realizado neste trabalho foi seguido pela norma do DNIT – EM 153/2013 Pavimentação – Pré-misturado a frio.

## **DENSIDADE APARENTE**

A norma DNER – ME 117/94 para Mistura Betuminosa – Determinação da densidade aparente, determina os procedimentos a serem adotados para a determinação da densidade aparente por meio de corpos de prova preparados em laboratório ou obtidos na pista. Além de prescrever a aparelhagem e os materiais requeridos estabelecendo as condições para a obtenção dos resultados.

Esta norma define densidade aparente como sendo a relação entre o peso da mistura ao ar e a diferença entre o peso ao ar e o peso da mistura em suspensão na água.

## **ESTABILIDADE**

O modo pelo qual se determina a estabilidade de mistura betuminosa usinada a frio com emulsão asfáltica são fixados pela norma DNER ME 107/94 – Mistura betuminosa a frio, com emulsão asfáltica. Para determinar esses índices é utilizado o equipamento Marshall.

Após a determinação da densidade aparente os corpos de prova são colocados em estufa com temperatura a 40° C por um período de duas horas para posteriormente serem levados à prensa para ruptura.

## **CORPOS DE PROVA**

A confecção dos corpos de prova foi realizada seguindo o que diz a norma do DNER – ME 107/94 que fixa o modo pelo qual se determina a estabilidade de misturas a frio com emulsão asfáltica catiônica e diâmetro do agregado máximo seja igual ou inferior a 38,1 mm (1 ½”).

Esta norma preconiza a preparação de no mínimo três corpos de prova para cada dosagem, sabendo a porcentagem em peso que serão misturados, calcula-se a quantidade para cada um com cerca de 1200 g, diâmetro de 101,6 mm e altura de 63,5 mm + 1,3 mm.

A incorporação de borracha triturada nos pavimentos asfálticos varia de 3% a 5% em relação à massa total dos agregados (via seca), de acordo com ODA (2005). Neste trabalho foram utilizados 5% de borracha em cada corpo de prova, foram 4 corpos de provas no total sendo 2 com inserção de borracha triturada e 2 convencionais, sem adição.

No molde, a mistura deverá ser acomodada com quinze golpes vigorosos de espátula ao redor e dez no centro da massa. A compactação se dá por meio de soquete em ambas as faces, o número de golpes deverá ser 50 para simular tráfego normal ou 75 para tráfego pesado de cada face do corpo de prova, para o presente trabalho foi realizado 50 golpes.

Para obter a estabilidade os corpos de prova foram colocados na prensa para rompimento, a Figura 05 mostra a prensa utilizada no ensaio.

**Figura 05** – Prensa utilizada para romper os corpos de prova



Fonte: Autores

## RESULTADOS OBTIDOS

Os ensaios realizados neste trabalho foram baseados nas normas específicas dos órgãos responsáveis como o DNIT e DNER e etc. Todavia, alguns erros foram notados e resultados inesperados, que somente após se obteve entendimento.

## AREIA

No peneiramento da areia foi utilizada uma amostra de 300g, colocada para vibração em um intervalo de 3 minutos. Depois de esgotado o tempo, foi anotado a quantidade que ficou retida em cada peneira. Nas malhas de 25 mm, 19 mm e 9,5 mm, nada ficou retido. A de 2 mm reteve 97g e a de 0.075 mm ficou retido todo restante de 203g, conforme a Tabela 01, as demais tabelas mostram como ficou a disposição granulométrica de cada agregado nas respectivas peneiras utilizadas para fazer o ensaio.

**Tabela 01** – Granulometria da Areia

Peneiras (mm)	Massa retida (g)	%Retida	% Retida acumulada	%Passante
25	0	0	0	100
19	0	0	0	100
9,5	0	0	0	100
2	97	32,33	32,33	67,67
0,075	203	67,67	100	0
Total	300	100	132,33	67,67
<b>MF = (% total retida acumulada/100)</b>			<b>MF = 1,32</b>	

Fonte: Autores

Abaixo pode ser visto o resultado da brita zero na Tabela 02. Observa-se que nas peneiras de 25 e 19 milímetros nada ficou retido, somente nas seguintes. A maior

concentração retida foi na peneira de 9,5 milímetros e o tempo de ensaio também foi igual, 3 minutos.

## BASE DE BRITA GRADUADA

Tabela 02 – Granulometria da brita

Peneiras (mm)	Massa retida (g)	%Retida	% Retida acumulada	%Passante
25	0	0	0	100
19	0	0	0	100
9,5	53	17,67	17,67	82,33
2	247	82,33	100	0
0,075	0	0	100	0
Total	300	100	217,67	82,33
<b>MF = (% total retida acumulada/100)</b>			<b>MF = 2,18</b>	

Fonte: Autores

## BORRACHA

Para finalizar o ensaio granulométrico, foi realizado o peneiramento do último material, a borracha triturada. Neste ensaio, também com duração de 3 minutos e uma amostra de 300g, observou-se que o material não ficou retido nas três primeiras peneiras, 25 mm, 19 mm e 9,5mm respectivamente, tendo o material ficado concentrado nas peneiras de 2 e 0,075 milímetros, como mostra a Tabela 03:

Tabela 03 – Granulometria da borracha

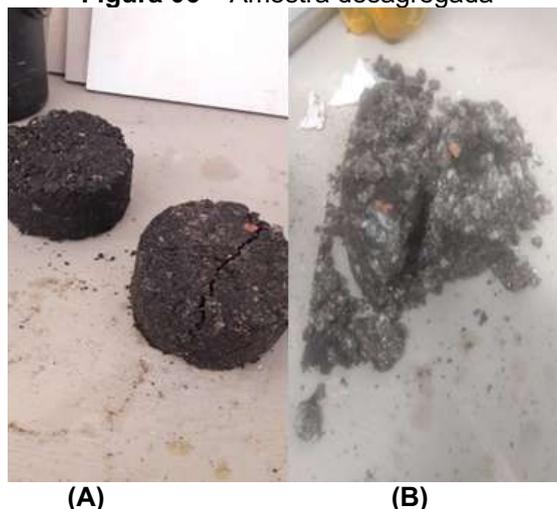
Peneiras (mm)	Massa retida (g)	%Retida	% Retida acumulada	% Passante
25	0	0	0	100
19	0	0	0	100
9,5	0	0	0	100
2	124	41,33	41,33	58,67
0,075	176	58,67	100	0
Total	300	100	141,33	58,67
<b>MF = (% total retida acumulada/100)</b>			<b>MF = 1,41</b>	

Fonte: Autores

## TRAÇO DE REFERÊNCIA

Inicialmente foram moldados 6 corpos-de-prova, sendo 3 deles com traço de referência (sem adição de borracha) e os outros 3 com 5% de borracha triturada em relação à sua massa total. No entanto, o primeiro teste não obteve bons resultados possivelmente devido à dosagem desproporcional de areia e pouca emulsão, fazendo com que os mesmos se desagregassem na hora da desforma, como mostrado na Figura 06.

**Figura 06 – Amostra desagregada**



Fonte: Autores

Posteriormente foram confeccionadas mais 4 amostras, onde foi alterada a dosagem, desta vez, a distribuição dos agregados foi realizada baseada como é feito pela prefeitura de Petrópolis – RJ, que é a cidade usada como referência para este estudo. Atendendo também os limites da norma DNIT 153/2010 – ES, a somatória percentual desses materiais se enquadra na faixa (D), a Tabela 4 mostra a composição do traço de referência.

Desta forma, o corpo de prova ficou da maneira desejada inicialmente, como representado na Figura 04, a distribuição dos agregados ficou disposta da seguinte forma:

- 1) Traço de referência (sem adição de borracha)
  - 68 % de brita 0;
  - 22 % de areia;
  - 10 % de emulsão.

**Tabela 04 – Composição dos agregados do traço de referência**

PENEIRAS		MATERIAIS				GRADUAÇÃO/FAIXA: D		
mm	Pol	Brita %	Areia %	Σ %	Min %	Max %		
25	1	100	68	100	22	90	–	–
19	3/4	100	68	100	22	90	100	100
9,5	3/8	82,83	56	100	22	78	45	80
2,0	n° 10	0	0	67,67	15	15	15	30
0,075	n° 200	0	0	0	0	0	0	8

Fonte: Autores

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 05, verifica-se que os materiais também se encaixam na faixa (D). A distribuição da mistura ficou da seguinte forma:

- 2) Traço com adição de 5% de borracha
  - 63 % de brita 0;
  - 22 % de areia;
  - 10 % de emulsão;
  - 5 % de borracha triturada.

**Tabela 05 – Composição dos agregados com 5% de borracha**

PENEIRAS		MATERIAIS					GRADUAÇÃO/FAIXA: D			
mm	Pol	Brita %	Areia %	Borracha %			Σ %	Min %	Max %	
25	1	100	68	100	22	100	5	95	–	–
19	¾	100	68	100	22	100	5	95	100	100
9,5	3/8	82,83	56	100	22	100	5	83	45	80
2	n° 10	0	0	67,67	15	58,67	3	18	15	30
0,075	n° 200	0	0	0	0	0	0	0	0	8

Fonte: Autores

**Figura 2 – 2° Amostra realizada**



Fonte: Autores

## DENSIDADE APARENTE

Para obter os dados do corpo de prova e assim conseguir obter a densidade aparente de cada um, mediram-se as dimensões dos mesmos, em seguida foi realizada a pesagem seca (ao ar) e a pesagem com o corpo de prova imerso na água (pesagem hidrostática), Figura 08.

**Figura 08 – Corpo de prova imerso**



Fonte: Autores

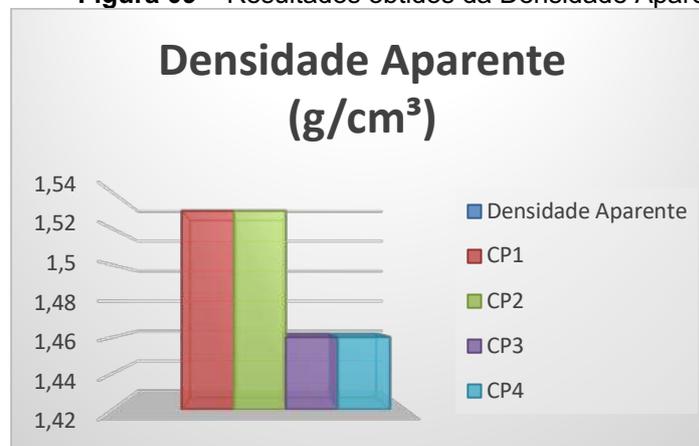
De acordo com os resultados apresentados na Tabela 06, é observada a média entre os dois tipos de traços.

**Tabela 06 – Características dos corpos de prova**

CORPOS DE PROVA		CP 1	CP 2	CP 3	CP 4
DIMENSÕES CM	SEM BORRACHA	7,25	7,18		
	COM 5% DE BORRACHA			7,15	7,13
PESO (G)	SEM BORRACHA	1080	1040		
	COM 5% DE BORRACHA			1120	1130
PESO IMERSO (G)	SEM BORRACHA	374	361		
	COM 5% DE BORRACHA			351	358
DENSIDADE g/cm <sup>3</sup>	SEM BORRACHA	1,53	1,53		
	COM 5% DE BORRACHA			1,46	1,46
MÉDIA DENSIDADE APARENTE	SEM BORRACHA	1,53			
	COM 5% DE BORRACHA	1,46			

Fonte: Autores

Observando os resultados obtidos (Figura 09), da densidade aparente em relação aos traços com e sem borracha, nota-se que a densidade aparente é menor à medida que se adiciona a borracha ao traço.

**Figura 09 – Resultados obtidos da Densidade Aparente**

Fonte: Autores

## VOLUME DE VAZIOS

A Figura 10 mostra os resultados obtidos do ensaio de volume de vazios em relação ao traço de referência e o traço com adição de borracha triturada. Pode-se observar que as amostras CP3 e CP4, ambas com adição de borracha, apresentam os melhores resultados, com um volume de vazios menor comparado às amostras feitas com traço de referência (sem adição de borracha). A amostra que obteve o melhor resultado foi a CP4, com volume de vazios de 32,60%. No entanto, as porcentagens encontradas não ficaram dentro do que é especificado pela norma, que diz que o ideal é um valor que fique entre 5% e 30%.

**Figura 10 – Resultado do ensaio de volume de vazios**



Fonte: Autores

## ESTABILIDADE MARSHALL

O fator de correção da estabilidade é obtido em função da espessura do corpo de prova e que está apresentado na Tabela 07. Dessa forma, os resultados obtidos da estabilidade Marshall já com o fator de correção são apresentados na Tabela 08 e representados na Figura 11.

**Tabela 07 – Tabela para correção da estabilidade**

ESPESSURA (cm)	FATOR	ESPESSURA (cm)	FATOR	ESPESSURA (cm)	FATOR
5,08	1,46	5,63	1,22	6,43	0,98
5,10	1,45	5,66	1,21	6,47	0,97
5,12	1,44	5,68	1,20	6,51	0,96
5,16	1,43	5,71	1,19	6,56	0,95
5,18	1,42	5,74	1,18	6,61	0,94
5,20	1,41	5,77	1,17	6,67	0,93
5,22	1,40	5,81	1,16	6,71	0,92
5,24	1,39	5,84	1,15	6,76	0,91
5,26	1,38	5,87	1,14	6,79	0,90
5,29	1,37	5,90	1,13	6,83	0,89
5,31	1,36	5,93	1,12	6,88	0,88
5,33	1,35	5,97	1,11	6,93	0,87
5,35	1,34	6,00	1,10	6,98	0,86
5,38	1,33	6,03	1,09	7,03	0,85
5,40	1,32	6,06	1,08	7,08	0,84
5,42	1,31	6,09	1,07	7,14	0,83
5,45	1,30	6,11	1,06	7,22	0,82
5,47	1,29	6,14	1,05	7,30	0,81
5,49	1,28	6,19	1,04	7,35	0,80
5,51	1,27	6,23	1,03	7,40	0,79
5,54	1,26	6,27	1,02	7,46	0,78
5,56	1,25	6,31	1,01	7,54	0,77

5,58	1,24	6,35	1,00	7,62	0,76
5,61	1,23	6,39	0,99	–	–

Fonte: Adaptado (DNER 107/94)

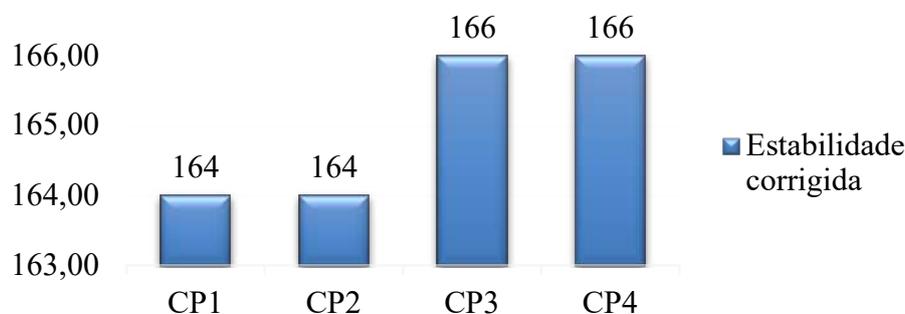
**Tabela 08 – Resultado estabilidade**

ESTABILIDADE LIDA (Kg)	ESPESSURA (cm)	FATOR	ESTABILIDADE CORRIGIDA (kgf)
CP 1	7,25	0,82	164
CP 2	7,18	0,82	164
CP 3	7,15	0,83	166
CP 4	7,13	0,83	166

Fonte: Autores

**Figura 11 – Resultados dos ensaios de estabilidade de acordo com a norma DNER 107/94**

### Estabilidade corrigida (kgf)



Fonte: Autores

O valor encontrado de estabilidade Marshall não atendeu ao objetivo proposto inicialmente, todos os corpos de prova que foram colocados na prensa para rompimento (Figura 24) obtiveram a mesma carga de ruptura (200kgf), com isso a estabilidade foi igual para todos, no entanto o objetivo proposto era que as amostras com adição de borracha obtivessem uma estabilidade maior do que as amostras convencionais. A pequena diferença que se deu foi devido à norma exigir que se multiplique o valor da estabilidade por um fator de correção, esse fator leva em consideração a altura de cada corpo de prova, como houve uma pequena variação no tamanho dos mesmos, o valor da estabilidade corrigida não foi 100% igual, mas devido à pequena diferença pode-se considerar que foram os mesmos.

**Figura 12** – Corpo de prova rompido



Fonte: Autores

Algumas variáveis podem ter influenciado diretamente e contribuído para que o valor da carga de ruptura fosse o mesmo nos quatro casos e conseqüentemente um valor de estabilidade indesejável fosse encontrado, uma dessas variáveis pode ter sido a adaptação da base para colocação do corpo de prova, já que a altura da prensa era muito maior do que o mesmo, sendo seu curso máximo rosqueável de apenas 50 mm, com isso, uma base foi adaptada para que o corpo de prova pudesse ter altura e assim ser rompido. Outra variável que pode ter influenciado foi à ausência de um molde de compressão, no presente caso o rompimento teve de ser feito diretamente nas faces laterais da amostra (ensaio brasileiro).

## **CONCLUSÃO**

O mecanismo em utilizar borracha de pneus triturado na produção de asfalto mostra uma mudança em suas características de forma a melhorar alguns aspectos em que o convencional não possui. Esta pesquisa teve como estudo, experimentalmente, a incorporação de borracha de pneus inservíveis como agregado na mistura pré-misturada a frio que usa a emulsão asfáltica catiônica como ligante. A revisão literária mostrou a importância do tema que está presente tanto no Brasil quanto fora do país.

No experimento inicial, os 6 corpos de prova apresentaram falhas quando retirados do molde, ficando de forma desagregada e sem nenhuma resistência. Dessa forma, com essa amostra não pode ser feito nenhum ensaio, conseqüentemente sendo descartada posteriormente. Uma nova amostra foi feita, ficando estáveis após o desmolde, os corpos de prova que tinham borracha, no período de cura apresentaram uma maior flexibilidade serem tocados.

Apesar de o resultado não ter sido o esperado no que tange a estabilidade Marshall, chegou-se à conclusão que a incorporação de borracha nas pavimentações asfálticas é válida e pode ser muito eficaz se executada nas melhores condições. No presente estudo os ensaios foram feitos dentro das possibilidades do que se tinha no laboratório da Universidade e das limitações que uma pandemia traz para todo o mundo. Assim, algumas adaptações tiveram de ser feitas para que o ensaio em questão pudesse ser realizado, o que pode ter tido uma influência importante no resultado final de estabilidade, fazendo com que o resultado encontrado não fosse o desejado. No entanto, os resultados de outros parâmetros foram satisfatórios, o que mostra fortes indícios dos benefícios técnicos que a

inserção da borracha como agregado nos asfaltos pode trazer à pavimentação, além do ganho ambiental, já que se usa um material que seria descartado de forma incorreta na natureza.

Observando todos os resultados obtidos nos experimentos, a conclusão que se obteve em relação aos mesmos são as seguintes:

- Os traços com inserção de 5% de borracha (CP3 e CP4) apresentaram um menor volume de vazios comparado aos traços de referência (CP1 e CP2);
- No ensaio de estabilidade Marshall os parâmetros encontrados foram os mesmos, fazendo com que o objetivo inicial não fosse alcançado;
- O ensaio de densidade aparente mostrou um que os traços em que se usou 5% de borracha a densidade foi menor do que os traços sem borracha.

Por fim, conclui-se também que para ter números mais consistentes e exatos a respeito do ganho técnico que a borracha traz para as pavimentações, é preciso realizar outros testes que não foram possíveis de serem feitos neste estudo, utilizando equipamentos específicos e assim calcular outros parâmetros que são possíveis de serem encontrados através da dosagem Marshall, ficando como uma possível sugestão para continuidade do estudo.

## SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para dar continuidade ao seguinte trabalho, seguem algumas sugestões para estudos futuros de pré-misturados a frio (PMF):

- Realizar os mesmos ensaios trocando o agregado natural areia pelo pó de pedra;
- Utilizar outro tipo de emulsão que não seja a RR (ruptura rápida), como a RM (ruptura média) ou RL (ruptura lenta);
- Utilizar a mistura feita em trechos de tapa buracos em vias de tráfego leve e monitorar o seu desempenho;
- Execução de ensaios de fluência, Abrasão Los Angeles e índice de forma, dentro das possibilidades do local onde será feito;
- Avaliação de custos de misturas asfálticas com adições de borracha triturada.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Terminologia e classificação de pavimentação. ABNT/NBR 7207. Rio de Janeiro, 1982.

BALAGUER, M. **Avaliação estrutural de um pavimento flexível executado em Asfalto-Borracha, elaborado pelo processo de produção contínua em usina.** 2012. 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica:** materiais, projeto e restauração, São Paulo: Oficina de textos, 2007.

BERNUCCI, L. B. **Pavimentação Asfáltica:** Formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006. 504p.

BERTOLLO, S. A.M. **Avaliação Laboratorial de Misturas Asfálticas e Densas Modificadas com Borracha Reciclada de Pneus**. São Carlos, 2002. 198 f. Tese (Doutorado em engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002.

BRASQUÍMICA. Emulsões Asfálticas para Pavimentação Disponível em [https://www.brasquimica.com.br/informacoes-tecnicas/prg\\_pub\\_det.cfm/emulsoes-asfalticas-para-pavimentacao](https://www.brasquimica.com.br/informacoes-tecnicas/prg_pub_det.cfm/emulsoes-asfalticas-para-pavimentacao) > Acesso em 28 set 2020.

CBPAV – <https://www.cbpav.com.br/ecoinstantpav> > Acesso em 21 Maio de 2020.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução CONAMA nº. 258**, de 26 de agosto de 1999. Resoluções. Disponível em: < <https://www.mma.gov.br>. > Acesso em: 20 maio 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de pavimentação: DNER Rio de Janeiro. 2 ed, 1996, 320p.**

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisas. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Pavimentação**. 3 ed. – Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT 111-2009-EM: **Pavimentação Flexível - Cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo via úmida, do tipo “Terminal Blending” - Especificação de material**. Rio de Janeiro: IPR - Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2009. 6 p. Disponível em: < [https://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-material-em/dnit111\\_2009\\_em.pdf](https://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-material-em/dnit111_2009_em.pdf) >. Acesso em: 20 Maio 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER – ME 107/94. Mistura betuminosa a frio, com emulsão asfáltica – ensaio Marshall. Norma rodoviária. 9p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT 165/2013. Emulsões asfálticas para pavimentação – Especificação do material. Rio de Janeiro 2013, 5p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Mistura betuminosa a frio, com emulsão asfáltica – ensaio Marshall.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT 153/2010 – ES. Pavimentação asfáltica – Pré-misturado a frio com emulsão catiônica convencional – Especificação de serviço. Rio de Janeiro 2010, 11p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. [www.dnit.gov](http://www.dnit.gov) > Acesso em 21 de Maio de 2020

DIAS, M. R. **Utilização de Mistura Asfáltica com Borracha pelo Processo da Via-Seca: Execução de um trecho experimental urbano em Porto Alegre**. 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

DI GIULIO, G. Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto – Inovação Uniemp v.3 n.3 – Campinas, 2007.

FAXINA, A. L. **Estudo em laboratório do desempenho de concreto asfáltico Usinado a quente empregando ligante tipo asfalto-borracha**. 2002. 269 f. Dissertação (Mestrado em transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2002.

GEIPOP – GRUPO EXECUTIVO DE INTEGRAÇÃO DA POLÍTICA DE TRANSPORTES. Anuário estatístico dos transportes. Ministério dos Transportes. 1970, 1976, 1981, 1986, 1992, 2001. Disponível em < <http://geipot.gov.br/publicacoes/inftransportes.htm> > Acesso em 20 de Julho de 2020.

GRECA ASFALTOS – <http://grecaasfaltos.com.br/asfalto-borracha-ecoflex-asfalto-ecologico> > Acesso em 21 Maio de 2020.

Lei nº 12.305, de agosto de 2010, p2; Política Nacional de Resíduos sólidos. Disponível em < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm) > Acesso em 13 de Março de 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA <https://www.mma.gov.br/conama> > Acesso em 21 Maio de 2020.

NEVES FILHO, C. L. D. Avaliação laboratorial de misturas asfálticas SMA produzidas com ligante asfalto-borracha. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, USP – São Carlos-SP, 2004.

NOVO ASFALTO – <https://novoasfalto.com/blog/asfaltofrio-x-pmf> > Acesso em 30 Out de 2020.

ODA, Sandra. **Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto-Borracha em Obras de Pavimentação**. 2000. 250 f. Tese (Doutorado em transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2000.

RECICLANIP – <https://www.reciclanip.org.br/formas-de-destinacao/principais-destinacoes> > Acesso em 24 Out de 2020.

Resolução CONAMA nº. 416, de 30 de setembro de 2009. Disponível em: < <https://www.mma.gov.br/port/conama/> > Acesso em: 20 maio 2020.

Resolução CONAMA nº. 001, de 23 de janeiro de 1986. Disponível em < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html> > Acesso em 15 Set de 2020.

ROHDE, Luciana. Estudo de misturas asfálticas de módulo elevado para camadas estruturais de pavimentos. 2007. 52 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.

SILVA, A. H. M. **Avaliação do comportamento de pavimentos com camada reciclada de revestimentos asfálticos a frio com emulsão modificada por polímero**. 2011. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SILVA, S. C. C. **Ensaio comparativos de misturas asfálticas pré-misturado a frio com adição de borracha de pneu**. 2008. 137 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Materiais) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2008.

SPECHT, L. P. **Avaliação de Misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus**. 2004. 275 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

**Edenir Zabicki Soares Ramos**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

**Elislene Dantas Monterio**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

**Marcos Aurélio Pinto Marzano Junior**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

## RESUMO

O Brasil apresentou nos últimos anos um crescimento econômico com maior distribuição de renda, mercado de compra e venda diversificada, incentivo à produção e às indústrias. A construção civil é um grande exemplo de acompanhamento deste crescimento com a existência de grandes obras e investimentos no setor. No âmbito da indústria da construção civil, destaca-se uma intensa dinâmica de operação sofrendo diariamente diversas mudanças, principalmente no que se refere aos controles de qualidade nas obras. Tal fato está associado principalmente ao despreparo dos profissionais atuantes no setor. Um dos processos mais afetados por esse despreparo é a cura do concreto. Quando este processo é realizado de forma contínua pode apresentar excelentes resultados, enquanto o uso de forma intermitente maximiza o risco de problemas, tais como: retração, fissuração, desgaste por abrasão, comprometimento da impermeabilidade do concreto e perda da resistência característica a compressão. Dado o exposto, o principal objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema de controle automatizado no âmbito do processo da cura do concreto. Assim, este trabalho descreve um referencial teórico sobre o concreto e seus diferentes tipos, visando corroborar para o entendimento da concepção do sistema automático para cura úmida do concreto. Devido a pandemia do COVID – 19, realizou-se o desenvolvimento de uma maquete de uma laje contemplando aspectos em escala de uma situação real. Assim, implementou-se o sistema autônomo na maquete utilizando sensores capacitivos, um microcontrolador Arduino, uma bomba, aspersores para irrigação e demais sistemas eletrônicos necessários para realizar toda instrumentação. O estudo de caso com a maquete apresentou bons resultados no que tange o controle da cura úmida do concreto, validando a concepção da ideia para testes em obras reais.

**Palavras-chave:** Arduino; Concreto; Cura; Controle; Qualidade

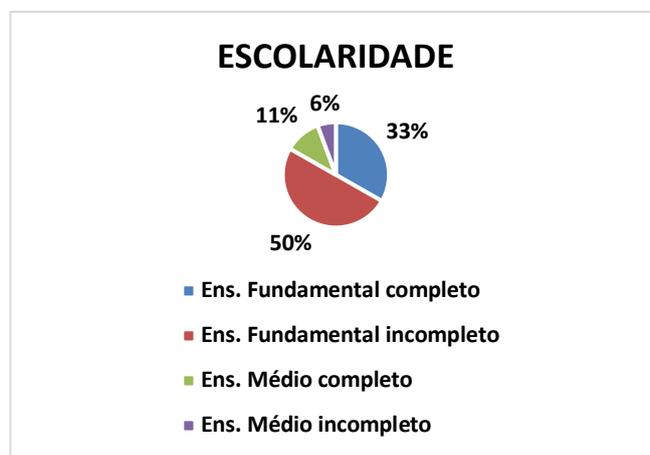
## INTRODUÇÃO

O Brasil apresentou nos últimos anos um crescimento econômico com maior distribuição de renda, mercado de compra e venda diversificada, incentivo à produção e às indústrias. A construção civil é um grande exemplo de acompanhamento deste crescimento com a existência de grandes obras e investimentos no setor. Neste aspecto, o resultado do

Produto Interno Bruto - PIB divulgado no dia 04/03/2020 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), evidenciou que no ano de 2019 houve um crescimento de 1,1% no PIB Brasileiro, puxado pela alta na construção civil de 1,6% e de 0,5 % na indústria. Além disso, o Brasil registrou uma alta de 9,7% em vendas de novas residências em 2019, não alcançando um resultado melhor devido ao atual cenário político e ao atual cenário do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) que dificultaram um maior avanço no setor.

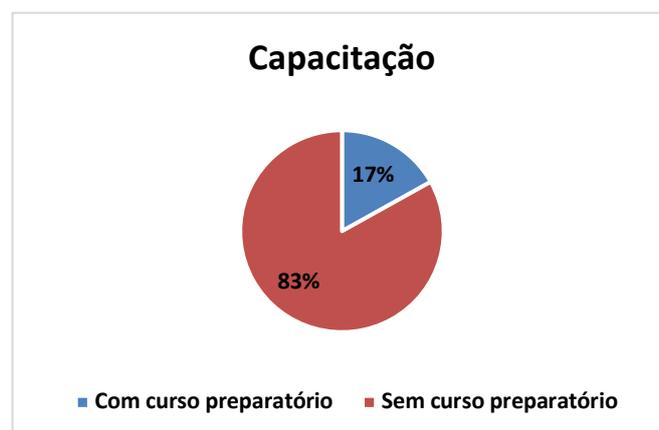
No âmbito da indústria da construção civil, destaca-se uma intensa dinâmica de operação sofrendo diariamente diversas mudanças, principalmente no que se refere aos controles de qualidade nas obras. Tal fato está associado principalmente ao despreparo dos profissionais atuantes no setor. Neste contexto, em abril de 2017 foi realizada uma pesquisa avaliada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Montes Claros, visando verificar o grau de escolaridade e o conhecimento técnico dos pedreiros locais. Nesta tônica, pôde-se observar através do gráfico 1, o baixo nível de escolaridade dos trabalhadores da construção civil, bem como no gráfico 2 a massiva quantidade de profissionais sem curso preparatório.

Gráfico 1- Escolaridade média dos trabalhadores na construção civil



Fonte: Adaptado – Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade de Montes Claros, 2017

Gráfico 2 - Capacitação dos trabalhadores na construção civil



Fonte: Adaptado – Comitê de Ética e Pesquisa da Universidade de Montes Claros, 2017

As informações supracitadas corroboram para um panorama onde a grande maioria dos profissionais carece de conhecimentos específicos, visto que, a maioria detém apenas o conhecimento prático adquirido ao longo da profissão, muitas vezes com erros sucessivos

pela falta de treinamentos adequados. Tais inadequações influenciam negativamente na estrutura da edificação, uma vez que impactam diretamente na qualidade do principal material estrutural: o concreto.

Um dos processos mais afetados por esse despreparo é a cura do concreto. A cura do concreto nada mais é que um conjunto de fatores que promovem a hidratação do cimento, destacando-se: a umidade, o tempo e a temperatura, visando desenvolver a resistência do material. Ressalta-se que a cura por aspersão é um dos processos mais simples de proteção do concreto, realizada através do lançamento de água na superfície do mesmo. Quando este processo é realizado de forma contínua pode apresentar excelentes resultados, enquanto o uso de forma intermitente maximiza o risco de problemas, tais como: retração, fissuração, desgaste por abrasão, comprometimento da impermeabilidade do concreto e perda da resistência característica a compressão (NEVILLE E BROOKS, 2013).

Dado o exposto, torna-se axiomático que a cura é uma das principais etapas na execução do concreto e tem participação direta no desenvolvimento do processo de hidratação da pasta de cimento vedando o concreto, mantendo a água de amassamento no seu interior, evitando a retração e o transporte de substâncias que poderão interferir na hidratação. Assim, a cura influencia em média 14% no ganho de resistência. O que demonstra a fundamental importância do processo de cura ser rigorosamente realizado em obra, no intuito do concreto adquirir máxima resistência (REVISTA TECNOLOGIA E INFORMAÇÃO, JUL/OUT 2015).

Assim, evidencia-se a necessidade de um melhor controle da qualidade da cura do concreto nas obras civis. Nesta tônica, o desenvolvimento e a utilização de um sistema automatizado para este processo trariam vários benefícios, tais como:

- Economia de água, visto que o sistema umidificará de forma uniforme somente o volume necessário, evitando o uso excessivo de água;
- Impedir que haja retração hidráulica do concreto devido à perda de água no processo de endurecimento;
- Conferir alta resistência à carbonatação e à difusão de íons devido à ausência de fissuras;
- Monitoramento à distância, podendo ser acionado remotamente de qualquer *smartphone*;
- Dispensa a presença do operário e a necessidade de altos investimentos em treinamentos.

Logo, torna-se essencial o desenvolvimento de uma tecnologia, associado ao conceito da indústria 4.0, que vise principalmente a otimização de todo o processo de cura do concreto, garantindo a melhoria contínua do processo, bem como preservando a qualidade do mesmo.

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de controle automatizado no âmbito do processo de cura do concreto. Assim, torna-se necessário analisar os processos de cura úmida largamente empregados nas obras civis, observando suas influências na resistência final do concreto.

Dado o exposto, espera-se que este trabalho coopere de forma substancial com a indústria da construção, servindo para corroborar um aumento na qualidade da cura do concreto.

Uma vez que a proposta é apenas auxiliar o mercado com o uso de uma nova tecnologia, torna-se importante outro aspecto: o custo. Logo, todo o trabalho desenvolvido deverá visar soluções práticas, simples e funcionais, objetivando o desenvolvimento do protótipo com um custo baixo e acessível.

O sistema de automatização deverá ser capaz de otimizar o processo de cura do concreto, com a finalidade de reduzir o tempo gasto de mão de obra, economizar recursos naturais (água), bem como maximizar a qualidade do processo supracitado. Assim, o sistema deverá atender os seguintes parâmetros operacionais:

- Ser capaz de verificar a umidade do concreto;
- Ser capaz de irrigar/umedecer o concreto quando for necessário;
- Integrar de modo digital e imediato à comunicação, os dados e as informações relevantes do processo para o gestor ou responsável da obra.

Objetivando validar o conceito deste trabalho e garantir as medidas de isolamento social devido a pandemia do COVID - 19, um protótipo deverá ser desenvolvido visando atender as necessidades de uma maquete para validar a ideia proposta.

## **METODOLOGIA**

- Este trabalho foi elaborado seguindo as etapas abaixo:
- Estudo sobre concreto, focando nas características de interação molecular e métodos de otimização na resistência final.
- Estudo sobre a importância da cura do concreto;
- Estudo da NBR 12655/2015 – Concreto de cimento Portland, NBR 5738/2003 - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, NBR 14931/2004 – Procedimento para Execução de estruturas de concreto, NBR 6118/2014 – Procedimentos para projeto de estruturas de concreto, NBR 15900-1/2009 - Água para amassamento do concreto, NBR 15.575/2013 – Desempenho de edificações habitacionais, ACI 308R/2001 - Guide to External Curing of Concrete;
- Estudo sobre automação e recursos tecnológicos que possam atuar no desenvolvimento deste projeto;
- Compilação das informações necessárias e objetivas em cada item estudado;
- Desenvolvimento da maquete;
- Construção do protótipo para aspersão de água;
- Engendramento de maquetes para simulação de situação real nos testes realizados;
- Avaliação e testes práticos da função e aplicabilidade do protótipo e aplicativo;
- Conclusão e Resultados.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

### **CONCRETO**

O termo “concreto” é tratado como sendo qualquer produto produzido através de um meio cimentante, destacando que esse meio normalmente é fruto da reação entre o cimento Portland e a água que, juntamente com os agregados, formam o material que tanto é conhecido na indústria da construção civil.

O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo, na ordem de 11 bilhões de toneladas métricas ao ano e o Brasil contribui efetivamente nessa estatística, com 30 milhões de toneladas ao ano. Existem, ao menos, três razões para o uso tão disseminado do concreto em comparação com outros materiais. A primeira delas é sua resistência à água, o concreto pouco se deteriora em contato com a mesma, sendo um material ideal para construções que fazem o armazenamento ou o transporte de água. Este fato também pode ser historicamente comprovado, pois os romanos utilizavam este material em cisternas e aquedutos. A segunda razão é a sua plasticidade, que permite construções das

formas mais variadas possíveis, sendo um grande aliado da arquitetura contemporânea. A terceira razão crucial para o grande uso do concreto, o baixo custo, justificando-se pela fácil obtenção de seus componentes, por estes serem relativamente baratos (NEVILLE E BROOKS, 2013; MEHTA E MONTEIRO, 2008).

De acordo com Borges e Carreiro (2017) o concreto possui variações de acordo com as características de preparo, componentes, resistência, dentre outros parâmetros, tais como:

#### **Concreto convencional (considerado o concreto mais antigo):**

- Composto por cimento, água, agregados graúdos e agregados miúdos;
- Resistência à compressão: entre 10 e 50 Mpa;
- *Slump test* (usado para verificar a consistência e trabalhabilidade do concreto, não sendo aplicado para concretos auto-adensáveis) entre 40 e 70mm;
- Seu lançamento deve ser manual e requer utilização de vibradores e adensadores;
- Consistência seca por não utilizar aditivos;
- Baixa trabalhabilidade e resistência à tração e flexão.

#### **Concreto armado (mais utilizado atualmente):**

- Composto por cimento, água, agregados graúdos, agregados miúdos e barras de aço;
- Alia a resistência à compressão com a resistência à tração;
- Melhor relação custo x benefício, pois utilizam-se menores dimensões e conseqüentemente menor volume de componentes;
- Não utiliza aditivos, com isso sua consistência é seca;
- Apresenta resistência à compressão e *slump* similares ao concreto convencional.

#### **Concreto usinado ou dosado em central:**

- Maior flexibilidade de escolha do tipo de concreto, do tempo de pega, trabalhabilidade e resistência;
- Uso de aditivos;
- Rigoroso controle de qualidade com pesagem precisa de materiais e controle do tempo de mistura.

#### **Concreto protendido:**

- Recebe adição de cabos de aço com elevada resistência, podendo sua protensão ser executada antes ou após a concretagem;
- Utilizado para locais com elevados esforços, grandes vãos, ambientes com alto grau de agressividade ao concreto.

#### **Concreto auto adensável:**

- Alta fluidez;
- *Slump* superior a 200mm;
- Alto custo, pois utiliza exclusivamente agregado miúdo, demandando de mais matéria prima para alcançar o volume desejado;
- Dispensa o uso de vibradores e adensadores evitando assim segregação e exsudação.

#### **Concreto de alta resistência:**

- Utiliza-se agregados graúdos de baixa dimensão;

- Requer uso de aditivos ou pozolonas pois possui grande tendência à retração;
- Muito utilizado em fundações e estruturas de edifícios com muitos pavimentos.

#### **Concreto rolado:**

- Consistência seca;
- Baixo consumo de cimento;
- Requer uso de rolos de compressão para compactação pois possui pouca trabalhabilidade;
- Utilizado principalmente como sub-base em pavimentos, barragens e pisos de estacionamentos.

#### **Concreto leve:**

- Composto apenas por agregados leves;
- Resistência de compressão máxima 25Mpa;
- Densidade entre 1000 e 1200kg/m<sup>3</sup>;
- Muito utilizado em estruturas pré-fabricadas ou pré-moldadas pela redução do peso estrutural.

#### **Concreto celular:**

- Não utiliza agregados, mas sim uma espuma especial responsável por incorporar bolhas de ar em seu interior;
- Massa específica entre 300 e 1850Kg/m<sup>3</sup>;
- Usado em paredes e divisórias, pisos e etc.

#### **Concreto pesado:**

- Peso específico entre 3360 à 3840kg/m<sup>3</sup>;
- Adição de agregado natural pesado;
- Se limita a ser bombeado a pequenas distâncias por sua baixa trabalhabilidade;
- Tendência à segregação;
- Muito utilizado para blindagem de radiação por ser mais econômico que outros materiais.

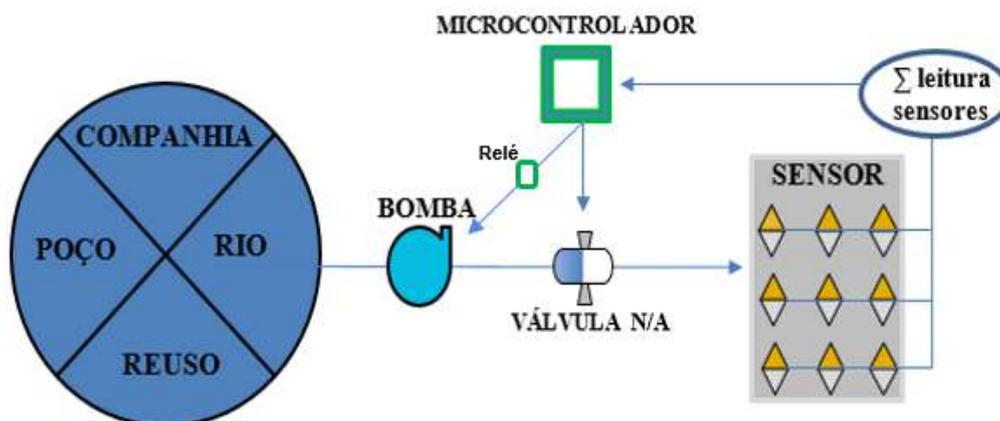
## **DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO**

O sistema proposto é composto por uma ou mais fontes de abastecimento de água, uma bomba para pressurização da linha de abastecimento, uma válvula solenoide normalmente aberta, um microcontrolador, sensores de umidade para monitoramento e controle do sistema, bem como aspersores para realizar a irrigação de toda área concretada.

Salienta-se que o projeto em questão atende dois modos de operação distintos, ou seja, uma situação em que há pressão suficiente no ponto de abastecimento d'água e, uma situação onde há necessidade de uma bomba para realizar o recalque da água uma vez que o ponto de abastecimento não possui pressão suficiente. No caso de haver pressão suficiente no ponto de abastecimento, uma válvula solenoide é responsável por atuar na abertura e no fechamento de água, conseqüentemente no controle da irrigação e hidratação do concreto através dos aspersores. O controle de abertura e fechamento desta válvula é realizado por um microcontrolador que dependendo da leitura dos diversos sensores de umidade, infere e atualiza suas saídas. Se o ponto de abastecimento não possuir pressão suficiente para girar os aspersores e conseqüentemente realizar a hidratação do concreto, uma bomba é acionada visando realizar o recalque da linha. Por último, registra-se que os

sensores de umidade estão espalhados ao longo da forma onde será despejado o concreto. A figura 4 ilustra um esquemático da concepção supracitada.

Figura 1 – Diagrama conceitual do projeto



Fonte: Autor

Além desta seção, este capítulo está subdividido em mais duas seções relacionadas com o processo de desenvolvimento do sistema de automação para o controle da cura úmida do concreto. A primeira seção descreve a metodologia utilizada para fabricação da maquete que servirá de elemento fático para validação do conceito proposto, uma vez que conforme já exposto anteriormente, por questões de segurança em frente a pandemia do COVID – 19 não foi possível validar a proposta no âmbito do estudo de uma obra real. A segunda seção aborda todo o desenvolvimento da eletrônica embarcada do projeto, bem como a lógica de programação desenvolvida.

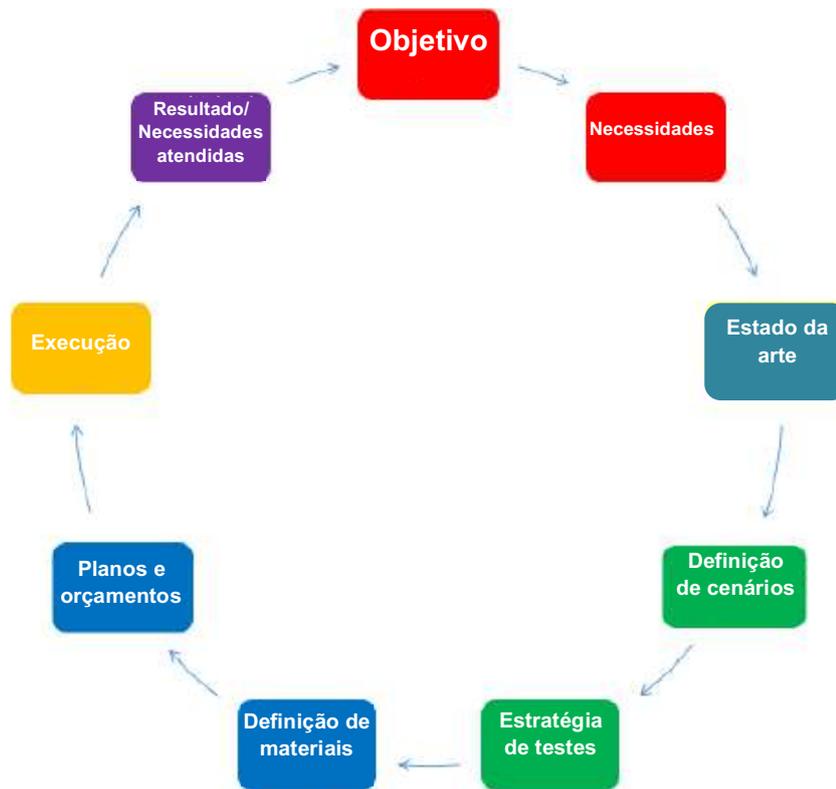
## DESENVOLVIMENTO DA MAQUETE

Com o intuito de se avaliar os requisitos necessários para se atingir o objetivo principal, desenvolveu-se uma metodologia de projeto com o intuito de suprir as exigências necessárias para atender a necessidade de controle da cura úmida do concreto. Logo, no início do projeto se fez necessário responder a uma série de perguntas que determinaram as características da maquete, e, delimitaram o seu projeto, a saber:

- Qual seria a dimensão mínima necessária de uma laje para validar o conceito?
- Qual seria a espessura mínima necessária para validar o uso de um sensor?
- Qual seria a quantidade mínima necessária de sensores para validação do conceito?

A figura 5 apresenta o fluxo do planejamento adotado para a definição dos parâmetros mencionados.

Figura 2 - Fluxo de planejamento



Fonte: Autor

A dimensão da laje da maquete para validação do conceito, implica diretamente no tipo de material empregado na construção do protótipo, bem como no seu método construtivo que deve ser similar ao empregado comumente nas obras civis. Assim, visando um paradigma mais próximo possível da realidade, optou-se por utilizar o seguinte material:

- Madeira compensada de 4mm: para execução das formas e dos pilares estruturais da maquete;
- Fios de arame nº 10, 16 e 22: para execução das armaduras, visando simular toda ferragem;
- Tela aramada quadriculada com 7x7mm: para execução das armaduras, visando simular toda ferragem;
- Cimento;
- Areia;
- Pedra britada nº1;
- Água.

Inicialmente, objetivando produzir o piso da maquete e a fundação da obra em escala, desenvolveu-se uma base retangular utilizando madeira compensada de 4mm de espessura, conforme ilustrado na figura 6A. A figura 6B ilustra a base montada com dimensões de 40cm de largura, 50cm de comprimento e 2cm de altura.

Figura 3 - Construção do piso para maquete



Fonte: Autor

Para sustentar a laje de teste que serviu como validação do sistema de automação para cura úmida do concreto, optou-se por realizar também com madeira compensada de 4mm quatro pilares, utilizando as medidas externas de 4,5cm de largura, 3,5cm de comprimento e 18cm de altura. Neste momento foram utilizados para estrutura arame nº 10, com estribos em arame nº 16, amarrados com arame nº 22 nas 4 extremidades. Os arames nº 10 foram cortados com 45cm com objetivo de realizar uma dobra de 15cm para fazer a amarração com a tela aramada quadriculada de medidas 40cm de largura por 50cm de comprimento da estrutura do piso, como ilustrado respectivamente nas figuras 7 e 8.

Figura 4 - Construção dos pilares de sustentação



Fonte: Autor

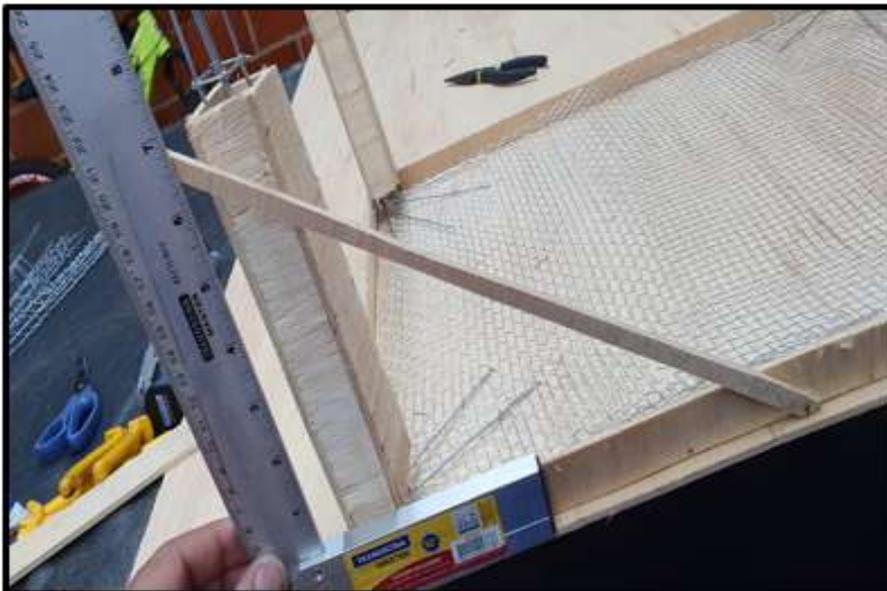
Figura 5 - Amarração dos pilares no piso



Fonte: Autor

Para manter o alinhamento foram utilizadas escoras produzidas em madeira compensada também de 4mm, mas com 1cm de largura, mantendo a angulação dos pilares em 90°, fixados de forma diagonal conforme ilustrado na figura 9.

Figura 6 - Escoras de alinhamento dos pilares



Fonte: Autor

A figura 10 ilustra a estrutura do piso e pilares praticamente prontos aguardando apenas a concretagem.

Figura 7 - Piso e pilares prontos para concretagem



Fonte: Autor

Para produção das vigas e da laje de testes foi construído uma forma com madeira compensada 4mm medindo 40cm de largura, 50cm de profundidade e 3,5cm de altura. Destaca-se que foram deixadas aberturas nas quatro laterais para encaixe das ferragens dos pilares e posteriormente para amarração com as vigas, conforme ilustrado na figura 11.

Figura 8 - Forma para laje de teste



Fonte: Autor

Após o encaixe da forma foram produzidas as estruturas para as vigas com arame nº 22, estribos em arame nº 16 e amarrados nas quatro extremidades com arame nº 10. Além disso, foram realizadas dobras nas extremidades das vigas para amarração junto aos pilares, conforme ilustrado na figura 12A. A figura 12B demonstra a junção das duas vigas.

Figura 9 - Amarração das vigas



Fonte: Autor

Com toda estrutura amarrada, realizou-se o primeiro traço para concretagem do piso, pilares e vigas. A proporção do traço utilizado em todos os procedimentos deste trabalho foi o traço nº 08, da Tabela prática de traços de concreto para uso em obras de Caldas Branco ilustrada na figura 13

Figura 10 - Tabela Caldas Branco

TRAÇOS EM VOLUME	NOSSAS PADIOLAS TERÃO SEMPRE DE BOCA 45,0 X 35,0 CM. PROCURE AS ALTURAS												RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PROVÁVELS KG/CM²	TRAÇOS EM PESO CORRESPONDENTES	Nº DE ORDEM NO PROGRAMA DE ESTUDOS								
	ALTURAS DAS PADIOLAS EM CENTÍMETROS			NÚMERO DE VIAGENS OU PADIOLAS POR TRAÇO DE 1 SACO DE CIMENTO		FATORES		RENDIMENTOS POR SACO Litros		CONSUMO POR M³ DE CONCRETO FRESCO													
	ÁREA CM	BRITA Nº 1 CM	BRITA Nº 2 CM	ÁREA	BRITA Nº 1 Nº 2	BRITA Nº 2	CIMENTO		ÁGUA		CIMENTO	ÁREA				BRITAS	ÁGUA						
							LITRO / KG	KG / LITRO	LITRO / KG	KG / LITRO		SACO						SECA Litros	ÚMIDA Nº 1 Litros	Nº 2 Litros	kg	Sacos de 50 kg	Litros
1:1:2	28,7	22,4	22,4	1	1	1	0,44	2,27	22,0	97,2	514	10,3	363	363	465	363	363	226	228	300	400	1,08:1,96	TRAÇO Nº 01
1:1:2:3	21,5	33,6	33,6	2	1	1	0,49	2,04	24,5	129,2	387	7,7	273	409	524	409	189	188	254	350	1,63:2,94	TRAÇO Nº 02	
1:2:2:1/2	28,7	28,1	28,1	2	1	1	0,55	1,82	27,5	133,2	374	7,5	264	528	676	330	206	148	208	298	2,17:2,44	TRAÇO Nº 03	
1:2:3	28,7	33,6	33,6	2	1	1	0,61	1,64	30,5	145,5	344	6,9	243	486	622	364	210	117	172	254	2,17:2,94	TRAÇO Nº 04	
1:2:1/2:3	23,9	33,6	33,6	3	1	1	0,65	1,54	32,5	157,9	319	6,4	225	562	719	337	337	207	100	150	228	2,71:2,94	TRAÇO Nº 05
1:2:4	28,7	22,4	22,4	2	2	2	0,68	1,47	34,0	168,3	297	5,94	210	420	538	420	202	90	137	210	2,17:3,92	TRAÇO Nº 06	
1:2:1/2:3:1/2	23,9	19,6	19,6	3	2	2	0,71	1,41	35,5	170,6	293	5,86	207	517	662	362	208	80	123	195	2,71:3,42	TRAÇO Nº 07	
1:2:1/2:4	23,9	22,4	22,4	3	2	2	0,73	1,37	36,5	181,2	276	5,5	195	487	623	390	201	74	114	185	2,71:3,92	TRAÇO Nº 08	
1:2:1/2:5	23,9	28,0	28,0	3	2	2	0,79	1,27	39,5	203,3	246	4,9	174	435	557	435	195	58	94	157	2,71:4,89	TRAÇO Nº 09	
1:3:5	28,7	28,0	28,0	3	2	2	0,88	1,14	44,0	218,1	229	4,6	162	486	622	405	202	40	70	124	3,25:4,89	TRAÇO Nº 10	
1:3:6	28,7	33,6	33,6	3	2	2	0,95	1,05	47,5	240,9	208	4,2	147	441	564	441	198	30	54	100	3,25:5,87	TRAÇO Nº 11	
1:4:8	28,7	29,9	29,9	4	3	3	1,20	0,83	60,0	312,5	161	3,2	114	456	564	456	194	NÃO	NÃO	NÃO	4,34:7,83	TRAÇO Nº 12	

PROJETADO E REALIZADO PELO  
ENGENHEIRO CIVIL  
Abílio de Azevedo CALDAS BRANCO

Fonte: <https://silو.tips/download/tabela-de-bet343oxls-faa-voce-mesmo>

O concreto foi derramado de forma lenta com auxílio de uma colher de pedreiro, respeitando todo o preenchimento da estrutura do piso. Visando auxiliar no preenchimento das vigas e colunas foi realizada uma vibração gerada por leves impactos às paredes da estrutura e uso de um fio de arame nº 22. A figura 14A ilustra o processo de concretagem do piso, dos pilares e das vigas da maquete. A figura 14B demonstra o processo de concretagem concluído.

Figura 11 - Concretagem do piso, pilares e vigas

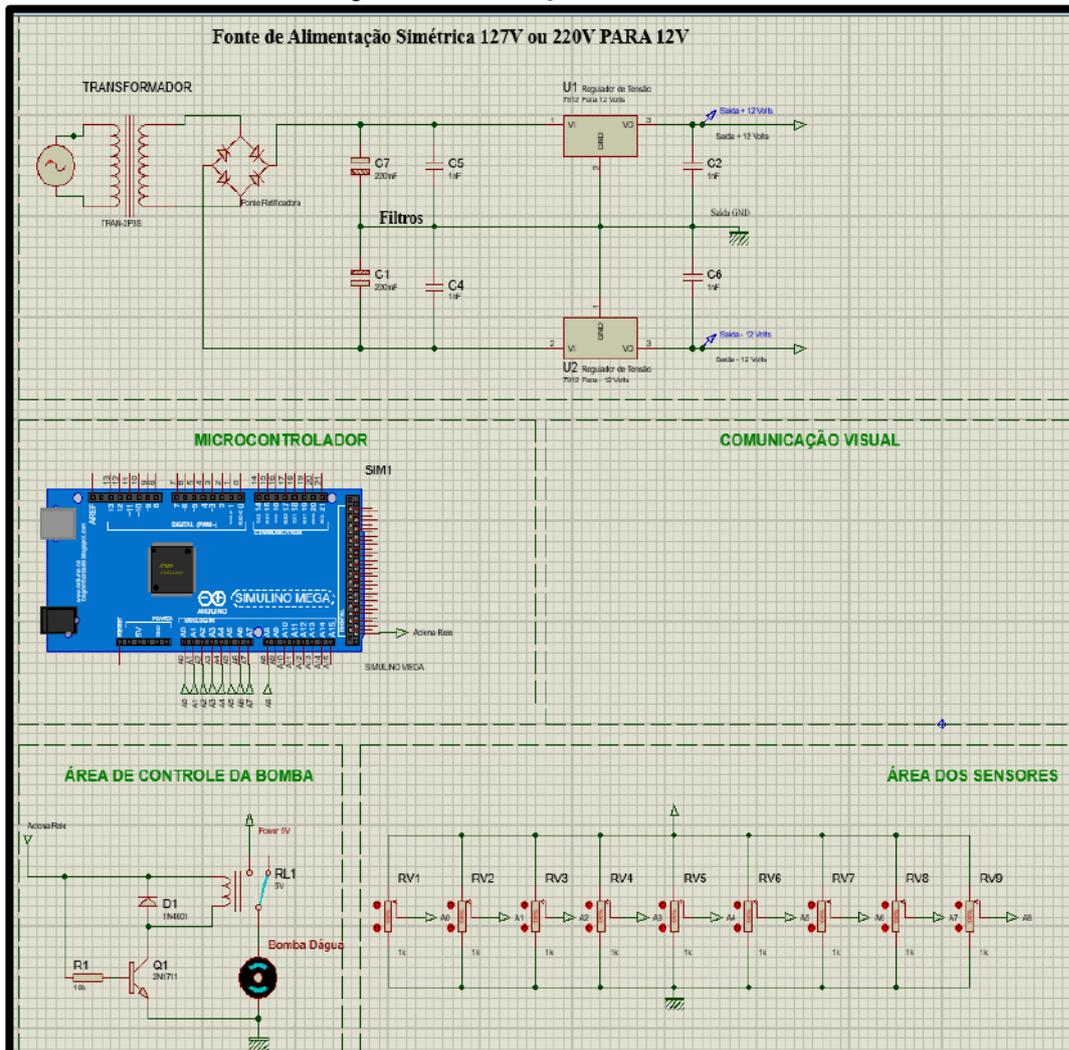


Fonte: Autor

## DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE CONTROLE

Todo o *hardware* necessário foi projetado com auxílio *software* Proteus, o qual agrega o ambiente de simulação de circuitos eletrônicos do programa ISIS ao programa ARES para desenho de circuito impresso. Logo, este tópico será subdividido em duas etapas: o desenvolvimento do *layout* do circuito para fabricação da placa e a simulação computacional do circuito. Este *software* é amplamente utilizado em atividades acadêmicas nos cursos de graduação, sendo através dele possível comprovar a eficácia do sistema desenvolvido antes mesmo de embarcar toda eletrônica na maquete. A figura 15 ilustra a simulação eletrônica do *hardware* no programa ISIS, o qual será descrito mais adiante nesta seção.

Figura 12 – Simulação da eletrônica no ISIS



Fonte: Autor

## DEFINIÇÃO DO MICROCONTROLADOR

Após uma vasta pesquisa e avaliação da relação custo/benefício que os diversos microcontroladores disponíveis no mercado oferecem, além da facilidade de encontrar os modelos existentes no mercado, optou-se por utilizar o microcontrolador ATmega 2560 para o desenvolvimento deste projeto. Dentre os fatores decisivos para esta escolha, o fato deste microcontrolador ser encontrado em placas já desenvolvidas e testadas – Arduino reduz o tempo de prototipagem do projeto. O Arduino é uma plataforma de computação *open-source* baseado em um microcontrolador com entradas e saídas tanto digitais como analógicas. Possui um ambiente próprio de desenvolvimento que utiliza a linguagem C de programação. O Arduino atualmente tem sido bastante usado para desenvolver objetos interativos autônomos, uma vez que seu ambiente de desenvolvimento *open-source* pode ser obtido gratuitamente para os sistemas OS X, Windows, e Linux.

O Arduino Mega 2560 R3 é uma placa que utiliza o microcontrolador Atmega 2560. Devido às características deste microcontrolador, esta placa possui 54 pinos digitais (entrada/saída), sendo que 15 podem ser utilizados como saídas do tipo PWM, que serão detalhadas mais adiante. Além disso, esta placa oferece 16 pinos analógicos de entrada, 4 USARTs (Portas Seriais de Hardware) essenciais para realizar as leituras dos sensores físico-químicos deste projeto, um cristal oscilador de 16 MHz, entrada USB, entrada de

alimentação e soquete de comunicação ICSP. Assim, esta placa oferece todo o ferramental necessário para utilização de todos os recursos do microcontrolador ATmega 2560, sendo uma ótima opção de utilização. A figura 16 ilustra a placa do Arduino Mega 2560 R3.

Figura 13 - Arduino Mega 2560



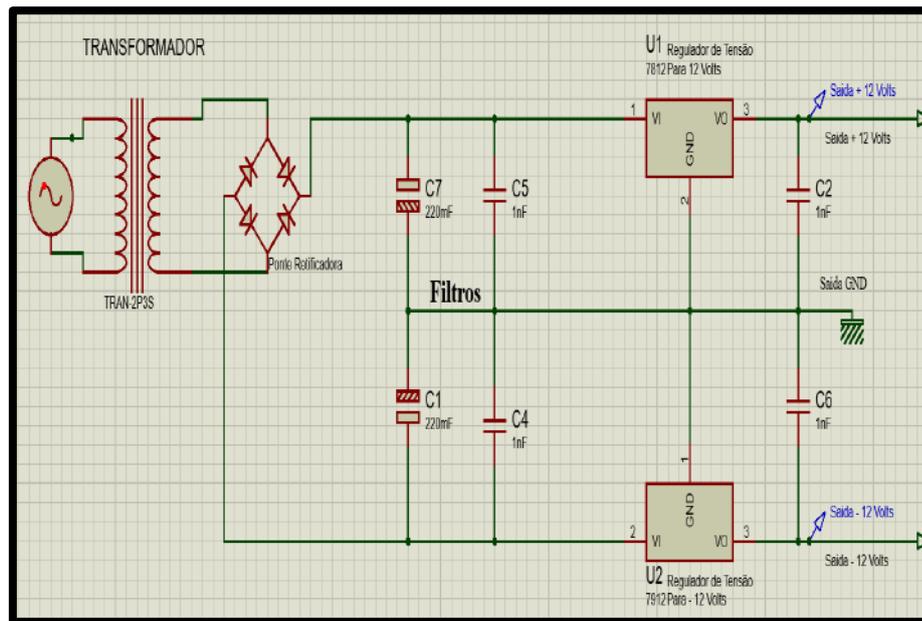
Fonte: Autor

## FONTE DE ALIMENTAÇÃO SIMÉTRICA

Conforme mencionado anteriormente, a fonte de alimentação é um elemento de extrema importância para converter a tensão alternada que se encontra em alguma tomada da obra, em uma tensão contínua que será utilizada pelo microcontrolador e pelos sensores de umidade. Assim, fez-se necessário o desenvolvimento do projeto de uma fonte DC 12V para suprir alimentação do Arduino Mega 2560, a bomba, a válvula solenóide, bem como uma fonte DC 3.3V para suprir alimentação dos sensores. Além disso, optou-se por desenvolver uma fonte simétrica em caso de haver necessidade de ser utilizados amplificadores operacionais para algum sinal dos sensores. Uma fonte simétrica de alimentação é formada basicamente por duas fontes de alimentação com um de seus terminais ligados ao complementar da outra fonte. O terminal comum é ligado ao GND (*Ground* – Terra em inglês) do sistema que formará a referência. Dessa maneira, efetuando a medição das duas tensões em referência ao GND, obteremos duas fontes com polaridades invertidas de +12V e -12V (VILEFORT et al., 2010).

Destaca-se que inicialmente uma tensão alternada no valor de 127 V chega no primário do transformador, sendo esta a primeira etapa do circuito. Neste momento, o transformador abaixa o nível da tensão AC para um valor utilizável no projeto. Entretanto, sistemas eletrônicos são dimensionados para correntes e tensão DC, devendo então ser retificado este sinal para posterior uso do sistema eletrônico. Logo, na segunda etapa a tensão alternada é retificada através de uma ponte de diodos, produzindo assim uma saída DC na ponte de diodo. Por último, torna-se necessário que ocorra a filtragem do sinal, sendo a tensão regulada para +12V pelo regulador de tensão 7812, bem como regulada para -12V pelo regulador de tensão 7912. A figura 17 ilustra o circuito supracitado.

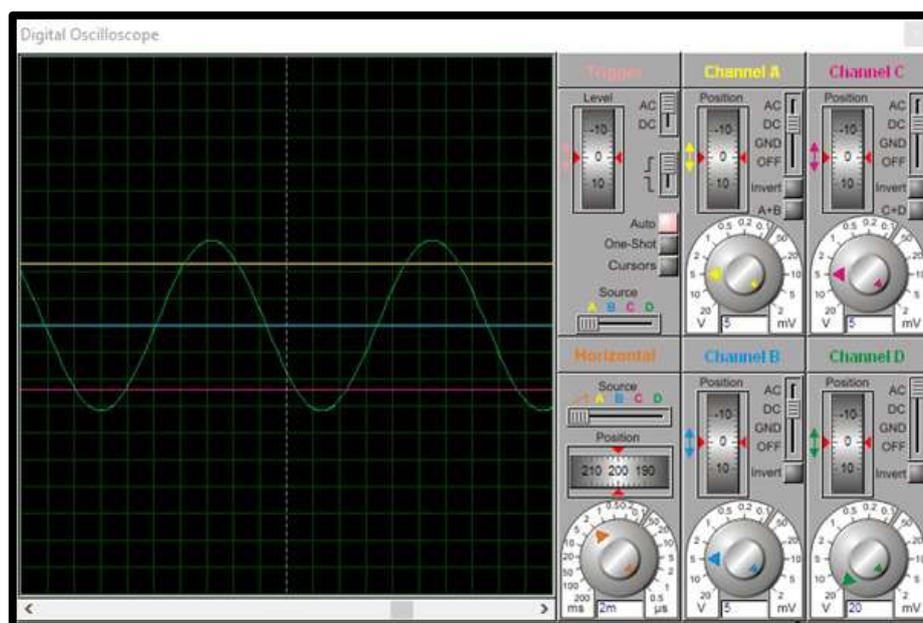
Figura 14 - Fonte de alimentação no ISIS do Proteus



Fonte: Autor

Registra-se que o *software* utilizado tem várias ferramentas de análise de circuitos, sendo uma delas o osciloscópio. Assim, a figura 18 ilustra através do sinal verde o sinal senoidal que chega ao transformador de 127V AC, em amarelo o sinal +12V DC já corrigido pela ponte retificadora e pelos filtros, já em azul está sendo representado o sinal que sai do GND e possui valor de 0V e por último em rosa é representado o sinal de -12V DC, evidenciando o correto funcionamento da fonte.

Figura 15 - Osciloscópio digital



Fonte: Autor

Apesar do correto funcionamento do circuito, visando diminuir o tempo de prototipagem do sistema, optou-se posteriormente por utilizar uma fonte já disponível no

mercado que atendesse às especificações necessárias. Assim, utilizou-se respectivamente para alimentação da bomba da maquete e do Arduino uma fonte modelo C12V, com entrada AC100-240V 50/60Hz e saída DC 12V- 2A, bem como a fonte do fabricante Leader Electronics INC, modelo MU12-210901QN6S, com entrada 100-240V 50/60Hz e saída 9V-1A, conforme ilustradas na figura 19 e 20.

Figura 16 - Fonte de alimentação 12V



Fonte: Autor

Figura 17 - Fonte de Alimentação 9V

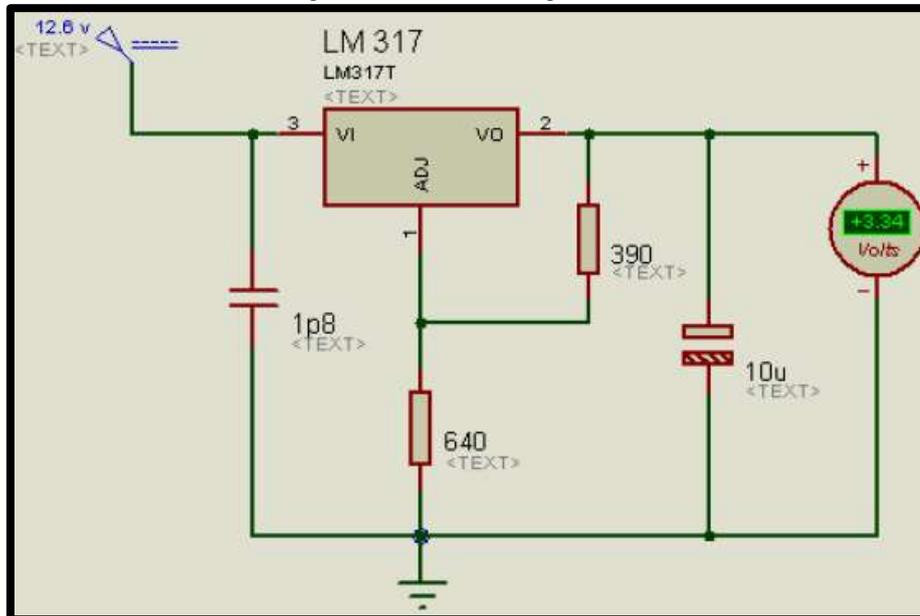


Fonte: Autor

Como mencionado anteriormente, os sensores necessitam de uma tensão de alimentação de 3.3 V requerendo nova necessidade de regular a tensão, uma vez que o circuito descrito fornece uma tensão 12V DC. Logo, optou-se por utilizar o regulador de tensão linear LM2937-3.3 do fabricante *Texas Instruments*, que é de fácil acesso no

mercado e possui capacidade de fornecer até 0.5 A para esta função. Além disso, utilizaram-se alguns capacitores entre a saída e o terra do regulador com o objetivo de realizar um filtro passa baixa, diminuindo assim possíveis ruídos. A figura 21 ilustra a representação esquemática do circuito projetado e simulado no *software* ISIS.

Figura 18 - Circuito regulador de 3.3V



Fonte: Autor

## MÓDULO RELÉ

De forma análoga a fonte, objetivando reduzir o tempo de prototipagem, inicialmente foi decidido utilizar um módulo relé para o acionamento da bomba, uma vez que se faz necessário integrar o comando de liga e desliga da bomba com o Arduino e o pino do microcontrolador não consegue suprir a demanda de corrente. Isso ocorre porque o microcontrolador não foi idealizado para ser uma eletrônica de potência, mas sim um dispositivo de controle, fornecendo em média 50 mA em cada pino. Dado o exposto, utilizou-se um módulo relé de 1 canal 5V compatível com Arduino, sendo equipado com um relé do fabricante *Tongling* com carga nominal 10A/250VAC, 10A/125VAC, 10A/30VDC. A figura 22 ilustra o respectivo módulo.

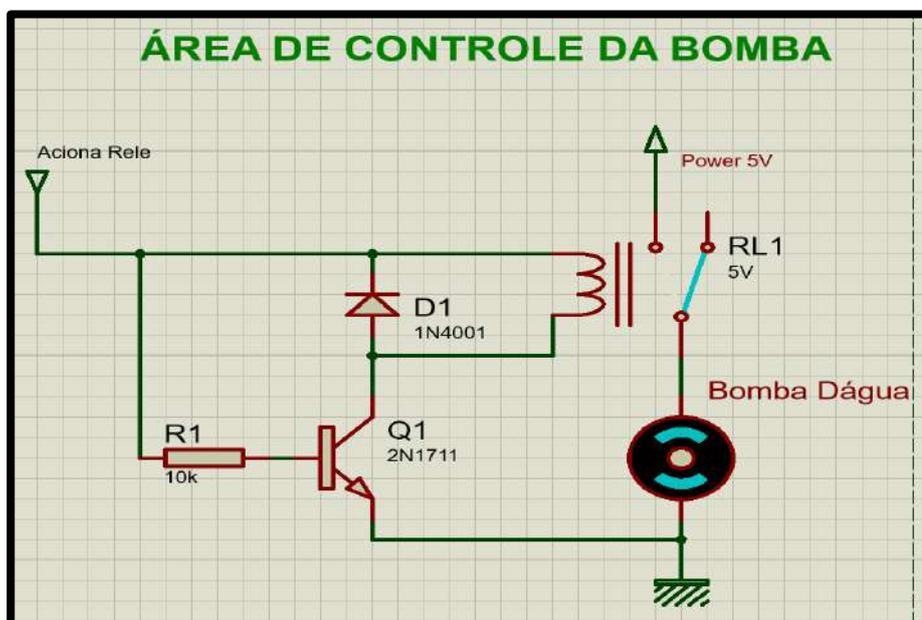
Figura 19 – Módulo relé para Arduino.



Fonte: Autor

Apesar da utilização do módulo, realizou-se uma simulação no *software* Proteus para ser testada a viabilidade da técnica, bem como a lógica de programação, antes mesmo de ser montado o circuito de acionamento da bomba. A figura 23 ilustra a simulação realizada. Assim, dependendo da leitura dos sensores, a lógica do Arduino envia um sinal para acionamento do relé e conseqüentemente acionamento da bomba.

Figura 20 - Simulação do circuito do relé.



Fonte: Autor

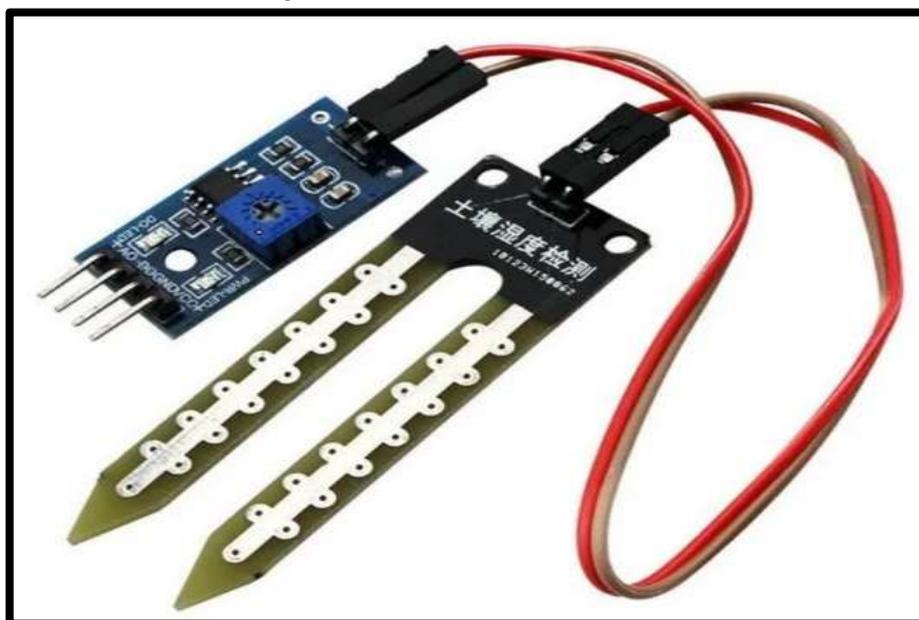
## SENSOR

No âmbito dos sensores de umidade, adotou-se como parâmetro de escolha a faixa de leitura, bem como o custo e sua disponibilidade no mercado, uma vez que em uma obra real, após o mesmo ser utilizado no concreto deverá ser descartado e substituído por outro

sensor. Assim, decidiu-se testar dois tipos de sensores com princípios de funcionamento distintos: o primeiro resistivo e o segundo capacitivo.

Logo, optou-se para o sensor resistivo um módulo de umidade de solo compatível com o Arduino. Este módulo é composto por duas sondas que realizam a medição da umidade por meio da aferição da corrente entre as sondas e, por um circuito com um potenciômetro que ajusta a sensibilidade. Assim, este sensor de umidade consiste em 2 partes: uma sonda que entra em contato com o solo, neste projeto o concreto, bem como um pequeno módulo contendo um chip comparador LM393 que vai ler os dados que vêm do sensor e enviá-los para o microcontrolador. Como saída, pode-se utilizar pinos digitais, que fica em nível 0 ou 1 dependendo da umidade ou pinos de saída analógica que possibilitam monitorar com maior precisão a umidade. O módulo tem um led que indica quando a placa está sendo alimentada corretamente, e outro que acende quando a saída digital for acionada. A dimensão da sonda é de 6 cm x 2 cm e sua tensão de operação 3,3 – 5V, apresentando leitura analógica alta para estado seco e baixa para úmido. A figura 24 ilustra o sensor resistivo.

Figura 21 – Sensor resistivo



Fonte: Autor

No que tange ao sensor capacitivo, a grande vantagem é que ele evita a corrosão por não criar um efeito galvânico, o que aumenta significativamente a vida útil do sensor principalmente em um ambiente como o concreto. De forma análoga, optou-se por um sensor cujo módulo é compatível com o Arduino, possuindo uma faixa de operação de 3.3 – 5V e dimensões de 22 mm x 102 mm x 7 mm. Sua faixa de leitura analógica para umidade é 520-430 para ambiente seco, 430-350 para úmido e 350-260 para molhado. O funcionamento do sensor se baseia na alteração da capacitância a partir da umidade do solo que neste projeto será o concreto. Para isso, existem dois eletrodos na placa do sensor que ficam distantes um do outro. É possível notar estes dois eletrodos no sensor reparando que eles formam um relevo na superfície da placa. Além disso, deposita-se uma camada de um material dielétrico ao redor deles. Essa camada garante a proteção contra a corrosão e forma um capacitor com os dois eletrodos. Entretanto, a camada não preenche todo o espaço entre os eletrodos, sendo assim, o concreto pode preencher este espaço sem

problemas. E, como o meio entre os dois capacitores dita o valor da capacitância, o concreto é capaz de alterar a capacitância do circuito. Por fim, o concreto úmido e o seco irão provocar variações diferentes na capacitância, resultando em leituras diferentes para os dois casos, conforme supracitado. A figura 25 ilustra o sensor capacitivo descrito.

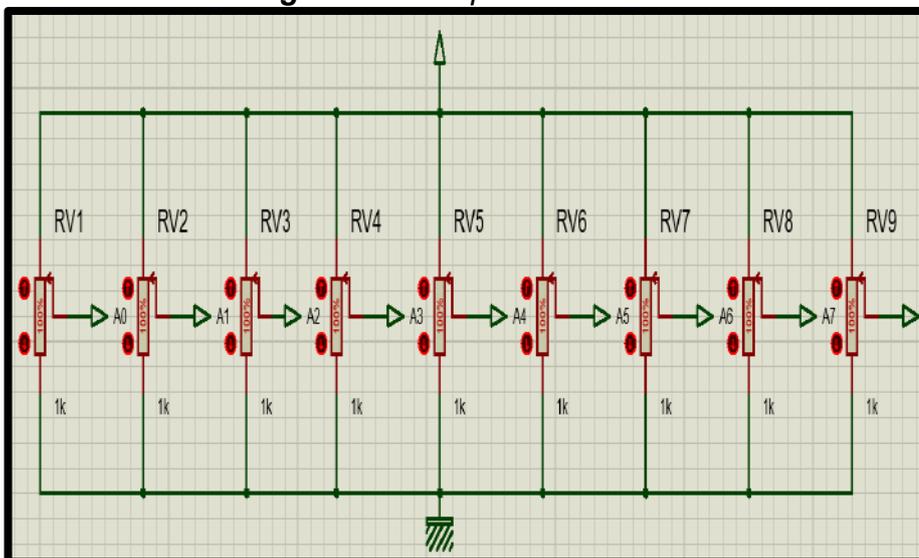
Figura 22 - Sensor capacitivo



Fonte: Autor

Finalmente, destaca-se a necessidade de implementação dos sensores na simulação eletrônica. Assim, optou-se por utilizar a leitura analógica de potenciômetros, conforme ilustrado na figura 26, visando simular os sensores resistivos e capacitivos descritos anteriormente.

Figura 23 - Esquemático do sensor



Fonte: Autor

## BOMBA E ASPERSOR

Objetivando utilizar uma bomba de baixo custo para maquete, bem como um equipamento que garantisse o recalque de forma eficiente da linha e o correto funcionamento dos aspersores, optou-se por utilizar uma bomba 12V de para-brisa de carro, sendo reutilizado neste projeto uma bomba adquirida em um ferro velho, extraída do veículo modelo Punto da marca Fiat, conforme ilustrado na figura 27.

Figura 24 - Bomba centrífuga



Fonte: Autor

No âmbito dos aspersores, utilizou-se um bico nebulizador de baixa pressão da marca Nutrijard, conforme ilustrado na figura 28, de dimensões 19mm x 47 mm com regulagem individual do jato de aspersão desde um raio de 10 cm até 150 cm.

Figura 25 – Aspersor

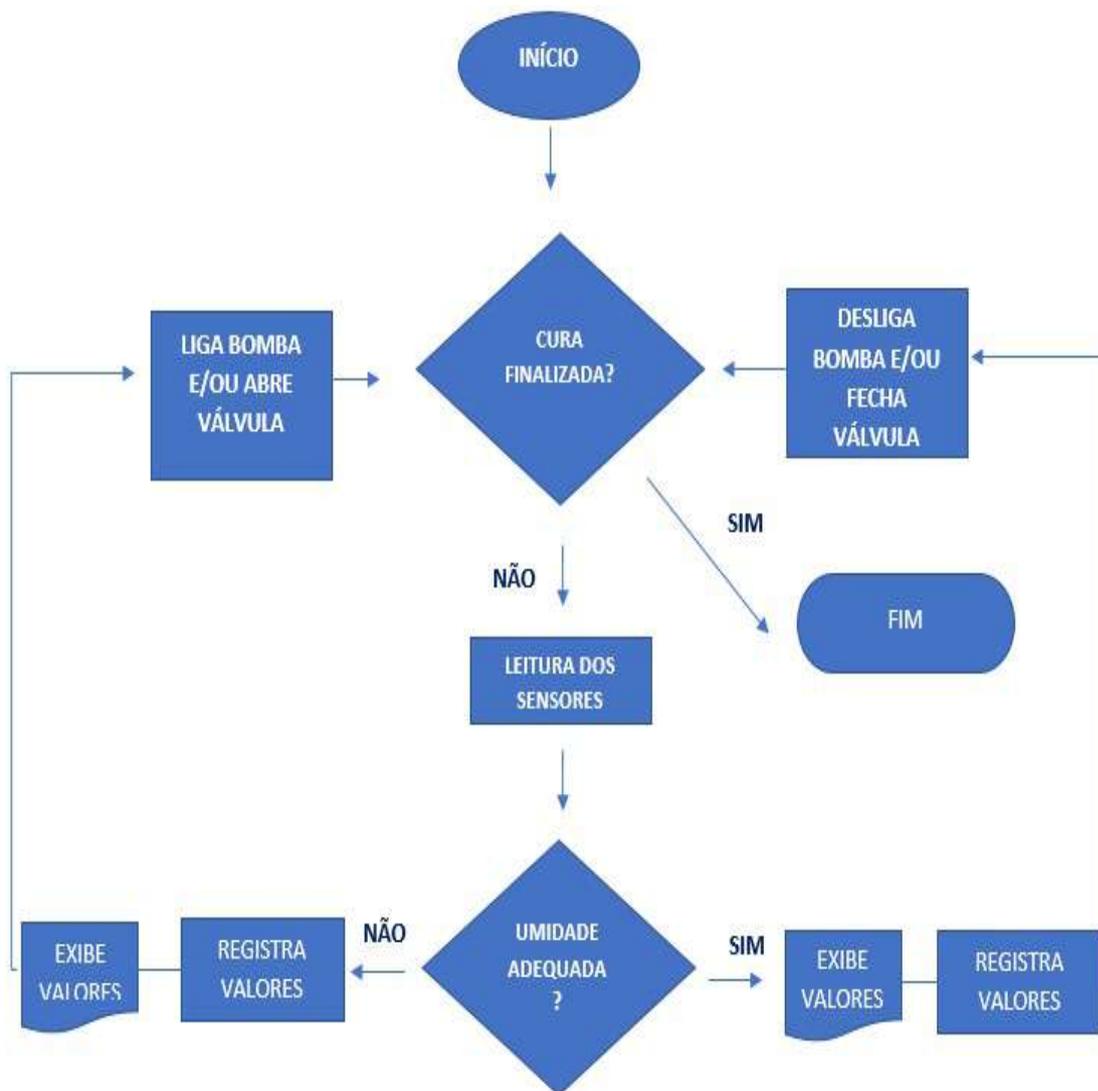


Fonte: Autor

## LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO

Inicialmente o programa realiza a varredura das entradas do microcontrolador, que expressam as leituras dos sensores, verificando dentro de uma condição *iff*, se está ou não dentro de um determinado parâmetro. Caso a média das leituras dos sensores não atenda os parâmetros, o sistema irá registrar e exibir os valores, encaminhando um comando para ligar a bomba e/ou o mecanismo de abertura da válvula. Entretanto se a média das leituras atender os parâmetros, os valores serão registrados, exibidos e um comando será enviado para desligar a bomba e/ou fechar o mecanismo da válvula. Este funcionamento se dá em um sistema cíclico fechado até que a cura seja finalizada. O fluxograma da figura 29 ilustra o texto supracitado.

Figura 26 – Lógica da programação



Fonte: Autor

## ESTUDO DE CASOS

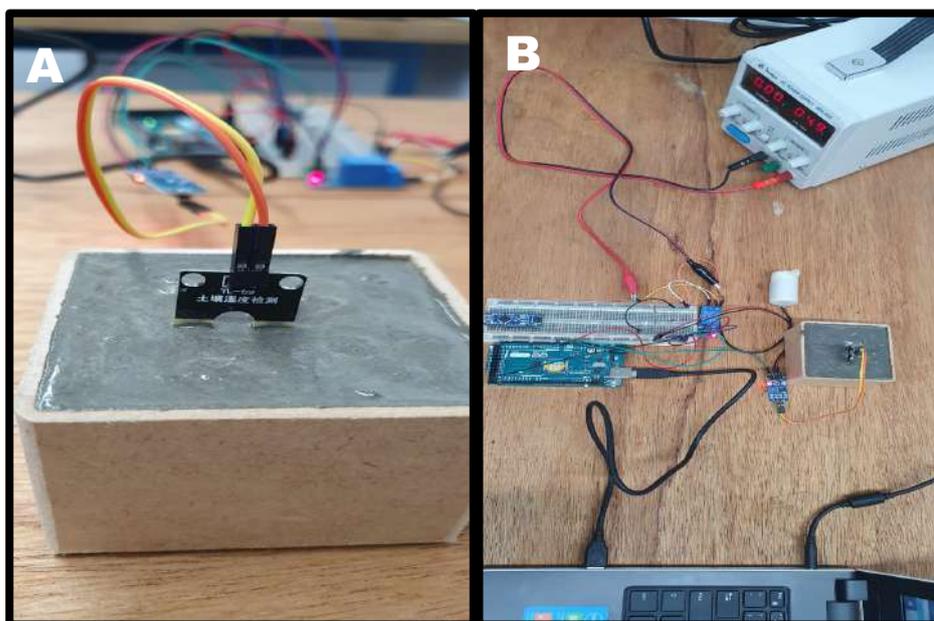
Após a finalização do desenvolvimento dos *hardwares* e da lógica de programação, estes foram avaliados com relação às funcionalidades desejáveis, bem como a eficácia do sistema de controle da cura úmida do concreto. Para isto, selecionou-se um conjunto de testes preliminares visando verificar a eficiência e o funcionamento dos sensores, bem como da bomba. Assim, realizou-se alguns testes individuais simulando seu funcionamento no protótipo final da maquete, objetivando avaliar:

- O posicionamento ideal do sensor;
- A vida útil do sensor quando utilizado no concreto;
- A coerência das leituras dos sensores;
- A capacidade de armazenamento e organização dos dados obtidos pelas leituras;
- O acionamento e o desempenho da bomba.

### TESTE 01

Utilizou-se um recipiente de madeira compensada com espessura de 4mm e dimensões externas de 5 cm x 5 cm x 6 cm, com preenchimento em concreto (proporção do traço 8 da tabela de Caldas Branco), visando testar o posicionamento do sensor resistivo, o seu funcionamento e o comportamento da umidade presente no concreto durante o processo. Adotou-se o posicionamento do sensor de forma vertical ao recipiente, cobrindo o mesmo com concreto por toda sua superfície. Este posicionamento foi inicialmente considerado, visando verificar a possibilidade do sensor medir a umidade por toda espessura do concreto, bem como testar a sua resistência ao trabalhar submerso. A figura 30A ilustra o posicionamento do sensor, enquanto a figura 30B demonstra a organização dos equipamentos eletrônicos para o monitoramento das leituras de umidade.

Figura 27 - Teste 01

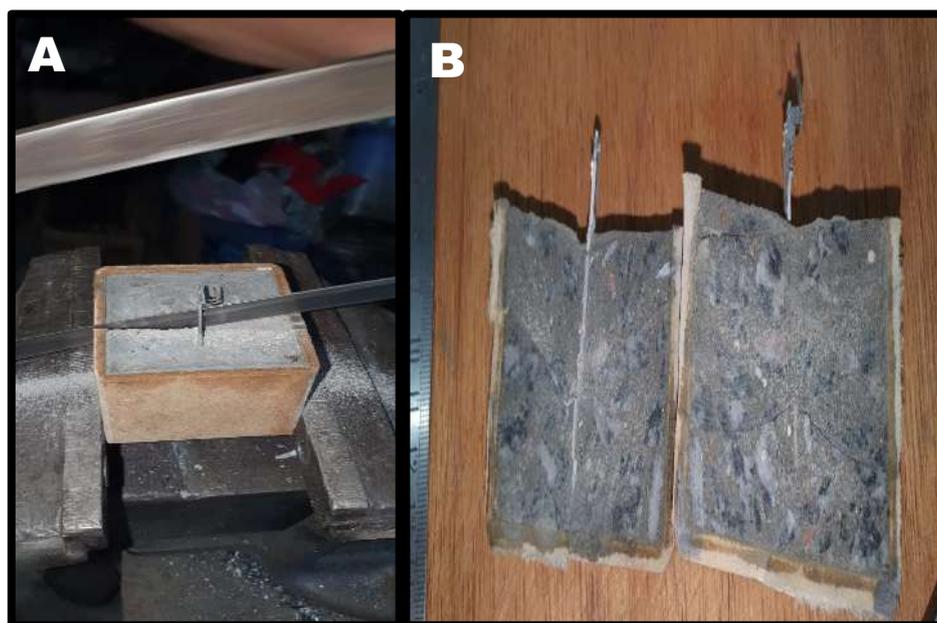


Fonte: Autor

Este teste foi realizado com impressão de leituras em intervalos de 15 minutos por um período de 2 dias, apresentando valores de leitura coerentes até um dado período. A partir do segundo dia o sensor parou de realizar as leituras.

Para maior aprofundamento do estado do concreto e do sensor, realizou-se um corte do corpo de prova, conforme ilustra a figura 31A, evidenciando que o interior do concreto apresentava umidade elevada, totalmente diferente da superfície exposta, que se encontrava totalmente seca ao toque. A figura 31B apresenta o interior do corpo de prova.

Figura 28 - Corte do corpo de prova



Fonte: Autor

Os valores de leitura dos dois dias de teste e as observações realizadas corroboram com as literaturas estudadas, demonstrando a permanência de umidade no interior do concreto e o processo de perda da água superficial devido ao contato com o ambiente que favorece as trocas de temperatura e, conseqüentemente, perda de umidade.

A durabilidade do sensor, a priori, não se demonstrou satisfatória por seu curto período de funcionamento, visto que, a normatização brasileira exige que a cura seja realizada nos sete primeiros dias a partir do lançamento do concreto, mas, para maior segurança, deseja-se que este período se estenda até o décimo quarto dia, para que haja garantia de não aparecimento de fissuras provocada pela retração do concreto (Araújo, Rodrigues e Freitas, 2010).

Em função da pandemia da COVID-19, da disponibilidade do mercado e do custo, os sensores foram adquiridos de forma online, porém a entrega do sensor capacitivo não foi realizada dentro do prazo estabelecido no momento da compra, o que inviabilizou sua utilização do sensor capacitivo neste teste.

## TESTE 02

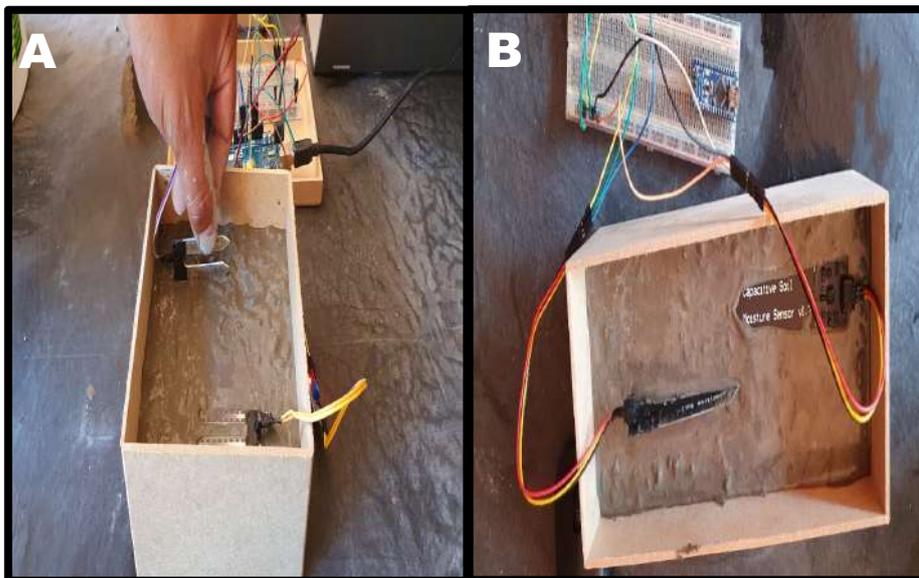
Para este teste foi utilizado 2 recipientes com medidas de 15 cm x 15 cm x 7cm e 25 cm x 10 cm x 7 cm respectivamente, preenchido com concreto com o mesmo traço do teste anterior. Para cada recipiente utilizou-se duas unidades de cada tipo de sensor (capacitivo

e resistivo) sendo alternados seus posicionamentos. Uma unidade foi posicionada no sentido horizontal em pé e outra no sentido horizontal deitado, todos situados a uma distância da superfície, correspondente à 40% da espessura do concreto do corpo de prova e cobertos por concreto até o total de 100% da capacidade do recipiente. Este posicionamento visa uma tentativa de adaptação do *Standard Test Method, Designation F2170-11 – ASTM International*, que descreve a troca de umidade com o ambiente ocorrendo até a profundidade de 40% da superfície. Através desta adaptação espera-se uma leitura mais satisfatória com relação à oscilação de umidade durante o processo de cura.

Optou-se por realizar um novo teste com o sensor resistivo, verificando se, de fato, a falha no seu funcionamento observada no teste 01 está realmente relacionada à falta de resistência do sensor ou, se por ventura, aquele sensor específico apresentava alguma falha em sua fabricação. Levou-se em consideração também o baixo custo do sensor e sua disponibilidade no mercado, visto que este trabalho tem como um de seus objetivos ser o mais econômico e viável possível. Também se optou por recipientes de tamanhos distintos, pois os sensores possuem tamanhos diferentes e com isso seria possível aproximar a área de cobertura e distanciamento de ambos. O intervalo de impressão e a duração das leituras foi mantido em 15 min por 2 dias.

A figura 32A ilustra o posicionamento dos sensores resistivos e a figura 32B demonstra os sensores capacitivos.

Figura 29 - Teste 02



Fonte: Autor

Neste teste pôde-se observar uma leitura coerente dos sensores, com valores representativos da oscilação de umidade. O sensor resistivo novamente apresentou falha de funcionamento no segundo dia de leitura, o que validou sua baixa resistência ao trabalhar totalmente submerso no concreto, enquanto o sensor capacitivo manteve seu processo de leitura.

Este teste auxiliou no entendimento do processo de perda de umidade, reforçando que esta perda é reduzida quando se permanece com a superfície úmida, comprovando-se pelos valores das leituras dos sensores a manutenção da umidade quando em presença

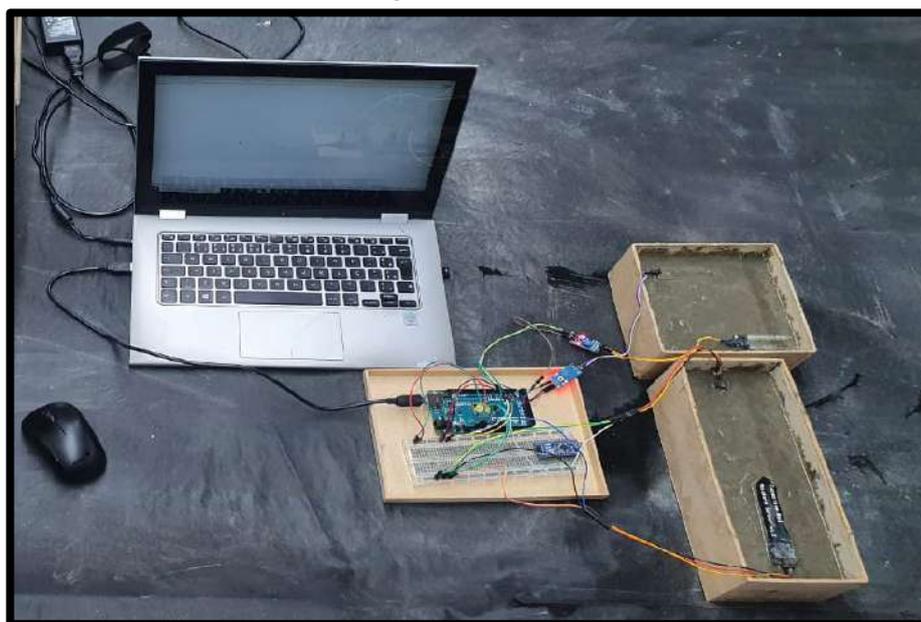
de irrigação (primeiro dia) e uma perda de umidade quando em ausência de irrigação (segundo dia).

### TESTE 03

Este teste representa um novo olhar no que tange o posicionamento dos sensores frente ao objetivo principal de manter a superfície úmida o suficiente para executar um bom processo de cura do concreto. Neste houve o reaproveitamento dos recipientes e do sensor capacitivo (testado externamente e comprovado seu pleno funcionamento), com o olhar da sustentabilidade, visto que a maioria dos seus componentes se apresentavam íntegros, não oferecendo comprometimento para alterar a realidade do teste a ser realizado.

Os sensores foram posicionados à cerca de 1mm de profundidade, estando expostos e não cobertos como nos testes anteriores, em sentido horizontal deitado em relação ao recipiente. O sensor resistivo foi novamente avaliado com objetivo de verificar se posicionado somente na superfície e não submerso, sua durabilidade poderia ser alterada e possivelmente ser aplicado de forma segura no projeto. Adotou-se o mesmo intervalo de impressão de leitura de 15 min por 2 dias. A figura 33 representa o processo de organização e leitura dos sensores neste teste.

Figura 30 - Teste 03



Fonte: Autor

Ao avaliar os dados de leitura foi possível observar e concluir neste momento que, o melhor posicionamento para os sensores é realmente na superfície, visando manter o processo de cura com o máximo de umidade. O sensor resistivo, mesmo exposto apresentou baixa resistência de funcionamento, também apresentando falhas de leitura no segundo dia, consequentemente sendo descartado seu uso para o teste final da maquete. Os valores de leitura demonstraram, de forma coerente, o momento em que o concreto começa a alterar a umidade da sua superfície, possibilitando realizar a irrigação antes que o processo de cura seja comprometido por ausência de água.

## TESTE FINAL: MAQUETE

O presente teste utilizou a maquete da laje descrita anteriormente, utilizando o mesmo traço escolhido para os demais testes e sendo utilizado apenas o sensor capacitivo, visto a baixa resistência do sensor resistivo. A figura 34 ilustra o despejo de concreto na maquete.

Figura 31 - Despejo de concreto na maquete final



Fonte: Autor

Utilizou-se o mesmo intervalo de impressão das leituras (15 minutos) com observação de 7 dias de funcionamento, com clima apresentando sol pela manhã e chuva ao final do dia. Foram utilizados 5 sensores sobre a superfície do concreto, sendo posicionados nas extremidades da maquete e um no centro. O circuito eletrônico de cada sensor foi coberto por isolante líquido com objetivo de não danificar o circuito durante o processo de irrigação. A figura 35 demonstra o posicionamento dos sensores.

Figura 32 - Posicionamento dos sensores



Fonte: Autor

O sistema de irrigação foi montado considerando toda área de alcance dos aspersores, dispondo de 3 unidades interligadas em linha reta na região central da maquete. A irrigação foi devidamente acionada todas as vezes que um sensor identificou redução de umidade, independente da região em que ele se encontrava. A figura 36 ilustra a esquemática dos aspersores.

Figura 33 - Esquemática dos aspersores



Fonte: Autor

Ao longo do processo de monitoramento algumas observações importantes puderam ser realizadas. Primeiramente, o isolamento dos sensores se faz extremamente necessário, pois com o tempo houve a formação de zinabre nos componentes eletrônicos dos sensores 3 e 4, o que gerou grandes oscilações na leitura dos sensores entre o primeiro e o segundo dia. No momento da identificação do problema, o sistema de irrigação foi manualmente desligado e os sensores substituídos. Houve monitoramento de forma visual e através das leituras dos sensores 1, 2 e 5 da umidade superficial da laje. Mesmo visualmente não sendo possível identificar a necessidade de irrigação, visto que a maquete estava aparentemente úmida, os sensores indicavam as leituras analógicas dos sensores se aproximando do valor de 350, indicando a transição entre o estado úmido e o seco. Para que não houvesse comprometimento da qualidade da cura, o sistema foi manualmente irrigado até a redução do valor analógico que indicou que a superfície estava devidamente molhada. Este fato corrobora com o grande valor que se agrega ao monitoramento do processo, reforçando que, monitorar de forma visual e irrigar de forma manual gera uma variável de sensibilidade humana, onde, o que parece estar molhado para uns pode parecer seco para outros. Esta variável humana pode tornar o processo de cura irregular, comprometendo a qualidade final do concreto. O procedimento de acompanhamento das leituras e irrigação manual foi realizado durante o processo de substituição, incluindo o tempo de preparo do sensor com o isolante, secagem e reposicionamento dos mesmos. Os valores de leitura não foram descartados, pois foram de suma importância para demonstrar que uma falha de sensor

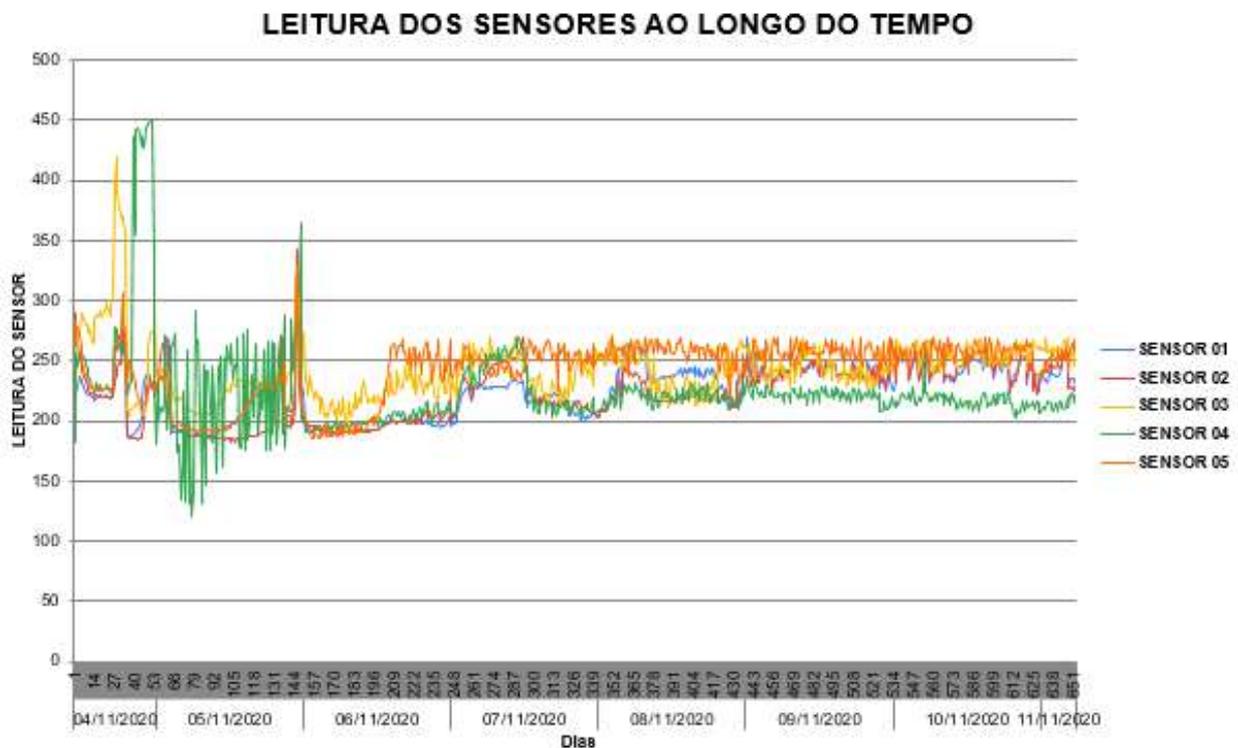
pode ser facilmente detectada pela leitura dos valores impressos na tela. Além disso, estes serviram de auxílio para identificação do melhor momento para irrigação manual da laje. A figura 37 ilustra o zinabre encontrado no sensor, enquanto o gráfico 3 demonstra os picos oscilatórios gerados por dois fatores: o momento de formação do gel de cimento, quando ocorre a reação exotérmica, durante aproximadamente as primeiras 12 horas (até a leitura de número 48) e a falha dos sensores 3 e 4.

Figura 34 - Zinabre presente na eletrônica do sensor



Fonte: Autor

Gráfico 3 – Valor da leitura x quantidade de leituras realizadas



Fonte: Autor

O sensor 5 apresentou descolamento da fita de leitura após o 7º dia de monitoramento, porém não se observou comprometimento dos valores analógicos impressos. Tais fatos podem ser observados na figura 38 e no gráfico 4.

Figura 35 - Descolamento da fita de leitura



Fonte: Autor

Gráfico 4 - Leituras do sensor 5

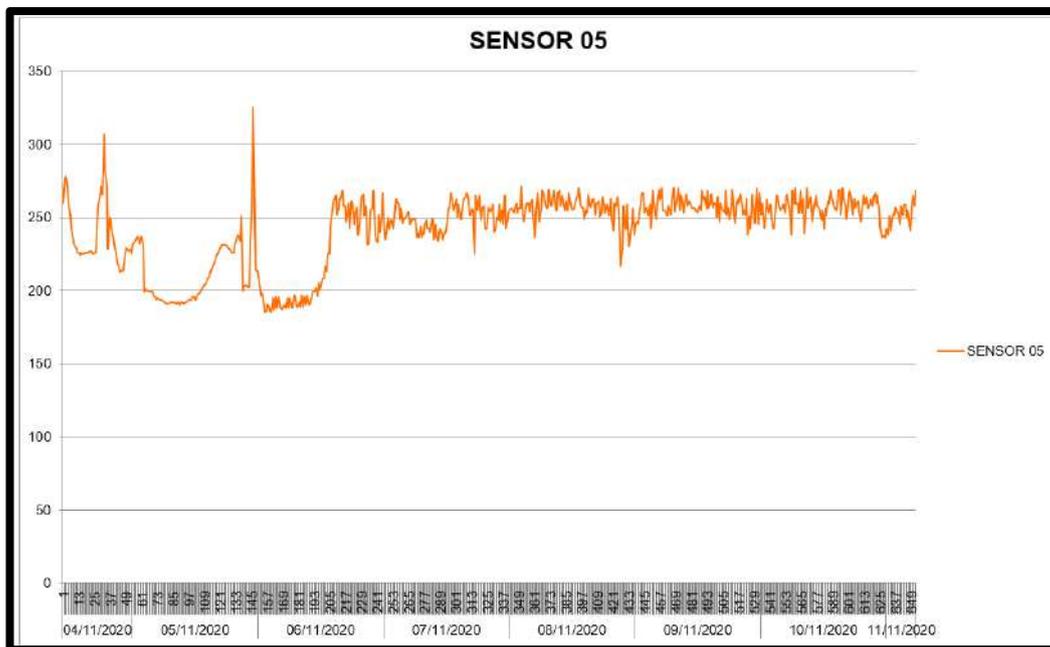
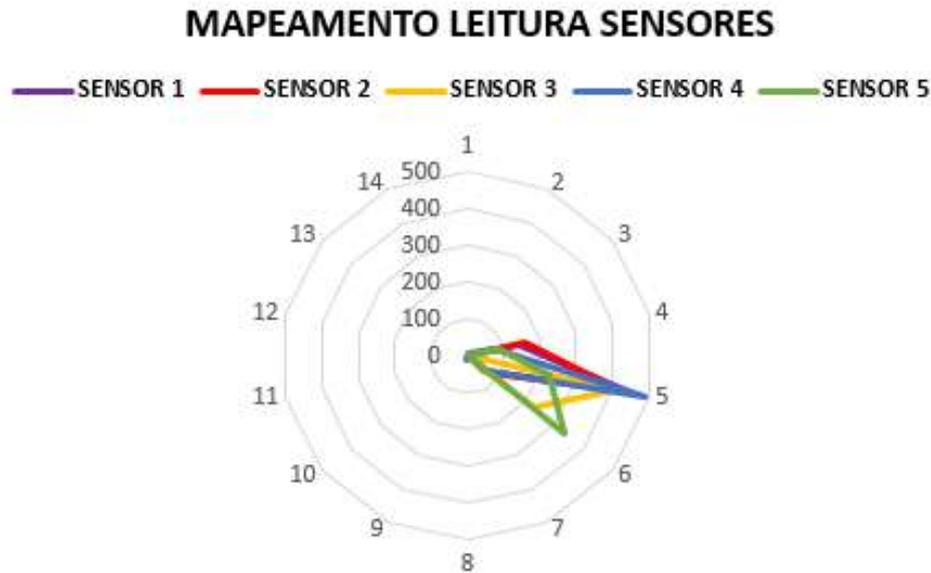


Gráfico 5 - Leitura analógica dos sensores capacitivos



Fonte: Autor

## CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema automático para o controle da cura úmida do concreto, visando o baixo custo financeiro de prototipagem. Além disso, foram definidos procedimentos de ensaio e metodologia de testes que corroboraram para validar os resultados e o sistema desenvolvido.

Devido a pandemia do COVID – 19, realizou-se com sucesso o desenvolvimento de um estudo de caso através de uma maquete que contemplou aspectos em escala de uma situação real. Assim, concebeu-se um protótipo que apesar das limitações validou a concepção do sistema, bem como evidenciou diversos problemas e oportunidades de melhorias na ideia original, as quais serão descritas neste capítulo como propostas de trabalhos futuros.

O sensor resistivo apresentou problemas de corrosão e conseqüentemente problemas de leitura após 2 dias em contato com o concreto, reforçando a premissa descrita neste trabalho que por causa do seu princípio de funcionamento, os problemas de corrosão no solo descritos na literatura poderiam ser acelerados dado a composição do concreto. Entretanto, o sensor capacitivo apresentou bom desempenho desde que seja cuidadosamente manuseado e posicionado na superfície do concreto, cancelando a premissa previamente mapeada devido ao seu princípio de funcionamento.

O *hardware* desenvolvido demonstrou ser robusto, uma vez que operou durante sete dias sem interrupção, bem como sua operação ocorreu conforme esperado, ou seja, acionando a bomba d'água sempre que os sensores identificavam baixa umidade e desligando imediatamente após obter a umidade necessária na superfície para prover uma cura de alta qualidade ao concreto. Assim, ao final do período de testes, a maquete não apresentou fissuras, trincas e rachaduras.

É importante ressaltar que o desenvolvimento completo de um sistema de controle utilizando recursos de baixo custo não é um trabalho trivial, principalmente para um graduando em engenharia civil. O processo de definição, desenvolvimento, construção e testes de cada subsistema é demorado e exaustivo, mas extremamente compensador

quando finalizado com êxito. As dificuldades enfrentadas para validação do conceito proposto foram muitas como, por exemplo:

- A entrega de equipamentos e componentes dado as dificuldades frente à pandemia;
- Locais de fácil acesso durante a pandemia para desenvolvimento de um estudo numa obra real;
- Recursos financeiros;
- Problemas de instrumentação eletrônica.

Entretanto, a maquete demonstrou ser uma solução totalmente viável para validar, mesmo que em escala, o conceito e a ideia proposta.

Outro aspecto de suma importância foi o monitoramento dos recursos financeiros utilizados neste projeto, uma vez que um dos objetivos específicos foi a prototipação de um sistema de baixo custo. O montante financeiro utilizado para a prototipação do sistema de controle autônomo para cura úmida do concreto foi inferior ao valor de R\$ 500,00. O quadro 4 resume os custos do projeto.

Quadro 1 - Quadro de custos

COMPONENTE	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	TOTAL
Arduino Mega 2560	R\$ 88,00	1	R\$ 88,00
Sensor Resistivo	R\$ 15,00	5	R\$ 75,00
Sensor Capacitivo	R\$ 23,00	5	R\$ 115,00
Bomba	R\$ 80,00	1	R\$ 80,00
Módulo Relé	R\$ 15,00	1	R\$ 15,00
Fontes de Alimentação	R\$ 50,00	2	R\$ 100,00
Aspersores	R\$ 7,00	3	R\$ 21,00
<b>TOTAL:</b>			R\$ 494,00

Fonte: Autor

Finalmente, espera-se que este trabalho, por ter alcançado sucesso na maioria dos objetivos a que se propôs, venha a contribuir para o desenvolvimento de processos de controle e qualidade da cura úmida do concreto.

## PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

As seguintes oportunidades de trabalhos futuros podem ser destacadas a partir deste trabalho:

- Percebeu-se que apesar de alguns sensores informarem que não havia necessidade de irrigação do concreto, bastava um único sensor em um local específico apontar a necessidade de água para que toda laje fosse irrigada. Assim, sugere-se adaptar o conceito do sistema para ao invés de distribuir igualmente água para todos os aspersores, fazer com que ele possa somente irrigar os locais que de fato necessitem de umidade, utilizando várias válvulas de controle ao invés de uma única;
- Realizar a cura úmida através do sistema desenvolvido em corpos de prova e rompê-los em laboratório, objetivando verificar de fato o aumento da resistência do concreto;
- Adaptar o sistema para uma obra real e realizar um novo estudo de caso, objetivando verificar eventuais problemas que a maquete não tenha demonstrado;
- Desenvolver um software interativo para monitoramento à distância, visando comodidade e flexibilidade de acesso aos dados de leitura;
- Ampliar a lógica de programação, incorporando um banco de dados, de onde possa ser gerado um relatório geral da cura do concreto, possibilitando ser arquivado junto

aos demais documentos da obra, estando assim, disponível para consulta sempre que for necessário;

- Possibilitar a comunicação entre os sensores e o microcontrolador de forma remota, reduzindo a quantidade de fios passando pela obra, o custo e o risco de alguém esbarrar em um fio e deslocar os sensores.

## REFERÊNCIAS

ABIKO, A. K.; GONÇALVES, O. M.. O futuro da construção civil no Brasil. Resultados de um estudo de prospecção tecnológica da cadeia produtiva da construção habitacional. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo- 2003. Disponível em: <[www.pcc.usp.br/files/text/personal.../Estudo%20setorial%20construcao%20civil5.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/personal.../Estudo%20setorial%20construcao%20civil5.pdf)> Acessado em: 21/06/2020.

ACATECH. National Academy of Science and Engineering. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Working Group, Germanz, 2013.  
ACI-308R/2001. Disponível em: <[http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20308R-01%20R08%20Guide%20to%20Curing%20Concrete\\_MyCivil.ir.pdf](http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20308R-01%20R08%20Guide%20to%20Curing%20Concrete_MyCivil.ir.pdf)> Acessado em: 12/07/2020.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). Committee 614: Recommended practice for measuring, mixing and placing concrete. EUA, 1959.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM International. F2170: Standard Test Method for Determining Relative Humidity in Concrete Floor Slabs Using in situ Probes. EUA: American Society For Testing And Materials.

ANDRADE, J. J. O.; TUTIKIAN, B. F. Concreto: ciência e tecnologia – resistência mecânica do concreto. São Paulo: IBRACON, 2011.

ANJOS, M. A. S. Avaliação da hidratação de pastas cimentícias com elevados teores de adições minerais. Braga: Revista Engenharia Civil Um, 2012.

ARAÚJO, L.; RODRIGUES, R.; FREITAS, F. Concreto de Cimento Portland. São Paulo: [s.n.], 2010

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM (ABESC). Manual do concreto dosado em central. São Paulo: Luxmídi, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Boletim técnico – Guia básico de utilização do cimento Portland. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/pesquisas>>

\_\_\_\_\_.NBR 11768-1/11768-2/ 11768-3: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

\_\_\_\_\_.NBR 12655: Concreto de cimento Portland: preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

\_\_\_\_\_.NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

\_\_\_\_\_.NBR 15575: Norma de Desempenho – Edificações Habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_.NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_.NBR 5738: Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_.NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_.NBR 7211: Agregados para concreto – Especificações. Rio de Janeiro, 2009.

BARBOSA, A.O.G. Controle de Robô Usando Técnicas Inteligentes, UERJ, 2008.

BAUER, L. A. F. Materiais da construção. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BRITISH STANDARD. Disponível em: <[http://allbeton.ru/upload/iblock/e65/bs\\_en\\_1008\\_2002\\_mixing\\_water\\_for\\_concrete\\_specification\\_for\\_sampling\\_testing\\_and\\_assessing\\_the\\_suitability\\_of\\_water\\_including\\_water\\_recovered\\_from\\_processes\\_in\\_the\\_concrete.pdf](http://allbeton.ru/upload/iblock/e65/bs_en_1008_2002_mixing_water_for_concrete_specification_for_sampling_testing_and_assessing_the_suitability_of_water_including_water_recovered_from_processes_in_the_concrete.pdf)> Acessado em: 18/06/2020.

CBCI. Câmara Brasileira da Construção Civil. Catálogo da Construção Civil. Brasília: CBIC, 2016

CNI. Confederação Nacional da Indústria. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br>> Acessado em: 08/06/2020.

COELHO, Pedro Miguel Nogueira. Rumo a Indústria 4.0. Coimbra 2016. Disponível em: <[www.estudogeral.sib.u.pt/bitstream/10316/36992/1/tese%20pedro%20coelho%20%3%a0%20industria%204.pdf](http://www.estudogeral.sib.u.pt/bitstream/10316/36992/1/tese%20pedro%20coelho%20%3%a0%20industria%204.pdf)>

EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. Arduíno em Ação. São Paulo: Novatec, 2013.

FERNÁNDEZ, L. L. Propuesta de indicadores de lá eficácia del curado em obra. Concreto y Cemento. Investigación e Desarrollo, v.1, n. 2. México, 2010.

FIRJAN. Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro Indústria 4.0. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A555B47FF01557D8802C639A4>> Acessado em: 13/07/2020.

GIONGO, J. S. Concreto armado: introdução e propriedades dos materiais. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007. Disponível em: <[http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Introd\\_Prop\\_Materiais.pdf](http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Introd_Prop_Materiais.pdf)> Acessado em: 29/07/2020.

HACHOUCHE, S.A. Apostila Arduíno básico v 1.0. Eletrogate. [2005?]. Disponível em <[http://apostilas.eletrogate.com/Apostila\\_Arduíno\\_Basico-V1.0- Eletrogate.pdf](http://apostilas.eletrogate.com/Apostila_Arduíno_Basico-V1.0- Eletrogate.pdf)> Acessado em: 02/07/2020.

HOPPE FILHO, J. Sistemas cimento, cinza volante e cal hidratada: mecanismo de hidratação, microestrutura e carbonatação do concreto. 2008. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia da Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

DINIZ, HUGO A. A.; JUNIOR, ITALO V. M.; OLIVEIRA, SAMUEL S.; SOUZA, KALINA J. M. Influência da cura por imersão em concretos convencionais. Revista Tecnologia e Informação. Disponível em: <<https://repositorio.unp.br/index.php/tecinfo/article/download/1289/868/>> Acessado em: 09/09/2020.

IBGE. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/27007-pib-cresce-1-1-e-fecha-2019-em-r-7-3-trilhoes>> Acessado em: 04/06/2020.

LAGUNA, L.A; HIKEMATSU, PAULA. A influência da temperatura na desforma do concreto, Revista Techne Edição 150, setembro de 2009

MARX, K. O capital: crítica da economia política. São Paulo: Difel, 1994.

McROBERTS, M. Arduíno Básico. São Paulo: Novatec, 2011. Disponível em <<http://alfasol.centroruthcardoso.org.br/wpcontent/uploads/sites/2/2014/10/capitulo9788575222744.pdf>> Acessado em: 14/07/2020.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto. Microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MONTEIRO FILHA, DULCE C.; COSTA, ANA C. R.; ROCHA, ÉRICO R. P. Perspectiva e desafios para inovar na construção civil. BNDES Setorial. Rio de Janeiro, 2010

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 2. ed. São Paulo: PINI, 1997.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Tecnologia do concreto. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PACHECO, J.; HELENE, P. Boletim técnico – controle da resistência do concreto. Mérida, México: ALCONPAT, 2013.

PATSKO, L.F. Tutorial Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores. Maxwell Bohr Instrumentação Eletrônica, PdP, 2006. Disponível em: <[http://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000\\_kdr5000/tutorial\\_eletronica\\_-\\_aplicacoes\\_e\\_funcionamento\\_de\\_sensores.pdf](http://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000_kdr5000/tutorial_eletronica_-_aplicacoes_e_funcionamento_de_sensores.pdf)> Acessado em: 18/06/2020.

PEDROSO, F. L. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Revista Concreto e Construção: IBRACON, 2009.

PETRUCCI, E. G. R. Concreto de cimento Portland. 13. ed. São Paulo: Globo, 1998.

PORTUGAL, M. A. Como Gerenciar Projetos de Construção Civil. Brasport, 2016

POWERS, T.C; BROWNYARD, T.L. Studies on the physical properties of hardened Portland cement paste. Chicago: P C A, 1948. (Boletim 22)

SILVA, B. A. Análise da influência do tipo de cura na resistência à compressão de corpos-de-prova de concreto. 2009. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, ITA (Instituto Tecnológico da Aeronáutica), São Paulo, 2009.

VILEFORT, Leandro S. et al. Amplificador de potência classe d alimentado com fonte de tensão cc simples ou simétrica. VII CEEL, Uberlândia – Minas Gerais, 29 out. 2010. VIII Conferência de Estados Engenharia Elétrica, p. 1-6. Disponível em: <<https://www.peteletricaufu.com/static/ceel/doc/artigos/artigos2010/ceel201058.pdf>.> Acesso em: 13/08/2020.

WENDLING, M. Sensores. Guaratinguetá: UNESP, 2010. Apostila.

**Luana Freire Araújo**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

**Bruno Matos de Farias**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

## RESUMO

O Gesso é descendente da gipsita, mineral extraído da pedra gipso e composto do sulfato de cálcio hidratado. Ele é encontrado praticamente no mundo todo, principalmente em território brasileiro, onde cerca de 91,5% é na região do Araripe polo gesseiro de Pernambuco. O setor da construção civil está constantemente melhorando e criando novos métodos e processos na execução de obras, com a necessidade de produtos que facilitem a execução do serviço e ainda sim com o propósito de melhorar o desempenho dos materiais utilizados. O sistema de revestimento em gesso é bastante usado na construção civil brasileira como acabamento de gesso interno em pasta de gesso, gesso acartonado e forro de gesso. Contudo o gesso vem ganhando seu espaço na construção devido às suas características e grandes vantagens, sendo os pontos fortes o custo mais baixo, a rapidez na execução para o andamento de outros serviços e outras vantagens. Diante deste quadro, foi realizado estudos de revisão bibliográficas, onde foram considerados os pontos de produtividade, qualidade e custos dos tipos de gesso citados. Esse trabalho é de caráter descritivo e de natureza exploratória, analisando as questões referentes ao gesso na construção civil e a aplicação dele, onde um estudo de caso comparativo mostra valores de produtividade e custos que não podem ser desprezados. Por fim, o resultado obtido foi que o gesso é um ótimo aliado para o mercado da construção, sendo economicamente viável, apresentando bastantes resultados positivos, expressando principalmente os ganhos econômicos e acaba sendo uma solução mais eficiente, analisando esse material pelas vantagens e desvantagens.

**Palavras-chave:** Gesso; Empregabilidade; Construção Civil

## INTRODUÇÃO

No setor da construção civil há uma busca permanente por métodos e técnicas construtivas melhores e mais eficientes, particularmente as que trazem à tona materiais e procedimentos mais sustentáveis. Na busca por essas alternativas possíveis, técnicas e financeiras, o gesso é um material que atende essa busca incansável em uma obra (COSTA, 2015).

Extraído da gipsita e composto do sulfato de cálcio hidratado, o gesso é conhecido mundialmente devido seu fino acabamento e variabilidade de uso na construção civil. Encontrado há milênios de anos a.C e tendo sua melhoria a partir do século XX, a fabricação do material teve muitos avanços e assim o produto foi conhecido em suas

diversas formas. Na construção civil, a empregabilidade do gesso apresenta crescimento devido ao seu baixo custo orçamentário, rápida execução e facilidade de manuseio comparado a outros tipos de materiais. Devido ao seu alto uso, isso acaba afetando em perdas e grandes quantidades de resíduos, por conta as vezes de mão de obra não qualificada, interferindo na sanidade do meio ambiente. Mas mesmo com perdas significativas, esses resíduos podem ter aproveitamentos para outros fins e fazendo com que o gesso seja um material sustentável (BARZOTTO, 2017).

O gesso é um ponto de alternativa bem importante para minimizar os problemas de moradia no país, pois é no Brasil que existe a maior reserva mundial do derivado da gipsita. Fazendo com que assim quase toda gipsita seja voltada para o campo da construção civil (ROCHA, 2007).

A cada dia o setor da construção civil vem pesquisando melhorias para o desenvolvimento de uma obra, com isso, buscam materiais com funcionalidade e desempenho que atendem a eficácia e exigências normativas. Materiais menos agressivos, rápida execução e acabamento bom são pré requisitos de materiais buscados para uma obra sustentável. Porém, ao mesmo tempo que visam soluções sustentáveis, ecologicamente corretas, buscam também a parte da economia, e um exemplo de material que atende essas funções citadas, é o gesso. Seja ele em pasta (gesso liso), *drywall* ou placas comuns, ele é muito menos agressivo, pois emite menos gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e é econômico em relação a outros tipos de materiais (QUEDINA, 2018).

Na área da construção civil existe uma perda estimada para cada tipo de gesso, o gesso acartonado tem uma perda significativa na construção devido aos cortes dado no material, estima-se uma porcentagem de 5% no Brasil, pois o acartonado nos Estados Unidos tem uma perda maior devido mais utilidade do *Drywall*, variando em torno de 10 a 12% a perda do material. Já o gesso liso, usado no revestimento de alvenarias, tem um desperdício maior, pois tem uma rápida velocidade no endurecimento (tempo de pega) do gesso e falta de mão de obra qualificada para que evite alguns desperdícios. Pela média estipulada à perda na construção civil chega a ser de 45%, uma porcentagem maior que o processo de fabricação do mesmo que fica em torno dos 30% (JOHN, 2000).

Mesmo com algumas perdas estimadas, o futuro das obras vem apontando o gesso como aliado, pois apresenta rápida execução, facilidade de manuseio e variadas formas de aplicações, trazendo assim produtividade e baixo custo comparado a outros tipos de revestimentos. Pasta de gesso para revestimento interno, divisórias de gesso acartonado ou *Drywall* e placas de gesso para forros são aplicações principais usadas em uma construção civil. Com a grande demanda desse material acaba interferindo no meio ambiente, pois gera grandes quantidades de resíduos, com isso é muito importante focar também na parte de um descarte correto em aterros especiais, obedecendo às leis, afim de que, aquele resíduo seja reciclado. Associação do *Drywall* em 2015 diz que, uma boa gestão ambiental de uma construção civil, pode ter benefícios de redução de custo, produtividade, evita desperdícios e consequentemente ajuda no meio ambiente, sendo assim uma obra sustentável (SILVA, 2013).

Com levantamento bibliográfico e de artigos do google acadêmico, as informações coletadas através desses estudos, mostram que o gesso é um material de acabamento interno excelente para substituição de outros tipos de revestimento, divisórias provisórias ou definitivas, resistências mecânicas e o principal, visando o custo final e apresentando a qualidade e alto desempenho desse material tão versátil.

De acordo com o trabalho apresentado tem como objetivo, apresentar as diversas formas de aplicações do gesso na construção civil, tendo como específico apresentar a aplicação no Brasil, identificar vantagens e desvantagens desse material, dando ênfase no gesso de revestimento (pasta de gesso), gesso acartonado (*Drywall*) e gesso de rebaixo.

Atualmente, há uma aceleração e investimento para redução e otimização de processos construtivos no mercado da construção civil, que revestem novas técnicas e métodos com pequenos custos, alta produtividade e prazos menores. Devido ao ramo da construção civil estar se desenvolvendo ainda mais e em constante inovação, os materiais foram tomando aperfeiçoamentos para que atenda com objetividade na parte de velocidade, economia e acabamento dentro das construções. Seja em revestimentos, divisórias e rebaixos, as aplicações do gesso vem ganhando mais espaço em um canteiro de obra. A ideia da aplicação do gesso é justamente para aproveitar e ganhar tempo comparado a outros tipos de materiais, porque atende o que o cliente procura e com isso, justifica-se o estudo para que apresente e aponte as características específicas desse material, mostrando que o mesmo pode apresentar vantagens, poupando tempo e economizando no orçamento.

## **METODOLOGIA**

O presente artigo trata-se de um estudo de revisão bibliográfica, qualitativo e exploratório onde os dados foram coletados analisando as questões referentes ao gesso na construção civil e sua aplicação.

Do material bibliográfico levantado foram usados periódicos, monografias e livros organizados, nas bases de dados de bibliotecas virtuais, limitados às línguas portuguesa, inglesa e espanhola.

Os descritores utilizados foram: Gesso, Construção civil e empregabilidade.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

### **HISTÓRIA DO GESSO**

O gesso é um dos materiais mais antigos usado pelo homem na construção, ele é um mineral extraído da gipsita composto principalmente de sulfato de cálcio hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e é encontrado em grandes quantidades na natureza com formas de pedras de gipso ou gipsita, como mostra a figura 01. Estudos arqueólogos tiveram descobertas de que o gesso já era usado no oitavo milênio a.C, encontrado na Síria e Turquia. Foi utilizado também em barragens e canais na África. A partir do século XVIII, o gesso se popularizou na Europa na parte de correções de solos, mesmo ainda sendo um material só de fabricação empírica. Mas foi em 1768, que o francês químico Antoine Lavoisier apresenta o 1º estudo científico sobre os fenômenos que estão na preparação do gesso, apresentado para Academia de Ciências Francesa (FERNANDES, 2017).

**Figura 01** - Pedras de gipso ou gipsita



Fonte: <https://www.padraogypsumbrasil.com.br/historia-do-gesso/> acesso: 24/09/2020.

De acordo com Quedina (2018), o gesso começou ser utilizado como material de construção no século III e IV a.C., devido ter gesseras na Síria e Fenícia. Esse gesso era utilizado na confecção de argamassas de preenchimento aplicadas entre as ornamentações e de estátuas de baixo relevo. Na época barroca, período renascentista foi aonde teve mais empregabilidade do gesso, pois surgiu o gesso hemihidratado, produzido do gesso natural e fazendo com que se criasse um gesso para revestimento decorativo.

Depois disso no século XIX vários autores estudaram e explicaram cientificamente a desidratação do gesso, e com isso, facilitou o processo de transformação dos equipamentos, mas só a partir do século XX, que a tecnologia começou a melhorar, os equipamentos para a fabricação do gesso tiveram avanços, resultando nos equipamentos atuais, assim o produto teve mais empregabilidade para o homem nas suas diversas formas. Ele é encontrado praticamente no mundo todo e sua forma de consumo é branca, mas antes das etapas de fabricação, podem-se encontrar impurezas que deixam o gesso amarelo, cinza ou marrom (OLIVEIRA, 2013).

**Curiosidade:** Na França, o uso do gesso foi tornado obrigatório nas construções depois do incêndio ocorrido em 1666. O rei Luís XIV ordenou esse decreto em 1667 pois sabia das características do gesso sendo resistente ao fogo e assim as casas começaram a ser revestidas de gesso, onde teve um grande aumento no mercado (IBDA, 2011).

## **GESSO NO BRASIL**

No Brasil, a gipsita é facilmente encontrada em bacias sedimentares, 60% do território é recoberto por essa formação. No território brasileiro os principais depósitos de gipsita estão concentrados nas regiões Norte e Nordeste, tendo a maior concentração de gipsita no estado de Pernambuco, principal produtor do Brasil e com esse destaque, é chamado “polo gesseiro do Araripe”, ficando responsável por 91,5% da produção nacional. Em seguida, tem os demais produtores de gesso, sendo eles: Maranhão com 4,9%, Ceará 2,4%, Amazonas 1,1% e Tocantins com 0,1% (PEREIRA, 2014).

A maior reserva mundial é encontrada no Brasil, mas só representa 1,4% da produção mundial e sua fabricação é mais voltada para atender o mercado de construções, pois existe nele ótimas propriedades e características peculiares que fazem contribuições fortemente para que apresente o gesso como material de grande importância para área da construção e o potencial para substituir outros materiais que atendem o mesmo serviço, mas que o gesso leva em vantagens nos fatores de rápida execução, qualidade e baixo custo (ROCHA, 2007).

Atualmente, os maiores produtores da gipsita para a produção mundial são: Estados Unidos (17%), Irã (10%), Canadá (8%), México com (7%) e a Espanha com sua produção de (6,8%) (BALTAR, 2005).

## ONDE O GESSO É USADO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

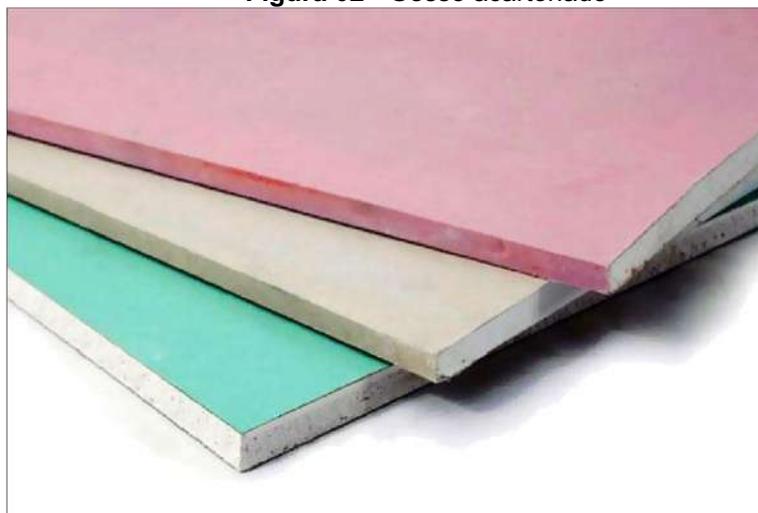
A maior aplicação e utilização do gesso é na área da construção civil, (revestimento de paredes, rebaixo para esconder lajes indesejadas e gesso acartonado para divisórias, chamadas de *Drywall*). Ele pode ser aplicado em qualquer área interna e de diferentes jeitos, se for utilizado em áreas úmidas, como banheiros, cozinhas e área de serviço, deve-se haver proteção por cima para conservação do material, o gesso liso não se aplica nesse ponto, pois ao ter contato com a água, ele dissolve. Em obras que tem portas corta-fogo, o gesso é a melhor opção para a confecção do esquadro dessas portas, pois ele é um material resistente ao fogo, garantido uma maior segurança (MUNOZ, 2006).

As placas de *Drywall* são utilizadas devido suas finalidades e cada cor é apropriada para determinado lugar. Os rebaixos conhecidos como forro de gesso também são bastante procurados por conta de um acabamento mais sofisticado, pra quem busca sofisticação e design arquitetônicos e por fim, gesso liso que é ótimo para se moldar e bom na aderência para revestimentos de paredes e tetos (VOGADO, 2019).

## TIPOS DE GESSO MAIS USADOS NA CONSTRUÇÃO

**Gesso acartonado:** Material que ganhou notoriedade por ser de construção a seco, tem denominação em inglês como "*drywall construction*". Essas placas foram inventadas em 1894, mas só em 1940 se popularizou nas construções nos Estados Unidos e no Brasil foi na década de 1970. Material com objetivo de reduzir custo, resíduos e desperdício, ele é aplicado em diversas áreas como, por exemplo, divisórias substituindo paredes de alvenarias e sem necessidade de argamassa, podendo ser paredes provisórias ou definitivas. Sua forma de aplicação é acompanhada de alguns materiais para suporte chamados de guias e montantes, esses perfis metálicos são utilizados para fazer a estrutura das placas e seu uso é normalmente interno porque não oferece tanta resistência estrutural. Conforme a figura 02, as placas acartonadas (*Drywall*), se dividem em três tipos: Branca ST (comum), Verde RU (umidade) e Rosa RF (resistente ao fogo) e cada uma é apropriada para cada lugar (COSTA, 2015).

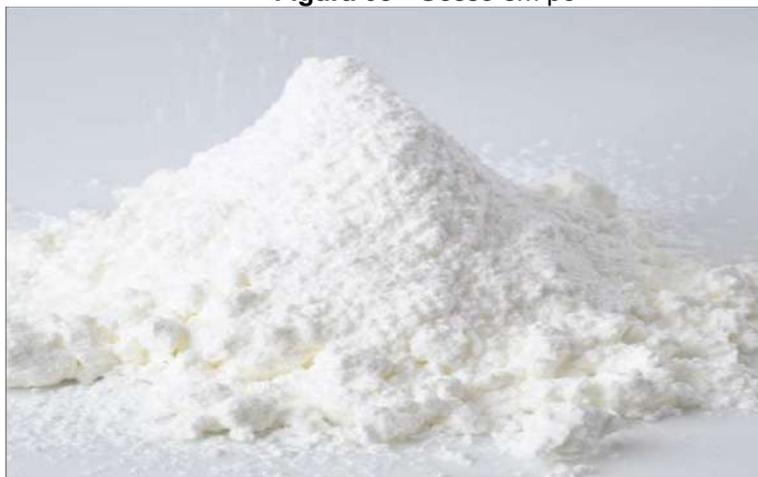
Figura 02 - Gesso acartonado



Fonte: <https://engenheironocanteiro.com.br/vedacoesverticais/gesso.acartonado/> acesso: 29/09/2020.

**Gesso de revestimento**: Produzido quando a calcinação é realizada com agitação da massa em fornos com temperaturas que variam de 140 a 160°C, liberando água e desidratando, formando assim cristais mal formados. Sua aplicação é em pasta, sendo manuseado em paredes e tetos, geralmente substituindo rebocos ou massas de acabamento. Vale lembrar que o “tempo de pega” é muito importante para que se atente e seja suficiente para que o aplicador possa concluir o serviço antes do endurecimento do material. A figura 03 mostra o produto final da matéria prima que é o gesso.

**Figura 03** - Gesso em pó



**Fonte:** Engenheiro no canteiro acesso em: 29/09/2020.

**Gesso rebaixo**: São utilizados para criar um ambiente com efeito estético ou com uma função de esconder vigas e lajes indesejadas ou imperfeitas. No Brasil, essas placas de gesso com dimensões de 60x60 centímetros vistas na figura 04, são bastante usadas em construções, pois tem uma facilidade de instalação e são extremamente econômicas, sem falar que se adequam a qualquer projeto de rebaixamento. O rebaixo proporciona flexibilidade e com ele podemos ter variadas formas arquitetônicas como, por exemplo, sanca e nichos, podendo ser reto ou ter curvas dando um ar de modernidade e elegância.

**Figura 04** - Placas de gesso



**Fonte:** <https://www.drycentergesso.com/produto/placa-de-gesso-60x60/> acesso:30/09/2020.

**Sanca:** Moldura ornamental, essa palavra estranha “sanca” é para usar quando se faz junção da parede com o teto com objetivo de esconder luminárias ou ser decorativo, na figura 05 pode-se ver uma sanca com iluminações embutidas para dá um ar de modernidade.

**Figura 05** - Sanca com a iluminação embutida



Fonte: <https://defatoonline.com.br/acesso:30/09/2020>.

**Nichos:** Feitos para decoração e colocação de objetos, ele se alinha na parte de design do cômodo, como por exemplo, pode ser instalado para cabeceira da cama, como prateleiras, entre outros. Figura 06 mostra-se um tipo de nicho.

**Figura 06** - Nicho



Fonte: [habitissimo.com.br/foto/nicho-em-gesso-acartonado/acesso:30/09/2020](http://habitissimo.com.br/foto/nicho-em-gesso-acartonado/acesso:30/09/2020).

## VANTAGENS E DESVANTAGENS

A utilização de gesso na construção civil é bastante eficiente devido suas propriedades que o fazem importantes devido alguns pontos, mas assim como todo material tem seus pontos positivos, o gesso apresenta algumas desvantagens que fazem com que seu uso seja limitado, de acordo com o quadro 01.

**Quadro 01:** Vantagens e Desvantagens.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Facilidade de moldagem, fazendo com que o gesso fique fácil para manusear.	Não pode ser usado em áreas externas, pois em contato direto com água, ele dissolve.
Boa aparência, fazendo com que o gesso depois de aplicado apresente superfície lisa e eliminando a necessidade de usar outro material para que deixe a superfície com aspecto de bom acabamento.	Material sujeito a proliferação de fungos e bactérias nos espaços vazios entre placas.
O gesso é um bom isolante térmico e acústico, devido o fator de ter uma baixa condutividade térmica e um elevado coeficiente de absorção acústica.	Resistência baixa a pancadas comparado a outros materiais, como o tijolo convencional.
Boa aderência a alvenaria, podendo ser aplicado diretamente sem necessidade de chapisco e sendo um ótimo revestimento de paredes e tetos.	As placas de <i>Drywall</i> não podem ser usadas para substituição de lajes pois não apresentam resistências estruturais.
Produtividade elevada comparada a outros materiais, pois sua aplicação é mais rápida e fácil e seu tempo de cura é menor fazendo com que assim comece a pintura mais cedo.	Material com endurecimento rápido fazendo com que tenha desperdícios.

Fonte: Do autor (2020)

## FORMAS DE APLICAÇÃO DO GESSO

A seguir será abordado sobre a aplicação do gesso na construção civil.

**Gesso acartonado:** Para realizar sua montagem, é necessário alguns suportes que acompanham, isso é, fazer o encaixe das placas e até mesmo obter espaço entres elas para a passagem de instalações elétricas. Segundo Costa (2015), é necessário colocar estruturas metálicas, chamadas de guia e montantes, onde as guias são estruturas colocadas na horizontal, enquanto os montantes são colocados na posição vertical, eles tem a espessura conforme o projeto e são instalados para dar suporte na colocação das placas de gesso acartonado, vale lembrar que antes de fixar as placas no lugar escolhido, faz-se as instalações hidráulicas e elétricas, para que não ocorra algum erro e evite o desperdício do material.

**Passo 1:** Alinhar a estrutura metálica (montante) na parede com o prumo, como mostra-se na figura 07, lembrando que o montante é a estrutura metálica que tem furos para a facilidade da colocação da bucha e parafuso;

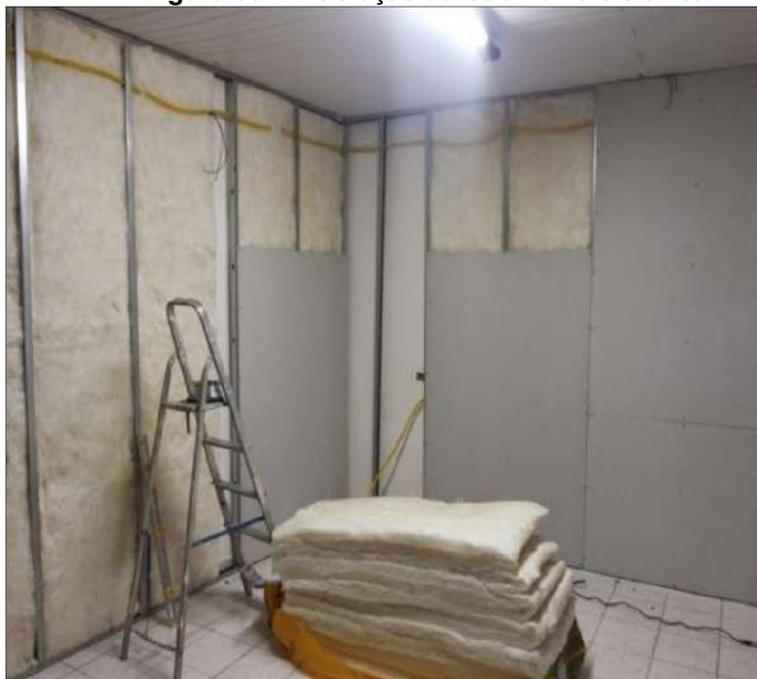
**Figura 07 -** Montagem do montante para formação da estrutura



Fonte: <https://www.decorfacil.com/parede-de-gesso/acesso: 14/10/2020>.

**Passo 2:** Coloca-se em um lado as placas para dar suporte para as futuras instalações de isolamento e elétrica, como mostra a figura 8.

**Figura 08 -** Instalação do isolamento e elétrica



Fonte: <https://www.decorfacil.com/parede-de-gesso/acesso: 14/10/2020>.

**Passo 3:** Conforme na figura 09, repita a colocação das placas no lado oposto, verificando a posição da placa para que evite emendas no mesmo local.

**Figura 09** - Fechamento do ambiente com as placas acartonado



Fonte: <https://www.decorfacil.com/parede-de-gesso/acesso: 14/10/2020>.

**Passo 4:** Após o fechamento do local (figura 10), coloca-se as fitas teladas entre a união de duas placas e as emendas, onde o objetivo dessas fitas é dar o acabamento correto e a ideia de continuidade das placas, sendo aplicadas com pasta de gesso para grudar, tendo o nome desse processo de “rejunte das placa”.

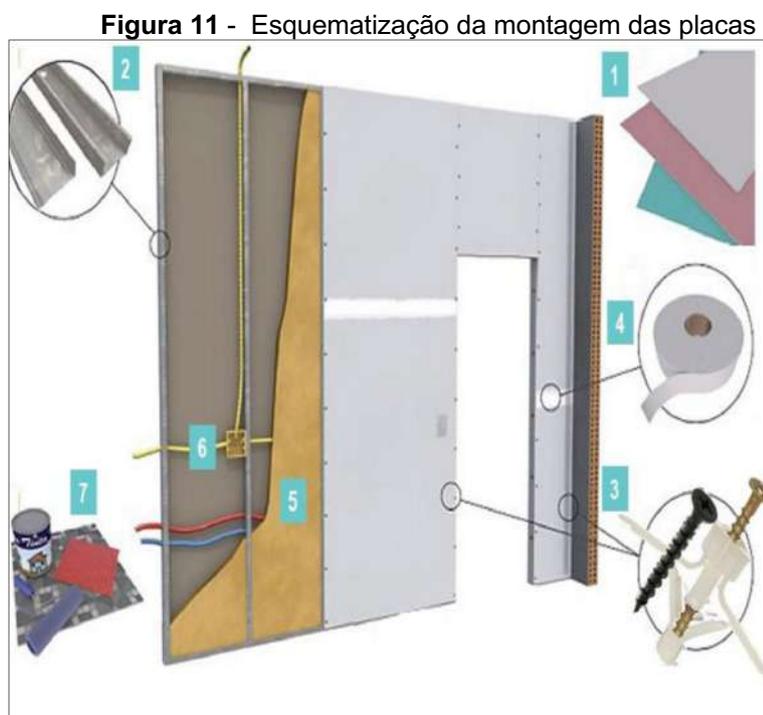
**Figura 10** - Rejunte das placas com fita telada e pasta de gesso



Fonte: <https://www.decorfacil.com/parede-de-gesso/acesso: 14/10/2020>.

**Passo 5:** O momento mais esperado, onde é a parte que lixa e a parede está pronta pra receber qualquer tipo de aplicação, sendo pintura ou revestimento.

Na figura 11 é visualizado o esquema de montagem das placas acartonadas.



Fonte: <https://www.decorfacil.com/parede-de-gesso/acesso: 15/10/2020>.

Sendo:

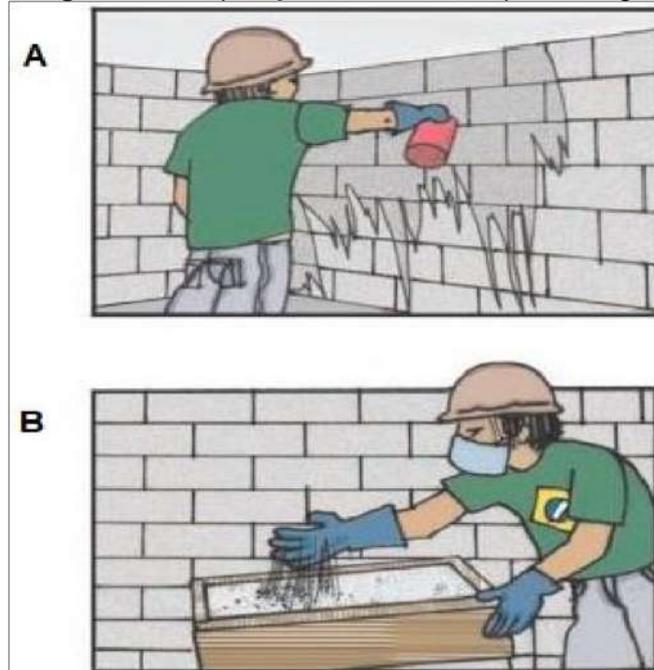
- 1- Placas de gesso acartonado (branca, rosa e verde)
- 2- A estrutura metálica, chamada de guias e montantes
- 3- Buchas e parafusos
- 4- Fita telada
- 5- Instalação do isolamento termo acústico
- 6- Conduítes para a instalação elétrica
- 7- Materiais para lixar e dar o acabamento final

**Gesso de revestimento:** De acordo com Fernandes (2017), o gesso pode ser aplicado em três tipos, sendo forma desempenada, sarrafeada e projetada.

### **Desempenado**

**Passo 1:** Como mostrado na figura 12A, molha-se a parede para melhor aderência do material. Já na figura 12B, faz-se a pasta de gesso polvilhando o material para fazer a mistura.

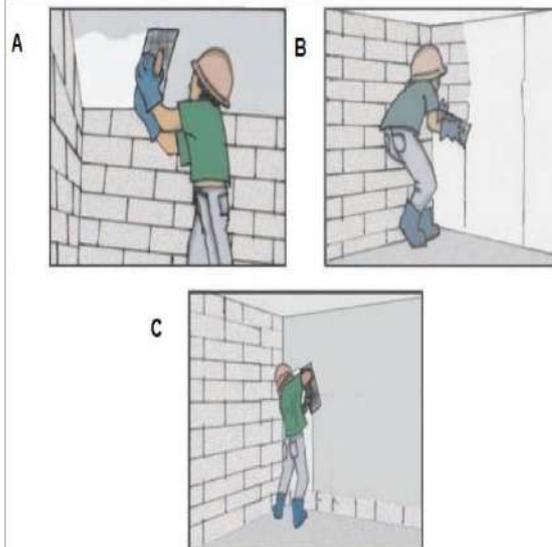
**Figura 12** - Preparação da onde será aplicado o gesso e a massa



Fonte: <https://construfacilrj.com.br/gesso-na-parede/>acesso: 17/10/2020.

**Passo 2:** Depois da massa pronta, é hora de aplicar diretamente na alvenaria e teto (figura 13A e 13B) com ajuda de uma desempenadeira, fazendo com que a segunda camada seja cruzada da primeira, mostrado na figura 13C.

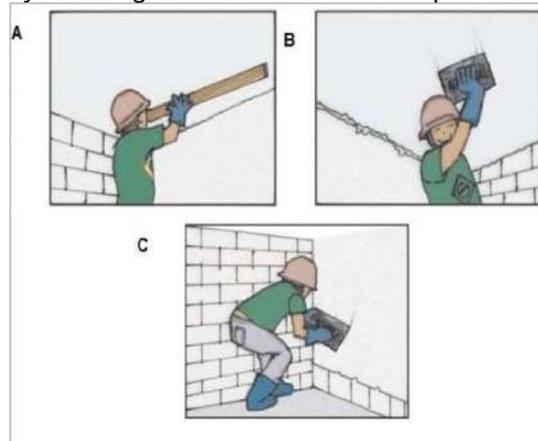
**Figura 13** - Aplicação da pasta de gesso com a desempenadeira na alvenaria e teto.



Fonte: <https://construfacilrj.com.br/gesso-na-parede/>acesso: 17/10/2020.

**Passo 3:** Conforme a figura 14A, retirar-se o excesso com a régua de alumínio e usar-se a desempenadeira (figura 14B e 14C) para dar o acabamento melhor da última camada, fazendo com que assim o revestimento de gesso seja uma superfície plana e regular.

**Figura 14** - Utilização da régua de alumínio e desempenadeira para retirada de excessos.

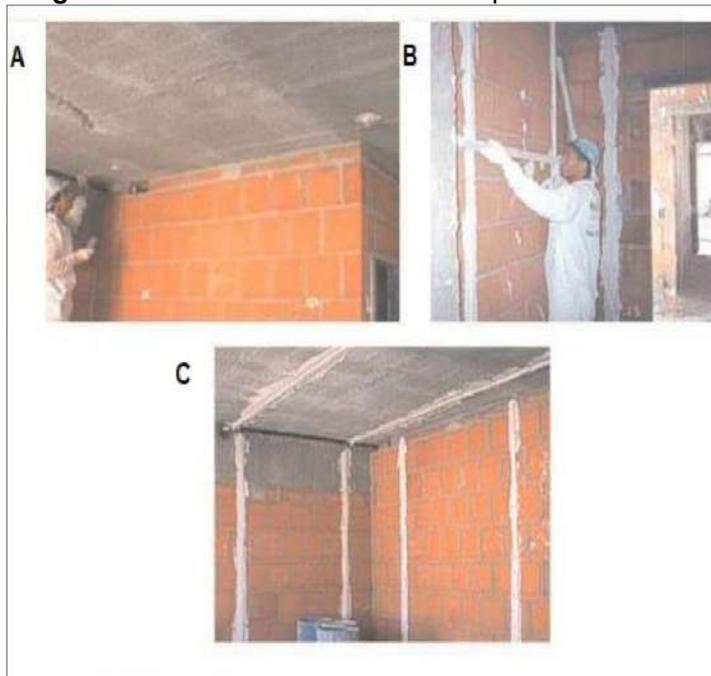


Fonte: <https://construfacilrj.com.br/gesso-na-parede/aceso: 17/10/2020>.

### **Sarrafeado**

**Passo 1:** Coloca-se pequenas placas de madeira em alguns pontos da alvenaria que são chamados de taliscamento e faz-se alguns pontos de mestra que tem objetivo de conformidade, espessura final e apoio para régua (figura 15A e 15B). O preenchimento desses pontos é feito com a pasta de gesso (figura 15C), retirando o excesso do gesso com a régua de alumínio, isso é feito com o objetivo de nivelar o gesso na alvenaria (deixar a parede bem regulada).

**Figura 15** - Taliscamento da alvenaria para recebimento do gesso.



Fonte: <https://construfacilrj.com.br/gesso-na-parede/aceso: 17/10/2020>.

**Passo 2:** Depois dos pontos marcados para nivelamento, aplica-se a pasta de gesso diretamente na alvenaria semelhante execução do gesso desempenado.

### **Projetado**

Gesso pouco usado na construção civil devido ser um gesso aplicado com equipamento específico, mas mesmo assim sendo um assunto bem pertinente no ramo da

construção, pois esse gesso tem uma tecnologia alternativa muito eficaz, fazendo com que em uma única camada tenha a mesma produção das etapas de chapisco, emboço e reboco. A tecnologia foi desenvolvida na Europa com o objetivo de poupar tempo, dinheiro e desperdício.

Segundo Fernandes (2017) apud. Cunha (2015).

A projeção da pasta de gesso permite uma melhor compactação, por lançar o material de granulometria baixa, permite que os grãos se acomodem melhor nos espaços, diminuindo os defeitos na interface entre a argamassa e a superfície. A constância de energia aplicado pelo lançamento do equipamento e a menor quantidade de ar presana mistura, confere uma maior resistência, aderência e uniformidade ao revestimento (FERNANDES, 2017 apud CUNHA, 2015).

### **Materiais usados para aplicação do gesso projetado**

- Máquina projetora;
- Balde;
- Facão;
- Espátula;
- Raspador;
- Desempenadeira de aço;
- Régua de seção H;
- Trena;
- Prumo.

**Passo 1:** Tirar toda sujeira da alvenaria, pregos e etc.

**Passo 2:** Executar as mestras e taliscas

**Passo 3:** Usar a máquina projetora

**Passo 4:** Fazer o acabamento com sarrafeamento e desempenamento

### **Gesso rebaixo:**

Placas de 60x60 centímetros utilizadas para esconder lajes indesejadas e dá um ar de estética no ambiente, proporcionando flexibilidade e podendo criar através desse gesso, as sancas figura 5, nichos figura 6 e os tipos como tabicado e rebaixado, mesmo tendo o método de instalação quase igual.

### **Tabicado**

São forros chamados de “forro dilatado”, as tabicas são colocadas para efeito estético ou com necessidade de dilatação, geralmente com áreas superiores a 50 m<sup>2</sup>.

As tabicas podem ser feitas de gesso ou de algum perfil chamado de tabica.

### **Rebaixado**

Usados para correções de elementos de construção, como as vigas e lajes indesejadas, podendo ser usado também para a elevação acústica do ambiente.

**Passo 1: Marcação-** Determinar os pontos de níveis nas paredes com ajuda de um nível em mangueira ou a laser, depois marca-se pontos nos tetos para a fixação dos tirantes (peças para amarração dos arames).

**Passo 2: Fixação-** Fazer a fixação dos tirantes e colocar os arames nivelados nos tetos, depois posicionar-se nas paredes com bucha e parafuso os perfis (tabica, se for fazer tabicado) ou não, com ajuda de pregos de aço. Caso seja só rebaixado, não precisa das tabicas nas laterais.

**Passo 3: Amarração-** Encaixar uma placa na outra e tratar as juntas com massa de gesso e fita, cobrindo os parafusos também. Fazer isso até o fechamento total do teto a ser aplicado.

## **CUIDADOS NO TRANSPORTE, ARMAZENAMENTO E MANUSEIO**

O gesso é um material que precisa de alguns cuidados para que o produto final seja de qualidade e atenda ao consumidor. Na NBR 13.207 (gesso para construção civil), tem como objetivo fixa as condições exigidas para o recebimento desse material.

### **Embalagem, marcação e entrega**

O gesso deve ser embalado em um saco de papel com várias folhas para que evite a ruptura na hora do manuseio e que tenha condições favoráveis para fechar depois do enchimento. Na embalagem deve haver informações do tipo correspondente, marca do fabricante e nome, os sacos contem 40 kg de gesso e precisam está em ótimas condições para que tenha o recebimento do consumidor. No transporte do material, devem estar colocados em paletes forrados e o empilhamento deve obedecer uma quantidade no máximo de 20 sacos.

As placas acartonadas não devem apresentar encurvamento, desvios dimensionais e quebras, os perfis (guia e montante) devem seguir o mesmo critério.

Essas placas são transportadas na posição horizontal, uma a uma.

As placas de dimensões 60x60 centímetros devem estar em perfeitas condições, não tendo trincas, não estando quebradas nas laterais e apresentar as dimensões exatas, elas são transportadas em fileiras e forradas com paletes.

### **Armazenamento do material**

Devem ser armazenados em locais secos e protegidos para facilidade de inspeção e preservação da qualidade. O estoque conta com alguns cuidados como, um palmo afastado das paredes e colocados em paletes para que não tenha contato com o que for úmido, lembrando que as pilhas não podem passar de 20 sacos superpostos, pois pode haver risco de ruptura das embalagens.

O gesso acartonado é armazenado na posição horizontal, colocadas em cima de um apoio para que não tenha contato direto com o chão. As placas e os perfis são armazenados separadamente por dimensões e utilização, o material tem que ser armazenado em lugares arejados para não haver propagação de fungos.

Já as placas de gesso, pode-se colocar em fileiras e serem armazenadas em um local seco e arejadas, envolvidas em um plástico para a proteção.

#### **3.3.3 Manuseio**

O material deve ser manuseado de forma restrita, pois sua utilização não deve ser em lugares com constante contato com água. Os sacos de gesso mais antigos devem ser utilizados antes dos mais recentes, pois evita que não ultrapasse da data de validade.

O manuseamento dos paletes devem ser realizados com ajuda de empilhadores e se for um acesso difícil para armazenar, deverá ser feito manualmente por duas pessoas no mínimo, carregando as placas na vertical para poder evitar possíveis rachaduras.

## ESTUDO DE CASO

No estudo a seguir será abordado o comparativo de custo e produtividade do gesso de revestimento (área interna) com o emboço (área externa) de uma obra situada em Petrópolis.

Os procedimentos adotados para executar determinado serviço, devem ser estudados e analisados para que o produto final agregue valor em economia, produtividade e acabamento.

### Apropriações de produtividade dos sistemas

As produtividades dos serviços de revestimento interno e emboço externo foram apropriadas na obra com resultados demonstrados na tabela 01 a seguir.

**Tabela 01:** Comparativo de produtividade

TIPO	ÁREA	FUNÇÃO	PRODUÇÃO
Revestimento em gesso	M2	Gesseiro	10m2/h
Revestimento em emboço	M2	Pedreiro e Servente	4.5m2/h

Fonte: do autor (2020)

Percebe-se que a produtividade do gesso é mais que duas vezes maior que a do emboço. Ressalte-se que a argamassa do revestimento externo era industrializada, ou seja, o gesso, fabricado na obra, permitiu uma eficiência produtiva maior do que o material comercializado com a premissa de gerar alto desempenho.

Um outro aspecto importante, segundo Ferreira (2018), se refere ao tempo de cura destes revestimentos. Enquanto a cura do emboço externo dura em média 21 dias, a cura do revestimento em gesso é aproximadamente 7 dias, garantindo assim um prazo de 66%, ou 14 dias, menor para liberação da continuidade dos serviços.

### Custo unitário dos métodos de revestimento

Os custos unitários dos processos produtivos de revestimento com argamassa e com gesso foram também apropriados na obra e descritos na tabela 02.

**Tabela 02:** Comparativo de custo unitário

Tipo	Material (R\$/m2)	Mão de obra (R\$/m2)	Total (R\$/m2)
Revestimento de gesso	2,62	9,02	R\$ 11,64/m2

<b>Revestimento emboço</b>	<b>4,75</b>	<b>25,06</b>	<b>R\$ 29,81/m2</b>
----------------------------	-------------	--------------	---------------------

Fonte: do autor (2020)

Observa-se uma economia de 61% nos serviços de revestimento, quando realizados com gesso, refletindo o que já foi relatado nesse trabalho, no que se refere a trabalhabilidade e velocidade de aplicação do gesso.

Considerando-se, portanto, 308 apartamentos com 167,05 m<sup>2</sup> de revestimento em gesso, a economia total proporcionada pelo uso do gesso foi de R\$ 934.871,94.

Sendo o valor médio de venda do apartamento R\$ 175 mil, o gesso proporcionou no resultado do empreendimento, uma redução de custos equivalente a venda de mais do que 5 apartamentos, o que não pode ser desprezado.

### Comparativo com Ferreira 2018

O comparativo a seguir decorre de pesquisas bibliográficas e documental de natureza exploratória, mostrando que Ferreira em 2018 já afirmava com análises de informações obtidas que o gesso desempenha grandes vantagens, se sobressaindo em produtividade e custos devido sua facilidade de execução e baixo orçamento, sendo assim, uma alternativa viável quando for escolher qual revestimento utilizar. A figura 16 mostra o levantamento obtido nessa análise.

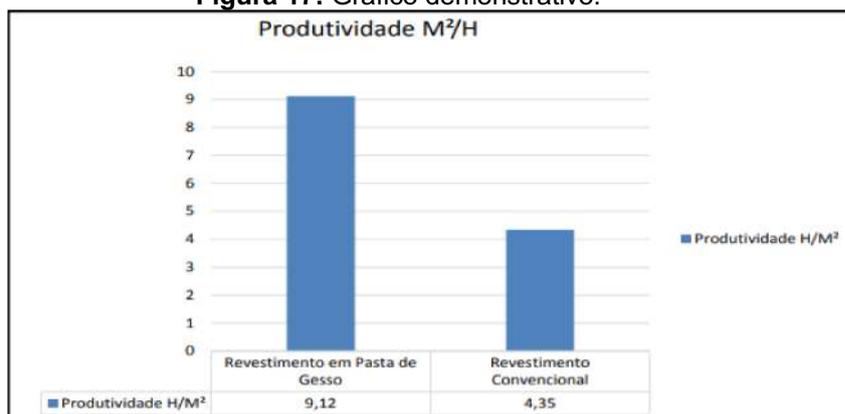
Figura 16: Comparativo de produtividade entre os dois métodos.

REVESTIMENTO CONVENCIONAL				
SERVIÇO	MÃO DE OBRA	COEFICIENTE	UNIDADE	PRODUTIVIDADE
CHAPISCO	Pedreiro e Servente	3,02	H	40 m <sup>2</sup>
EMBOÇO (MASSA ÚNICA)	Pedreiro e Servente	6,16	H	40 m <sup>2</sup>
PRODUTIVIDADE		1	H	4.35 m <sup>2</sup>
REVESTIMENTO EM PASTA DE GESSO				
SERVIÇO	MÃO DE OBRA	COEFICIENTE	UNIDADE	PRODUTIVIDADE
PASTA DE GESSO	Profissional Especializado	6,58	H	60 m <sup>2</sup>
PRODUTIVIDADE		1	H	9.12 m <sup>2</sup>

Fonte: Ferreira (2018)

O revestimento em emboço mostrou um valor produtivo inferior ao revestimento de gesso interno. Na figura 17, mostra-se um gráfico demonstrativo dessa produtividade.

**Figura 17:** Gráfico demonstrativo.



Fonte: Ferreira 2018

Assim o revestimento em gesso apresenta ser um material bem produtivo, levando em conta a secagem e endurecimento para próximos serviços, sendo assim uma opção bem mais rápida comparada ao revestimento convencional. A seguir, na figura 18 mostra-se uma análise mais crítica sobre custos comparativos desses dois métodos.

**Figura 18:** Comparativo de custos por metro quadrado

TABELA COMPARATIVA DE PREÇOS SETOP(2018)		
REVESTIMENTO CONVENCIONAL		
Serviços	Unida de	Custo
CHAPISCO DE PAREDES COM ARGAMASSA 1:3 CIMENTO E AREIA, A COLHER	M²	5,88 R\$
REBOCO COM ARGAMASSA 1:2:9 CIMENTO, CAL E AREIA COM ADITIVO IMPERMEABILIZANTE	M²	33,48 R\$
TOTAL	M²	39,36 R\$
REVESTIMENTO EM PASTA DE GESSO		
Serviços	Unida de	Custo
REVESTIMENTO DE PAREDES INTERNAS E TETOS EM GESSO (TIJOLO CERÂMICO E CONCRETO)	M²	20,08 R\$
TOTAL	M²	20,08 R\$

Fonte: Ferreira (2018)

Nesta circunstância, o comparativo do estudo de caso com Ferreira (2018) apresenta como sua principal vantagem o revestimento de gesso para ser utilizado em áreas internas, pra quem busca principalmente por economia. Comprovando que a aplicação desse material chega a ser no mínimo 50% mais barato.

## DISCUSSÃO

Alguns pontos estudados fazem com que as comparações sejam sempre questionáveis, ficando limitadas às informações buscadas de cada autor.

E talvez por isso, a aplicação do gesso no país ainda esteja aquém do que pode ser efetivamente realizado, com ganhos de produtividade e economia de recursos.

Como qualquer resíduo de construção civil, o gesso precisa de atuações sustentáveis no descarte de seus resíduos, Pereira (2014).

Entretanto, Vogado (2019) mostra que atualmente há cada vez mais empresas utilizando-se de métodos sustentáveis de utilização do gesso, até porque o gesso se mostra um futuro da construção civil pelas suas diversas vantagens, apresentando possibilidades

de reaproveitamento sem perder as propriedades físicas do produto e minimizando o volume descartado.

Portanto, diante desses dados coletados e de experiência da autora, o resultado esperado para esse trabalho é mostrar que o gesso é economicamente viável.

O Brasil, conforme já mencionado, tem a maior reserva de gesso do mundo, portanto esta vantagem precisa ser aproveitada, haja vista que o gesso, com tecnologia adequada possui qualificações suficientes para aplicação econômica em ambientes internos, seja na forma de argamassa de revestimento, seja na forma de painéis e placas modulados ou não.

A questão da mão de obra é um problema recorrente no país, seja na aplicação do material, seja na execução de alvenarias. Por exemplo, alvenarias desapumadas geram excesso de emboço para nivelamento. Enquanto as empresas não se preocupam com o treinamento dos funcionários para execução correta da alvenaria, que é o caminho óbvio, a pasta de gesso no revestimento interno se torna economia na correção do erro, haja vista ser 50% mais barata que a argamassa de cimento.

Felizmente, nem todas as alvenarias estão desapumadas, logo o conceito universal de que todo o revestimento interno quando aplicado com pasta de gesso gera uma economia de 50%, precisa ser contabilizado. Principalmente em obras com orçamento pré-regulamentado, como o MCMV.

Como qualquer tecnologia, a difusão do gesso como matéria prima de construção na execução de acabamentos internos precisa vir acompanhada de devido treinamento e pesquisas, para evolução e melhoria constantes, conforme já mencionado por Vogado (2019).

No campo de painéis e placas, modulados ou não, fica clara a vantagem oferecida pelos painéis de gesso, por conta da facilidade de adaptação e modificações futuras, além de se tornar uma obra mais limpa e organizada.

Deve-se ter em mente que as placas podem ter revestimentos internos que favoreçam adequadamente as necessidades mais rigorosas de isolamento de sons, ruídos e temperatura.

Em um mundo, em que as diferenças se impõem, a liberdade de alterar o layout das residências, conforme o gosto específico dos clientes, se torna cada vez mais um referencial de valor.

## **CONCLUSÃO**

A empregabilidade do gesso por suas vantagens e desvantagens e formas de aplicação, demonstra que o gesso na construção civil apresenta bastantes resultados positivos, por ter um desenvolvimento lento, porém constante, de novos métodos, buscando a sustentabilidade e melhorias de aplicação.

O gesso apresentou melhor forma expressiva com ganhos econômicos, reduzindo custo e aumentando produtividade, sua aplicação em áreas de revestimento interno cresce exponencialmente.

É pertinente falar que o mesmo conquista espaço pelas suas diversas aplicabilidades.

Atingiu-se neste trabalho o objetivo de demonstrar através do estudo de caso comparativo as formas pelas quais o gesso pode ser empregado na construção, onde os resultados almejados foram positivos, principalmente em ganhos econômicos. O gesso ganha pontos pelas vantagens que as empresas hoje em dia procuram, pois sobre desempenho os dois materiais comparados apresentam, mas o gesso ele traz consigo pontos fortes como produtividade elevada e custo mais baixo.

Certo é, que o gesso em países desenvolvidos tem uma aplicação muito mais difundida e atuante do que no Brasil, o que indica a falta de mais pesquisas qualitativas no que se refere a esse material e seu já esclarecido potencial e vantagens de aplicação na construção civil.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR13207/1994** – Gesso para Construção Civil. 10/1994.

BALTAR, C.A.M, **Variedades mineralógicas e processos utilizados na produção dos diferentes tipos de gesso**. Universidade Federal de Pernambuco- Recife, 2005.

BARDELLA, P.S, **Análise das propriedades de pastas de gesso de construção reciclado**. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas- SP, 2011.

BARZOTTO, M.V, **Gestão de resíduos de gesso na construção civil: Um estudo de caso**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2017.

COSTA, A.T, **Uso de gesso acartonado em vedações internas**. Maceió, 2015.

FERNANDES, J.C.V, **Revestimentos de argamassa convencional e de gesso reciclado projetado: Um estudo comparativo**. Universidade do Sul de Santa Catarina, 2017.

FERREIRA, G.F, **Estudo comparativo de desempenho e custo entre IBDA, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura**. Fórum da construção, 2011.

JOHN, V. M, **Alternativas de Gestão dos Resíduos de Gesso**. Universidade de São Paulo Escola Politécnica, 2000.

MUNOZ, F.C, **Uso da Gipsita na Construção Civil- XIII SIMPEP-Bauru, SP, 2006**.

OLIVEIRA, T. M, **Reciclagem do Gesso: Potencial de Aplicação**. REUCP,2013

PEREIRA, M, **Resíduos de Gesso na Construção Civil – Reutilização e / ou Reciclagem no RN**. Entac, 2014.

QUEDINA, **Aplicabilidade do gesso na construção civil: Gesso em pasta, Blocos de gesso e Placas de Drywall**. Centro Universitário Planalto do Distrito FederalUNIPLAN, 2018.

ROCHA, C.A.L, **O gesso na indústria da construção civil: Considerações econômicas sobre utilização**. Universidade Federal de Pernambuco, 2007. 31

SILVA, M. F, **Emprego de Gesso na Construção Civil: A sistematização da Gestão de Resíduos da Pasta de Gesso, Gesso Acartonado e Placas de Gesso**. DECIV / EE / UFRGS, 2013.

VOGADO, W. F, **III- 027-Gesso: resíduo ou rejeito? 30º CONGRESSO ABES, 2019**.

**Fernanda Neves da Cruz**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

**Márcia Nair Statzner Alves**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

**Marcos Aurélio Pinto Marzano Júnior**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

## RESUMO

Na construção civil é necessário um setor que avalie a qualidade e desempenho de uma obra. O seguimento de construção engloba inúmeras áreas e a falta de inspeção leva a erros significativos e acumulativos, os quais na fase de conclusão podem gerar grandes problemas. O acompanhamento e conferência das atividades a serem realizadas é um seguimento que gera uma grande demanda de tempo, pessoas e levantamentos, gerando custos nem sempre calculados na fase de orçamentos. Analisar estas atividades de modo rápido e eficaz pode auxiliar o trabalho realizado, diminuindo tempo e gastos com materiais e retrabalhos. Este trabalho teve como objetivo compilar um checklist de inspeção de entrega de imóveis, como também de criar um aplicativo móvel para sistema Android com o intuito de auxiliar nestas inspeções. Para isso, realizou-se uma revisão bibliográfica baseada na NBR15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho, ISO 9001 – Sistemas de Gestão da Qualidade e tecnologias para o desenvolvimento de aplicativo e compilação de checklist de entrega de imóveis. No âmbito dos testes, este aplicativo foi validado num empreendimento residencial, com 84 unidades habitacionais, na cidade de Petrópolis – RJ. Ao fim deste trabalho, verificou-se vantagens em se acompanhar de perto cada etapa de uma obra, tendo como ferramenta um checklist elaborado para tal fim, bem como a necessidade de se inspecionar cada atividade realizada desde o início da obra. A compilação do checklist e a utilização do aplicativo desenvolvido demonstraram resultados positivos, tais como: a minimização da entrega de unidades habitacionais fora do padrão de qualidade, a diminuição de tempo para execução de relatórios, bem como a obtenção de indicadores que auxiliam na decisão quanto ao plano de ação a ser utilizado para situações distintas.

**Palavras-chave:** Construção Civil; Qualidade; Desempenho; *Checklist*.

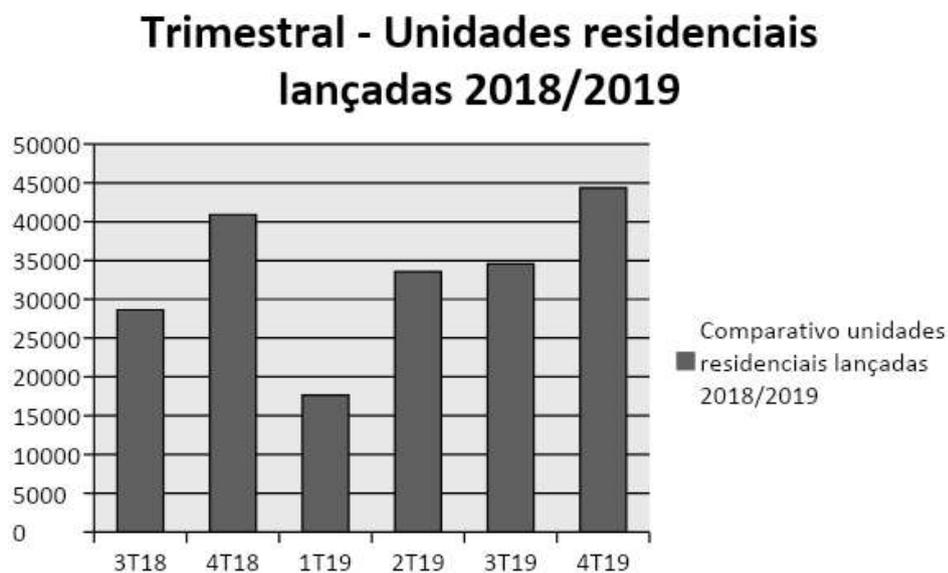
## INTRODUÇÃO

O Brasil apresentou nos últimos anos um crescimento econômico com maior distribuição de renda, mercado de compra e venda diversificada, incentivo à produção e às

indústrias. A construção civil é um grande exemplo de acompanhamento deste crescimento com a existência de grandes obras e investimentos no setor.

Segundo dados de 2014 do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, o ramo da Construção Civil representou cerca de 9% do PIB brasileiro. Assim, apesar de eventos como a crise internacional e desaceleração do setor dos últimos anos, a construção civil continua sendo um dos domínios mais importantes para economia do país. De acordo com a CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção, o ramo emprega atualmente cerca de três milhões de trabalhadores. Os gráficos 1 e 2 mostram o crescimento de lançamentos e vendas de unidades residenciais nos últimos anos, conforme pesquisa da CBIC. No gráfico 1 são mostradas informações de unidades residenciais lançadas entre o terceiro trimestre de 2018 e o quarto trimestre de 2019. Nota-se que em um período de um ano, os lançamentos das unidades cresceram em mais de 8% absoluto.

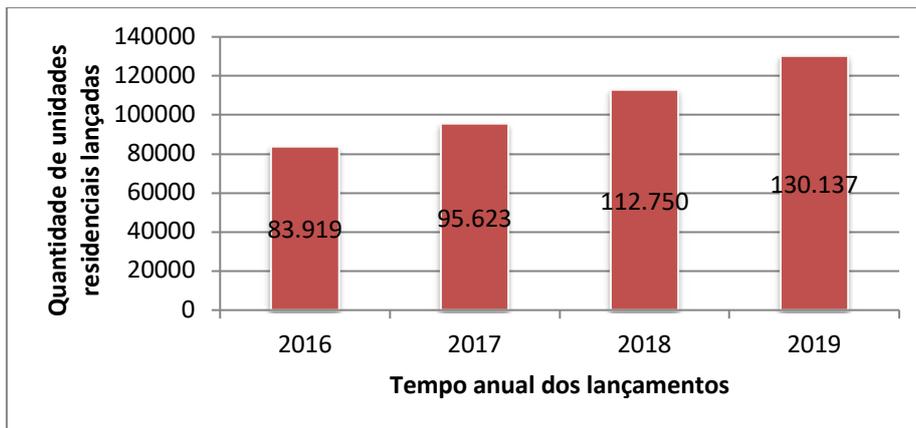
Gráfico 1 - Unidades residenciais lançadas nos anos de 2018 e 2019



Fonte: Adaptado - Indicadores Imobiliários Nacionais – Ano 2019 – CBIC/CII

No gráfico 2 são mostrados os lançamentos entre os anos de 2016 a 2019. Nota-se que entre os anos de 2016 e 2017 houve um aumento de quase 14% absoluto de unidades habitacionais lançadas. De 2017 para 2018 este aumento foi de 17,9% absoluto. Já de 2018 para 2019, os lançamentos ainda continuaram crescendo com 15,4% absoluto em relação ao ano anterior.

Gráfico 2 - Unidades residenciais lançadas 2016 a 2019 – Anual



Fonte: Adaptado - Indicadores Imobiliários Nacionais – Ano 2019 – CBIC/CII

O gráfico 3 demonstra a indicação de um período de três anos, onde são mostradas as quantidades de unidades lançadas e vendidas em comparação com os anos anteriores. Nota-se que no decorrer deste período, existiram cerca de 3,8 % mais lançamentos do que vendas, porém, neste período, as vendas aumentaram gradativamente.

Gráfico 3 - Unidades residenciais lançadas 2016 a 2019 – Comparação lançamento e venda



Fonte: Adaptado - Indicadores Imobiliários Nacionais – Ano 2019 – CBIC/CII

Além disso, a construção civil tem grande parte de seus clientes voltados para aquisições residenciais. Este público em grande maioria deseja adquirir um produto de qualidade em pouco tempo. As construtoras investem em recursos para que estes empreendimentos sejam entregues com qualidade no tempo acordado com seus clientes.

Nos tempos atuais, a construção civil tem grandes quantidades de empreendimentos residenciais sendo entregues em grande escala e, geralmente, sem uma avaliação correta das construtoras e profissionais responsáveis. A tabela 1 da PAIC – Pesquisa Anual da Indústria da Construção demonstra que o percentual deste tipo de edificação engloba mais de 30% das obras recorrentes no país em 2001.

Tabela 1 - Estrutura dos investimentos das empresas de construção por grupos e classes de atividades

Variável – Total de construções executadas – Brasil (2001)				
Grupos e classes de atividade				
Total	Edificações (residenciais, industriais, comerciais e de serviços).	Obras viárias	Grandes estruturas e obras de arte	Obras de urbanização e paisagismo
R\$ 40.947.827	R\$ 13.234.164,00	R\$ 10.625.281,00	R\$ 793.147,00	R\$ 488.905,00
100,00 (%)	32,32%	25,95%	1,94%	1,19%

Fonte: Adaptado - IBGE – Pesquisa Anual da Indústria da Construção – Ano 2001

No âmbito das fases de uma construção civil, destaca-se o início do empreendimento ainda fora do canteiro de obras, uma vez que os colaboradores da construtora se reúnem em uma reunião denominada *kick off* para entender o escopo do projeto, bem como planejar as etapas de execução da construção, definindo e acordando insumos, prazos e processos de gerenciamento do empreendimento. Salienta-se que este momento é de suma importância para que os empreendimentos atinjam, em tempo acordado, a qualidade esperada e prevista no escopo do projeto, além de garantir a expectativa dos seus clientes.

A troca de informações entre o cliente e a construtora é muito importante para garantir o atendimento das necessidades e expectativas dos mesmos. Entretanto, este parâmetro costuma ser um ponto falho no processo. A comunicação eficiente entre os setores internos da empresa também é fundamental. Muitas vezes, cada departamento desenvolve seu serviço isoladamente, de maneira mais fácil e rápida, deixando lacunas e fazendo com que o processo não funcione de forma adequada.

Além disso, o meio pelo qual um imóvel é inspecionado por uma pequena construtora é arcaico e passível de falhas. Hoje, a grande maioria das pequenas e médias construtoras dispõe de poucos recursos tecnológicos, como também de colaboradores para realização de um *checklist* de inspeção de entrega. Na maioria das vezes, de forma axiomática, um colaborador se desloca até o imóvel e faz uma inspeção visual de diversas áreas, preenchendo um *checklist* tradicional, ou seja, um papel contendo uma lista de verificação que após ser preenchida poderá ser analisada. Neste caso, obtêm-se uma avaliação limitada e dispendiosa, uma vez que incorre custos de material de escritório, bem como custos posteriores de armazenamento da documentação. Logo, torna-se cada vez mais evidente a necessidade de novas tecnologias acessíveis aplicado ao tema supracitado.

Um conceito aplicável atualmente em diversas indústrias, referidas por muitos como a quarta revolução industrial é o conceito de indústria 4.0. Este visa utilizar diversos processos tecnológicos com inteligências artificiais nas indústrias de diversos setores, visando maior avanço e facilidade nos processos burocráticos dentro das organizações. (RIBEIRO, 2019).

Dado o exposto, torna-se essencial o desenvolvimento de uma tecnologia, associado ao conceito da indústria 4.0, que vise principalmente a otimização de todo o processo de comissionamento das edificações residenciais na construção civil, garantindo a melhoria contínua do processo de avaliação e entrega do empreendimento, bem como preservando a satisfação do cliente e a qualidade do projeto.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um aplicativo para aparelhos móveis que substitua os *checklists* em papel comumente utilizados, visando à otimização do

processo de entrega de imóveis por incorporadoras e construtoras, bem como garantindo a qualidade de entrega do projeto e satisfação do cliente. Para elaboração deste aplicativo, o presente trabalho também irá apresentar um *checklist* apropriado para as fases de entrega de imóveis, voltado para o desempenho e qualidade. Este *checklist* deverá visar fases anteriores à entrega, caso estas sejam ligadas diretamente ao que se deseja alcançar com este tipo de verificação. Dado o exposto, espera-se que este trabalho coopere de forma substancial com a indústria da construção, principalmente o mercado de pequenas ou médias construtoras, servindo de auxílio para o mercado e para o meio acadêmico, bem como corroborar para garantir que a sociedade receba um produto íntegro.

Uma vez que a proposta é apenas auxiliar o mercado com o uso de uma nova tecnologia, torna-se importante outro aspecto: o custo. Logo, todo o trabalho desenvolvido deverá visar soluções práticas, simples e funcionais, objetivando a disponibilização do aplicativo de forma gratuita aos usuários. Por meio de algumas soluções inovadoras, espera-se atingir um valor de desenvolvimento baixo para a proposta aqui apresentada, proporcionando a disponibilização gratuita da tecnologia.

O objetivo específico deste trabalho será desenvolver um *checklist* para utilização em inspeções de entrega de imóveis, onde o mesmo será imputado em um aplicativo móvel para o sistema *Android*. O aplicativo irá conter uma interface didática e amigável, capaz de otimizar o processo de inspeção predial, com a finalidade de reduzir o tempo de inspeção e mitigar os custos com insumos administrativos. O aplicativo deverá atender os seguintes parâmetros operacionais:

1. Ser capaz de anexar evidências fotográficas no *checklist*;
2. Ser capaz de optar área de inspeção (alvenaria, pintura, elétrica, dentre outras);
3. Criar observações em cada etapa de avaliação;
4. Integrar de modo digital e imediato à comunicação, os dados e as informações relevantes que, até então, eram elaborados, capturados, manuseados e processados através de papel;
5. Ser capaz de realizar evidências e registros fotográficos;

## **METODOLOGIA**

Este trabalho foi elaborado seguindo as etapas abaixo:

1. Estudo sobre as dificuldades encontradas no âmbito da realização de um *checklist* tradicional;
2. Estudo da pesquisa bibliográfica sobre a qualidade em obras;
3. Estudo da NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho
4. Estudo específico das plataformas disponíveis para o desenvolvimento de aplicativos no ambiente *Android*;
5. Compilação das informações necessárias e objetivas em cada *checklist*;
6. Desenvolvimento do aplicativo;
7. Avaliação e testes do aplicativo;
8. Conclusão e Resultados.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

### **NBR 15575 – EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS – DESEMPENHO**

A Norma de Desempenho tem como função a aplicação de requisitos de qualidade, visando instituir um nível mínimo de desempenho ao longo da vida útil dos itens que

compõem uma edificação habitacional. Além disso, o conforto e satisfação do usuário também são requisitos desta Norma. Diferente de outras normas da construção civil, a NBR 15575 orienta quanto aos métodos construtivos a serem utilizados, apenas se os resultados destes métodos se apresentam satisfatórios de acordo com as condições pré-estabelecidas.

Diferente de outras normas existentes, a norma de desempenho determina as necessidades do usuário quanto à utilização da construção, englobando o funcionamento de sistemas inteiros. Segundo o Engenheiro Ércio Thomaz, pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, em entrevista à Revista *Techne*, este afirma que esta norma não se refere ao início das obras, ou seja, não se trata de como deve ser executado um ou mais componentes, mas sim do produto final (BATAGLIN, 2014).

Assim, as normas aplicadas usualmente na construção civil ou também em diversas outras áreas, prescrevem cuidados e/ou indicações de como o processo de execução deve ser realizado até chegar ao produto final. Entretanto, no âmbito da NBR 15575, esta descreve como a edificação deverá se comportar depois de finalizado, como também os cuidados em sua utilização para que o usuário, cliente final, receba o produto nas condições adequadas de utilização e o mantenha nestas condições.

## ABNT NBR 15575-1 – Parte 1: Requisitos Gerais

A parte 1 da Norma se refere aos requisitos gerais, onde serão descritos quais os requisitos mínimos a serem atingidos para que a edificação possa ser considerada em bom desempenho. Este desempenho é avaliado pelo conjunto de componentes chamados requisitos dos usuários. Nesta parte da norma também são apresentadas as principais informações para compreensão geral, como definições de termos, requisitos, responsabilidades, dentre outros. (NBR15575-1: 2013).

A NBR 15575 divide os parâmetros de desempenho em mínimos, intermediários e superiores. As empresas têm em primeiro lugar a preocupação que seus produtos (edificações) tenham apenas os parâmetros de desempenho mínimos, ou seja, para que seu produto execute as funções básicas de uma edificação. As execuções de edificações mais elaboradas e mais engajadas nas tecnologias inovadoras são parâmetros de desempenho considerados intermediários e superiores, aplicados como instrumento de *marketing*. Isto ajuda o consumidor a pautar sua decisão não apenas por uma análise de preço e estética, como também de custo benefício. (BATAGLIN, 2014).

O quadro 2 descreve os principais itens analisados pelo parte I da NBR 15575.

Quadro 1 – Itens analisados na NBR 15575 – Parte 1

ITEM		DESCRIÇÃO	
1	Vida útil (VU)	Período de tempo que a edificação se presta a atividade pela qual foi projetada, de acordo com processo de manutenção.	
2	Vida útil de projeto (VUP)	Estimativa teórica de tempo que compõe o tempo de vida útil de uma edificação.	
3	Habitabilidade	Qualidade, estado ou condição de habitar-se. Suas condições mínimas são responsáveis por manter a satisfação dos usuários. As exigências do usuário relativas à habitabilidade são expressas pelos fatores a seguir:	
		3.1 - Estanqueidade	Controle das áreas molhadas e molháveis, como fachadas, coberturas, sacadas e sistema hidrossanitário, onde pode haver corrosões e lâminas d'água.
		3.2 - Desempenho térmico	Tem como objetivo o conforto do usuário, são levados em consideração os materiais utilizados, umidade do ar, vento, número de pavimentos e direção das fachadas.
		3.3 - Desempenhos acústicos	Devem ser utilizados componentes nas paredes, pisos, fachadas e coberturas para que os ruídos externos não sejam desconfortáveis aos usuários.

		3.4 - Desempenho lumínico	São requeridos níveis de utilização de iluminação natural e artificial. Para edifícios habitacionais é exigida a medição dos níveis de luz diurna artificial.
		3.5 - Saúde, higiene e qualidade do ar	A propagação de partículas em suspensão, gases tóxicos e microrganismos devem respeitar níveis aceitáveis, assim como a estanqueidade para dificultar a entrada de roedores e insetos.
		3.6 - Funcionalidade e acessibilidade	Trata-se de espaços suficientes para a circulação juntamente com mobiliário como sofás, camas, e utensílios domésticos, o pé direito também é um item a ser verificado para este fim.
		3.7 - Confortos tátil e antropodinâmico	Trincos, torneiras e dispositivos não exijam grande força para serem acionados. O conforto antropodinâmico exige que os pisos sejam táteis, a velocidade dos elevadores seja confortável e que rampas tenham a declividade correta exigida.
4	Manual de Uso, Operação e Manutenção.		Contém informações como prazos de garantia, vida útil de projeto, a correta utilização da edificação, cronograma de manutenções, áreas de acesso e especificação dos materiais utilizados para que a vida útil desta edificação seja cumprida conforme projetada.
5	Durabilidade e Manutenibilidade		Descrita como um requisito econômico. Projetistas, construtores e incorporadores são os responsáveis pelos valores teóricos da VUP. A manutenibilidade é descrita como a capacidade de favorecer as inspeções e as intervenções de manutenções. Além disso, esta deve ser considerada como premissa de projeto.

Fonte: Autoras

## AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

A avaliação de desempenho analisa adequação quanto ao uso de um processo construtivo destinado a cumprir determinada função, independente da solução técnica adotada. Visando tal finalidade, na avaliação é realizada uma investigação sistemática baseada em métodos consistentes, capazes de produzir uma interpretação objetiva sobre o comportamento esperado do sistema nas condições de uso definidas. Perante isto, esta avaliação exige domínio de conhecimentos científicos em ampla escala sobre cada aspecto funcional de uma edificação, voltados para técnicas de construção e uso de materiais. Quanto aos resultados desta investigação sistemática, recomenda-se que sejam registrados, por meio de documentação fotográfica, memorial de cálculo, observações instrumentadas, catálogos técnicos dos produtos, registro de eventuais planos de expansão de serviços públicos, dentre outras formas. Todas as verificações devem ser realizadas com base nas condições do meio físico na época do projeto e da execução do empreendimento. Quando realizada por laboratórios especializados, empresas de tecnologia, equipes multiprofissionais ou profissionais de reconhecida capacidade técnica na área de construção civil, a avaliação do desempenho apresenta resultados mais fidedignos (CORDOVIL, 2013).

## ISO 9001 – SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE – REQUISITOS

A qualidade pode ter diversas definições, pois ela irá depender de quem analisa. Ter qualidade significa se adequar ao uso, a capacidade de atender as necessidades do usuário, isenção de defeitos e o mínimo de perdas de produtos no processo. Logo, qualidade é a capacidade de qualquer objeto ou ação de corresponder ao objetivo a que se propõe (LOURENÇO; MAINARDES; TONTINI, 2010).

A ISO é um sistema composto por um conjunto de normas. A mesma visa certificar empresas e organizações quanto à qualidade de seus produtos e serviços. Na construção civil, por exemplo, amplamente é utilizada a certificação ISO 9001 oriunda da família das ISO 9000. Sua criação foi iniciada em 1946, onde alguns países se reuniram para discutir a necessidade de uma Norma que pudesse unificar normas industriais a nível mundial. Logo, em 1947 foi então criada a *International Organization for Standardization*, ou, Organização Internacional para Padronização. A primeira versão de ISO 9001 foi publicada

no ano de 1987, sendo esta revisada a cada seis anos. A norma é um sistema de gestão que visa otimizar processos e desenvolvimento de produtos de forma ágil, com qualidade para satisfação de clientes (LOURENÇO; MAINARDES; TONTINI, 2010).

Seus princípios de qualidade estão listados a seguir:

- Foco no cliente;
- Liderança;
- Engajamento das pessoas;
- Abordagem de processo;
- Melhoria;
- Tomada de decisão baseada em evidência;
- Gestão de relacionamento.

As implantações da ISO nas organizações apresentam muitos benefícios, tais como: a capacidade de prover consistentemente produtos e serviços que atendam aos requisitos do cliente, facilitar oportunidades para aumentar a satisfação do cliente, bem como abordar riscos e oportunidades associados com seu contexto e objetivos (ABNT NBR ISO 9001/2015).

## **ABORDAGEM DE PROCESSO**

A ISO 9001 emprega a abordagem de processo, que incorpora o ciclo *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) e a mentalidade de risco. Para atingir os resultados pretendidos, torna-se importante entender e gerenciar os processos inter-relacionados como um sistema, tendo assim maior eficácia e eficiência. Para que resultados sejam alcançados com qualidade é necessária a definição, abordagem e gestão de processos. O Ciclo PDCA é uma ferramenta utilizada para prevenir ou mitigar resultados indesejados, o mesmo tem seu foco na mentalidade de risco gerindo processos e sistemas como um todo (ABNT NBR ISO 9001/2015).

A aplicação da abordagem de processo em um sistema de gestão de qualidade proporciona:

- 1) Entendimento e consistência no atendimento a requisitos;
- 2) A consideração de processos em termos de valor agregado;
- 3) O atingimento de desempenho eficaz de processo;
- 4) A melhoria de processos baseada na avaliação de dados e informação.

A figura 3 mostra uma representação esquemática utilizada em qualquer processo e suas interações.

Figura 1 - Representação esquemática de um processo



Fonte: ABNT NBR ISO 9001/2015

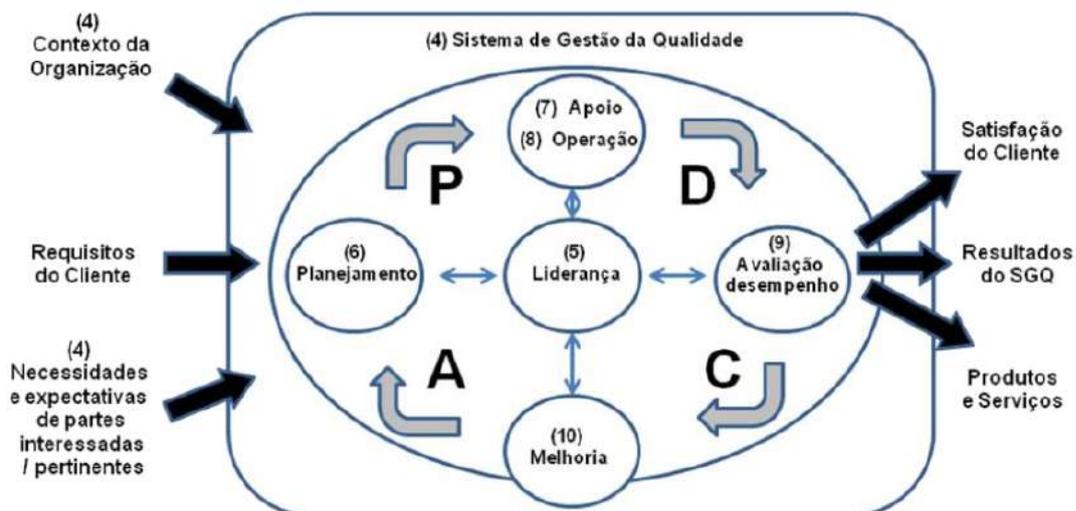
### Ciclo PDCA

O ciclo PDCA pode ser aplicado para o sistema de gestão de qualidade como um todo, podendo ser descrito como:

- *Plan* (Planejar): Estabelecer os objetivos do sistema e seus processos, também como os recursos necessários a serem utilizados para que os resultados obtidos estejam de acordo com os requisitos dos clientes;
- *Do* (Executar): Colocar em prática o que foi planejado;
- *Check* (Analisar): Checar e medir os processos e/ou produtos e serviços resultantes de acordo com a política, objetivos e requisitos, reportando seus resultados.
- *Act* (Agir): Agir quanto aos resultados para melhoria do desempenho.

A figura 4 apresenta um resumo do Ciclo PDCA.

Figura 2 – Representação da Estrutura da ISO 9001 no ciclo PDCA



ABNT NBR ISO 9001/2015

Fonte:

## COMPILAÇÃO DE CHECKLIST

Os *checklists* são ferramentas que aprovam a qualidade de serviços realizados em diversos ramos. Na construção civil, ele é utilizado amplamente para várias etapas de obras. Conforme exposto no capítulo anterior, quando o assunto é a entrega de imóveis, destaca-se o auxílio da NBR 15575/2013, bem como da ISO 9001 que apresenta as características de qualidade envolvidas em diversas áreas da construção. Assim, este capítulo aborda toda compilação do *checklist* tendo como parâmetros as normas supracitadas.

## CHECKLIST

É por meio de uma lista de verificações, ou seja, de um *checklist*, com condutas e normas que a organização de um projeto é avaliada e executada. Este artifício de organização é utilizado para inúmeros fins, tais como: checagem de materiais para uma obra, levantamento de componentes para o conserto de uma máquina, anotações do que será comprado para uma viagem, dentre outros exemplos. O objetivo de um *checklist* é o de certificar que a programação de um projeto seja executada com qualidade, eficiência e otimização. Sua utilização visa mitigar erros e falhas em um projeto por meio da organização de processos e etapas. Na construção civil, os *checklists* são utilizados para verificação dos processos de produção, compra de insumos, levantamento de materiais, execução de atividades, operação de máquinas, recebimento de materiais com diferentes especificações, dentre outros (ALONÇO, 2017).

### **Elaboração de um Checklist**

Ao planejar um *checklist* é necessário definir as prioridades e o motivo de tal atividade constar na lista de verificação. Além disso, torna-se essencial que a frequência de utilização desta ferramenta seja estipulada para que a mesma seja funcional. Os colaboradores que irão utilizar o *checklist* devem ser treinados e preestabelecidos para que não haja dúvidas na realização desta atividade. Deve-se definir itens e atividades a serem checadas, visando avaliar se um procedimento foi executado de forma correta com as especificações e normas. Após a criação da lista de verificação, a mesma deve ser testada para que sua aplicabilidade seja validada, podendo neste processo haver ou não melhorias e modificações (ALONÇO, 2017).

### **Tipos de Checklist**

O *checklist* utilizado comumente é o realizado por meio de planilhas. Neste caso, o processo de criação é feito por meio de uma planilha desenvolvida em um editor. Sua forma de realização depende tempo e é suscetível a erros, uma vez que o trabalho manual é extenso. Após inserir todas as questões na planilha, a mesma deve ser formatada, impressa e levada para o campo, onde deverá ser preenchida manualmente e periodicamente. Após seu preenchimento, os dados coletados geralmente são digitalizados, tornando o processo trabalhoso e passível de erros. Deste modo, os *checklists* são arquivados gerando um acúmulo de papel, além de não serem práticos e ágeis (PIRES, 2019).

Os *checklists* realizados por meio de uma plataforma digital são hoje o meio mais confiável e ágil de se obter resultados. Por meio de *softwares*, obtêm-se aplicativos desenvolvidos para dispositivos móveis, onde agilidade e dinamismo são algumas de suas características. As falhas e retrabalhos podem ser analisados com maior facilidade, uma

vez que ao realizar a inspeção, o aplicativo dispõe de ferramentas rápidas, como o envio de relatórios, planilhas e fotos que auxiliam na análise da inspeção. Os *checklists* realizados desta forma podem prever perdas, aumentar a produtividade, eliminar o habitual papel, melhorar a gestão de atividades e projetos, além de diminuir o tempo de verificação de tarefas e atividades (PIRES, 2019).

#### Elaboração de Checklist para inspeções na construção civil

Primeiramente, realizou-se uma análise de um *checklist* comumente utilizado por construtoras. A figura 5 ilustra o *checklist* analisado que era utilizado por uma construtora no âmbito da conferência de um apartamento. Destaca-se que o referido *checklist* não tinha direcionamento técnico quanto ao desempenho e a qualidade dos itens avaliados.

Figura 3 - Checklist comumente utilizado por construtoras

UNIDADE: _____ BLOCO: _____		VISTORIA		
DATA: _____				
ITEM 01	LAVABO	APROVADO	REPROVADO	OBSERVAÇÃO
	FORRO			
	PINTURA DO FORRO			
	PINTURA DA PAREDE			
	BACIA SANITÁRIA			
	BANCADA COM CUBA			
	TORNEIRA			
	PISO			
	INTERRUPTOR E TOMADA			
	PORTA DE ENTRADA			
	FECHADURA DA PORTA			
ITEM 02	VARANDA PRINCIPAL	APROVADO	REPROVADO	OBSERVAÇÃO
	PISO E RODAPÉ			
	PINTURA DO FORRO			
	PINTURA DAS PAREDES			
	GUARDA CORPO			
ITEM 03	COZINHA	APROVADO	REPROVADO	OBSERVAÇÃO
	FORRO			
	PINTURA DO FORRO			
	PINTURA DA PAREDE			
	REVESTIMENTO EM AZULEJO			
	BANCADA COM CUBA			
	TORNEIRA			
	PISO E RODAPÉ			
	INTERRUPTOR E TOMADAS			
	QUADRO ELÉTRICO			
	ESQUADRIA			

Fonte: Autoras

A inspeção direcionada para cada componente do imóvel, como visto no *checklist*, sem perguntas que avaliem como os componentes devem se apresentar é passível de erro. O *checklist* recebe apenas a informação de APROVADO ou REPROVADO. Desta forma, o mesmo não questiona qual atividade foi avaliada, não contém o eventual erro da atividade, bem como se o mesmo aconteceu devido a não conformidade de materiais, falta de planejamento no canteiro de obras ou má qualidade da implantação de técnicas relacionadas aos processos. Quando um *checklist* não apresenta as informações corretas, a implantação de um ciclo PDCA não recebe as informações mínimas para seu desenvolvimento, pois não é possível planejar e executar ações para correções dos erros analisados.

Ao avaliar um ambiente pequeno e que demonstra ser de fácil inspeção como, por exemplo, um lavabo, a primeira impressão é de que será uma inspeção fácil e rápida. Entretanto, o avaliador deverá verificar componentes de diversos seguimentos englobando diversas especificações e normas. Assim, neste exemplo do lavabo, por ser uma área molhada e possuir pisos cerâmicos, deve-se avaliar as características conforme a parte 3 da NBR 15575/2013. Entretanto, ainda há componentes do sistema hidrossanitário, encontrados na parte 6 da NBR 15575/2013. Ainda neste mesmo ambiente, torna-se importante avaliar o caimento do contra piso, pintura, cerâmica, elétrica, esquadrias, louças e metais, demonstrando assim que não se enquadra numa

avaliação de baixa complexidade. Logo, a inspeção direcionada corretamente é crucial para os resultados de desempenho e qualidade.

Além da falta de direcionamento das perguntas no *checklist* avaliado, as mesmas apresentam o mesmo peso, ou seja, a mesma importância para cada serviço realizado. Desta forma, o relatório final não apresenta indicadores de valor agregado, informando assim apenas as atividades que foram concluídas para compilação de um diário de obra. Na construção civil não se pode ter o mesmo peso para todas as atividades, tendo em vista que os níveis de dificuldade de realização ou de retrabalho diferem uns dos outros. Após essa avaliação e utilizando o conhecimento da NBR 15575 e da ISO 9001, o *checklist* foi repensado e modificado. O quadro 5 demonstra parte do *checklist* compilado:

Quadro 2 – Parte do *Checklist* compilado

CHECKLIST APARTAMENTO QUARTOS			
OBRA:		DATA:	
UNIDADE INSPECIONADA:		APARTAMENTO/ÁREA	
INSPECIONADA:			
RESPONSÁVEL PELA INSPEÇÃO:			
PINTURA	SIM	NÃO	OBSERVAÇÕES
O forro possui imperfeições?			
O forro está devidamente pintado?			
As paredes possuem imperfeições?			
As quinas e cantos estão devidamente alinhadas?			
As paredes estão devidamente pintadas?			
HIDRÁULICA	SIM	NÃO	OBSERVAÇÕES
A bacia sanitária está devidamente alinhada?			
O sistema de descarga está funcionando?			
O sistema de descarga está vedando perfeitamente?			
Possui algum vazamento?			

Fonte: Autoras

O novo *checklist* é separado por área de execução e não mais por ambientes. Após a compilação, obtiveram-se perguntas diretas, embasadas na NBR 15575 e ISO 9001, onde cada item é avaliado de acordo com suas funcionalidades. Desta forma, a inspeção é direcionada para cada setor, melhorando a avaliação do relatório e analisando o desempenho e qualidade de cada serviço. Destacam-se as áreas estabelecidas no *checklist*:

- Elétrica;
- Alvenaria;
- Pintura;
- Marcenaria;
- Hidráulica
- Revestimento Cerâmico;
- Gesso e Forro;
- Esquadria e Vidraçaria.

Foram definidos pesos de acordo com o grau de dificuldade da resolução do problema para cada item elaborado. Estes graus foram definidos levando em conta a execução, bem como o tempo e custo do retrabalho. Desta forma, ao analisar e comparar todas as perguntas, atribuiu-se um peso para cada uma delas, sendo estes pesos de 1 a 3, onde 1 seria pouco considerável e 3 muito considerável. Os itens que apresentassem maiores dificuldades de execução, retrabalho ou tempo, receberam pesos maiores, já as que apresentam menor grau de complexidade receberam um peso menor. Ao final do relatório de cada setor, os pesos somam 100% das atividades a serem analisadas. Desta forma, torna-se possível avaliar de forma rápida e clara o andamento das atividades por setor, definindo a importância em porcentagem de cada atividade e facilitando a elaboração de planos de ação para consertos, acompanhamento e ajustes dos cronogramas.

É de suma importância destacar que os graus de dificuldade e consequentemente os pesos foram estipulados para setor e não para o checklist. Desta forma, cada setor é avaliado separadamente para que os resultados obtidos sejam analisados com maior clareza.

Para melhor entendimento da metodologia adotada, exemplifica-se aplicação dos pesos nas perguntas abaixo do setor de elétrica:

- a) Os pontos de tomadas correspondem ao projeto?
- b) Todas as tomadas possuem acabamento?
- c) As tomadas estão em perfeito funcionamento?

A pergunta de menor peso foi a letra b, pois seu conserto é rápido e fácil, além de não gerar custos adicionais de retrabalho, recebendo então peso 1. A pergunta a recebeu peso 3, por ter um grau de dificuldade maior, uma vez que para realização do conserto, outros seguimentos como alvenaria, cerâmica e pintura podem ter que sofrer retrabalho. Neste caso, o peso 3 dessa pergunta irá receber outras formas de análise como, por exemplo, estar de acordo com o projeto humanizado do local. No que tange a pergunta c, esta recebeu o grau de peso 2. Este peso foi atribuído, pois apesar da importância do funcionamento de uma tomada, na maioria das vezes a resolução não é tão complexa, uma vez que não envolve tantos outros seguimentos de retrabalho.

Os quadros 6 ao 10 apresentam a compilação das perguntas por setor, o peso de cada uma delas de acordo com o suposto problema e a norma aplicável, bem como a importância deste item para cada setor quanto ao desempenho de sua execução.

## **DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO**

Este capítulo irá demonstrar como o *checklist* avaliado e compilado no capítulo anterior foi adaptado para um aplicativo móvel, tendo o intuito de melhorar o gerenciamento de obras e o engajamento da construção civil na indústria 4.0, uma vez que esta tecnologia pretende otimizar e informatizar os processos de análises de atividades voltadas para construção.

## **PLATAFORMA MIT APP INVENTOR**

Em 2009, o *App Inventor* foi desenvolvido pela empresa *Google*, que o manteve por dois anos e decidiu então entregar ao denominado *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), traduzido para Instituto Tecnológico de Massachusetts. O *App Inventor* permite que se desenvolvam aplicativos para dispositivos móveis voltados para plataforma *Android*. Este recurso anteriormente era acessível por meio de um *download* e instalação de um

arquivo JAVA. Após a transferência do *Google* para o MIT, o mesmo passou a ser utilizado por meio *online* como também passou a ser chamado de MIT *App Inventor* (CLARCK, 2013).

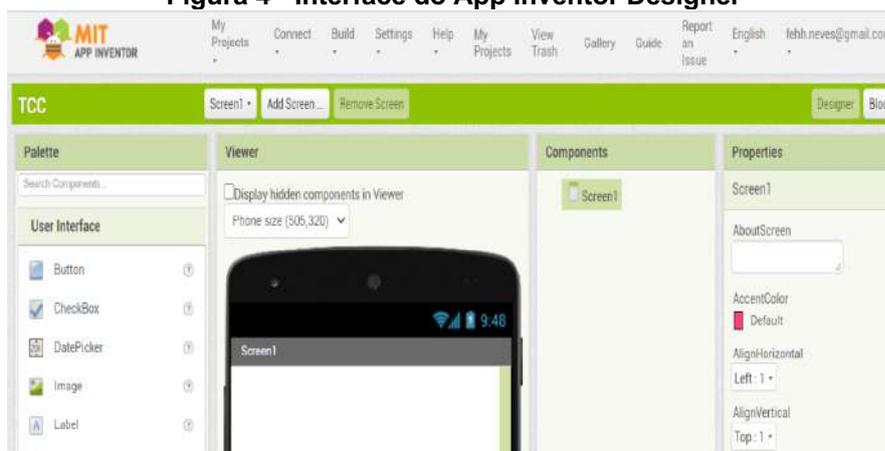
Este recurso é de fácil entendimento e o desenvolvimento de um aplicativo é feito de forma prática e didática. A criação do aplicativo é feita por meio de seleção e montagem de “blocos” disponíveis na plataforma, onde sua criação visual será realizada pelo *App Inventor Designer*.

O *App Inventor* requer que o mesmo tenha uma conta no *Google*. O *App Inventor Designer* tem em sua interface os seguintes componentes:

- ✓ Paleta (*Pallet*) – Dividida em seções onde se encontram botões, textos e imagens a serem inseridas;
- ✓ Visualizador (*Viewer*) – Imitando a tela de um celular ou *tablet*, é onde irão ser inseridos os componentes que constam na paleta;
- ✓ Componentes (*Components*) – Onde ficam todos os itens inseridos, acessíveis para modificação e visualização;
- ✓ Propriedades (*Properties*) – Nesta parte será realizada a configuração de cor, fonte, inserção de arquivos dos botões e textos adicionados.

A figura 6 ilustra como é a interface do *App Inventor Designer*.

**Figura 4 - Interface do App Inventor Designer**



Fonte: [appinventor.mit.edu](http://appinventor.mit.edu)

O *App Inventor Blocks* é o local onde o aplicativo será programado. O usuário irá definir as ações dos componentes inseridos, na aba de comandos *Built in* (Internos), com a combinação de comandos será formada uma ação.

As ações serão atribuídas a cada componente inserido pelo criador do App como, por exemplo, transformar um bloco denominado “Entrar” em um botão, ou digitar em uma caixa de texto. A figura 7 mostra como os componentes são configurados.

Figura 5 - App Inventor Blocks



Fonte: AndroidPro 2018

Com o *MIT App Inventor* o usuário é capaz de realizar a programação *Android* de uma forma simples, mesmo por quem nunca programou, pois, o mesmo utiliza uma linguagem fácil possibilitando o desenvolvimento de aplicativos para inúmeras finalidades. Após sua criação, o aplicativo pode ser publicado no *Play Store*, criando assim um App que poderá ser baixado e utilizado por outros usuários.

As vantagens quanto à utilização do *MIT App Inventor* se destacam entre a gratuidade da ferramenta, o dinamismo e o fácil entendimento, tornando seu uso intuitivo. O aplicativo também não necessita da realização de *download* de arquivo, além de aceitar o uso de extensões. Entretanto, este possui algumas desvantagens como, por exemplo, aplicação apenas para dispositivos com sistema *Android* e limite de criação de telas.

## DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

Após a compilação do *checklist*, verificou-se que o mesmo ainda possuía espaço para melhorias. Logo, optou-se por transformar o tradicional *checklist* de papel num aplicativo móvel, visando uma maior praticidade e agilidade do processo de verificação. Assim, a plataforma escolhida para realizar o desenvolvimento do aplicativo foi o *MIT Inventor*, devido as vantagens listadas anteriormente.

Pensando neste desenvolvimento, iniciou-se a etapa de criação das telas dos usuários focando numa interface amigável. Assim, estabeleceu-se uma tela inicial (*home*) onde o avaliador teria a capacidade de escolher a área desejada para avaliação. Ao selecionar a área desejada, a tela subsequente seria a tela do *checklist*. Nesta nova tela, o avaliador preencheria qual a obra, a data de inspeção, o local e o nome do avaliador responsável pela análise. Esta tela teria uma barra de rolagem, assim na mesma página estariam os itens a serem avaliados do *checklist*, campos de observação, dentre outros recursos como, por exemplo, a inclusão de até dois registros fotográficos. A limitação da quantidade das evidências fotográficas está relacionada com o fato de mitigar o tamanho do arquivo do aplicativo, evitando que o mesmo ficasse "pesado". Após análise do *checklist*, o usuário é permitido enviar todo relatório para até dois e-mails.

Dado o exposto, desenvolveu-se o aplicativo cujo nome escolhido foi NaObra. O mesmo é compatível com o sistema *Android*. Nele foi possível inserir todo o conteúdo do *checklist* compilado. A figura 8 mostra a página inicial do App NaObra.

Figura 6 - Página Inicial App NaObra



Fonte: Aplicativo NaObra

Na página inicial é apresentado o logotipo do aplicativo e um botão, onde ao apertar o usuário poderá iniciar a utilização do aplicativo. A figura 9 apresenta cada setor a ser analisado logo após acessar o APP.

Figura 7 - Setores do App NaObra



Fonte: Aplicativo NaObra

Conforme mencionado, a segunda página do NaObra apresenta botões, onde cada um irá corresponder ao setor/área que será avaliado. Assim, basta o usuário clicar no botão correspondente e o NaObra irá abrir uma nova página como mostrado na figura 10.

Figura 8 - Escolha do Seguimento

CHECK LIST: ELETRICA

Digite o Nome da Obra

**Data Registrada da Inspeção:**  
Selecione a Data

**Unidade Selecionada:**  
Selecione a Unidade

Escreva o Apto ou Área Inspeccionada

Escreva o responsável pela inspeção

**1 - Os pontos de tomada correspondem ao projeto**  
 Sim  Não  
Se necessário, escreva sua observação

**2 - Todas as tomadas possuem espelho / acabamento**  
 Sim  Não  
Se necessário, escreva sua observação

Fonte: Aplicativo NaObra

Nesta página o analisador irá preencher a obra em que será realizada a avaliação, data e unidade, sendo para isso necessário acionar os botões **Selecione a Data** e **Selecione a Unidade**, respectivamente. Em cada botão selecionado o APP irá abrir uma caixa, como mostrado na figura 11, onde neste caso o usuário irá selecionar a data de inspeção em um calendário.

Figura 9 - Data a ser selecionada no Aplicativo NaObra

Digite o Nome da Obra

**Data Registrada da Inspeção:**  
Selecione a Data

**Unidade Selecionada:**  
Selecione a Unidade

Escreva o Apto ou Área Inspeccionada

Escreva o responsável pela inspeção

**1 - Os pontos de tomada correspondem ao projeto**  
 Sim  Não  
Se necessário, escreva sua observação

**2 - Todas as tomadas possuem espelho / acabamento**  
 Sim  Não  
Se necessário, escreva sua observação

22 mar 2020

OK Cancelar

Fonte: Aplicativo NaObra

A figura 12 apresenta a escolha da unidade. Em uma lista contendo o nome dos blocos e das áreas comuns é possível selecionar o local de inspeção.

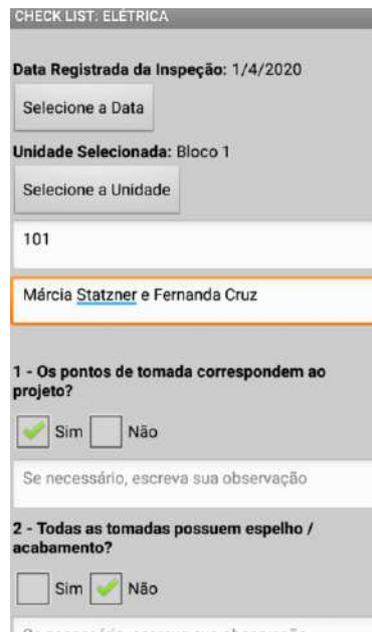
Figura 10- Selecionar a Unidade



Fonte: Aplicativo NaObra

Após selecionar a data e o local, o usuário será direcionado para uma caixa de texto onde será preenchido o apartamento ou área a ser avaliado, bem como o responsável pela inspeção. Ao preencher os requisitos solicitados é iniciado o *checklist*, onde serão respondidas perguntas por meio do preenchimento de *checkboxes* SIM ou NÃO. Abaixo terá uma caixa de texto onde será possível ser inserida uma observação em cada uma das perguntas respondidas, conforme ilustrado na figura 13.

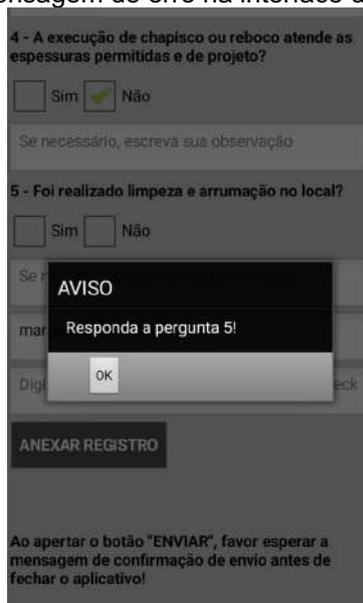
Figura 11 - Preenchimento do *Checklist*



Fonte: Aplicativo NaObra

O aplicativo irá acusar caso alguma pergunta ou item de identificação da avaliação do apartamento não esteja preenchido, gerando uma mensagem na tela de acordo com o item pendente de informação. Isso irá minimizar erros de preenchimento que em checklist de papel poderiam passar despercebidos. A figura 14 exemplifica essa mensagem quando uma pergunta não é preenchida.

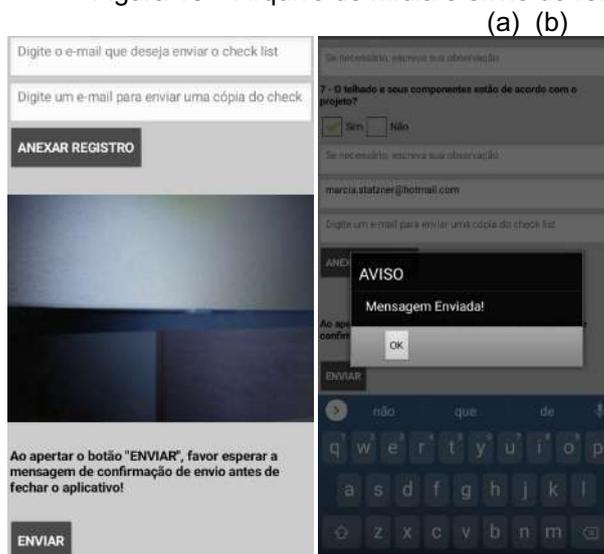
Figura 12 – Mensagem de erro na interface do aplicativo



Fonte: Aplicativo NaObra

Ao final das perguntas será possível adicionar até dois arquivos de mídia em formato de imagem que será enviado juntamente com o *checklist* para os dois *e-mails* desejados. A figura 15a e 15 b apresenta como adicionar o arquivo de mídia, como enviar o relatório por *e-mail* e a mensagem da tela após conclusão do envio.

Figura 13 – Arquivo de mídia e envio do relatório



Fonte: Aplicativo NaObra

O aplicativo irá gerar um relatório que será enviado para os *e-mails* inseridos pelo usuário, tendo como *e-mail* remetente: [checklist.obra@gmail.com](mailto:checklist.obra@gmail.com). Este relatório será preenchido no corpo do email conforme as perguntas e será gerada uma porcentagem quanto a qualidade da inspeção conforme os pesos definidos para as perguntas, como mostra a figura 16.

Figura 14 – Relatório gerado pelo APP NaObra

Check List: Alvenaria

checklist.obra@gmail.com

Para: Você

(Nome da Obra: Obra 2  
Unidade Selecionada: Bloco 4  
Data Registrada da Inspeção: 25/5/2020  
Apto ou Área Inspeccionada: 305  
Responsável pela Inspeção: Márcia e Fernanda

1 - Os tijolos cerâmicos ou bloco estrutural estão com dimensões, qualidade e características do projeto? Sim

2 - A locação dos eixos das paredes está conforme projeto? Não

3 - Foram verificados os alinhamentos, prumos e cunhamento? Sim

4 - A execução de chapisco ou reboco atende as espessuras permitidas e de projeto? Sim

5 - Foi realizado limpeza e arrumação no local? Não

6 - As dimensões dos vãos para locação de portas e janelas correspondem ao projeto? Sim

7 - O telhado e seus componentes estão de acordo com o projeto? Sim

Resultado da Qualidade de Inspeção em %: 81,25

Fonte: Aplicativo NaObra

## CONCLUSÃO

Concluiu-se que a compilação do *checklist* baseado na NBR 15575 e na ISO 9001 ampliou a análise qualitativa quanto à entrega de imóveis. Chamou atenção para aspectos técnicos, anteriormente não notados ou avaliados, de forma eficaz quanto ao seu desempenho e qualidade.

A utilização do aplicativo NaObra, mostrou-se muito eficaz perante a otimização da demanda das correções. Além disso, apresentou uma interface de fácil entendimento, onde qualquer pessoa independente de conhecimentos técnicos na área com um simples treinamento conseguiria utilizá-lo. A compilação do *checklist* também foi essencial para que o desenvolvimento e a aplicação do *software* tivessem valores técnicos agregados e não se tornasse uma lista de checagem robotizada, chamando atenção para o que deveria ser verdadeiramente avaliado. As perguntas geradas no *checklist* também se mostraram importantes e facilitaram o processo, direcionando o avaliador corretamente para a realização da avaliação.

O aplicativo chamou atenção não só para os apartamentos entregues, bem como para suas áreas comuns que envolvem um residencial habitacional. Além disso, demonstrou-se eficaz evitando que unidades residenciais fossem entregues sem o mínimo de exigências apresentadas quanto a sua qualidade e desempenho.

Como visto nas partes analisadas da NBR 15575, o desempenho de uma construção deve ser considerado em diversos sistemas nela existentes, pois estes são interdependentes. A Construção Civil precisa cuidar da qualidade para que as empresas possam se consolidar no mercado. Nesse sentido, o investimento em tecnologia tem um papel muito importante para alavancar este ramo da Engenharia Civil. Por meio de um *software* de gestão como o desenvolvido neste trabalho, torna-se mais fácil acompanhar e gerir o andamento físico-financeiro das atividades e o mesmo se torna uma ferramenta para a modernização das análises e inspeções prediais.

As informações desenvolvidas neste trabalho demonstram a importância da aplicação da norma de desempenho nos processos construtivos não só durante a entrega de um imóvel, mas durante todas as etapas de uma construção civil. Pode-se concluir também que a não conferência das atividades ocorridas no canteiro de obras pode gerar transtornos futuros para a construtora e para os profissionais responsáveis pelo

empreendimento, afetando tanto no cronograma físico quanto no financeiro e dependendo do erro encontrado, esse prejuízo pode ser imensurável.

## TRABALHOS FUTUROS

Como perspectivas de trabalhos futuros e melhorias do aplicativo desenvolvido, podem ser executadas interfaces no aplicativo onde se realizem *checklists* para todas as etapas da obra, da fundação ao acabamento, para maiores gerenciamentos de obra totalmente voltados para o âmbito de indústria 4.0.

Estes *checklists* devem ser criados para acompanhamento durante a execução e conferência após execução das atividades, minimizando assim a quantidade de erros encontrados na fase final e de entrega, conforme demonstrado no estudo de caso abordado neste trabalho. Assim, cada tipo de *checklist* criado abordará suas normas específicas, citando tolerâncias de todo o processo construtivo e informações técnicas indispensáveis para que os requisitos mínimos de qualidade sejam aplicados.

Além disso, destaca-se também como proposta de trabalho futuro a geração automática de gráficos que indiquem o resultado dos indicadores estabelecidos. Deseja-se também disponibilizar o aplicativo para o sistema *IOS*, bem como a possibilidade do próprio usuário parametrizar as perguntas do *checklist* e seus respectivos pesos.

## REFERÊNCIAS

ALONÇO, G., 2017, *O que é e para que serve um checklist?*, Disponível em: <https://certificacaoiso.com.br/o-que-e-e-para-que-serve-um-checklist/> Acesso em 16 mar. 2020 às 09:23.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575/2013: Edificações Habitacionais – Desempenho, Parte 1: Requisitos Gerais.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575/2013: Edificações Habitacionais – Desempenho, Parte 2: Requisitos para sistemas estruturais.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575/2013: Edificações Habitacionais – Desempenho, Parte 3: Requisitos para sistemas de pisos.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575/2013: Edificações Habitacionais – Desempenho, Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575/2013: Edificações Habitacionais – Desempenho, Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575/2013: Edificações Habitacionais – Desempenho, Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9001/2013: Sistema de Gestão de Qualidade - Requisitos

BALDY, Alexandre, Ministério das cidades. Governo Federal, Junho/2018.

BANCO DE DADOS CBIC - Indicadores Imobiliários Nacionais - 4º Trimestre de 2019. Disponível em <http://www.cbicdados.com.br/menu/home/indicadores-imobiliarios-nacionais-4o-trimestre-de-2019>. Acesso em 29/03/2020 às 18:25

BATAGLIN, F.S. Norma de Desempenho e Suas Aplicações: Requisitos Arquitetônicos, Lumínicos, Térmicos e Acústicos. 73 f. il. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.

CARVALHO, L.F. – *Conheça a Indústria 4.0 e seus benefícios ela pode trazer*, Disponível em: <https://blog.aevo.com.br/fique-por-dentro-conheca-a-industria-4-0-e-quais-beneficios-ela-pode-trazer/>. Acessado em 07/06/2020 às 18:01

CATÁLOGO ABNT Disponível em <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=426719>. Acesso em 19/04/2020 às 18:10.

CLARK, A., 2013, *App Inventor launches second iteration*. Disponível em: <http://newsoffice.mit.edu/2013/app-inventor-launches-second-iteration>. Acesso em 16 mar. 2020 09:00.

CORDEIRO, F., 2018, *App inventor: guia de Criação de APPS*, Disponível em <https://www.androidpro.com.br/blog/desenvolvimento-android/app-inventor/> Acesso em 17 mar. 2020 10:30.

CORDOVIL, Luiz Augusto Berger Lopes, *EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS – DESEMPENHO E POSSÍVEIS IMPACTOS NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO*. 2013 77 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Escola Politécnica.

FARIA, C. A.; ARANTES, D. *ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL*. 2012. 91 F. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, Barretos, 2012.

FREITAS, Melyna Resende de. *A norma ISO 9000 e o modelo de excelência em gestão garantindo a qualidade na prestação de serviços em uma empresa júnior e consultoria*, 50 f. Il, 2011. Trabalho de Conclusão de curso – Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2011.

FURLANETTO, Pedro Egídio Pimentel. *Estudo de caso sobre os impactos da Norma de Desempenho ABNT NBR 15575:2013 no mercado de residências unifamiliares populares*. 62 f. Il. 2017. Monografia – Universidade Federal de Paraíba. João Pessoa, 2017. *Massachusetts Institute of Technology. Criação do aplicativo*. Disponível em <https://appinventor.mit.edu/>.

PIRES, R., 2019, *Saiba como controlar seu Planejamento e suas Tarefas com o Checklist*, Disponível em: <https://rockcontent.com/blog/checklist/> Acesso em 16 mar. 2020 às 12:34.

REIS, PAIÃO E SOARES. *Análise de uma implantação da ISO 9001: Um Estudo de Caso em um laboratório de análises industriais*, 19 f.il, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdades Integradas Teresa D’ávila. Lorena, 2014.

RIBEIRO, M. 2019, *Indústria 4.0 e a Construção Civil: saiba como se preparar para as mudanças*. Disponível em: <https://maiscontroleerp.com.br/industria-4-0-e-a-construcao-civil/>. Acesso em 07 jun. de 2020 às 12:35.

RIBEIRO, R., 2019, *Kodular: Crie aplicativos para Android mesmo sem saber nada de programação*. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/noticia/kodular-crie-aplicativos-para-android-mesmo-sem-saber-nada-de-programacao/81286>. Acesso em 17 mar 2020 às 14:27.

SCARDOELLI, L. S. *Iniciativas de melhorias voltadas à qualidade e à produtividade desenvolvidas por empresas de construção de edificações*. 1995. 160 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre, 1995.

SIDRA: Sistema IBGE de Recuperação Automática – Pesquisa Anual da Indústria da Construção – PAIC. Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/paic/quadros/brasil/2017>. Acesso em 28/03 as 18:34

SOUZA, R.;ABIKI, A. *Metodologia Para Desenvolvimento e Implantação de Sistemas de Qualidade de Gestão em Empresas Construtoras de Pequeno e Médio Porte*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1997.

SOUSA, R. F., *Inovações Tecnológicas na Construção Civil*. 64 f. il. 2015. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

**Rafael Machado da Silva**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

**Samara Francisco Zappala**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

**Bruno Freitas de Azevedo**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

## **RESUMO**

A ocupação desordenada de áreas urbanas e o aumento da impermeabilização causando a redução de infiltração das chuvas no solo, afeta a dinâmica do ciclo hidrológico. A importância de um serviço adequado de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas torna-se mais clara para a população das grandes cidades na medida em que se acumulam os efeitos negativos das chuvas, tais como alagamentos, inundações, deslizamentos e perda de rios e lagos. Sendo assim, o presente trabalho se trata de um estudo de caso, onde foi elaborado uma proposta de sistema de microdrenagem pluvial, para um novo empreendimento que está sendo realizado na cidade de Petrópolis, mais especificamente, um grupamento residencial com 210 unidades situado na Avenida Leopoldina 887/1015 – Nogueira – 2º Distrito de Petrópolis, no estado do Rio de Janeiro, visando diminuir os impactos da rede de drenagem já existente e descrever os procedimentos para malha de drenagem das águas pluviais, que tem a finalidade de captar as águas em percolação, oriundas dos telhados, pátios, estacionamentos, áreas livres (verdes) e arruamento, incluindo um trecho da Avenida Leopoldina, tendo em vista que a via apresentou problemas de alagamento devido ausência de bocas de lobo, e assim conduzindo-as ao corpo receptor, Rio Piabanha. O trabalho compreendeu em levantamentos de dados da topografia do terreno, mapa de zoneamento da região em que o terreno está inserido, análise da legislação vigente na Prefeitura para atender às exigências técnicas e posterior aprovação do mesmo.

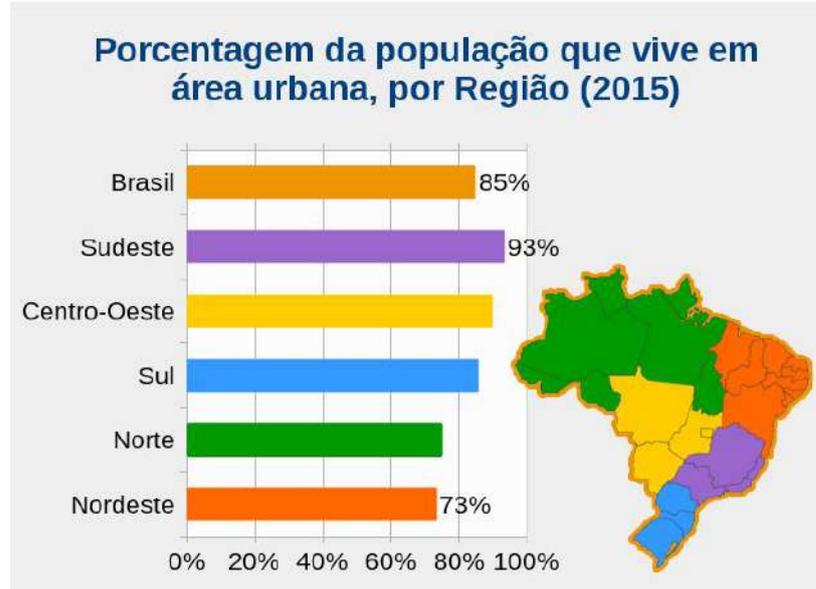
**Palavras-chave:** Dimensionamento; Drenagem pluvial; escoamento superficial; Petrópolis – RJ; Taxa de urbanização.

## **INTRODUÇÃO**

O crescimento desordenado do Brasil ao longo das últimas décadas, principalmente nas grandes cidades, acarreta em um processo de urbanização na maioria das vezes desordenado e irregular nos processos hidrológicos. De acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) 2015, como pode ser observado na Figura 1, a seguir, 84,72% da população

brasileira vive em áreas urbanas, enquanto que 15,28% dos brasileiros vivem em áreas rurais. A região Sudeste, é a região com maior índice de população urbana, com 93,14%. Já a região Nordeste, conta com o maior percentual de habitantes vivendo em áreas rurais, 26,88% (Figura 1).

Figura 1 - Porcentagem da população que vive em área urbana, por Região.



Fonte: adaptado (IBGE, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), 2015).

O intenso processo de urbanização acarreta diversas complicações para as cidades, como as inundações, que são recorrentes nas zonas urbanas e causando danos e prejuízos à população.

Segundo (NUNES, 2016), o processo de urbanização "tradicional", com a cobertura da bacia hidrográfica é feita com pavimentos impermeáveis, como por exemplo, ruas, passeios públicos, ciclovias, estacionamentos, telhados etc., que reduz significativamente a infiltração das águas da chuva no solo.

A urbanização tem efeitos negativos sobre os recursos hídricos; o ciclo hidrológico; as variações climáticas; as cheias naturais dos rios; nos usos e ocupações do solo e; no balanço hídrico (TUCCI, 2007). Diversos são os fatores responsáveis pela produção de inundações urbanas, que vão desde aumento gradativo do volume de sedimentos e do escoamento superficial, devido ao lançamento de sólidos nos rios, galerias e canais, e, além disso, a ausência de planejamento adequado para o uso e ocupação do solo, infraestruturas dimensionadas de forma inadequada, aliadas ao baixo investimento nos sistemas urbanos (LIMA, 2019, p. 11).

Além dos problemas já mencionados, a falta de manutenção das redes de drenagem urbana, são bem evidenciados nos eventos de chuvas intensas. Fator que as tornam deficitárias quando a impermeabilização e ocupação irregular do solo ultrapassa os valores regulamentados nas legislações que estabelecem as diretrizes do uso e ocupação do solo, como o Plano Diretor. Provocando assim um aumento significativo no escoamento superficial e elevando as vazões de pico, que prejudicam o sistema de drenagem. (LIMA, 2019, p. 11-12).

Quando se trata de drenagem urbana, boa parte das cidades brasileiras não possui normas de fiscalização, segundo Tucci (2002), o Plano Diretor Urbano existe para que cada município introduza o uso do solo e as legislações ambientais, mas raramente aborda a drenagem urbana.

Tendo em vista a importância da drenagem urbana e o crescimento populacional, a prefeitura municipal de Petrópolis, implantou o decreto nº 23.940, de 30 de janeiro de 2004, assinado pelo prefeito da cidade do Rio de Janeiro Cesar Maia, através do processo 02/003.004/2003, tornando obrigatório, nos casos previstos, a adoção de reservatórios que permitam o retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem. Ou seja, em toda construção nova com área impermeabilizada acima de quinhentos metros quadrados, deverá ser construído um reservatório para retardar o escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem.

Deverão também ser aplicadas técnicas de drenagem para estes empreendimentos com o objetivo de diminuir e ou retardar ao máximo a contribuição das águas pluviais.

O crescimento desordenado da população nos municípios brasileiros, assim como a frequente impermeabilização e ocupação das áreas verdes, tornando cada vez maior o volume de águas pluviais que não são absorvidas pelo solo. Passou-se a tornar obrigatório em toda nova construção medidas que permitam o retardo do escoamento das águas pluviais para que não sobrecarregue a rede de drenagem já existente do município. Justificando assim a escolha do tema.

Neste trabalho pode-se observar a importância das técnicas de microdrenagem para redução ou retardo do escoamento superficial das águas pluviais, assim como o dimensionamento de uma rede de drenagem em um novo empreendimento, no município de Petrópolis, atendendo as exigências técnicas da legislação vigente na Prefeitura e posterior aprovação do mesmo.

O objetivo deste trabalho é implementar técnicas de microdrenagem, para o correto manejo das águas pluviais oriundas de um novo empreendimento que está sendo realizado na cidade de Petrópolis, visando diminuir os impactos da rede de drenagem já existente e descrever os procedimentos para definição da malha de drenagem das águas pluviais, conduzindo-as até o seu corpo receptor e atendendo todas exigências conforme decreto nº 23.940, de 30 de janeiro de 2004.

O presente trabalho tem como objetivo a aplicação de técnicas de microdrenagem para retardar uma porcentagem de água pluvial ocasionadas por mudanças na superfície do solo, devido à uma nova construção de um grupamento residencial com 210 unidades situado na Avenida Leopoldina, nº 887/1015 – Nogueira, 2º distrito de Petrópolis – RJ. Quantificando assim a vazão gerada, a distribuição dos trechos de drenagem de acordo com sua topografia e a definição de sua malha de drenagem.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

### **A HISTÓRIA DA DRENAGEM URBANA**

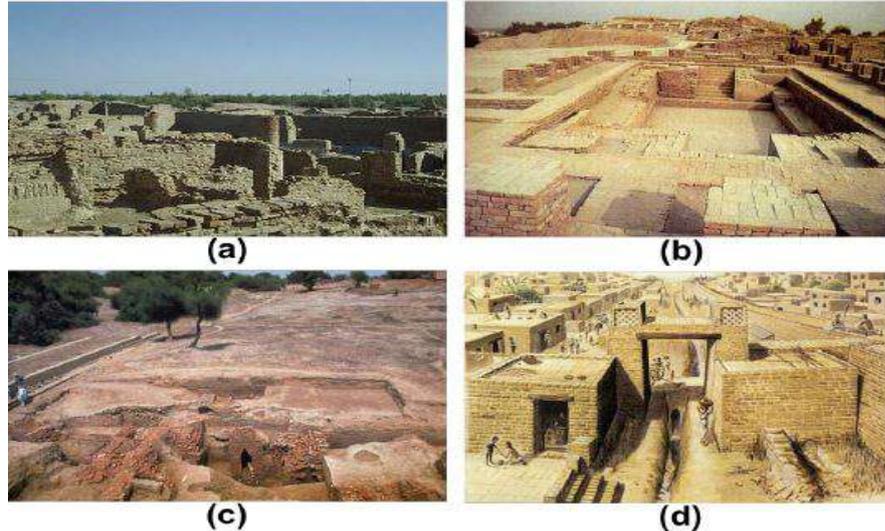
#### **DA ANTIGUIDADE ATÉ A EVOLUÇÃO DA DRENAGEM NO BRASIL A PARTIR DO SÉCULO XIX**

Desde o início da raça humana, os nômades se estabeleciam temporariamente as margens dos rios e lagos para retirar parte de seu sustento. Quando passaram a se fixar as margens dos rios e lagos com o objetivo de cultivar o próprio alimento, passou também a desenvolver técnicas de drenagem associadas a irrigação. A partir daí surgiu as grandes civilizações, sempre as margens dos rios e lagos, bem como exemplo a Mesopotâmia e Egito (SILVA, 2010, p. 1).

A origem da drenagem está inerentemente associada a mudança de hábitos das civilizações. O conceito de drenagem era atribuído somente para a prática da agricultura, porém, com o aumento da civilização e o desenvolvimento de novas práticas e modelos de



Figura 3 – Civilizações do vale do rio Indo sistema de drenagem (a) e banhos coletivos (b) de Mohenjo-Daro; sistema de drenagem e esgoto (c) e reconstrução artística (d) de Harappa

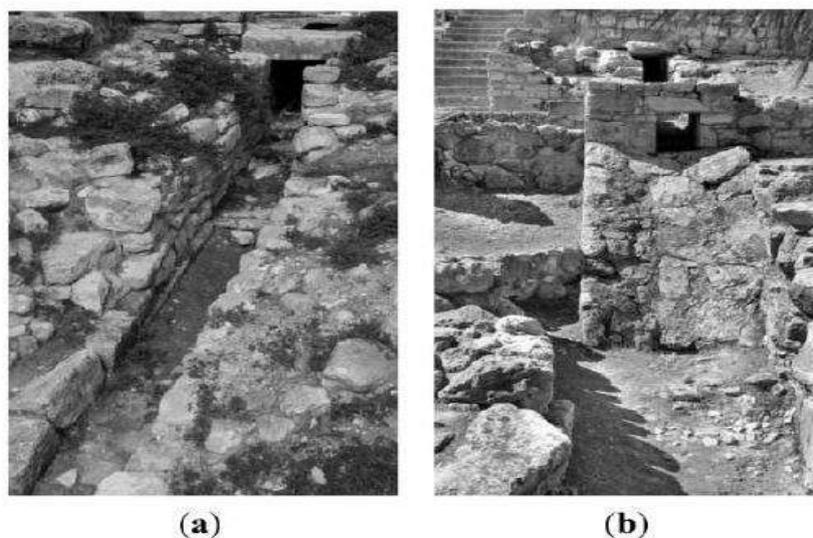


Fonte: adaptado Imada (2014, p.26).

A civilização Persa armazenava a água pluvial em cisternas e as utilizavam para o abastecimento, pois consideravam as águas pluviais sagradas, e poluí-las era considerado um pecado (IMADA, 2014).

Ruínas do palácio-cidade de Knossos, na ilha de Creta, entre 3000 e 1000 a.C., foi construído (Figura 4), em pedra, um sistema elaborado para transportar o esgoto sanitário, as águas dos telhados e o escoamento superficial em geral. Onde o sistema era composto por dois condutores separados, o primeiro para transportar os esgotos sanitários e o segundo águas pluviais (IMADA, 2014).

Figura 4 – (a) Coletor de esgoto (b) sistema de drenagem

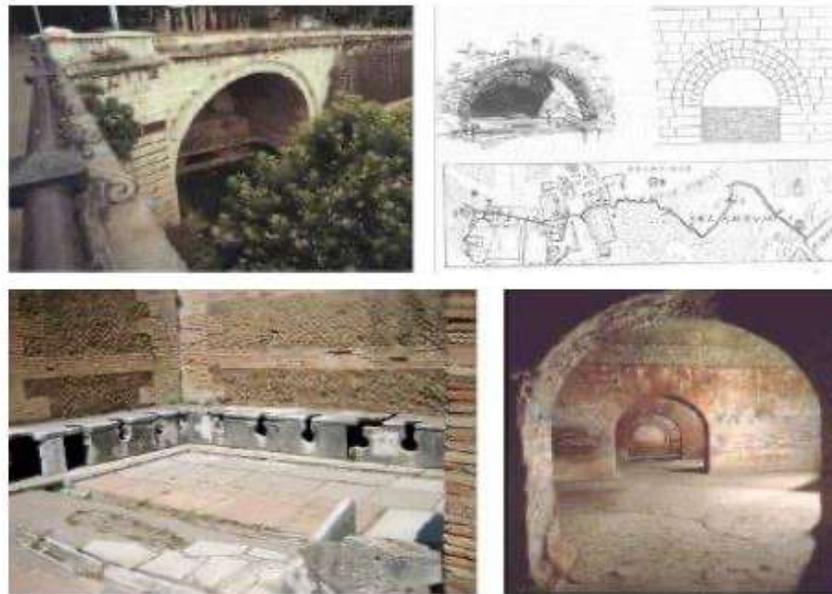


Fonte: Imada (2014, p. 27).

Segundo Imada (2014) o conhecimento adquirido pelas primeiras civilizações ao longo do tempo, se difundiu e foi aprimorado por outros povos. Sendo atribuídos à

civilização romana, os maiores avanços tecnológicos na área de drenagem urbana. Os romanos executaram sistemas de estradas cuidadosamente planejadas, contendo condutos para efetuar o escoamento superficial das águas pluviais e, dessa forma, drenar suas estradas. Além disso, construíram um complexo sistema composto por canais abertos e dutos subterrâneos para transportar esgotos conhecido como cloacas, sendo a maior delas conhecida como Cloaca Máxima, responsável pela drenagem da região acerca do Fórum para o rio Tibre. A utilização de cisternas, localizadas dentro das residências, para captação de águas pluviais para diversos fins, também foi amplamente aplicada pelos romanos. A Figura 5 ilustra alguns componentes dos sistemas romanos.

Figura 5 – Sistemas romanos



Fonte: adaptado Imada (2014, p. 28).

Durante muitos séculos, o sistema de drenagem pouco se desenvolveu. Napoleão no ano de 1857, a fim de estruturar as cidades na França, frente a crescente e ligeira urbanização, começou a construção de um sistema de drenagem capaz de suportar o grande volume escoado da metrópole, pois tornou-se imprescindível conduzir os dejetos humanos através do sistema de esgotamento. A proposta era escoar a água e lançá-la no rio Sena, já se tinha nessa época a preocupação em escoar as águas pluviais separadamente dos esgotos sanitários (IMADA, 2014).

Segundo Silveira (2000), no Brasil o conceito de drenagem urbana utilizado hoje resultou de um processo de construção contínua que se iniciou em meados do século XIX. Essa sequência é caracterizada por três etapas: conceito higienista; racionalização e normatização dos cálculos hidrológicos; abordagem científica e ambiental do ciclo hidrológico, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, a seguir. Após a proclamação da república em 1889, o conceito sanitaria se consolidou com o interesse de manter fluidos indesejáveis o mais longe possível das cidades, de forma ordenada a fim de evitar a proliferação de doenças.

Quadro 1 – Hidrologia Urbana no Brasil – Etapa Histórica

Etapas históricas	
Conceito HIGIENISTA (século XIX)	Eliminar rapidamente os focos de água parada ou empoçada que representavam grave ameaça à saúde pública;

Conceito da RACIONALIZAÇÃO (até década de 1990):	Mantém o conceito de evacuação rápida, mas estabelecendo melhor o cálculo hidrológico para dimensionamento das obras hidráulicas;
Período CIENTÍFICO E AMBIENTAL:	Consciência ecológica e a explosão tecnológica.

Fonte: Adaptado BOTELHO, (2012).

O engenheiro Saturnino Brito, tem como destaque no Brasil os trabalhos de reestruturação de cidades portuárias como Santos e Rio de Janeiro. Antes da atuação de Saturnino Brito, a engenharia sanitária brasileira era primitiva, os poucos conceitos e princípios de projetos aplicados com base em projetos europeus eram incompatíveis com as demandas de projeto brasileiras, desencadeando sistemas mau dimensionados e projetados (IMADA, 2014).

De acordo com Rezende e Heller (2008) Saturnino defendia a aplicação de tecnologias apropriadas as necessidades nacionais, considerando suas variáveis físicas, culturais, sociais e econômicas. Sendo responsável pelo desenvolvimento de um novo cenário técnico voltado para a realidade do país.

Hoje, apesar das políticas locais ainda não priorizarem o setor de drenagem urbana, ele está inserido nas vertentes do saneamento. Assim de acordo com a Lei nº 11.445 (BRASIL, 2007) saneamento é o conjunto de obras de engenharia voltadas para infraestrutura e instalações operacionais que visam fornecimento de água, implementação de sistema de esgoto sanitário, limpeza urbana, implementação de sistema de drenagem urbana, manejo de resíduos sólidos e de águas pluviais. Esta lei visa incentivar a universalização dos serviços de saneamento básico, para que todos tenham acesso ao abastecimento de água de qualidade e em quantidade suficientes às suas necessidades, à coleta e tratamento adequado do esgoto e do lixo, e ao manejo correto das águas das chuvas.

Conforme o Plano Nacional de Saneamento Básico (2008), há uma grande correlação entre as ações de saúde, habitação, meio ambiente, recursos hídricos e outras, com as de saneamento. Dessa forma, os planos, os programas e as ações nestes assuntos devem ser adequados com o Plano Diretor do município e com planos de manejo das bacias hidrográficas em que está inserido o Planejamento de Drenagem Urbana.

Segundo Justino (2004), os Planos Diretores estão voltados à interferência no processo de desenvolvimento local, envolvendo uma visão geral dos fatores políticos, econômicos, financeiros e territoriais que dirigem a situação do município.

Nota-se que a gestão das cidades é realizada em decisões isoladas, não há um planejamento integrado, resultando em elevados custos de implantação de projetos de drenagem. O gerenciamento da drenagem deve estar integrado ao gerenciamento do espaço urbano (HANSMANN, 2013).

Tucci (2003) relata que para implantar medidas sustentáveis na cidade faz-se necessário articular o Plano Diretor de Drenagem Urbana, e o Plano deve se basear nos principais princípios: o planejamento e o sistema de controle dos impactos existentes devem ser elaborados considerando a bacia como um todo; os novos projetos não devem aumentar a máxima vazão de jusante; o planejamento ser coerente com as determinações de Plano Diretor Municipal; o controle dos efluentes deve ser analisar de maneira integrada com o esgoto sanitário e os resíduos sólidos.

Segundo o IBGE (2008), os projetos de drenagem urbana são elaborados pelos Planos Diretores de Urbanização (PDU's) ou de Uso do Solo Urbano. Dos 20 5.507 municípios brasileiros, apenas 841 possuem PDU's (15,3%), sendo que destes, apenas 489 apresentam data posterior a 1990 (8,9%). Porém, os planos vigentes, na maior parte,

estão voltados diretamente para aspectos estéticos, sem uma abordagem mais profunda nas questões ambientais e, principalmente, de drenagem.

De acordo com Bellé (2011) o termo drenagem indica a ação de escoamento das águas provenientes de precipitações, onde naturalmente seu curso é em direção às cotas mais baixas, podendo ser alterado com a ajuda de bombas, porém seria economicamente ideal traçar o menor caminho entre a captação dessas águas e seu destino final, favorecendo sempre o escoamento por gravidade.

Para Porto et al. (2009) a drenagem urbana é o conjunto de medidas que tem por objetivo minimizar os riscos a que as populações estão submetidas, reduzir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável.

Segundo Cardoso (2014), a drenagem urbana não é apenas uma questão técnica de engenharia, visto que envolve colaboração e conscientização da sociedade como um todo, a qual sofrerá fortes consequências na falta de um sistema de drenagem bem elaborado, envolvendo outras áreas, tais como arquitetura, planejamento, assistência social, entre outros.

O caminho percorrido pela água da chuva sobre uma superfície pode ser topograficamente bem definido, ou não. Após a implantação de uma cidade, o percurso caótico das enxurradas passa a ser determinado pelo traçado das ruas e acaba se comportando, tanto quantitativa como qualitativamente, de maneira bem diferente de seu comportamento original (NETO, 2010).

De acordo com Tucci, Porto e Barros (1995) as águas são submetidas a escoamento superficial pelas vias não captadas por canaletas laterais denominadas sarjetas. Para realizar a interceptação das águas que escoavam pelas sarjetas e conduzi-las para a tubulação pluvial, são utilizadas as bocas de lobo. Os autores explicam que sua aplicação visa evitar o escoamento em travessas de ruas, os chamados pontos baixos, e impedir o aumento do escoamento acima da capacidade da sarjeta, denominadas intermediárias. Os fluidos captados pela drenagem pluvial e pelas bocas de lobo são conduzidos a tubulações. As tubulações, por sua vez, conduzem as saídas, podendo ser em galerias de diversos formatos, ou a canais a céu aberto, chamados de emissários.

O sistema de drenagem pluvial constitui-se em elementos de macrodrenagem e microdrenagem (JÚNIOR, 2014). De acordo com Valente (2013) a macrodrenagem consiste em um conjunto de obras de maior porte, projetadas para um período de retorno de 25 a 100 anos, são canais abertos de contornos fechados, grandes galerias pluviais, dispositivos de armazenamento; já a microdrenagem são condutos pluviais da rede primária, são projetados com período de retorno entre 2 a 10 anos, este é composto pelos seguintes itens: terraplenagens, guias, sarjetas, galerias de águas pluviais, pavimentações e obras de contenção de encostas. Este trabalho visa estudar o sistema de microdrenagem.

## **QUADRO LEGAL DA OCUPAÇÃO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS**

“Uma cidade é algo mais que o somatório de seus habitantes, é uma unidade geradora de um excedente de bem estar e de facilidades que leva a maioria das pessoas a preferirem – independente de outras razões – viver em comunidade a viverem isoladas.” (CULLEN, 1983)

A despeito dos graves problemas que lhe servem ao mesmo tempo de causa e efeito, as cidades reúnem, como nenhum outro tipo de agrupamento humano, condições culturais e materiais capazes de propiciar a elevação dos padrões de dignidade, dos princípios éticos e dos níveis de qualificação que devem alcançar as sociedades organizadas.

Mas para que essa afirmação seja verdade e para que a cidade realmente seja um local de vida em comunidade, escolhido por preferência e não por falta de opção melhor, é

necessário que ela seja bem administrada e organizada, incluindo neste ponto a ocupação e o uso de seu solo.

Essa organização da ocupação do solo das cidades compete diretamente aos seus gestores urbanos, que utilizam normas e leis criadas para assegurar a plena realização das funções sociais e econômicas da cidade em questão, garantindo o exercício do direito de cidadania e o bem-estar de seus habitantes.

A gestão urbana é responsabilidade dos três níveis governamentais da Federação: União, Estados e Municípios, sendo, no entanto, este último, o que maior competência possui, na medida em que é de sua responsabilidade a elaboração do Plano Diretor, constitucionalmente reconhecido como o instrumento básico da política urbana.

De acordo com Braga e Carvalho (2002, p. 99-110), além do plano diretor, o município possui um rol de instrumentos urbanísticos que compõem o conjunto jurídico da gestão urbana, onde os quatro principais são:

Lei de uso e ocupação do solo urbano (zoneamento): é o mais difundido e, também, o mais criticado, tanto por sua eventual ineficácia, quanto por seus efeitos perversos (especulação imobiliária e segregação socioespacial). Sua forma mais tradicional é o zoneamento de uso e ocupação do solo, de matriz funcionalista, que prevê uma segregação de usos – industrial, comercial e residencial – com maior ou menor grau de flexibilidade.

Lei do parcelamento do solo urbano: solo é complementar e está diretamente subordinada aos requisitos definidos pela lei de zoneamento ou de uso do solo urbano. Este instrumento legal é principalmente concebido levando em conta a expansão da cidade através de loteamentos ou desmembramentos com abertura de vias públicas, com uso predominante de uso residencial e suas atividades extensivas – equipamentos comunitários de saúde e educação e sistemas de recreação.

Código de obras: regula principalmente, na instância municipal, as edificações civis e outras instalações afins, levando em conta os usuários destes espaços e instalações, bem como a vizinhança, quanto aos aspectos de sossego, segurança e saúde.

Código de posturas municipais: originariamente eram documentos que reuniam o conjunto das normas municipais, em todas as áreas de atuação do poder público. Com o passar do tempo, a maior parte das atribuições do poder local passou a ser regida por legislação específica (lei de zoneamento, lei de parcelamento, código de obras, código tributário etc), ficando o Código de Posturas restrito às demais questões de interesse local, notadamente aquelas referentes ao uso dos espaços públicos, ao funcionamento de estabelecimentos, à higiene e ao sossego público. (Petrópolis, 1998)

De posse desses instrumentos urbanísticos, cabe aos gestores organizar a ocupação territorial urbana e fazer cumprir cada um deles, lembrando sempre que

[...] A ocupação urbana de determinado território corresponde ao espaço produzido pelo homem em oposição ao que se pode chamar de espaço natural [...]. A forma urbana não deve ser desligada de seu suporte geográfico o que em muitos casos traz consigo as determinantes das formas e do traçado urbano [...]. (PETRÓPOLIS, 1998)

Essa observação é fundamental e a primeira a ser levantada, ao pensarmos no município de Petrópolis. É possível em quase todos os pontos da cidade e de seus distritos, observar a influência do sítio de implantação ao olhar de perto as ocupações das encostas por meio de servidões, escadas ou arruamentos.

Justamente analisando a história do crescimento urbano de Petrópolis,

Tabela 1 a seguir, é possível observar nela dois momentos bastante significativos: a década de 60 e o final da década de 70 e início da década de 80 conforme

Tabela 1. Nos dois momentos é clara a influência quase que direta do quadro legal, ou seja, da legislação de uso e ocupação do solo adotada pelo poder municipal.

Tabela 1 – História do crescimento urbano de Petrópolis

Ano	Habitantes	Crescimento	
1960	150.300		
1970	189.118	25,83%	
1980	241.573	27,74%	60,73%
1994	261.883	8,41%	
2000	286.348	9,34%	18,53%

Fonte: adaptado (IBGE)

Na década de 60 a política de uso e ocupação do solo vigente no município não era muito bem definida, sendo regulamentada por 4 leis diferentes: o Código de 1931, a Postura nº 11 de 1938, o Decreto-Lei nº 48 de 1941 e o Código de Obras de 1960. É também em meados da década de 60 que o Instituto do Tombamento do IPHAN passa a ter voz no processo de gestão do município e se soma aos códigos municipais para organização da cidade. A variedade de leis, fazia com que o trabalho de fiscalização para o cumprimento das mesmas fosse dificultado, acarretando com isso um crescimento quase que desordenado da cidade.

Nas décadas de 70 e 80, os planejadores municipais passaram a encorajar o crescimento e o adensamento das cidades e Petrópolis não ficou fora do processo. Mas uma vez a legislação influi no crescimento com o Decreto Municipal 143 de 1976, que libera a construção de prédios com até 12 pavimentos na área do núcleo formador da cidade (Vila imperial) (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), iniciando assim um processo de rompimento com a paisagem natural e com o traçado urbano definido por Koeller.

Figura 6 - Cartão postal fotográfico mostrando vista de trecho da avenida Quinze de Novembro, atual rua do Imperador, e da rua Paulo Barbosa. Vê-se, ao centro, o edifício Imperador.



Fonte: site Acontece em Petrópolis, acessado em 27/10/2020.

O processo de verticalização do centro e o de ocupação livre dos demais distritos de Petrópolis ocorre por quase 30 anos até o Decreto federal 85849., que aplica a moratória de 90 dias. Em 15 de agosto de 1981, a regulação e controle do uso do solo urbano, ganham um instrumento definitivo com a aprovação do Decreto Municipal 90/81, que fica

em vigor até a elaboração da LUPOS – Lei de uso, parcelamento e ocupação do solo – em 28 de maio de 1998 e que se encontra em vigor até hoje.

Com esse breve acompanhamento do processo de formação da cidade de Petrópolis é possível observar e afirmar a importância da legislação de uso e ocupação do solo.

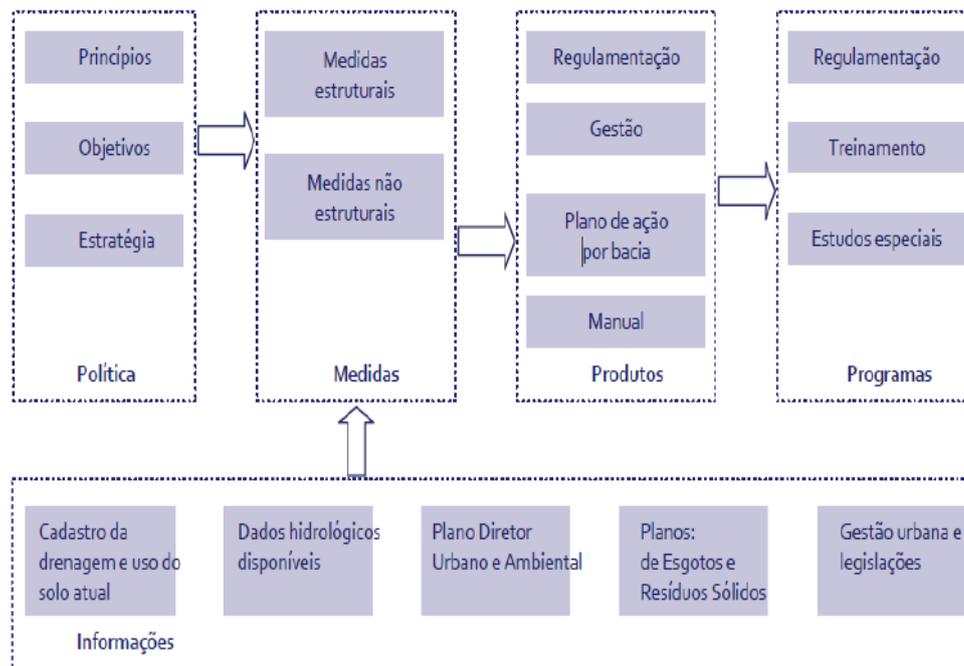
Cabe a cada município, através do plano diretor e de sua legislação urbanística municipal, instituir instrumentos e padrões urbanísticos e ambientais, associado a um sistema eficaz de gestão e fiscalização do solo urbano, voltados a combater a implantação de loteamentos urbanos que aumentam a degradação ambiental e reduzam a qualidade de vida nas cidades, bem como promover uma reforma urbana que torne efetivo o direito a cidade, reduzindo a desigualdade e a exclusão social (SIDON, 1995) e (BASTOS, 1999).

## **PLANOS DIRETORES DE DRENAGEM URBANA**

O plano diretor de drenagem urbana (PDDU) é um instrumento de gestão das águas pluviais na cidade. Este plano deve ser desenvolvido com interfaces com os outros planos da cidade tanto no saneamento quanto no plano de diretor urbano. A Lei de Saneamento (Lei Federal no 445/2007) prevê a elaboração deste plano.

A estrutura do PDDU é apresentada na Figura 7 (TUCCI, 2012). Os grandes grupos são as políticas das águas pluviais que define o conjunto de objetivos, princípios, metas e estratégias que são estabelecidas para o plano da cidade. Já nas medidas, como destacadas anteriormente não são estruturais e estruturais. Os produtos são resultados obtidos das medidas citadas (não estruturais e estruturais) voltadas à sustentabilidade das águas pluviais na cidade. Estes produtos geralmente são: a legislação, os planos de bacias, a definição dos programas e o manual de drenagem urbana que orienta os planejadores e os projetistas na cidade. Programas: os programas são ações de longo prazo associadas às águas pluviais que visam dar permanências e complementarem as medidas. Informações: é a base de conhecimento que permite o desenvolvimento das atividades anteriores. Esta base de informações se fundamenta principalmente em (i) dados hidrológicos: caracterizam o comportamento dos eventos chuvosos na cidade, erosão sedimentação e da qualidade da água; (ii) dados físicos: caracterizam o sistema natural como relevo, geometria dos rios naturais, geologia, vegetação, capacidade de infiltração e tipo de solo; o sistema urbano definido pela ocupação do espaço pela população, sua impermeabilização e os condutos pluviais. Este último aspecto é denominado aqui de cadastro da rede pluvial natural e construída e (iii) legislação relacionada com os sistemas de infraestrutura e seu gerenciamento, onde envolvem: sistema de abastecimento de água (coleta, tratamento e distribuição); sistema de esgoto sanitário (coleta, tratamento e disposição); sistema de coleta e limpeza de resíduos; controle de saúde e vetores; uso do solo urbano e sistema de transporte urbano.

Figura 7 - Estrutura do plano diretor de drenagem urbana (PDDU)



Fonte: TUCCI, (2012).

## DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL – UM ESTUDO DE CASO

### ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo serão abordados e descritos o recorte espacial e os dados do loteamento utilizados para realização deste trabalho. É importante ressaltar que os dados para realização desse trabalho são para fins acadêmicos.

A área de estudo se concentra no loteamento a ser implantado na Av. Leopoldina 877/1015 - Nogueira, que está localizado no município de Petrópolis, região sudeste do Brasil, no estado do Rio de Janeiro. A margem da rodovia RJ-134, que liga a cidade de Petrópolis (RJ) a Juiz de Fora (MG).

A superfície total do terreno é de 12.051,567m<sup>2</sup>, sendo a área de reserva florestal de 1.717,58m<sup>2</sup>.

As edificações são constituídas de 03 blocos, um total de 210 unidades residenciais, administração, lixeira, portaria e área de lazer, totalizando uma taxa de ocupação de 19,45 %.

Ficou projetado uma área *non aedificandi* com 9.201,92 m<sup>2</sup>, faixa marginal ao rio Piabanha em que as águas pluviais contribuem com drenagem natural de escoamento para o rio.

A

Figura 8 traz a delimitação do loteamento utilizado como estudo de caso, a ser implantado o sistema de microdrenagem proposto do trabalho.



Figura 9 – Tabela de área dos Distritos de Petrópolis



Fonte: Prefeitura de Petrópolis

## MÉTODOS E COEFICIENTES PARA DEFINIÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DRENAGEM PLUVIAL

A seguir são descritos os métodos e os coeficientes utilizados para definição do dimensionamento da rede de drenagem pluvial do estudo de caso proposto.

### Método Racional Modificado

Tendo como base que o tamanho da área a ser estudada é de 12.051,567m<sup>2</sup>, sendo a área de reserva florestal de 1.717,58m<sup>2</sup>, será adotado o Método Racional Modificado na determinação das vazões de projeto, tendo como objetivo, captar e conduzir para local adequado toda a água, sob qualquer forma, que venha a atingir o corpo da via.

Segundo o Manual de Instruções Técnicas da Rio-Águas, o cálculo da vazão pelo Método Racional Modificado com a inclusão do critério de Fantolli, é determinado pela seguinte equação:

$$Q = 0,00278 \cdot n \cdot i \cdot f \cdot A \quad (1)$$

$$f = m \cdot (i \cdot t) \cdot 1/3 \quad (2)$$

$$m = 0,0725 \cdot C \quad (3)$$

Onde:

Q = deflúvio gerado em m<sup>3</sup>/s;

n = coeficiente de distribuição, adimensional;

i = intensidade de chuva em mm/h;

A = área da bacia de contribuição em hectares;

f = coeficiente de deflúvio (Fantolli), adimensional;

t = tempo de concentração em minutos;

C = coeficiente de escoamento superficial, adimensional.

### Coeficiente de escoamento superficial

O valor do coeficiente a ser utilizado para a bacia, no Método Racional, será calculado através da média ponderada dos coeficientes das áreas parciais, os quais se encontram no Quadro 2.

Quadro 2 - Coeficiente de escoamento superficial (runoff) – “C”

<b>Tipologia da área de drenagem</b>	<b>Coeficiente de escoamento superficial</b>
<b>Áreas Comerciais</b>	0,70 – 0,95
áreas centrais	0,70 – 0,95
áreas de bairros	0,50 – 0,70
<b>Áreas Residenciais</b>	
residenciais isoladas	0,35 – 0,50
unidades múltiplas, separadas	0,40 – 0,60
unidades múltiplas, conjugadas	0,60 – 0,75
áreas com lotes de 2.000 m <sup>2</sup> ou maiores	0,30 – 0,45
áreas suburbanas	0,25 – 0,40
áreas com prédios de apartamentos	0,50 – 0,70
<b>Áreas Industriais</b>	
área com ocupação esparsa	0,50 – 0,80
área com ocupação densa	0,60 – 0,90
<b>Superfícies</b>	
asfalto	0,70 – 0,95
concreto	0,80 – 0,95
blocket	0,70 – 0,89
paralelepípedo	0,58 - 0,81
telhado	0,75 – 0,95
solo compactado	0,59 - 0,79
<b>Áreas sem melhoramentos ou naturais</b>	
solo arenoso, declividade baixa < 2 %	0,05 – 0,10
solo arenoso, declividade média entre 2% e 7%	0,10 – 0,15
solo arenoso, declividade alta > 7 %	0,15 – 0,20
solo argiloso, declividade baixa < 2 %	0,15 – 0,20
solo argiloso, declividade média entre 2% e 7%	0,20 – 0,25
solo argiloso, declividade alta > 7 %	0,25 – 0,30
grama, em solo arenoso, declividade baixa < 2%	0,05 - 0,10
grama, em solo arenoso, declividade média entre 2% e 7%	0,10 - 0,15
grama, em solo arenoso, declividade alta > 7%	0,15 - 0,20
grama, em solo argiloso, declividade baixa < 2%	0,13 - 0,17
grama, em solo argiloso, declividade média 2% < S < 7%	0,18 - 0,22
grama, em solo argiloso, declividade alta > 7%	0,25 - 0,35
florestas com declividade <5%	0,25 – 0,30
florestas com declividade média entre 5% e 10%	0,30 - 0,35
florestas com declividade >10%	0,45 – 0,50
capoeira ou pasto com declividade <5%	0,25 – 0,30
capoeira ou pasto com declividade entre 5% e 10%	0,30 – 0,36
capoeira ou pasto com declividade > 10%	0,35 – 0,42

Fonte: Manual de Instruções Técnicas Rio-Águas

## DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS PARA DEFINIÇÃO DA MALHA DE DRENAGEM – UM ESTUDO DE CASO

A seguir apresenta-se a descrição dos procedimentos para definição da malha de drenagem das águas pluviais, que tem a finalidade de captar as águas em percolação, oriundas dos telhados, pátios, estacionamentos, áreas livres (verdes) e arruamento conduzindo-as ao corpo receptor, Rio Piabanha.

## Concepção/Destino Final

### Telhados

Serão providos de calhas semi circular em PVC 200mm, com colunas de descida em PVC 100mm desaguando em Caixas de Areia, destinados as Caixas de Retardo (CR) que se interligam ao sistema horizontal (ralos) ou aos PV's (Poço de Visita).

### Arruamento

Sua drenagem será composta de sarjetas junto ao meio-fio, que captam águas pluviais desaguando nos ralos, e daí para os Poços de Visita (PV) ou Caixas de Passagens (CP). Nos trechos onde necessário, serão executados caixas transversais em formato "U" com grelhas removíveis, para desague nos poços de visita (PV).

### Destino Final

Como destino final deste sistema, será utilizado o Rio Piabanha.

Para uma diminuição da vazão das águas Pluviais do condomínio, foi considerado um sistema de retardo na rede de microdrenagem, com coeficiente definido pela norma de 15%. Resultando em uma diminuição da vazão da rede, não sobrecarregando o destino final.

No trecho final junto a saída para o Rio, será instalada "escada hidráulica" com proteção contra erosão (vide projeto), como recurso para diminuição da vazão.

### Retardo

Deverá ser utilizado depósito para retardo das águas pluviais notadamente para "coberturas", contribuindo para um alívio da vazão pontual, minimizando o efeito de enchentes. Este poderá ser formado por caixas individuais, ou coletivas e serão dotadas de extravasor com desague na rede de águas pluviais.

### Volume/Dimensões

$$V = 15\% \cdot A \cdot P \cdot T \quad (4)$$

Onde:

**A** = área impermeabilizada (telhado);

**P** = precipitação = 0,09m ou 90mm;

**T** = tempo de 1 hora.

A Tabela 3 apresenta os resultados do dimensionamento das caixas de retardo necessárias a serem construídas no empreendimento, afim de diminuir o impacto da vazão pontual gerada pelas águas oriundas dos telhados, pavimentações e áreas verdes, no destino final (Rio Piabanha) atendendo ao DECRETO nº 23.940.

Pode-se observar que para o projeto apresentado é necessária a construção de um reservatório de que retenha no mínimo 103,43m<sup>3</sup> de águas. O mesmo foi dividido em 8 (oito) reservatórios menores, visando a melhor distribuição, manutenção e execução.

Tabela 3 – Tabela de cálculo - caixas de retardo  
**Condomínio 02 - Tabela das caixas de Retardo**

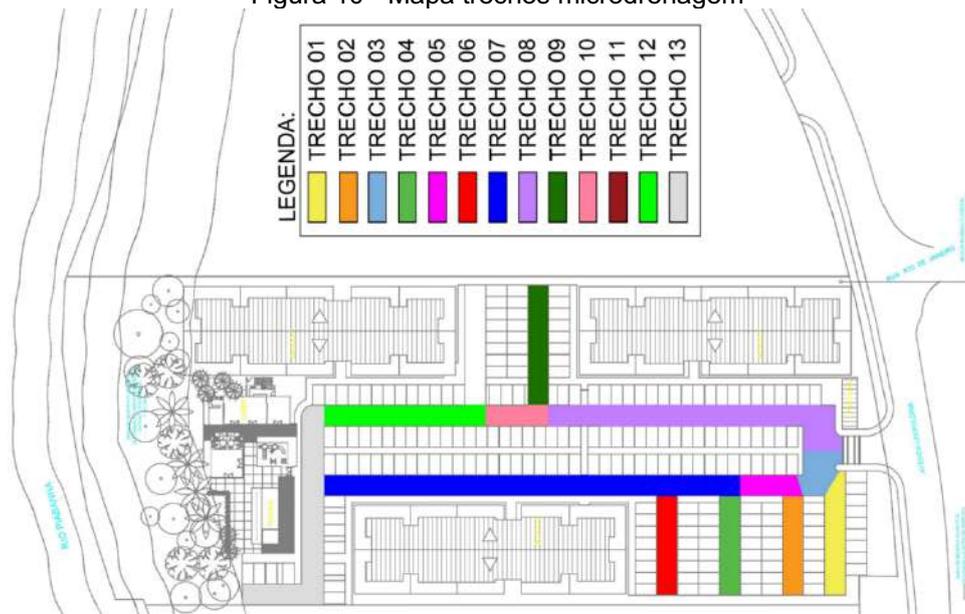
C R	Desc rição	Áreas (m <sup>2</sup> )				Áreas Perm eáveis  (m <sup>2</sup> x 25%)	Total da Área de Cober turas  (m <sup>2</sup> x 100%)	Total de pavime ntação em concret o  (m <sup>2</sup> x 90%)	Total de pavime ntação em intertra vado  (m <sup>2</sup> x 65%)	Perce ntual de Reten ção  (%)	Precipi tação  (mm)	Te mp o  (h)	Volu me  (m <sup>3</sup> )
		Áre as ver des	Cobe rtura s	Calç ada em conc reto	Vias pavime nta das em intertra vado								
01	Porta ria	313 ,10	35,15		2.452, 14	78,28	35,15		1.593,8 9	15%	0,09	1,0 0	23,0 5
02 , 03	Bloc o A	275 ,08	700,1 2	395, 40	937,43	68,77	700,1 2	355,86	609,33	15%	0,09	1,0 0	23,4 1
04 , 05	Bloc o B	294 ,44	700,1 2	395, 40	1.010, 42	73,61	700,1 2	355,86	656,77	15%	0,09	1,0 0	24,1 2
06 , 07	Bloc o C	28, 47	700,1 2	395, 40	234,27	7,12	700,1 2	355,86	152,28	15%	0,09	1,0 0	16,4 1
08	Laze r Pisci na	123 ,24	202,1 7 69,60	290, 73	1.005, 97	30,81	271,7 7	261,66	653,88	15%	0,09	1,0 0	16,4 4

Fonte: Autor.

## CÁLCULOS / ÁREAS ADOTADAS PARA CÁLCULO

Para o dimensionamento, o projeto foi dividido em 13 áreas de contribuição (trechos de arruamento), conforme legenda (Figura 10) abaixo:

Figura 10 - Mapa trechos microdrenagem



Fonte: Autor.

## Pavimentação

Vias: Pavimento drenante em intertravados de cimento com rejuntas em pó de pedra, com largura de ruas conforme projeto de arruamento. Considerando o divisor de águas com caimento idêntico para ambos lados, ou seja, com declividade lateral de 2% a 3%.

### Índice dos Valores Adotados:

Para efeito de cálculos foram considerados como índices:

C = 0,65 para áreas impermeáveis (arruamentos pavimentados com intertravados);

C = 0,90 para áreas impermeáveis (pátios + calçadas em concreto armado);

C = 1,00 para (telhados);

C = 0,25 para áreas livres (taludes e jardins).

Por tratar-se de pequena área urbana, foi utilizado o “método racional”, com utilização da fórmula:

$$V = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (5)$$

(para áreas menores de 1.500ha)

Onde:

Q = vazão;

C = coeficiente Deflúvio;

A = área de contribuição em m<sup>2</sup>;

Como parâmetros foram utilizados dados da (NBR 10.844/1989), sendo a intensidade de chuvas

I = 126mm / h, com período de retorno de 5 anos, “índices para Petrópolis.”

Para o dimensionamento da rede, foi utilizado o método racional modificado, encontrando para cada PV (Poço de Visita), a contribuição pontual das águas pluviais, referente ao trecho correspondente. A vazão nas tubulações afim de dimensionar os diâmetros necessários dos tubos e PV's, conforme apresentado a seguir (

Tabela 4).

Tabela 4 – Tabela de cálculo – rede de águas pluviais

CAIXAS	ÁREAS (M <sup>2</sup> )					VAZÃO (L/S)			COTA DO TERRENO				
	ÁREA PAVIMENTADA (CALÇADAS E VIAS EM INTERTRAVADO)	COEFICIENTE DEFLÚVIO (C)	ÁREA PAVIMENTADA (CALÇADAS E VIAS EM CONCRETO)	COEFICIENTE DEFLÚVIO (C)	PERMEÁVEIS (ÁREA VERDE)	COEFICIENTE DEFLÚVIO (C)	PARCIAL	ACUMULADA	Ø (MM)	MONTANTE (M)	JUSANTE (M)	COMP. (M)	INCLINAÇÃO (%)
<b>TRECHO 01</b>													
PV 01	255,10	0,65	20,20	0,90	161,55	0,20	16,94	16,94	300	690,61	690,80	18,84	1,00
PV 02	0	0,65	0	0,90	0,00	0,20	0,00	16,94	300	688,96	689,07	10,57	1,00
<b>TRECHO 02</b>													
PV 03	229,77	0,65	10,13	0,90	22,87	0,20	5,70	5,70	300	690,61	690,8	18,84	1,00
<b>TRECHO 03</b>													
PV 04	98,62	0,65	0	0,90	5,75	0,20	11,65	34,30	300	688,77	688,96	7,10	1,00
<b>TRECHO 04</b>													
PV 05	274,77	0,65	13,5	0,90	27,45	0,20	7,81	7,81	300	690,61	690,80	18,84	1,00
<b>TRECHO 05</b>													
PV 06	119,81	0,65	0	0,90	10,16	0,20	2,80	44,90	300	688,66	688,77	11,60	1,00
<b>TRECHO 06</b>													
PV 07	274,77	0,65	13,5	0,90	27,45	0,20	6,87	6,87	300	690,61	690,8	18,84	1,00
<b>TRECHO 07</b>													
PV 08	123,09	0,65	0	0,90	10,16	0,20	12,24	64,01	300	688,52	688,66	11,60	1,00
PV 09	139,5	0,65	42,18	0,90	43,52	0,20	4,81	68,81	300	688,36	688,52	13,80	1,00
PV 10	158,45	0,65	28,97	0,90	68,99	0,20	12,78	81,59	300	688,19	688,36	15,80	1,00
PV 11	157,28	0,65	33,32	0,90	71,99	0,20	14,50	96,09	300	688,03	688,19	15,80	1,00
PV 12	157,33	0,65	79,97	0,90	72,33	0,20	6,60	102,70	300	688,00	688,03	15,80	1,00

TRECHO 08													
PV 13	131,33	0,65	58,21	0,90	126,44	0,20	5,70	108,40	300	690,80	690,80	0,00	1,00
PV 14	197,44	0,65	22,15	0,90	50,58	0,20	5,54	113,94	300	690,67	690,80	13,50	1,00
PV 15	261,75	0,65	37,27	0,90	70,66	0,20	16,99	130,94	300	690,48	690,67	18,40	1,00
TRECHO 09													
PV 16	346,91	0,65	45,75	0,90	27,40	0,20	9,52	9,52	300	690,51	690,72	0,00	1,00
TRECHO 10													
PV 17	233,88	0,65	21,00	0,90	57,87	0,20	6,39	146,84	300	690,29	690,51	21,85	1,00
TRECHO 11													
PV 18	234,27	0,65	41,37	0,90	28,47	0,20	16,20	16,20	300	690,17	690,39	0,00	1,00
TRECHO 12													
PV 19	119,62	0,65	0	0,90	10,12	0,20	2,79	165,84	300	690,17	690,29	12,30	1,00
PV 20	212,75	0,65	19,64	0,90	44,56	0,20	13,55	179,39	300	690,01	690,17	16,15	1,00
PV 21	250,05	0,65	48,46	0,90	60,70	0,20	15,42	194,81	400	689,85	690,01	16,15	1,00
TRECHO 13													
PV 22	103,73	0,65	19,65	0,90	7,86	0,20	10,82	308,32	400	687,76	688,00	13,80	1,00
PV 23	198,98	0,65	32,6	0,90	0,00	0,20	13,33	321,65	400	687,53	687,76	21,60	1,00
PV 24	120,84	0,65	22,99	0,90	0,00	0,20	11,25	332,91	500	685,00	687,53	11,17	1,00
PV 25	0	0,65	0	0,90	1.717,58	0,20	19,80	352,71	500	685,00	865,00	13,16	0,00

Fonte: Autor.

A fim de sanar o problema existe na Av. Leopoldiana, via principal de acesso ao empreendimento, que hoje sofre alagamentos devido a inexistência de uma rede de drenagem (Figura 11).

Figura 11 – Trecho da Av. Leopoldiana com ausência de rede de drenagem



Fonte: Adaptado Google Earth, 2020.

Foi proposta a execução de bocas de lobo que coletam as águas da via e as destinam, através da rede tronco até o corpo receptor (Rio Piabanha), conforme detalhe 05 apresentado em projeto (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Para tal, a rede tronco previamente dimensionada com diâmetro de tubulação entre 300mm a 500mm, conforme demonstrado (

Tabela 4), sofreu um aumento de diâmetro em toda a sua extensão que inclui os trechos 03, 05, 07 e 13 para uma tubulação de 600mm. Assim como os PV's que de acordo com a NBR 16085 (

Tabela 5), determina que poços de visita que recebam redes com tubulações de 600mm de diâmetro tenham altura máxima de 4,00m, dimensões entre 1,50 x 1,50m e dependendo da altura.

Tabela 5 - Dimensões dos poços de visita e poços de inspeção

	Altura máxima (H) (m)	DN da tubulação	Diâmetro interno mínimo da boca de acesso (m)	Diâmetro interno do Balão (m)	Altura mínima do Balão (m)	Altura mínima da chaminé (m)
Poços de visita	2,50	DN 150 até DN 300	0,60	0,80	1,20	0,50
		DN 150 até DN 400		1,00		
	4,00	DN 150 até DN 500	0,60 ou 0,90	1,20		
		DN 150 até DN 600		1,50		
Poços de inspeção	2,00	até DN 200	0,60	0,60	1,00	—

Fonte: NBR 16085, 2012

Os PV's: 02, 04, 06, 08, 09, 10, 11, 12, 22, 23, 24 e 25, vide

## CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi realizado o dimensionamento de um sistema de microdrenagem para um novo empreendimento que está sendo realizado na cidade de Petrópolis, tendo em vista que por sua localização topográfica, e devido aos problemas referentes a alagamentos encontrados à jusante de sua localização, fez-se viável a apresentação de uma solução de modo que evitasse e/ou minimizasse os impactos na região que apresenta ausência de bocas de lobo.

Como observado, grande parte dos problemas encontrados referentes à drenagem das águas pluviais, remete-se à falta ou má execução de manutenção, ocasionando uma sobrecarga e, conseqüentemente ineficiência do sistema de microdrenagem. Além disso, a ausência de bocas de lobo nos locais à jusante do loteamento situado Avenida Leopoldina 887/1015, a presença de bocas de lobo danificadas são outros problemas levantados.

Portanto, conforme os processos de urbanização se intensificam, com o surgimento de novos loteamentos e construções, acarretam as agregações das redes dos novos bairros nas redes existentes, sobrecarregando o sistema de drenagem existente. Assim sendo, com esse trabalho percebe-se a importância de uma política de manutenção contínua e eficiente, garantindo o bom funcionamento do atual sistema de drenagem, e ainda, realizar uma adequação nos locais que apresentam problemas mais sérios, como a implantação das bocas de lobo e a sua ligação nas galerias pluviais principais, além de uma fiscalização visando impedir ligações clandestinas de esgoto sanitários ao sistema de drenagem pluvial.

A proposta pode ser ampliada, deixando-se, então, como sugestão, neste caso, o levantamento de custos de implantação do sistema proposto no local ou a aplicação do sistema apresentado em outros recortes, além do estudo de implantação de novas técnicas sustentáveis de microdrenagem, visando a diminuição da vazão as redes já existentes.

## REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 16085: **Poços de visita e poços de inspeção para sistemas enterrados — Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT. NBR 8890: **Tubo de concreto de seção circular para água pluvial e esgoto sanitário – requisitos e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro, 2018.

ABNT. NBR 10844: **Instalações prediais de águas pluviais – procedimentos**. Rio de Janeiro, 1989.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007**, Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.

BELLÉ, J. P. **Avaliação da eficácia do sistema de drenagem urbana estudo de caso: Ijuí – RS**. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Regional Do Noroeste Do Estado Do Rio Grande Do Sul. Ijuí. 2011.

CARDOSO, A. **Sistemas Urbanos de Drenagem** (2014). Disponível em: [http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/Introducao\\_a\\_drenagem\\_urbana.pdf](http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/Introducao_a_drenagem_urbana.pdf). Acesso em: 02 nov. 2019.

COSTA, M. S. **A proteção do centro histórico de Petrópolis**; RJ, UFRJ, FAU, 2002, p. 18.

**Definições dos instrumentos urbanísticos** por BRAGA, Roberto; CARVALHO, Pompeu F. de. **Manejo de Resíduos**: pressuposto para a gestão ambiental. Rio Claro: LPM/UNESP, 2002, p. 99-110.

CULLEN, Gordon, **Paisagem Urbana**, Rio de Janeiro, Martins Fontes, 1983. 202 p.

HANSMANN, H. Z. **Descrição e Caracterização das Principais Enchentes e Alagamentos de Pelotas-RS**, Pelotas, 2013.

IBGE. População Urbana e Rural. **IBGE Educa**, 2015. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18313-populacao-rural-e-urbana.html>. Acesso em: 24 outubro 2019.

IMADA, R. G. **Práticas de microdrenagem sustentáveis para a redução do escoamento superficial urbano**. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos. 2014.

JUSTINO, E. A. **Estudo do controle do escoamento superficial com o uso de reservatório de retenção na bacia do Córrego Lagoinha, município de Uberlândia-MG**, 2004.185p. Tese (Mestrado programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia-MG, Uberlândia.

JÚNIOR, V. J. S. **Avaliação da fragilidade no sistema de drenagem pluvial urbana: o caso da bacia hidrográfica do córrego das Melancias em Montes Claros – MG**. Revista Monografias Ambientais - REMOA v.13, n.5, dez. 2014, p.3986-3997 . Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria e-ISSN 2236 1308 - DOI:10.5902/22361308115125.

Leis específicas do município de Petrópolis, RJ: 1. Lei nº 5.393 de 28 de maio de 1998: Lei de uso, parcelamento e ocupação do solo do município de Petrópolis; 2. Decreto 90 – Diário Oficial do Município de Petrópolis, 1981.

LIMA, G. H. A. T. **Dimensionamento do sistema de drenagem pluvial para o loteamento santa bárbara em Centralina-MG**. 2019. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

NETO, A. C. **Sistemas Urbanos de Drenagem**. 2010.

NUNES, M. Portal do Projetista. Dimensionamento de sarjeta para drenagem superficial, 2016. Disponível em: <<http://portaldoprojetista.com.br/dimensionamento-de-sarjeta-para-drenagem-superficial/>>. Acesso em: 24 outubro 2019.

SIDON, J. M. O. **Dicionário Jurídico**. Rio de Janeiro, Forense Universitária, 1995, 3ª edição.; BASTOS, Fernando. **Dicas Instituto Polis: idéias para a ação municipal**. DU nº 117 e 129. São Paulo, 1999.; Prefeitura de Petrópolis – [www.petropolis.rj.gov.br](http://www.petropolis.rj.gov.br); IBGE – [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br); Instituto Histórico de Petrópolis – [www.ihp.org.br](http://www.ihp.org.br).

PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO. **Lei nº 23.940, de 30 de janeiro de 2004**. Do parcelamento, ocupação e uso do solo. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/rj/r/rio-de-janeiro/decreto/2004/2394/23940/decreto-n-23940-2004-torna-obrigatorio-nos-casos-previstos-a-adocao-de-reservatorios-que-permitam-o-retardo-do-escoamento-das-aguas-pluviais-para-a-rede-de-drenagem>. Acesso em: 25 out. 2020.

REZENDE, S. C.; HELLER, L. O. **O saneamento no Brasil – Políticas e Interfaces**. Belo Horizonte. Editora: Aufmg. 2008.

SILVA, P. O. **Análise de técnicas compensatórias de drenagem urbana para atuação de inundações em uma sub-bacia do rio Jiquiá no Recife**. 2010. 141 f. Dissertação (Mestrado na Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

SILVEIRA, A. L. L. D. Hidrologia no Brasil. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. D. M. **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade UFGS 2000.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH. Ed: UFRGS, 1995.

TUCCI, C. E. M. **Gerenciamento de drenagem urbana**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, p. 5-27. Jan/mar. 2002.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Editora UFRGS. 2.ª Edição, Porto Alegre, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.

**Filipe Teixeira Medeiros**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

**Rafael Vargas Gomes**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

**Kíssila Botelho Goliath**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

## RESUMO

Os materiais compósitos são uma constante ao longo da construção civil. Pode-se dizer que o concreto é o material mais demandando. Isso se deve à sua baixa capacidade de custo, porém, apesar dos avanços tecnológicos, esforços ainda são necessários para melhorar suas propriedades deficientes. O concreto reforçado com fibras de aço vem sendo discutido como um compósito promissor, uma vez que as fibras melhoram o desempenho do concreto junto às barras de aço, aumentando sua resistência ao cisalhamento e tenacidade, o que reduz a possibilidade de ruptura súbita, controlando ainda a propagação de fissuras, e melhorando o comportamento do material quando submetido ao esforço de tração. Esse trabalho revisa o comportamento ao cisalhamento de vigas de concreto armado com adição de fibras de aço, sendo realizada uma revisão bibliográfica sobre o uso das mesmas em vigas de concreto, uma análise crítica entre as diferenças do concreto convencional para o concreto incorporado com fibras de aço, um experimento através da moldagem de 5 prismas de concreto armado 50x15x15 cm com diferentes variáveis e proporções quanto ao volume de fibras de aço, sendo submetido ao ensaio de flexão a quatro pontos afim de ser verificado a carga de primeira fissura e carga última e com informações sobre o material, sua aplicação, investimentos, vantagens e desvantagens. O estudo vem com o intuito geral de demonstrar de forma clara e didática os parâmetros necessários para a confecção do compósito e resultados afim de agregar novos resultados às pesquisas nacionais.

**Palavras-chave:** Compósito; Fibras de aço; Vigas; Cisalhamento

## INTRODUÇÃO

Os materiais compósitos são uma constante ao longo da construção civil. Pode-se dizer que o concreto é o material compósito mais demandando neste setor. Isso se deve ao seu baixo custo, porém, apesar dos avanços tecnológicos, esforços ainda são necessários para melhorar suas propriedades deficientes.

Do ponto de vista mecânico, o concreto, em comparação ao seu comportamento quando submetido à compressão, apresenta um desempenho consideravelmente inferior

quando solicitado à tração, apresentando, além de comportamento frágil, pouca ou nenhuma ductilidade após a primeira fissura. Tal fato tem motivado a busca constante por novos materiais que atendam às exigências cada vez mais elevadas dos projetos estruturais. Segundo BELLO (2014), o reforço com fibras foi impulsionado por pesquisas realizadas no final dos anos 50 e início dos anos 60 por iniciativa de RAMOULDI e BASTON (1963) e RAMOULDI e MANDEL (1964), sendo de realçar a aplicação de fibras de aço. Entretanto, a comercialização das fibras atingiu o ápice na década de 70, particularmente na Europa, Japão e Estados Unidos.

Avanços recentes mostram que a adição de fibras à massa de concreto melhora o desempenho do concreto junto com as barras de aço. Sendo assim, o concreto reforçado com fibra de aço surge como uma forma de minimizar o comportamento frágil quando sujeitos a esforços de tração passando a ser um material pseudo-dúctil, apresentando uma resistência a esforços nele aplicados mesmo após a fissuração (FIGUEIREDO, 2000). As fibras destinadas ao reforço do concreto são comumente chamadas como microfibras.

De forma geral, deve ser usado em estruturas que estão apoiadas ao solo ou maciço, porque estão em contato com o meio elástico e permitem a redistribuição de tensões. Como exemplo, temos: Túneis, tubos de concreto, pavimentos portuários, estacionamentos e garagens, dentre outros. Têm sido largamente utilizados em pavimentos industriais apresentando agilidade no processo de concretagem, muitas vezes sendo uma ótima alternativa para casos em que o acesso de equipamentos ao canteiro é limitado. Levando em conta o custo benefício, vale salientar que é muito mais satisfatório para obras de grande porte.

As fibras de aço são as mais utilizadas para aplicações estruturais e são levadas em conta em muitas aplicações não estruturais (MEHTA E MONTEIRO, 2014). Estas apresentam uma variedade quanto sua forma e tamanho com o intuito de elevar a sua aderência com a matriz e, cada vez mais, tem sido alvo de pesquisas, com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas dos materiais de construção.

Apesar de garantir diversos benefícios ao material, a fibra para concreto precisa ser utilizada de maneira adequada. O uso incorreto, além de não obter nenhum benefício, pode acarretar prejuízos, não só financeiros, mas também na qualidade do concreto.

Para obtenção de um resultado satisfatório no processo, é imprescindível o conhecimento das propriedades dos materiais, visto a necessidade de limitar as variações de volume do concreto e controlar a dissipação do calor de hidratação gerado. Diante dessa necessidade, ABNT publicou em 2007 a NBR 15530 - Fibras de aço para concreto - Especificação, que estabelece parâmetros para a classificação das fibras de aço.

A utilização de fibras de aço é uma opção viável para controlar a taxa de armadura em uma estrutura de concreto armado, tendo em vista que as fibras proporcionam elevada tenacidade e viabilizam a contribuição do concreto tracionado na avaliação da resistência do elemento estrutural em análise, podendo aprimorar significativamente o caráter frágil do concreto de alta resistência, reduzindo a possibilidade de uma ruptura súbita. (BARROS, Frederico, 2015).

A evolução e avanço da construção civil proporcionaram a introdução de vários novos materiais, e a fibra de aço para concreto é um exemplo. Logo, esta pesquisa visa demonstrar quando a incorporação da fibra de aço no concreto é útil e quais suas propriedades e aplicabilidades.

Em geral, as vigas de concreto armado estão submetidas, simultaneamente, à esforços de flexão e cisalhamento, onde a preocupação com tais solicitações é evidente na prática do dimensionamento. O aumento da utilização de fibras de aço em elementos de concreto se justifica pelo seu elevado desempenho estrutural. Os compósitos são materiais compostos por duas fases: Matriz e Fibras. A adição de fibras minimiza o comportamento frágil e faz com que o concreto se comporte de maneira pseudo-dúctil. Assim é possível

observar a melhora em algumas de suas propriedades, atuando como um reforço da matriz e servindo como ponte de transferência de tensões pelas fissuras, controlando uma de suas maiores patologias, a fissuração. Além de melhorar a aderência entre a matriz cimentícia e as barras de armadura, trazendo para a estrutura certa ductilidade, majorando a sua resistência à tração no cisalhamento e a tenacidade.

O presente estudo tem por objetivo avaliar metodologias para estimar a capacidade resistente de vigas em concreto reforçado com fibras de aço (CRFA) quando submetidas ao esforço de cisalhamento. Sendo assim, será feita uma análise da influência da incorporação de fibras de aço no comportamento ao cisalhamento de vigas de concreto armado; uma revisão bibliográfica sobre o uso de adição de fibras em vigas de concreto armado será realizada para cumprir tal tarefa.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

### **CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO (CRFA)**

Não diferente de outros setores, a construção civil está em constante desenvolvimento através de novas tecnologias construtivas e novos materiais que possibilitam otimizações estruturais. Os Materiais compósitos são uma constante ao longo dessa cadeia. Segundo HULL E CLYNE (1996) são compostos por dois ou mais elementos imiscíveis entre si, constituídos por matriz e reforço.

Sendo parte integrante de praticamente todas as obras, o cimento é um dos principais componentes do concreto armado. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland, o consumo de cimento avançou 80% no período de 2012 a 2015, avalia Valter Frigieri, diretor de Mercado da ABCP. Basicamente, o cimento é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que se enrijece ao entrar em contato com a água, sendo um material de composição do concreto, podendo ter variações e tipos de acordo com a necessária resistência e utilidade.

O concreto é o material mais demandado dentro da construção civil. Obtido a partir da mistura de cimento, água, agregados e aditivos. Os agregados do concreto podem ser graúdos, como a brita, ou miúdos como é o caso da areia. A principal característica do concreto endurecido é sua elevada resistência à compressão.

BORGES (2002) cita que a resistência à tração do concreto influencia diretamente o processo de fissuração, além disso, de acordo com o CEB-FIP (1993), a resistência à tração do concreto também está relacionada, dentre outros aspectos, à contribuição do material a esforços de cisalhamento.

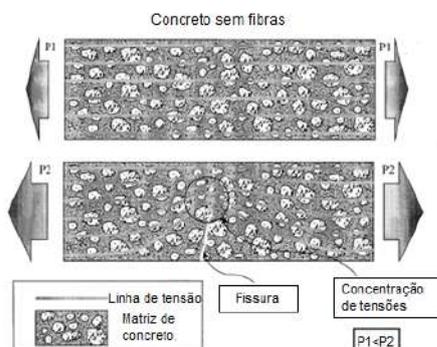
No meio acadêmico, a utilização de matrizes cimentícia reforçadas com fibras vem sendo estudada intensamente a partir da década de sessenta, a fim de superar a natureza frágil do concreto e de trazer novas possibilidades para utilização como material de construção (PEREIRA, 2014).

Segundo FIGUEIREDO (2000) a adição de fibras de aço no concreto minimiza o seu comportamento frágil típico e faz com que o concreto passe a se comportar como um material pseudo-dúctil, ou seja, o concreto apresenta resistência residual após sua fissuração. Por conseguinte, aumentando consideravelmente sua tenacidade e ductilidade. Ainda com relação às fibras, ele complementa afirmando que o tipo de fibra utilizado no concreto influencia diretamente no comportamento final do concreto reforçado com fibras.

No caso do concreto reforçado com fibras de aço (CRFA), o concreto comporta-se como a matriz e as fibras como reforço. É por meio dessa inter-relação que este compósito melhora o comportamento do material quando submetido ao esforço de tração bem elevadas.

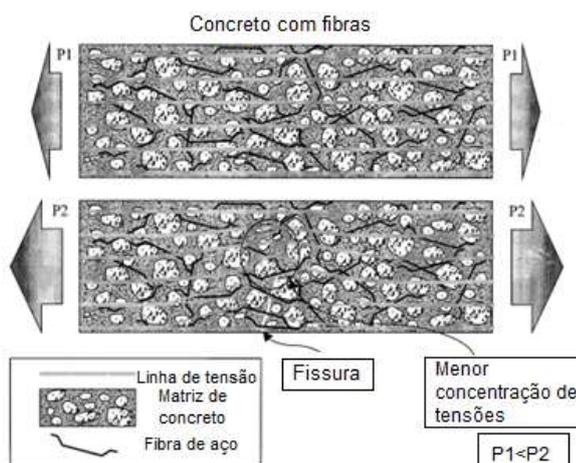
As figuras 1 e 2 abaixo mostram uma comparação entre o concreto sem fibras quando submetido à concentração de tensões, aumentando a propagação de fissuras, e com reforço das fibras, onde elas atuam com ponte de transferência de tensões, diminuindo essas concentrações.

Figura 1 - Esquema de concentração de tensões para um concreto sem reforço de fibras.



Fonte: FIGUEIREDO, (2000).

Figura 2 - Esquema de concentração de tensões para um concreto com reforço de fibras.



Fonte: FIGUEIREDO, (2000).

## Fibras de aço

As fibras de aço são segmentos de aço de alta resistência com ancoragem nas extremidades que são misturados ao concreto, normalmente com comprimentos entre 30 e 60 mm e têm como objetivo reforçar a matriz, dando mais segurança e deixando o processo construtivo mais eficiente.

Segundo o ACI 544.4R-88 as fibras de aço possuem formatos diversos, podendo ser lisas ou curvadas e assumir seções transversais circulares, retangulares, semicirculares ou irregulares. Os dois parâmetros mais efetivos para avaliar o comportamento da fibra de aço no compósito são: o fator de forma e volume de fibras.

A **fibra** confere desempenho ao concreto quando incorporada na sua mistura, desde que a dosagem ou a quantidade desta seja adequada para a finalidade da estrutura que se objetiva construir. Os principais usos de uma **fibra de aço** são em pisos, pavimentos, revestimento de túneis e pré-fabricados. Dessa forma ela pode ser inserida em diferentes tipos de construções, garantindo diversas vantagens com sua utilização.

A NBR 15530 (2007), a primeira norma brasileira a tratar diretamente das fibras de aço, visa padronizar as fibras produzidas no Brasil definindo as resistências limites à tração, fatores de forma mínimos e subdivide as fibras de aço em três grupos, segundo sua conformação geométrica (Tabela 1). Sendo elas:

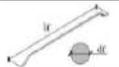
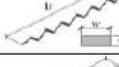
- Tipo A: fibras de aço com ancoragem nas extremidades;
- Tipo C: fibras de aço corrugadas;
- Tipo B: fibras de aço retas ou lisas.

Em relação ao processo que deu origem ao aço utilizado nas fibras, a norma apresenta a seguinte classificação:

- Classe I: oriunda de arame trefilado a frio;
- Classe II: oriunda de chapa laminada cortada a frio;
- Classe III: oriunda de arame trefilado e escarificado.

MORAES NETO (2013) pontua que a eficácia das fibras em melhorar as propriedades mecânicas da matriz de concreto pode ser atribuída principalmente aos mecanismos responsáveis pela transferência das tensões entre a fibra e o concreto pelo efeito de “costura” gerado pelas fibras.

Tabela 1 - Classificação das fibras de aço.

Tipo	Classe	Geometria	Fator de forma mínimo	Limite de resistência à tração (MPa)
A	I		40	1000
	II		30	500
C	I		40	800
	II		30	500
	III		30	800
B	I		40	1000
	II		30	500

Fonte: NBR 15530 (2007).

## Matriz

O concreto é por si só, um compósito formado por três fases principais: a pasta de cimento, os agregados miúdos e os grãos, sendo os agregados agem como o reforço da pasta cimentícia. Capaz de apresentar uma grande variação de suas propriedades em função do tipo de componentes principais e de suas proporções, bem como de utilização ou não de uma grande variedade de aditivos e adições. Tem inúmeras vantagens como, a capacidade de produzir estruturas com infinitas variações de forma.

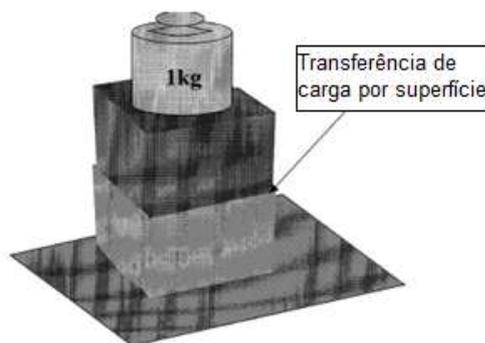
Contudo, o concreto apresenta resistência à tração bem inferior à resistência à compressão cuja relação está, geralmente, em torno de 0,07 e 0,11. Apresenta um comportamento de ruptura frágil e pequena capacidade de deformação, quando comparado com outros materiais estruturais como o aço. Este comportamento está associado às fissuras que se formam ou já estão presentes no concreto, que prejudicam muito mais o material quando solicitado à tração do que à compressão (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

É possível associar a reduzida capacidade de resistência à tração à dificuldade do concreto interromper a propagação das fissuras quando é submetido a este tipo de tensão. Isto ocorre pelo fato de a direção de propagação das fissuras ser transversal à direção principal de tensão.

GRIFFITH (1920) associa a ruptura do material a uma energia de superfície que deve ser formada, concluindo que, por apresentar uma superfície total de ruptura menor, o gasto energético associado à ruptura por tração no concreto é também reduzido. Assim, o trabalho de ponte de transferência de tensão que a fibra realiza através das fissuras no concreto é um mecanismo muito interessante de aumento da energia associada à ruptura do material e à restrição à propagação de fissuras.

Podemos entender este comportamento, típico dos materiais frágeis pelo modelo apresentado na figura 3 abaixo, uma representação simplificada da transferência de tensão de compressão por meio de uma superfície, onde dois cubos sobrepostos conseguem transferir tensão pelo contato quando comprimidos. Por outro lado, quando o conjunto é tracionado, como ocorre quando desempilhamos as caixas, o conjunto não oferece resistência à separação, ou seja, tem resistência à tração nula.

Figura 3 - Representação simplificada da transferência de tensão de compressão por meio de uma superfície



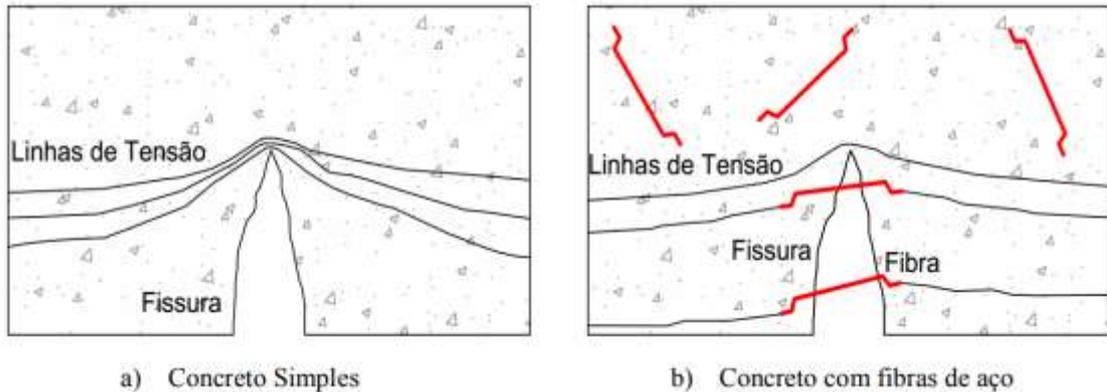
Fonte: MEHTA e MONTEIRO, (1994).

## Influências da adição das fibras de aço

A utilização de fibras de aço melhora consideravelmente algumas propriedades do concreto. Comparativamente ao concreto simples, pode-se observar maior tenacidade, maior resistência a impactos, abrasão e fadiga e a redistribuição das tensões no plano de uma fissura. Entre os fatores que influenciam as propriedades mecânicas do CRFA pontua-se o tipo de fibra, fator de forma, volume de fibras, resistência do concreto e a dimensão do agregado graúdo.

A figura 4a abaixo, mostra a redistribuição das tensões no plano de uma fissura, onde no concreto simples, a fissura se apresenta como uma barreira à propagação das tensões, ocasionando uma concentração de tensões na extremidade da fissura, a qual contribui para a sua abertura descontrolada e ao modo de ruína brusco e frágil após a formação das primeiras fissuras. Diferentemente, no CRFA (Figura 4b), as fibras atuam como pontes de transferência de tensões no plano da fissura, impedindo a sua propagação, proporcionando ductilidade ao material e incorporando resistência residual após a fissuração, alterando o modo de ruína. (BARROS, F. C. G. M. B., 2015).

Figura 4 - Redistribuição das tensões no plano de uma fissura



Fonte: BARROS, F. C. G. M. B., (2015).

Moraes Neto (2013) pontua que, a eficácia das fibras em melhorar as propriedades mecânicas da matriz de concreto, pode ser atribuída principalmente aos mecanismos responsáveis pela transferência das tensões entre a fibra e o concreto pelo efeito de “costura” gerado pelas fibras. Ou seja, o concreto reforçado com fibras apresenta certa capacidade resistente após a sua fissuração descaracterizando o comportamento frágil típico do material quando tracionado. Assim, com a utilização de fibras, será assegurada menor abertura e propagação das fissuras.

Para que as fibras desempenhem um papel de reforço efetivo, há a necessidade de garantir a compatibilidade dimensional entre os agregados e as fibras. O comprimento das fibras deve ser, no mínimo, o dobro da dimensão máxima característica do agregado graúdo. Dessa forma, a disposição das fibras na massa de concreto (entre os agregados), é favorecida, garantindo um melhor desempenho do efeito de “costura” (FIGUEREDO, 2000).

Como a eficiência da fibra depende de sua atuação como ponte de transferência de tensão ao longo da fissura, podem-se considerar alguns aspectos fundamentais. Um deles é o fato de a capacidade de reforço que as fibras apresentam depender diretamente do teor de fibra utilizado. Ou seja, quanto maior for o teor, maior será o número de fibras atuando como ponte de transferência, o que aumenta a capacidade de reforço pós-fissuração do compósito, (FIGUEIREDO, A. D., 2011).

## PROGRAMA EXPERIMENTAL

Como relatado acima, a presente pesquisa tem por objetivo avaliar o comportamento estrutural, com foco na resistência ao cisalhamento, de vigas de concreto armado com fibras de aço, buscando oferecer subsídios para a avaliação dos efeitos da incorporação dessas fibras numa matriz cimentícia.

A revisão bibliográfica disponível, forneceu a base teórica para a escolha dos parâmetros básicos que seriam variados para geração dos compósitos com incorporação de fibras de aço, bem como permitiu definir quais estratégias para os ensaios utilizados.

Assim, foi elaborado um programa experimental para atingir o objetivo proposto. No mesmo, serão descritos os materiais utilizados e os procedimentos de ensaio empregados para avaliar a resistência ao cisalhamento de prismas de concretos com fibras de aço.

Foram moldados 16 corpos de prova cilíndricos 10cmx20cm (diâmetro x altura) com concreto convencional para garantir a resistência à compressão do concreto. Também foram confeccionados cinco prismas 50cmx15cmx15cm (largura x altura x base), sendo: um de referência, com armadura longitudinal e transversal apenas com concreto convencional; um com apenas armadura longitudinal e 7% de fibra de aço em relação a

quantidade de cimento; um com armadura longitudinal e transversal, com 7% de fibra de aço em relação a quantidade de cimento; um com apenas armadura longitudinal, com 14% de fibra de aço em relação a quantidade de cimento; e um contendo armadura transversal e longitudinal com 14% de fibra de aço.

Após garantir o tempo de cura (28 dias) de todos as amostras, os mesmos foram submetidos aos respectivos ensaios, isto é, os corpos de prova cilíndricos foram para garantir o controle tecnológico e de qualidade com ensaio de resistência a compressão e os prismas para verificação das resistências de cisalhamento através do ensaio de quatro pontos.

## **Caracterização do concreto**

Para confecção das matrizes do concreto de referência, foram empregados materiais comumente encontrados em obras, conforme apresentado a seguir.

### **Cimento**

Para a produção do concreto a escolha do cimento foi realizada pelo critério de uso geral e comum a obras urbanas que possuem uma agressividade moderada. Para isso, foi utilizado o cimento Portland CPII do fabricante TUPI, que atende todos os parâmetros necessários da norma vigente NBR 11578/1991 (Cimento Portland composto).

### **Agregados**

Para a produção do concreto foi utilizado agregado miúdo e graúdo cuja especificações estão ditas nos tópicos 4.1.2.1 e 4.1.2.2.

#### **Agregado miúdo**

Pode-se denominar agregados miúdos, grãos que possuem dimensão inferior a 4,8 mm, isto é que passa pela malha da peneira ABNT referente. Para a produção deste experimento, foi utilizada areia natura lavada com principal fragmentação de quartzo. Para se obter uma variação na granulometria, foi utilizada uma peneira de malha média, ou seja, espaçamento inferior a 1,2 mm.

#### **Agregado graúdo**

Para a utilização do concreto deste trabalho, foi utilizado agregados de granulometria entre 4,8 mm e 9,5 mm. Dentre dessas condições se denomina o agregado graúdo de brita 0, fruto da fragmentação de gnaisse.

### **Fibras de aço**

Foi utilizada a fibra de aço em pente Dramix do tipo A (fibras de aço com ancoragem nas extremidades) da classe I (oriunda de arame trefilado a frio), com módulo de elasticidade de 200Gpa, produzida pela empresa Belgo Bekaert Arames/Grupo Arcelor, conforme ilustrado na figura 35.

O fator de forma da fibra foi 45, comprimento de 30mm e diâmetro de 0,62mm, o que permite uma mistura rápida e uma distribuição perfeitamente homogênea, sem a formação de “bolas” e “ouriços”; os fios de aço treliçados garantem resistência à tração de 1200Mpa e favorece uma maior ancoragem dentro da matriz do concreto.

Figura 5 - Fibras de aço em pente



Fonte: Autores, (2020).

## Madeira

Para moldagem dos exemplares foram confeccionadas fôrmas com madeira Pinus nas dimensões 15x15x50, conforme figura 36 abaixo. O Procedimento de preparação das fôrmas iniciou-se com a compra das tábuas pinus e do corte com serra mármore makita 1450w 110v na dimensão desejada, seguido da vedação da base, do estaqueamento e travamento das laterais com a utilização de prego 17x27, e do posicionamento sobre base nivelada.

Figura 6 - Fôrma de madeira Pinus



Fonte: Autores, (2020).

## Aço

Para armadura transversal foi utilizado aço CA-50 de bitola  $\varnothing \frac{1}{4}$ " (6,3 mm) com dimensão de 11x11 e espaçamento de 10 cm. Na armadura longitudinal foi utilizado aço CA-60 com bitola  $\varnothing \frac{3}{16}$ " (4,2 mm) e dimensão de 46x11. A figura 37 ilustra a armadura transversal e longitudinal. Todas essas dimensões foram de acordo para obedecer a distância para o cobrimento da armadura.

Figura 7 - Armadura transversal e longitudinal



Fonte: Autores, (2020).

### Método executivo

Os ajustes quantitativos para produção do concreto moldado “in loco” por meio do equipamento mecânico (betoneira) foram com base nos estudos e análises para atingir 20 Mpa de resistência e Slump 12+/- 2, especificações comuns para utilização em elementos estruturais de uma edificação. Com comparação de traços utilizados em obra urbana e agregando conceitos teóricos, foi definido um traço 1: 2,52: 2,16 (cimento: areia: brita), em massa, e relação água /cimento de 0,6.

Como o traço foi rodado de forma manual, a pesagem e o controle dos materiais foi inviabilizado por falta de equipamentos, sendo utilizado como forma de medida lata de 20 litros. Dito isto, a tabela 4 traz as informações utilizadas para realização do traço proposto pelos autores.

Tabela 2 - Quantitativo de traço

Item	Material	Quantidade	Unidade
1	Cimento	50	Kg
2	Areia	90	litros
3	Brita 0	72	litros
4	Água	21,6	litros

Autores, (2020).

A sequência executiva para a moldagem dos corpos de prova e prismas obedeceu a seguinte etapa:

Iniciou-se com a limpeza de todo equipamento (betoneira) e ferramental a ser utilizado, assim como das fôrmas dos corpos de prova e prismas e separação de todo material (cimento, areia, brita, água e fibras de aço);

O processo de mistura consistiu em três etapas: Primeiramente misturamos a brita e cerca de 60% da água para umedecimento e homogeneização por 3 minutos; a segunda etapa consistia em adicionar o agregado miúdo(areia) sobre o agregado graúdo umedecido

e misturava-se por mais 3 minutos; a última etapa consistia em adicionar o cimento e os 40% restantes de água ao conjunto, formando uma mistura com aparência desejada. O processo de fabricação se encerrava após a mistura interrompida por 10 minutos. Quando utilizamos as fibras de aço, as adições foram realizadas gradualmente e manualmente utilizando-se cinco minutos adicionais para cada porcentagem de fibra na mistura. A figura 38 abaixo mostra a etapa da mistura dos materiais na betoneira.

Figura 8 - Etapa de Mistura dos materiais na betoneira



Fonte: Autores, (2020).

Em seguida realizamos o ensaio do abatimento do cone (Slump test) para avaliar a consistência e trabalhabilidade do concreto e se o mesmo está adequado para o uso a que se destina. Seguindo a norma ABNT NBR NM 67:1998, o molde estava de acordo e tinha a forma de um tronco de cone oco, com as seguintes dimensões internas: Diâmetro da base inferior: 200 mm  $\pm$  2 mm; diâmetro da base superior: 100 mm  $\pm$  2 mm; altura: 300 mm  $\pm$  2 mm. A haste de compactação foi de seção circular, reta, feita de aço, com diâmetro de 16 mm, comprimento de 600 mm e extremidades arredondadas. A placa de base para apoio do molde foi metálica, plana, quadrada.

Umedecemos o molde e a placa de base e colocamos o molde sobre a placa de base. Durante o preenchimento o operador estava posicionando os pés sobre suas aletas, de forma a mantê-lo estável. Enchemos rapidamente o molde com o concreto coletado, em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde compactado para que fiquem igualmente adensadas, cada uma com 25 golpes. A figura 39 ilustra esse procedimento. O resultado do teste foi satisfatório com um Slump de 12cm, como mostra a figura 40.

Figura 9 - Procedimento do teste Slump



Fonte: Autores, (2020).

Figura 10 - Resultado do teste Slump



Fonte: Autores, (2020).

### Moldagem dos corpos de prova cilíndricos

A moldagem dos corpos de prova cilíndricos foi realizada de acordo com as recomendações da NBR-5738 – *Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto*. A temperatura ambiente para o lançamento do concreto estava 25°C de acordo com a NBR 7112/2012 que exige que esteja entre 5°C e 30°C.

Foi realizada a moldagem de 16 corpos de prova com dimensão 10x20 cm. O procedimento de moldagem seguiu a NBR 5738 – *Procedimento para coleta de corpo de prova (concreto) na obra*. Antes de proceder à moldagem, revestimos com uma fina camada de óleo mineral e apoiamos em uma superfície horizontal e sem vibrações que possam ocasionar mudança na propriedade do concreto durante a moldagem e o início da pega. O concreto foi colocado dentro do molde com uma concha, obedecendo a regra estabelecida: Corpo de prova com diâmetro de 100 mm, três camadas de concreto com 25 golpes cada. Os golpes foram distribuídos uniformemente na seção transversal do molde. A figura 41 abaixo ilustra a moldagem dos corpos de prova.

Figura 11 - Moldagem dos corpos de prova cilíndricos



Fonte: Autores, (2020).

## Moldagem dos prismas

Foram moldados 5 prismas, como descritos a seguir, denominados P1, P2, P3, P4, P5 com dimensões descritas na tabela 4 e com duas porcentagens diferentes de fibras de aço em relação a quantidade de cimento utilizado.

Tabela 3 - Dimensões dos prismas ensaiados

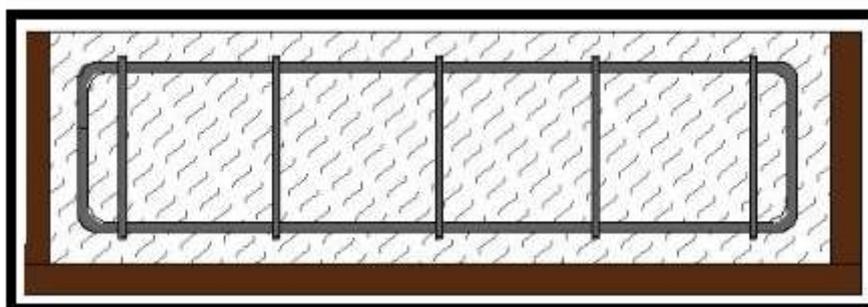
DIMENSÕES	
Base (bw)	15 cm
Altura (H)	15 cm
Comprimento (l)	50 cm

Fonte: Autores, (2020).

Abaixo segue as especificações de cada prisma com a respectiva quantidade de fibra incorporada e distribuição das armaduras.

P1 – Prisma de referência, onde não apresentou nenhuma incorporação de fibras de aço, somente armaduras transversal e longitudinal, como ilustra a figura 42 abaixo.

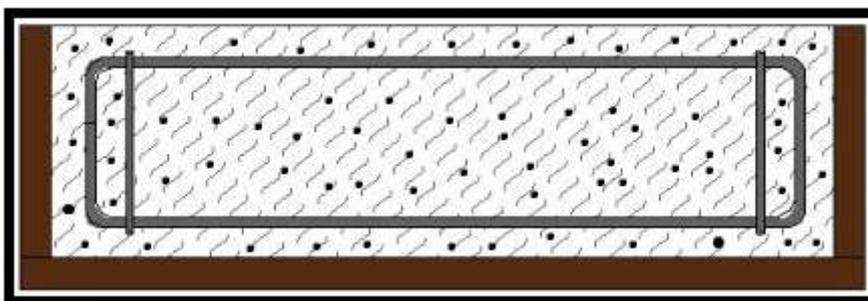
Figura 12 - Prisma P1



Fonte: Autores, (2020).

P2 – Prisma com incorporação de 7% de fibras de aço, contendo apenas armadura longitudinal, como ilustra a figura 43 abaixo.

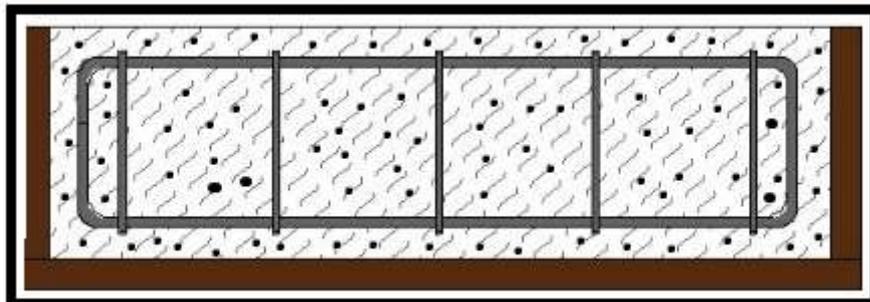
Figura 13 - Prisma P2



Fonte: Autores, (2020).

P3 – Prisma com incorporação de 7% de fibras de aço, contendo armadura transversal e longitudinal, como ilustra a figura 44 abaixo.

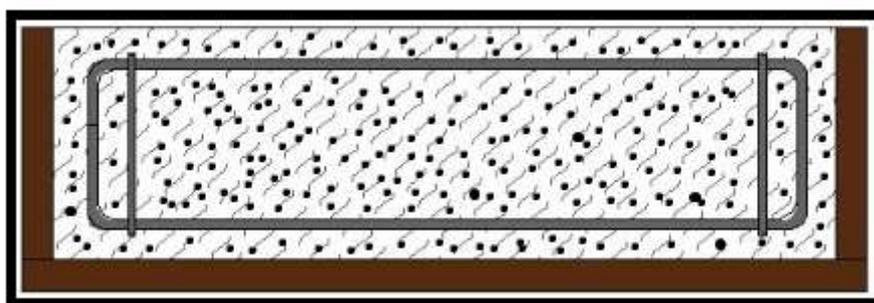
Figura 14 - Prisma P3



Fonte: Autores, (2020).

P4 – Prisma com incorporação de 14% de fibras de aço, contendo apenas armadura longitudinal, como ilustra a figura 45 abaixo.

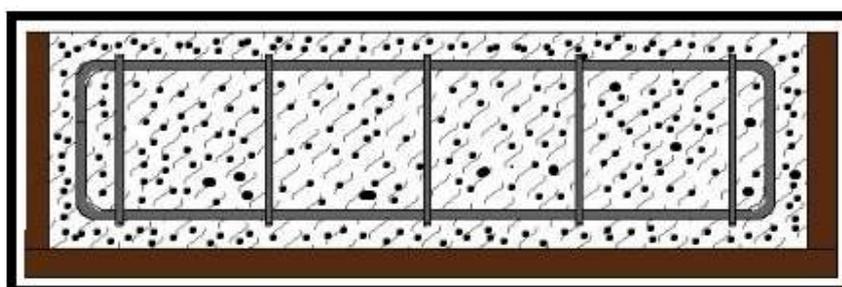
Figura 15 - Prisma P4



Fonte: Autores, (2020).

P5 – Prisma com incorporação de 14% de fibras de aço, contendo armadura transversal e longitudinal, como ilustra a figura 46 abaixo.

Figura 16 - Prisma P5



Fonte: Autores, (2020).

Para a moldagem de forma geral, foi adicionado uma camada de 2 centímetros de concreto (com respectivas variações no quantitativo de fibra) no fundo da forma de madeira e posicionada a armadura de forma centralizada, afim de garantir o cobrimento proposto em todas as faces do prisma, conforme ilustra a figura 47 abaixo. Em seguida foi sendo adicionado camadas finas de concreto e conferindo o espalhamento uniforme visando um bom adensamento da argamassa com o objetivo de evitar falhas e espaços vazios.

Figura 17 - Posicionamento da armadura



Fonte: Autores, (2020).

Finalizada a moldagem, todos os prismas foram armazenados em local protegidos de intempéries (vide figura 48), sendo devidamente cobertos com material não reativo e não absorvente, com a finalidade de evitar a perda de água do concreto até completar a idade de 28 dias para rompimento no laboratório.

Figura 18 - Armazenamento dos prismas moldados



Fonte: Autores, (2020).

## Ensaio

Foram realizados ensaios de compressão para os corpos de prova cilíndricos e de flexão a quatro pontos para os prismas. Ambos os ensaios foram realizados no laboratório

MEG TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO LTDA, inscrito no nº 10.327.010/0001-90 – MATRIZ, localizado na cidade de Petrópolis - RJ.

O ensaio de compressão foi realizado para indicar eventuais variações da qualidade do um concreto, seja com relação à dosagem, seja quanto a seus insumos, afim de garantir segurança quanto a resistência. Foi aplicada uma força uniaxial de carga compressiva em um corpo de prova até a ruptura. A máquina utilizada foi EMIC modelo PCE-100-D conforme figura 49 abaixo.

Figura 19 - Máquina do ensaio de compressão



Fonte: Autores, (2020).

O ensaio de flexão a quatro pontos foi realizado para verificação da resistência de cisalhamento. A máquina utilizada para o ensaio foi a prensa para ensaio de força Zelozo, conforme figura 50 abaixo.

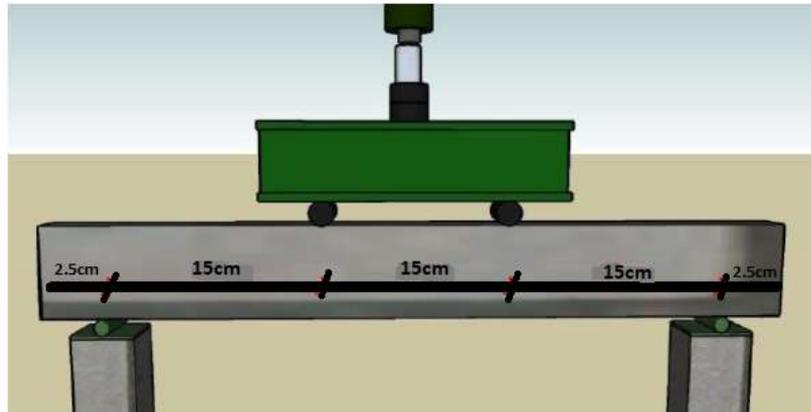
Figura 20 - Prensa modelo Zelozo



Fonte: Autores, (2020).

O esquema para realização do ensaio está esquematizado na figura 51 e apresentado na figura 52.

Figura 21 - Esquema de ensaio dos prismas



Fonte: Carnaval, (2016).

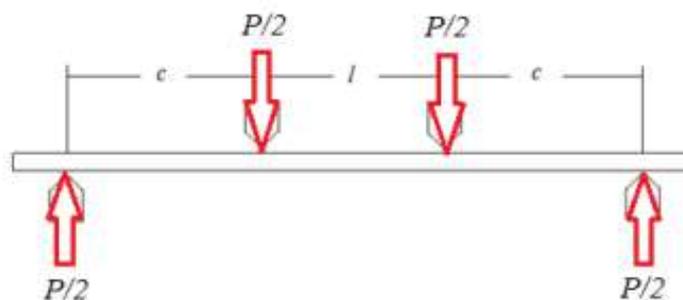
Figura 22 - Ensaio de flexão a quatro pontos



Fonte: Autores, (2020).

Nesse tipo de ensaio o momento entre os apoios internos permanece constante. Com isso, no espaço entre os apoios internos, apenas tensões trativas e compressivas atuam ao longo da seção transversal. A figura 53 abaixo mostra as forças que atuam nesse tipo de ensaio.

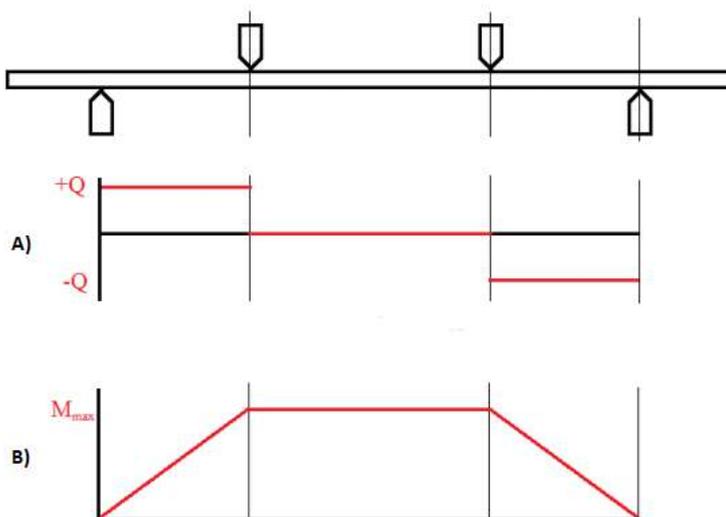
Figura 23 - Flexão a quatro pontos



Fonte: Autores, (2020)

A figura 53 (A e B) ilustram os gráficos de esforços cortantes e momento fletor, respectivamente, ao longo do corpo de prova.

Figura 24 - Diagramas de esforços cortantes e momentos fletores



Fonte: Autores, (2020).

O momento máximo é dado por:

$$M = \frac{P}{2} \cdot c$$

Onde:

P = Carga aplicada pela máquina

c = Distância entre o apoio externo e o apoio interno

## RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados de resistência à compressão e flexão aos quatro pontos foram obtidos após o rompimento dos corpos de prova em 7, 14, 21 e 28 dias. Para os prismas, obedecemos a norma que estabelece o tempo de cura de 28 dias.

### Resistência a compressão

Os resultados obtidos nesse ensaio consistem na relação entre a deformação linear, obtida pela medida da distância entre as placas que comprimem o corpo de prova, em função da carga de compressão aplicada em cada instante.

Apresentou resultado satisfatório com o esperado, testando assim o material até altos valores de deformação. A tabela 5 abaixo ilustra a resistência obtida de todos os exemplares durante o processo e cura.

Tabela 4 - Resistência à compressão axial em corpos de prova cilíndricos de concreto

Resistência à compressão axial em corpos de prova cilíndricos de concreto NBR – 5739		
Dados	Peça	Resistência 07 dias - 31/10/20
Data da moldagem - 24/10/20	1	15.3 Mpa

Fck = 20 Mpa	2	15.3 Mpa
Slump = 12	3	15.2 Mpa
Altura do CP (mm) = >195 <200	4	15.5 Mpa
Fator de correção = 1		
Classe do equipamento = Classe 1	Peça	Resistência 14 dias - 07/11/20
Capecamento = Faces retificadas	5	17.2 Mpa
Adensamento = Mecânico	6	16.3 Mpa
	7	17.4 Mpa
	8	16.6 Mpa
	Peça	Resistência 21 dias - 14/11/20
	9	18.1 Mpa
	10	18.3 Mpa
	11	18.3 Mpa
	12	17.9 Mpa
	Peça	Resistência 28 dias - 21/11/20
	13	19.4 Mpa
	14	18.8 Mpa
	15	19.3 Mpa
	16	19.5 Mpa

Fonte: Autores, (2020).

A partir da tabela acima, foram retirados os dados estatísticos, referente a média das resistências, máximo e mínimo encontrados, desvio padrão e intervalo de confiança conforme apresenta a tabela 6 abaixo.

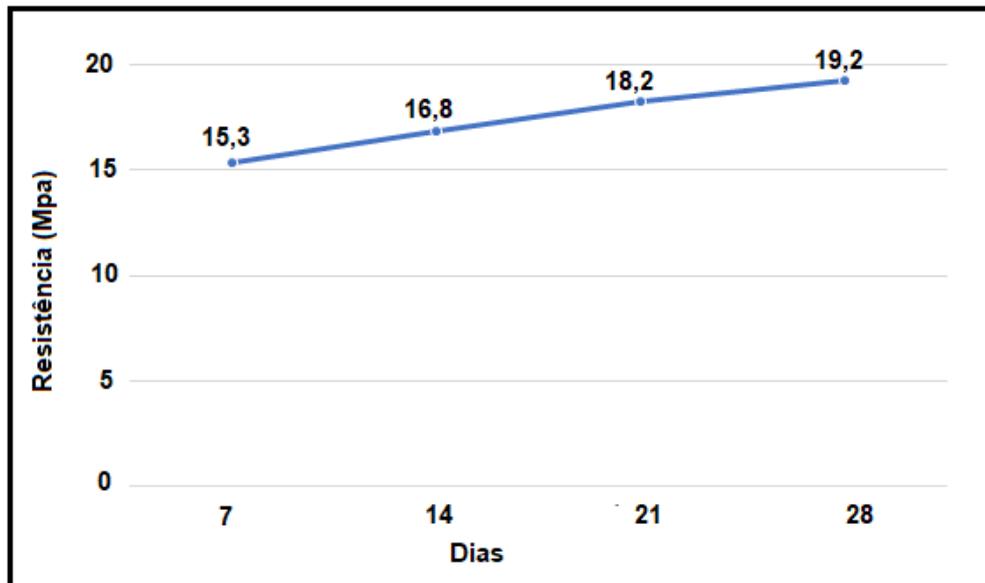
Tabela 5 - Dados estatísticos do ensaio a compressão dos corpos de prova.

Dados estatísticos				
	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
Nº de resultados	4	4	4	4
X (MÉDIA Mpa)	15.3	16.8	18.2	19.2
Desvio Padrão	0,126	0,483	0,193	0.322
Máx. encontrado (Mpa)	15.5	17.4	18.3	19.5
Mín. encontrado (Mpa)	15.2	16.3	17.9	18.8
Intervalo de confiança	0,124	0,474	0,189	0.316

Fonte: Autores, (2020).

A partir da análise, o gráfico 1 abaixo mostra a curva de compressão dos corpos cilíndricos considerando a média dos resultados após o rompimento.

Gráfico 1 – Curva de compressão dos corpos de prova cilíndricos



Fonte: Autores, (2020).

### Flexão a quatro pontos

A partir da ruptura de cada prisma, foram verificados a carga de primeira fissura e a carga máxima assim como o modo de falha, conforme são descritos nos itens abaixo.

#### Carga de primeira fissura e a carga máxima

Aqui foi analisado a carga de primeira fissura e carga última dos prismas. Salientamos que este procedimento foi realizado de forma visual, logo não tivemos possibilidade de analisar a deformação e deslocamento. Sendo assim, impossibilitando a interpretação de outros resultados e exposições de gráficos.

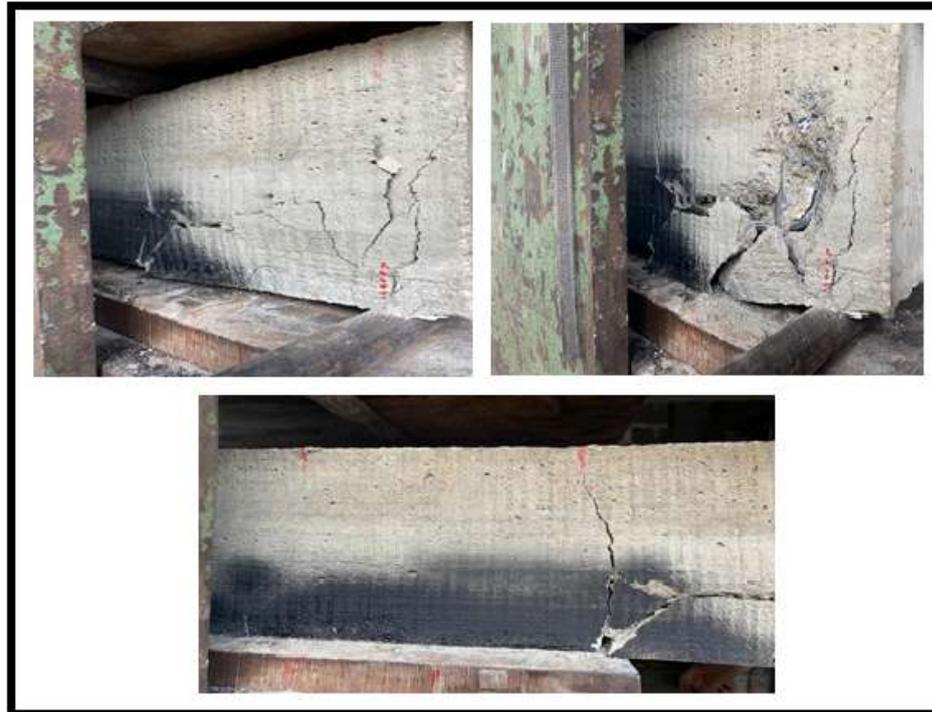
O prisma de referência (P1) quando submetida ao ensaio apresentou a primeira fissura (Vide figura 55) quando era aplicado 23,53kN e a partir daí foram surgindo múltiplas fissuras (figura 56) até sua carga última que foi de 47,07kN.

Figura 25 - Primeira fissura (P1)



Fonte: Autores, (2020).

Figura 26 - Múltiplas fissuras (P1)



Fonte: Autores, (2020).

O prisma P2, quando submetida ao ensaio apresentou a primeira fissura (Vide figura 57) quando era aplicado 26,48 kN e a partir daí foram surgindo múltiplas fissuras (figura 58) até sua carga última que foi de 53,94 kN.

Figura 27 - Primeira fissura (P2)



Fonte: Autores, (2020).

Figura 28 - Múltiplas fissuras (P2)



Fonte: Autores, (2020).

O prisma P3, quando submetida ao ensaio apresentou a primeira fissura (Vide figura 59) quando era aplicado 27,46 kN e a partir daí foram surgindo múltiplas fissuras (figura 60) até sua carga última que foi de 55,90 kN.

Figura 29 - Primeira fissura (P3)



Fonte: Autores, (2020).

Figura 30 - Múltiplas fissuras (P3)



Fonte: Autores, (2020).

O prisma P4, quando submetida ao ensaio apresentou a primeira fissura (Vide figura 61) quando era aplicado 50,99 kN e a partir daí foram surgindo múltiplas fissuras (figura 62) até sua carga última que foi de 64,73 kN.

Figura 31 - Primeira fissura (P4)



Fonte: Autores, (2020).

Figura 32 - Múltiplas fissuras (P4)



Fonte: Autores, (2020).

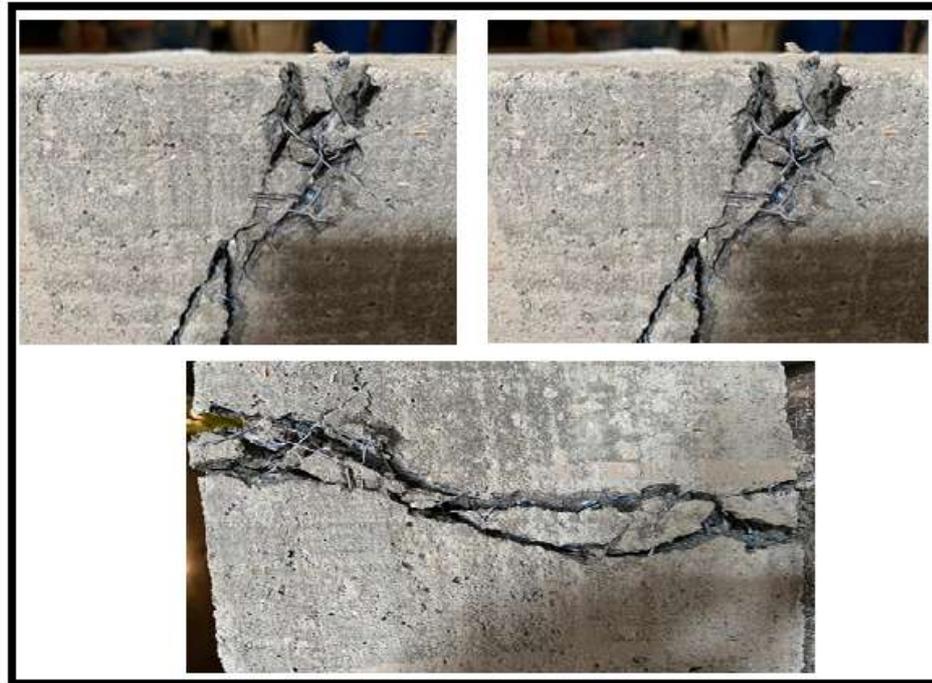
O prisma P5, quando submetida ao ensaio apresentou a primeira fissura (Vide figura 63) quando era aplicado 55,90 kN e a partir daí foram surgindo múltiplas fissuras (figura 64) até sua carga última que foi de 74,53 kN.

Figura 33 - Primeira fissura (P5)



Fonte: Autores, (2020).

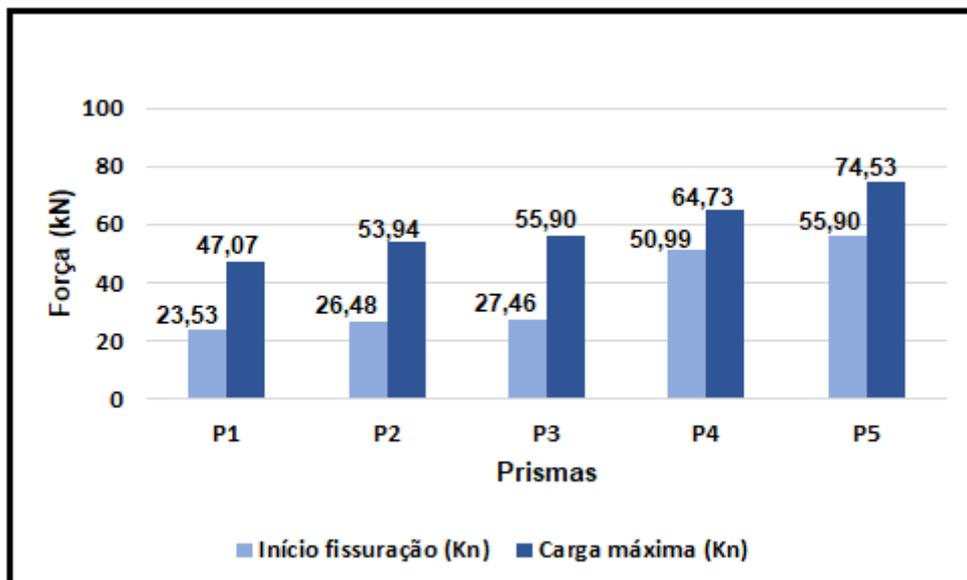
Figura 34 - Múltiplas fissuras (P5)



Fonte: Autores, (2020).

O gráfico 2 abaixo simplifica o resultado da carga de primeira fissura e a carga máxima do experimento realizado.

Gráfico 2 – Carga de primeira fissura e carga máxima



Fonte: Autores, (2020).

Analisando a influência das fibras de aço, foi possível perceber que a incorporação de 7% das fibras nos prismas P2 e P3, trouxe um aumento de 12,54% e 16,7%, respectivamente, para o início da fissuração quando comparado ao P1. Com relação a carga máxima tivemos um aumento de 14,6% para P2 e 18,76% para P3. Sendo assim, foi verificado que a adição de 7% de fibras de aço não resultou em uma melhora tão significativa para o aumento de cargas analisadas e não trouxe diferença considerável na utilização de armadura transversal, apesar da utilização das fibras de aço terem prolongado

o estágio 1 do concreto (regime não fissurado), uma vez que as fibras serviram como ponte de transferência de tensões.

Com o aumento do volume de fibras para 14%, pode ser notado que resistência a primeira fissura, tenacidade e ductilidade foram melhoradas e claramente aumentadas tendo como os seguintes resultados: 116,7% e 137,57% de aumento na resistência a primeira fissura para o prisma P4 (sem armadura transversal) e P5 (com armadura transversal), respectivamente. Enquanto a carga máxima chegou a 37,52% para o prisma P4 e 58,34% para o prisma P5.

Pela análise dos resultados informados acima, conclui-se que a adição de fibras de aço promoveu um melhor controle de fissuração restringindo a propagação de fissuras e permitindo uma fissuração uniforme além do retardamento do seu aparecimento, uma vez que ocorreram múltiplas fissuras diagonais, as quais se propagaram lentamente a cada incremento da força aplicada.

Ainda nesse contexto, foi possível concluir que as resistências analisadas tiveram um aumento conforme a adição na quantidade de fibras, isto é o volume de fibras teve uma forte influência para os resultados finais.

### Modo de falha

Numa viga de concreto armado, vários tipos de ruptura podem ser observados. Sua caracterização se dará pelo tipo de tensão cisalhante que caminha ao longo da peça e como ela se distribui. Este tipo de comportamento é descrito no tópico 3.5 deste trabalho com maior detalhamento.

Neste capítulo será comparado os tipos de ruptura observado após o ensaio de flexão a quatro pontos conforme apresentado nas figuras abaixo, onde é a apresentado a face lateral dos prismáticos.

O tipo de falha encontrado nos prismas P1 e P2 pode ser descrito como ruptura por força cortante-tração, conforme figuras 65 e 66 onde é sugerido a analogia com a treliça. Quando ultrapassa o limite de escoamento da armadura transversal surge o aparecimento de fissuras inclinadas.

Figura 35 - Caracterização da fissuração do prisma P1



Fonte: Autores, (2020).

Figura 36 - Caracterização da fissuração do prisma P2



Fonte: Autores, (2020).

O prisma P3 (figura 67) foi caracterizado pelas deficiências encontradas na armadura. Quando o prisma sofreu carregamento e foi submetido a uma flexão, o alongamento da armadura longitudinal na zona inferior (tracionada) provocou o aumento excessivo da armadura transversal, por estarem agarradas entre si, sendo encontrado a ruptura por flexão da armadura longitudinal.

Figura 37 - Caracterização da fissuração do prisma P3



Fonte: Autores, (2020).

O alongamento excessivo da armadura transversal apresenta fissuras inclinadas direcionadas a zona comprimida. Ocorre somente em carregamentos elevados e concentrados e acontece por esmagamento do concreto na região superior (zona de compressão) sendo caracterizado ruptura por força cortante flexão os prismas P4 e P5 (Figura 68 e 69).

Figura 38 - Caracterização da fissuração do prisma P4



Fonte: Autores, (2020).

Figura 39 - Caracterização da fissuração do prisma P5



Fonte: Autores, (2020).

## Avaliação de custos

Após todos os procedimentos do ensaios e análise, foi elaborado uma avaliação para ser calculado o custo unitário dos prismas com a utilização da fibra de aço, visto que o traço

foi elaborado de forma manual e sem a utilização de pesagens dos insumos utilizados, onde o método de medida foi através de latas de 20 litros, porém sendo respeitando o quantitativo para o traço criado. Para isso, foi comparado o prismas P1 e P5. A escolha se deu por ser utilizado o mesmo quantitativo de barras de aço e concreto, com a diferença na utilização das fibras, outro motivo foi pelos resultados, onde ambas se encontram nas posições de resistência mínima e máxima da análise do experimento deste trabalho. Na tabela 7, é demonstrado o valor de cada insumo utilizado para a moldagem do prisma.

Tabela 6 - Valor unitário dos insumos

Item	Material	Quantidade	Unidade	Valor
1	Cimento	50	kg	R\$ 25,70
2	Areia	1	m <sup>3</sup>	R\$ 95,00
3	Brita 0	1	m <sup>3</sup>	R\$ 140,00
4	CA-50 Ø 1/4"	12	m	R\$ 23,00
5	CA-60 Ø 3/16"	12	m	R\$ 13,80
6	Fibra	20	kg	R\$ 241,60

Fonte: Autores, (2020).

Realizando o cálculo de proporcionalidade e através das especificações de projeto foi previsto a quantidade demonstrada na tabela 8 e 9 para cada prisma.

Tabela 7 - Quantitativo P1

P1				
Item	Material	Quantidade	Unidade	Valor
1	Cimento	5	kg	R\$ 2,57
2	Areia	0,5	lata	R\$ 0,95
3	Brita 0	0,4	lata	R\$ 1,12
4	CA-50 Ø 1/4"	2,44	m	R\$ 4,68
5	CA-60 Ø 3/16"	2,7	m	R\$ 3,11
6	Fibra	0	kg	R\$ -
				Total: R\$ 12,42

Fonte: Autores, (2020).

Tabela 8 - Quantitativo P5

P5				
Item	Material	Quantidade	Unidade	Valor
1	Cimento	5	kg	R\$ 2,57
2	Areia	0,5	lata	R\$ 0,95
3	Brita 0	0,4	lata	R\$ 1,12
4	CA-50 Ø 1/4"	2,44	m	R\$ 4,68
5	CA-60 Ø 3/16"	2,7	m	R\$ 3,11
6	Fibra	0,7	kg	R\$ 8,46
				Total:
				R\$ 20,88

Fonte: Autores, (2020).

Verificando o custo final de cada prisma, é observado que a diferença no valor para a moldagem é de R\$ 8,46, ou seja, o valor respectivo para a quantidade de fibra utilizada pelo prisma P5. Com o valor informado houve acréscimo de 32,37 kN para o aparecimento da primeira fissura e 27,46 kN para a carga máxima resistida, em porcentagem 42,1% e 63,2%, respectivamente. É importante ressaltar que o custo da mão de obra para aplicação das fibras na execução do traço pode ser desprezível, pois não requer mão de obra especializada, visto que a mesma deve ser apenas pesada conforme projeto e lançada na mistura no momento em que há homogeneização do concreto.

## CONCLUSÃO

Diferente de outros campos, de forma geral, a construção civil ainda é muito resistente ao que é novo, o que explica o fato de uma tecnologia como o CRFA, a qual traz enormes vantagens ao setor ainda estar pouco difundida, sendo seu uso muitas vezes restrito. Mesmo assim, o emprego do concreto reforçado com fibras, uma tecnologia relativamente nova, vem crescendo ao longo das últimas décadas.

Vigas de concreto reforçadas com fibras de aço tem uma alta resistência após fissuração, a qual é uma característica desejável no dimensionamento, pois a condições de segurança do elemento estrutural é satisfatória quando são verificados no Estado Limite Último.

Essa tecnologia veio para suprir as deficiências do concreto convencional podendo ser facilmente deformadas melhorando sua capacidade de aderência, o que contribui para o aumento da tenacidade do compósito, uma vez que as fibras de aço servem como ponte de transferência entre as fissuras aumentando a resistência e tenacidade reduzindo a possibilidade de ruptura súbita. Sendo corretamente preparada e aplicada trará enormes benefícios ao setor, visto que não apresentam muita distinção nas etapas de preparação do concreto convencional, exigindo apenas uma atenção especial na dosagem, lançamento e vibração.

Diante da avaliação da eficácia das fibras de aço no desempenho mecânico ao cisalhamento de vigas em concreto, o estudo apresentado sob uma perspectiva teórica e experimental, além de uma revisão bibliográfica, nos mostrou que os mecanismos responsáveis pela transferência da força cortante são variados, complexos e difíceis de medir e identificar. Isso ocorre pois, após o surgimento das fissuras inclinadas, ocorre uma

complexa redistribuição de tensões, a qual é influenciada por vários fatores, como foi apresentado os cinco mecanismos mais importantes.

No que diz respeito ao cisalhamento em vigas de concreto armado, as fibras de aço apresentam uma grande vantagem sobre os outros tipos de fibras por sua alta resistência à tração e grande capacidade de aderência a matriz que a envolve.

De acordo com os numerosos estudos avaliados, percebeu-se um aumento na resistência ao esforço cortante quando são adicionadas fibras ao concreto de vigas de resistência normal e o uso de fibras de aço com gancho nas extremidades no traço do concreto, com teor de fibras maior ou igual a 0,75%, aumenta a resistência ao cisalhamento de vigas sem armadura transversal.

Ainda nesse contexto, analisando vigas de concreto armado, foi possível perceber que teve aumento na resistência ao cisalhamento apresentando uma apreciável ductibilidade. Enquanto as vigas de concreto armado sem armadura transversal no vão testado apresentaram uma fissura diagonal única seguida por uma ruptura frágil, as vigas com fibras de aço apresentaram pelo menos duas fissuras e o alargamento de pelo menos uma delas antes da ruptura, proporcionando algum aviso sobre a ruptura eminente.

Pela análise experimental, conclui-se que a adição de fibras de aço promoveu um melhor controle de fissuração restringindo a propagação de fissuras e permitindo uma fissuração uniforme além do retardamento do seu aparecimento, uma vez que ocorreram múltiplas fissuras diagonais, as quais se propagaram lentamente a cada incremento da força aplicada. Ainda nesse contexto, foi possível concluir que as resistências analisadas tiveram um aumento conforme a adição na quantidade de fibras, isto é o volume de fibras teve uma forte influência para os resultados finais.

No âmbito da aplicação, foi possível verificar que as aplicações do CRFA são muito concentradas. O mercado de fibras de aço tem como principal aplicação os pavimentos industriais, onde em seguida vem o concreto projetado e os pré-moldados.

## **TRABALHOS FUTUROS**

Em termos de trabalho futuro, existem muitas linhas de desenvolvimento e outras perspectivas que podem ser exploradas. Aconselha-se então:

- Experimento com variação na geometria;
- Análise da deformação e deslocamento;
- Aumento e diminuição do quantitativo de fibras;
- Análise de uma viga propriamente dita;

## **REFERÊNCIAS**

ABNT NBR 15530 (2007). Fibras de aço para concreto – Especificações. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 08890 (2007). Tubo de concreto armado de seção circular para esgoto sanitário – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR NM 67 (1996). Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ARAUJO, A (2002). Reforço ao cisalhamento de vigas “T” de concreto armado com fibra de carbono com dois tipos de ancoragem. 2002.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 544.1R. (1996) Report on fiber reinforced concrete.

BANTHIA N., ARMELIN H.(2001 BARROS, ALEXANDRE RODRIGUES DE. Avaliação do comportamento de vigas de concreto auto-adensável reforçado com fibras de aço / Alexandre Rodrigues de Barros, 2009.

BARROS, F. C. G. M. B. (2015). Análise do Momento Resistente de Vigas em Concreto Reforçado com Fibras de Aço. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil, 132 pg.

BELLO, H.J. (2014). Flexural behavior of lightly and heavily reinforced steel fiber concrete beams. Tese de mestrado, Atilim University, Turquia, 2014.

BENTUR, A.; MINDESS, S. Fibre Reinforced Cementitious Composites. 2ª. ed. London: Taylor & Francis, 2007. 601 p.

BORGES, J. U. A. (2002) Análise do comportamento de vigas de concreto de alto desempenho por meio da mecânica da fratura. 2002. 311 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

CASANOVA, P., ROSSI, P. "Analysis and design of steel fiber reinforced concrete beams". ACI Structural Journal, V94, N5, September-October, 1997, p.595-602.

CELESTINO, T. B. Early-age shotcrete performance at excavation faces of underground works. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON URBAN PROBLEMS AND UNDERGROUND SOLUTIONS. Proceedings. São Paulo, Brasil, 1996.pp 77-88.

CHANH, N. V. Steel fiber reinforced concrete. In: Joint seminar on concrete engineering. Ho Chi Minh City University of Technology, 2005. p.108-116.

CHAVEZ ARAUZ, Alcibiades. "Resistência ao cisalhamento de vigas em concreto armado reforçado com fibras de aço". 2002. 135 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, SP. 2002.

DI PRISCO, M., ROMERO, J.A. "Diagonal shear in thin-webbed reinforced concrete beams: fibre and stirrup roles at shear colapse". Magazine of Concrete Research, V48, N174, 1996, p.59-76.

DINH, H.H.; PARRA-MONTESINOS, J.; WIGHT, J.K. "Shear Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams without Stirrup Reinforcement." ACI Structural Journal, V. 107, No 5. September, 2010.

EL-NIEMA, E.L. "Reinforced-concrete beams with steel fibers under shear". ACI Structural Journal, V88, N2, March-April, 1991, p.178-183.

Fenwick, R.C. & Paulay, T. 1968. Mechanisms of shear resistance of concrete beams. Proceedings of the ASCE (NST 10)94: 84–92.

- FIGUEIREDO, A. D. (2000). Concreto com Fibras de Aço. Boletim Técnico – Série BT/PCC/260, Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- FIGUEIREDO, A. D. (2005). Concreto com fibras. IBRACON. Concreto: ensino, pesquisa e realidade. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto. Cap. 39, p 1195- 1225.
- FIGUEIREDO, A. D. “A nova especificação brasileira das fibras de aço para concreto”. ConcretoAnais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON., 2008.
- FIGUEIREDO, A. D. Concreto reforçado com fibras. São Paulo, 2011. 248f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil II, São Paulo, 2011.
- FURLAN JR., S., HANAI, J.B. "Shear behavior of fiber reinforced concrete beams". Cement and Concrete Composites, V19, N4, 1997, p.359-366.
- FUSCO, P.B. "Estruturas de Concreto: Solicitações Tangenciais". Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1984.
- GUSTAFSSON, J., and K. NOGHABAI. 1997. Steel fibers as shear reinforcement in high strength concrete beams. International Journal of Nordic Concrete Research 22: 1- 18.
- LIM, D.H., OH, B.H. "Experimental and theoretical investigation on the shear of steel fibre reinforced concrete beams". Engineering Structures, V21, N10, 1999, p.937-944.
- LOBÃO, L. M. M.. Taxa de armadura longitudinal de tração mínima em vigas de concreto de resistência normal com fibras de aço. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- LOPES, M. M. (2005) Substituição parcial de armaduras de flexão em vigas de concreto. 2005. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de PósGraduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro.
- KWAK, Y. K. *et al.* Shear Strength of Steel Fiber-Reinforced Concrete Beams Without Stirrups. **ACI Structural Journal**, Farmington Hills, 530-538. 2002
- M. A. Mansur and K. C. G. Ong “Shear Strength of Ferrocement I-Beams”. Structural Journal, Vol. 88, 1991.
- MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Ibracon, 2014. 674p.
- MINDESS, S. “Fibre reinforced concrete: challenges and prospects. In: Second University-Industry Workshop on Fiber Reinforced Concrete and Other Advanced Materials”. Toronto, Canada, 1995. Proceedings. P. 1-12.

MOBASHER, B.; YAO, Y.; SORANAKOM, C. "Analytical solutions for flexural design of hybrid steel fiber reinforced concrete beams. *Engineering Structures*", p. 164-177, Junho 2015.

MORAES NETO, B.N. (2013). "Comportamento à Punção de Lajes Lisas em Concreto Reforçado com Fibras de Aço sob Carregamento Simétrico". Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Tese de Doutorado, Brasília, 2013.

NARAYANAN, R.; DARWISH, I. Y. S. "Use of steel fibers as shear reinforcement". *ACI Structural Journal*, Detroit, p 216-226, maio - junho 1987.

NUNES, L (2006). " Contribuição para a aplicação do concreto reforçado com fibras de aço em elementos de superfície restringidos, 2006.

OHTSU, M. "Acoustic Emission (AE) and Related Non-destructive Evaluation (NDE) Techniques in the Fracture Mechanics of Concrete". London: Woodhead Publishing, 2015. 291 p.

OLIVEIRA JUNIOR, L. A. **Ligação Viga-Pilar em Elementos Pré-Moldados de Concreto Solidarizados Por Concreto Reforçado Com Fibras de Aço**: análise estática e dinâmica. São Carlos, 2012. 233f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

PEREIRA, E. N. B.; BARROS, J. A. O.; CAMÕES, A. (2008) Steel fiber-reinforced self-compacting concrete: experimental research and numerical simulation. *Journal of Materials in Engineering Civil*. Vol. 134, nº 8. p. 1310-1321.

RAMLI, M., DAWOOD, E. "Effect of Steel Fibers on the Engineering Performance of Concrete" 2011.

RCD Telles, AD Figueiredo (2006) Possibilidades de incorporação de novas tecnologias em anel de concreto pré-fabricado para túneis com tuneladora. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

ROSSI, C. "Aderência de armadura em concreto reforçado com fibra de aço", 2018.

SAHOO, D. R.; SHARMA, A. Effect of Steel Fiber Content on Behavior of Concrete Beams With and Without Stirrups. **ACI Structural Journal**, v. 111, n. 5, p. 1157-1167. 2014.

SINGH, B; JAIN, K. Apraisal of Steel Fibers as Minimum Shear Reinforcement in Concrete Beams. **ACI Structural Journal**, Farmington Hills, v. 111, n. 5, p. 1191-1203. 2014

SHARMA, A.K. "Shear-strength of steel fiber reinforced-concrete beams". *Journal of the American Concrete Institute*, V83, N4, July-August, 1986, p.624

TAHENNI, T., CHEMROUK M., LECOMPTE T. "Effect of steel fibers on the shear behavior of high strength concrete beams". 2016.

XU, B. W.; SHI, H. S. "Correlations among mechanical properties of steel fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*", p. 3468- 3474, Agosto 2009.

**Renan Assis Martins**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

**Marcelo Gonçalves Domingos Araújo**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

## RESUMO

O método construtivo utilizando alvenaria de blocos cerâmicos é o sistema tradicionalmente utilizado na construção civil brasileira. Este método é responsável por absorver uma considerável parcela do tempo de execução na construção, além de gerar uma significativa quantidade de resíduos sólidos. Portanto a procura por métodos de construção mais eficientes e simultaneamente mais sustentáveis é fundamental nos dias que correm. Considerando a diligência, este trabalho é realizado com base em pesquisas teóricas, apresentando um comparativo entre o método construtivo que faz uso de estruturas de concreto armado e fechamento em blocos cerâmicos e o método construtivo que faz uso de paredes de argamassa armada com núcleo em Poliestireno Expandido (EPS). Neste método, composto por painéis de EPS com telas de aço eletrosoldadas, as telas revestidas confere-lhes resistência e o EPS além de ser um excelente isolante térmico, atribui o formato às paredes. Desta forma o EPS mostrou um desempenho competitivo se comparado ao método construtivo em alvenaria tradicional. Apresentando-se com um método de construção mais sustentável e mais econômico. Os custos de construção para o método em estudo, apresentou-se com valores mais atrativos que o método tradicional, dependendo da região e tipo de edificação. Além dos custos de construção, o edifício em EPS é indiscutivelmente mais leve, oferecendo uma economia na sua infraestrutura. As paredes construídas em EPS possuem baixa condutibilidade térmica, permitindo uma redução no consumo de energia. O método construtivo em EPS também apresenta como aspecto interessante, a racionalização, devido a brusca redução de desperdícios no processo de construção. A quantidade de resíduos produzida é quase nula e a mão de obra na sua execução é reduzida devido a facilidade de manuseio e praticidade que o método apresentado oferece. Deste modo o EPS mostrou-se um excelente método alternativo. O estudo objetiva apresentar de forma mais abrangente os aspectos compositivos e construtivos do sistema utilizando EPS, tais como suas vantagens e desvantagens.

**Palavras-chave:** Poliestireno expandido; Construção sustentável; Sistema de EPS; Isolamento térmico.

## INTRODUÇÃO

A população mundial está em constante crescimento, o que significa, igualmente, uma expansão das cidades. De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU)

(2020). A população mundial, em 2019, era de 7,7 bilhões de pessoas, devendo aumentar 2 bilhões nas próximas quatro décadas. Já no Brasil, a população chegou a pouco mais de 210 milhões no mesmo ano.

Este cenário contempla uma maior demanda em áreas da construção civil, necessárias à expansão de edificações, industriais, comerciais e de serviços, incluindo sua infraestrutura.

Outra implicação é motivada pelo constante déficit habitacional e urbano, necessitando de maiores investimentos em construção de moradias e urbanização das cidades. No Brasil, de acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) (2020), apoiada em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o setor da construção civil presenciou, um crescimento no ano de 2019, após cinco anos em queda.

Neste contexto, pensa-se ser necessária a inclusão de novas técnicas e métodos construtivos que se alinhem, como opção, as práticas tradicionais utilizadas até aqui.

Técnicas e métodos, que se utilizem, de novas matérias primas visando à sustentabilidade do meio ambiente, que propague o reaproveitamento de materiais alternativos que sejam menos degradantes.

O tema deste trabalho expõe o material conhecido como Poliestireno Expandido (EPS), material alternativo para a construção civil. Mostrará formas de utilização e conceito do EPS através de um projeto de construção de sobrados geminados comparando-o com a forma tradicional da construção.

Demonstrará sua praticidade de execução, a interação com o meio ambiente, suas vantagens e desvantagens.

O sistema é constituído por betão ou argamassa, treliças eletrosoldadas, grampos de aço galvanizados e telas, que têm em seu componente o Poliestireno Expandido. (BERTOLDI, 2007)

De acordo com a Associação Brasileira de Poliestireno Expandido conhecida (2016) pela sigla (ABRAPEX), este material surgiu em 1949 na Alemanha, contendo características de estruturas monolíticas, gerando este uma ótima alternativa a alvenaria tradicional de blocos cerâmicos, pois contém paredes estruturais com boa resistência a impactos, possuindo um índice elevado de pré-fabricação, excelente isolante termoacústico, leveza e a sua utilização acaba gerando pouco desperdício.

Justifica-se a adoção do EPS como forma de redução de custos, elevada produtividade e diminuição dos desperdícios durante o processo construtivo.

O poliestireno expandido (EPS), oferece conforto termoacústico, também tem fácil aplicabilidade, e seu tempo de execução é consideravelmente menor, além da redução de resíduos gerados (BERTOLDI, 2007).

Mais uma justificativa deste relevante tema de pesquisa é a otimização e eficiência nos processos construtivos, alinhado com a necessária economia e ganho de tempo na construção civil (BERTINI, 2002)

No Brasil, de acordo com Barreto (2017) o método estrutural mais utilizado ainda é o concreto armado, uma vez que possui grande aceitação do mercado. Contudo, pontos como a elevada quantidade de mão-de-obra empregada, baixo reaproveitamento de materiais e intensa quantidade de resíduos gerados são dados preocupantes.

Sendo assim, nos encontramos, atualmente com a necessidade de explorar e comparar novos métodos de construção com os que já estão consolidados no mercado. A fim de esclarecer suas vantagens e desvantagens, assim como suas características técnicas.

Buscas por métodos alternativos na construção se relacionam com a demanda por sustentabilidade, fator presente no ramo da construção civil. Com esta procura frequente por técnicas de desenvolvimento sustentáveis, encontramos diversos outros métodos

construtivos que se destacam de forma competitiva em relação aos métodos de construções tradicionais.

Neste trabalho será apresentado um anteprojeto de edificação de um sobrado com objetivo de levantar, apresentar e comparar dados econômicos e técnicos necessários para a execução em poliestireno expandido e por alvenaria tradicional, com fechamento com tijolos cerâmicos.

Serão mostrados dados para a construção deste projeto, tais como suas vantagens e desvantagens e a viabilidade de se utilizar o método construtivo alternativo.

Há diversas maneiras de se utilizar os painéis de poliestireno expandido como estrutura na edificação. O presente trabalho tem como foco de estudo o painel simples, constituído de três camadas. Camadas das faces compostas por argamassa estrutural ou microconcreto, associado com tela eletrosoldada e o núcleo a placa de EPS.

O método construtivo em EPS oferece como suas principais vantagens, leveza para a estrutura, facilidade de transporte e montagem, excelente isolamento termo acústico, além disso é um material que pode ser reaproveitado por completo (BERTINI, 2002)

De fato, que o método construtivo em EPS possui elevado potencial de utilização, podendo ser utilizado em edificações de diversos padrões e em moradias de larga escala, tais como conjuntos habitacionais de pequeno a médio porte.

Contudo, existe uma desconfiança por parte dos construtores quanto à eficácia do EPS, mesmo o método construtivo sendo utilizado por diversos países com eficiência comprovada.

No Brasil, de acordo com Neto (2008) ainda existem alguns aspectos que complicam a inclusão de inovações tecnológicas no setor da construção civil, principalmente no subsetor de edificações.

Nosso atraso tecnológico, acaba por resultar em acomodação no uso de métodos tradicionais.

Devido à baixa disseminação do método construtivo em EPS, ainda se encontra certa dificuldade na busca por empresas que fabriquem e construtoras que ofereçam mão-de-obra especializada, para utilização do EPS nas construções.

Diante do que foi apresentado, a utilização do método construtivo de paredes com argamassa armada e núcleo em EPS pode ser considerado uma forma viável de construção do ponto de vista econômico?

A ideia do presente trabalho é contribuir, propagando e incentivando mais um método construtivo competitivo no ramo da construção civil. Apresentando dados que comprovem a eficácia do método e que venha incentivar o uso de um método mais sustentável.

Com isto espera-se dissipar dúvidas e desconfianças existentes no meio da construção civil, mudando assim, a cultura de sempre utilizar métodos tradicionais.

Propagando este método construtivo, com a aceitação de mais empresas e clientes, será possível assim reduzir o preço de produção das placas de EPS e aumentar assim o número de fabricantes em certas regiões. Resultando em um custo final bem mais atrativo.

O trabalho seguirá um estudo de cenário sobre o tema, onde serão levantados dados de uma edificação habitacional. Será proposta a utilização do método construtivo em EPS, paredes de argamassa armada e núcleo em poliestireno.

Todos os dados obtidos nesta edificação serão analisados e comparados com o método construtivo convencional, paredes de fechamento com tijolos cerâmicos e estruturas de concreto armado.

O projeto da unidade habitacional é de autoria do autor deste trabalho, especialmente elaborado para a apresentação deste trabalho.

Devido à falta de registro de uma estimativa de preços, com relação ao método proposto nas tabelas do Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil

(SINAPI), se fez necessário a solicitação de orçamentos por parte de empresas que prestam esse tipo de serviço. Tornando assim a comparação econômica mais real possível.

O objetivo geral do trabalho é confirmar o EPS como método construtivo atrativo e eficaz colocando-o como opção frente aos métodos tradicionais já estabelecidos no Brasil.

## **METODOLOGIA**

O método de pesquisa foi o estudo exploratório, razão pela qual a aproximação com o objeto se deu através de fontes bibliográficas, que forneceram dados para a construção do quadro conceitual e comparativo econômico com o intuito de definir qual método construtivo é o mais adequado para uma construção de sobrado geminado com duas unidades habitacionais de aproximadamente 82 m<sup>2</sup> desenvolvido pelo autor. Foram alvos da pesquisa bibliográfica dados oriundos de pesquisas científicas produzidas por diversos autores, manuais, normas, entre outros.

Elaboraram-se algumas comparações entre o custo apurado pelo autor e a cotação obtida em contato com uma empresa chamada Monolitus Sistemas Construtivos, fornecedora do material e mão de obra, de modo a esboçar a aplicabilidade do sistema construtivo e ensejar novas perspectivas para trabalhos futuros. E por fim, elencou-se os prós e contras de cada método. Os resultados foram expostos, sequencialmente, nos capítulos deste trabalho.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

### **POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)**

O Poliestireno Expandido foi descoberto pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz na Alemanha em 1949. Atualmente, é conhecido internacionalmente pela sigla EPS, Associação Brasileiro de Poliestireno Expandido (ABRAPEX, 2006).

No Brasil, o EPS surgiu na década de 60, tornou-se mais conhecido como “Isopor” no ano de 1998, marca registrada da empresa Knauf Isopor Ltda, que designa desta forma os produtos de EPS que comercializa (SCHUCH, 2017).

Percebeu-se que no decorrer dos anos, o material proporcionou uma versatilidade e um elevado potencial para métodos construtivos. Conforme ilustrado na Figura 1, uma vez dilatado, o EPS modifica suas características, gerando uma leveza extrema, proporcionando densidade, forma e dimensão desejada. (STOCCO, 2009).

Figura 1 : Pérola de poliestireno (antes da expansão) e granulado de EPS (após a expansão)



Fonte: BERTOLDI , 2007

De acordo com Ambrosi (2009), o EPS era usado em grande escala para o ramo de embalagens, e com isso, era descartado de maneira errada, causando poluição, bloqueio de bueiros e entupimentos, visto que o EPS caracteristicamente é impermeável.

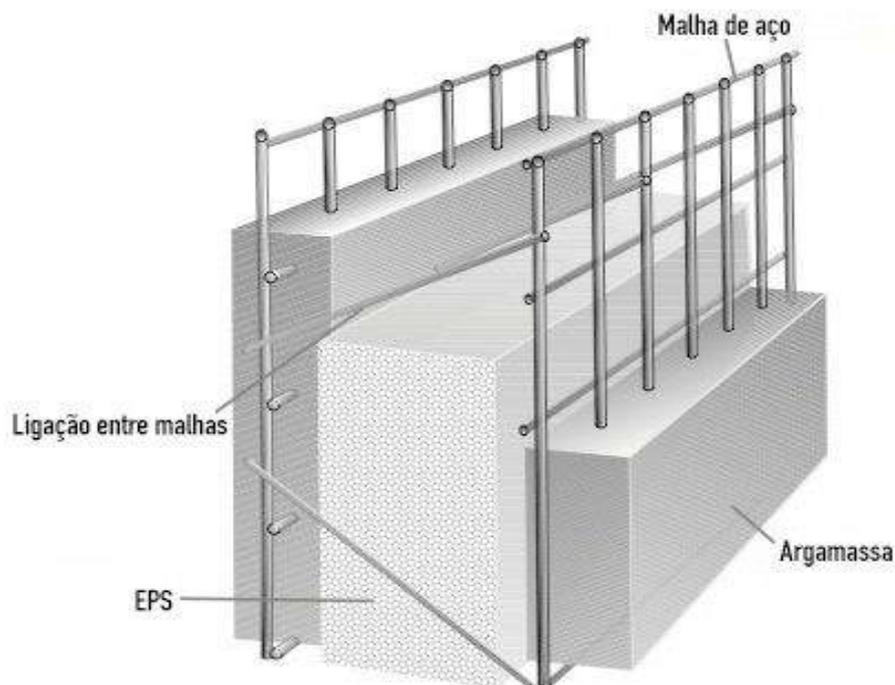
A impermeabilidade gerada pelo EPS, associada a uma considerável resistência, aliada às outras propriedades, fez com que o EPS ganhasse grande destaque na construção civil sendo adaptado no formato de painéis para serem utilizados em edifícios, rodovias e residências (SANTOS, 2013).

Os painéis de poliestireno expandido (EPS), vieram por meio de um projeto italiano que foi desenvolvido para uma região que continha tremores repentinos e temperaturas extremas no inverno. Essa criação objetivava que as residências locais tivessem uma estrutura monolítica, aumentando a resistência ao desmoronamento e agregaria características, como o isolamento térmico (SOUZA, 2009).

Segundo Bertoldi (2007), o painel modular foi desenvolvido para esta finalidade, sendo pré-fabricado, leve, composto de uma alma de EPS envolvido entre duas malhas de aço eletrosoldadas, e após sua elevação é recebido por um revestimento em concreto e/ou argamassa aplicados nas construções civis.

Um exemplo desta tecnologia que foi adaptada em forma de painéis para ser executada na construção civil é mostrado na Figura 2.

Figura 2 : Estrutura do painel de EPS



Fonte: <https://www.monolite.cl/index.php/es/>. Acessado em Setembro/2020

Bertini (2002), afirma que a meta buscada mundialmente é a sustentabilidade, onde, há uma grande preocupação com o meio ambiente em todos os aspectos.

A construção civil, tradicionalmente, gera uma quantidade excessiva de resíduos, causadores de problemas ambientais.

Neste cenário torna-se necessário o estudo de novos métodos construtivos para minimizarem tais impactos.

O sistema monolítico de construção em EPS, de acordo com Bertoldi (2007), beneficia as obras, com alta produtividade, menor custo em sua execução, apresentando extraordinárias características termoacústicas e reduzindo seus resíduos.

## **Composição**

O EPS é um plástico celular rígido resultado da polimerização do estireno em água, tendo como matéria prima o polímero de estireno, que é obtido a partir do petróleo (NETO, 2008).

O Poliestireno expandido, EPS, é um material incolor, inodoro, que possui diversas aplicabilidades, que, quando usado na construção civil, adquire uma tecnologia inovadora para o mercado brasileiro.

Os blocos são desenvolvidos industrialmente com o intuito de reduzir desperdícios, e com uma abrangência na reciclagem e reaproveitamento, obtendo então uma visibilidade sustentável (DOS REIS, 2017).

A polimerização é uma reação química que provoca a combinação de um grande número de moléculas iguais entre si, que no caso do poliestireno é o polímero de estireno, de modo a formar uma macromolécula, o polímero de poliestireno. Deste processo resultam pérolas de até 3 milímetros de diâmetro, que são a matéria prima para a produção do EPS (ABRAPEX, 2016).

De acordo com Stocco (2009), os blocos sofrem uma ação de vapor saturado, acontecendo uma expansão de seu volume inicial em até 40 vezes dos granulados do poliestireno vítreo, no qual, irá originar tipos distintos. Com isso, obtém-se teor de 97% de ar resultante da espuma termoplástica e, 3% do volume da matéria sólida resultando-se no formato do poliestireno, tornando o EPS responsável por diversas propriedades físicas.

## **Método Construtivo Tradicional**

Este trabalho mostrará detalhes e informações a respeito do que vem sendo utilizado nas construções, de maneira sistemática e tradicional. O método de construção de alvenaria de fechamento com utilização de blocos cerâmicos sem função estrutural e dos elementos que suportam e transmitem as cargas da edificação para as fundações, compostos por vigas e pilares de concreto armado.

## **Estrutura de concreto armado**

Após o avanço do desenvolvimento dos materiais conhecidos como aglomerantes, que endurecem em contato com a água, se tornou possível o fabrico de uma pedra artificial, conhecida como concreto (CLÍMACO, 2016).

Porém, como afirma Botelho (2015) apesar do concreto ser um material sólido, apresentando boa resistência à compressão e com durabilidade elevada, sua resistência à tração é deficiente.

A partir desta constatação surgiu o concreto armado.

As barras de aço acrescentadas ao concreto, objetiva suprir a resistência deficiente à tração, quando submetido a esforços de flexão. (CLÍMACO, 2016)

Os principais elementos de concreto armado, utilizados na superestrutura com a finalidade de receber e transmitir os carregamentos do edifício para a infraestrutura são: as lajes, vigas e pilares, conforme ilustrado na Figura 22 (BOTELHO, 2015).

Figura 3 : Elementos de concreto armado, Pilares, Vigas e Lajes



Fonte: Autor

A infraestrutura de um edifício são as fundações, que podem ser do tipo rasa (direta) ou profunda (indireta). Para construções residenciais as mais utilizadas são as do tipo rasa e, dentre estas, destacam-se as:

- Sapatas;
- Radiers;

Tais fundações são práticas e geralmente econômicas. Caracterizam-se por transmitirem as cargas ao solo por suas bases, possuindo até 3 metros de profundidade (BERBERIAN, 2015)

A norma que rege o projeto de estruturas de concreto, estabelecendo todos os requerimentos que deverão ser seguidos para a execução, modelos de cálculo e procedimentos para a armadura da estrutura é a NBR 6118:2014

## APRESENTAÇÃO DO PROJETO E DADOS OBTIDOS - EPS

A fim de levantar dados palpáveis de uma edificação construída em EPS, para o presente estudo, elaborou-se um projeto do tipo sobrado geminado, composta por 2 unidades residenciais, ilustrado na Figura 26, dentro de um lote modelo de 173 m<sup>2</sup>.

O projeto está em conformidade com todas as NBRs correspondentes, inclusive, para este método construtivo específico, deve-se atender aos procedimentos da Diretriz-11 do SINAT.

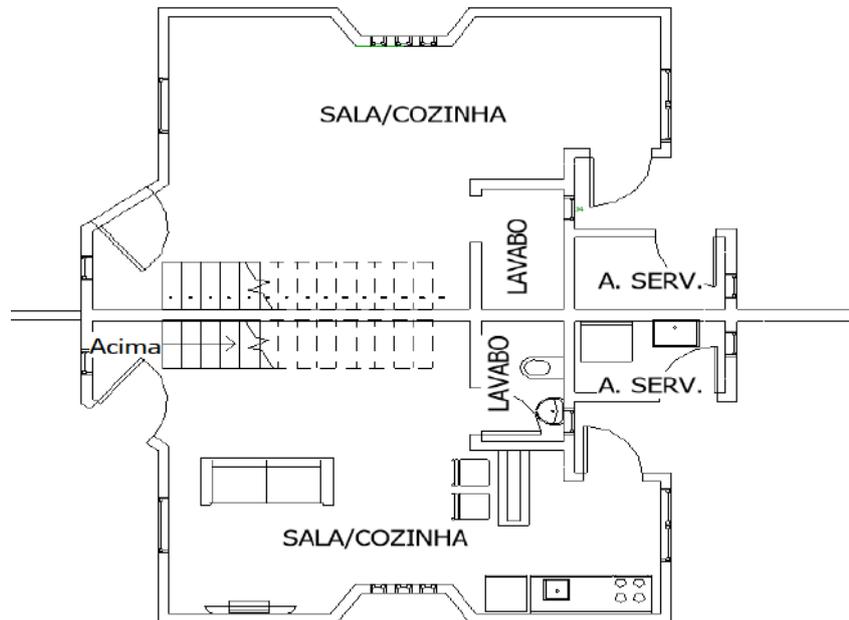
Figura 4: Representação do sobrado geminado em 3D



Fonte: Autor

O edifício tem como área construída um total de 139m<sup>2</sup>, composto por 2 pavimentos. O primeiro pavimento contém Sala/Cozinha, Lavabo, Área de Serviço, e Área Externa. Como demonstra a Figura 27 e a ilustração em 3D da Figura 28

Figura 5: Planta baixa do pavimento térreo



Fonte: Autor

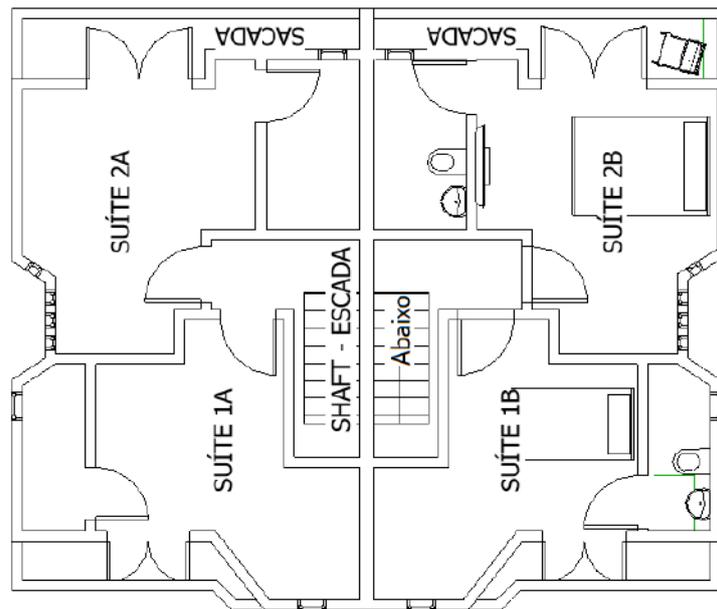
Figura 6 : Representação 3D do térreo



Fonte: Autor

O segundo pavimento foi reservado para as Suítes com Varandas, como demonstra a Figura 29 e a Ilustração em 3D da Figura 30, Duas Suítes para a frente do imóvel e duas Suítes para os fundos.

Figura 7: Planta baixa do segundo pavimento



Fonte: Autor

Figura 8: Representação 3D do segundo pavimento



Fonte: Autor

### Dados construtivos - EPS

Para a construção desse edifício em paredes de argamassa armada com núcleo em EPS, serão necessários  $437\text{m}^2$  de painéis, já descontando os vãos, conforme ilustrado na Figura 31.

De acordo com o (SINAT-11,2014), o peso dos painéis já revestidos em ambas as faces, com as duas camadas executadas conforme os procedimentos, podem variar entre  $100\text{Kgf/m}^2$  a  $140\text{Kgf/m}^2$  por metro quadrado.

A fabricante de painéis Monolitus Sistemas Construtivos, afirma que seu conjunto de painéis com argamassa armada pesa em torno de  $120\text{Kgf/m}^2$ .

Figura 9 : Ilustração de como os painéis de EPS chegam de fábrica.



Fonte: Autor

Assim, para este método construtivo o peso total das paredes armadas com núcleo em EPS acumulou um total de 52440 Kgf. A Tabela 5 demonstra as áreas e peso por pavimento.

Tabela 1 : Área e peso das paredes em EPS por pavimento

	Área (m <sup>2</sup> )	Peso (kgf)
Pavimento 1	188	22560
Pavimento 2	200	24000
Cobertura (Platibandas)	49	5880
<b>Total</b>	<b>437</b>	<b>52440</b>

Fonte: Autor

O somatório dos pesos das lajes, do tipo treliças pré-moldadas com preenchimento em blocos de EPS, e os carregamentos correspondentes a contrapiso, piso e sobrecargas, conforme NBR-6120, resultou um peso de 66398,75 Kgf.

Assim, estima-se um peso total para este edifício de 118.838,8 Kgf representado na Tabela 6. No apêndice A, encontram-se os detalhamentos para os cálculos apresentados.

Tabela 2: Carregamentos das paredes e lajes do edifício - EPS.

	Paredes (kgf)	Lajes (kgf)	Peso Total (kgf)
Pavimento 1	22560	31907,3	54467,3
Pavimento 2	24000	34491,5	58491,5
Cobertura (Platibandas)	5880		5880
<b>Total</b>	<b>52440</b>	<b>66398,8</b>	<b>118.838,38</b>

Fonte: Autor

As lajes para esta construção somam uma área total de 182,5 m<sup>2</sup>, distribuídos da seguinte forma:

- Laje do primeiro pavimento: 81,5m<sup>2</sup>;
- Laje do segundo pavimento: 101 m<sup>2</sup>.

- A Laje de piso não foi acrescentada, por fazer parte da fundação.

## Levantamento de custos - EPS

Por falta de uma tabela pública com levantamento de custos de construção para este material, fez-se necessário o contato com algumas empresas fabricantes de painéis em EPS para construção civil.

A única empresa que manteve contato e respondeu em tempo hábil a solicitação de orçamento para o projeto apresentado foi a Monolitus Sistemas Construtivos, sediada na cidade de Ponta Grossa no estado do Paraná.

O orçamento apresentado no Quadro 1 conta com o fornecimento dos itens descritos:

- Painéis de EPS armado modelo Monolitus E42, para edificação da obra solicitada, em espessuras e tamanhos identificados no projeto;
- Fornecimento de todas as ferragens de reforço, tipo L, Lisa e U. Em quantidade e tamanhos suficientes para atender a complexidade do projeto;
- Conectores em aço BTC 3,4 mm e chaves grampeadoras de elementos conectores;
- Acompanhamento e suporte da equipe Monolitus;
- Caso necessário, treinamento presencial e/ou online fornecido pela equipe Monolitus.

Quadro 1: Orçamento dos painéis de EPS com insumos

<b>Orçamento:</b>	1884/20	<b>Data:</b>	04/10/2020			
<b>Modelo :</b>	E42	<b>Validade:</b>	15/11/2020			
<b>1- Paginação dos Painéis</b>						
<b>Modelo</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>M<sup>2</sup> total</b>	<b>RS/m<sup>2</sup></b>	<b>RS Total</b>	<b>Detalhamento</b>
E42 90	2,75	45	153,5	75	RS 11.512,50	Térreo
E42 140	2,75	9	34,7	93	RS 3.227,10	Térreo divisória
E42 90	2,75	45	165,5	75	RS 12.412,50	Pavimento 2
E42 140	2,75	9	34,7	93	RS 3.227,10	Pavt 2 Divisória
E42 90	1,2	4	15,06	75	RS 1.129,50	Platibanda
E42 90	0,7	29	34,36	75	RS 2.577,00	Platibanda 2
<b>TOTAL - MATERIAL:</b>		<b>156</b>	<b>437,82</b>		<b>RS 34.085,70</b>	



Fonte: Monolitus, 2020

De acordo com orçamento apresentado pela fabricante, os valores dos painéis com todos os itens mencionados resultam num montante de R\$ 34.085,70. Neste valor não estão inclusos os valores das lajes, fundação, e mão de obra.

O orçamento da mão de obra para a fixação dos painéis e seus revestimentos até a fase 1, que é a fase bruta do projeto, foi fornecido pela Monolitus. Esta empresa trabalha em parceria com construtores credenciados, distribuídos em diversas cidades e estados do Brasil

O Quadro 2 apresenta valores referenciados para a execução do projeto no estado do Paraná. A Monolitus entrega seus painéis de EPS em todo estado sem custo de frete.

Fora do estado citado os valores de mão de obra podem mudar e o valor do frete deve ser acrescido

Quadro 2 : Orçamento para montagem e aplicação de revestimento nos painéis

<b>2- Montagem e Revestimento - Fase 1</b>			
<b>ETAPAS</b>	<b>PRAZO</b>	<b>M<sup>2</sup></b>	<b>RS</b>
ET1 :Térreo	Até 1 Semana	188,2	R\$ 3.575,80
ET2: Pav. 2	Ate 2 Semanas	200,2	R\$ 3.803,80
ET3 : PAV3	Até 1 Semana	49,42	R\$ 938,98
<b>TOT. APLICAÇÃO</b>			<b>R\$ 8.318,58</b>
<b>TOT. ESTIMADO - FASE 1</b>			<b>R\$ 42.404,28</b>

Fonte: Monolitus, 2020

O orçamento dividiu-se em três etapas para montagem dos painéis após a finalização de cada laje por pavimento.

Os insumos para os revestimentos estão inclusos no orçamento, com exceção do fornecimento de energia elétrica e água, estes devem ser disponibilizados pelo cliente no local da obra.

Importante ressaltar que a mão de obra é uma escolha do construtor, podendo este fazer com sua própria equipe de construção. A Monolitus fornece treinamento e acompanhamento a distância para execução dos painéis sem custo adicional, até a parte final da obra.

A fabricante entrega junto com os painéis o manual técnico do produto e após a finalização da obra fornece garantia de 5 anos para imperfeições, rachaduras, fissuras e demais deformações físicas que não sejam de mal-uso ou depredação.

Forma de pagamento proposto pela empresa Monolitus:

- Sinal de 50% para início da produção dos painéis;
- 50% após entrega dos painéis ou em até 48x via cartão BNDES
- Mão de obra: A combinar com equipe executora local

Para os custos das lajes desta construção, utilizou-se a tabela, não desonerada, do sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil (SINAPI), com preços referentes ao mês de setembro de 2020 para o estado do Rio de Janeiro.

De acordo com a SINAPI, o preço da laje pré-moldada de 12cm, para vãos de até 4,1 metros, é de R\$90,27 por metro quadrado. Com os seguintes itens já inclusos:

- Laje pré-moldada com lajotas e vigotas;
- Insumos: pregos, madeiras e pontaltes;
- Mão de obra: Carpinteiro, pedreiro e servente
- Concreto 15 MPA –FCK: Preparado em betoneira, lançado com uso de bombas.

Assim, o montante aproximado para a execução das lajes, que resultam de uma área total de 182,5 m<sup>2</sup> é de R\$16.474,28.

Como serão utilizadas as mesmas lajes para o método de construção convencional, os valores correspondentes as lajes serão os mesmos.

Assim, o montante necessário para a construção do projeto apresentado em EPS, estima-se um valor de R\$58.878,56. Conforme demonstra a Tabela 7.

Tabela 3 : Preço para construção em EPS

<b>LEVANTAMENTO DE CUSTOS - EPS</b>			
<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Total</b>
Painéis EPS	437,14 m <sup>2</sup>	R\$ 75,56	R\$ 42.404,28
Lajes	182,5 m <sup>2</sup>	R\$ 90,27	R\$ 16.474,28
<b>TOTAL ESTIMADO</b>			<b>R\$ 58.878,56</b>

Fonte: Autor

O orçamento apresentado limitou-se até a fase 1, fase bruta da construção, sem detalhar os dados de instalações elétricas e hidráulicas, acabamentos, portas, janelas, pisos e acessórios. Tendo em vista que após esta fase, o desenvolvimento da obra é exatamente igual aos métodos já utilizados.

### APRESENTAÇÃO DO PROJETO E DADOS OBTIDOS – ALVENARIA

Com a finalidade de analisar e comparar dados e aspectos entre o método construtivo em estudo e o método construtivo em alvenaria de tijolos cerâmicos, se fez necessário elaborar o mesmo projeto do sobrado geminado com sua execução no método tradicional, como ilustra a Figura 32.

Figura 10 : Ilustração 3D da construção em alvenaria



Fonte: Autor

O projeto foi elaborado idêntico ao projeto de construção em EPS, contendo as mesmas áreas, paredes e lajes. Alterando assim somente o método construtivo inicial.

Após a execução da estrutura de concreto armado e conclusão das alvenarias, as etapas de acabamento são as mesmas.

## Dados construtivos – Alvenaria Tradicional

Para o levantamento da alvenaria deste projeto, utilizaram-se tijolos de barro, conhecido como tijolo Baianinho com 8 furos com as dimensões de 11,5x19x29 cm; largura, altura e comprimento, respectivamente.

Utilizando este tipo de tijolo Baianinho, estimou-se a utilização de 7946 unidades para o levantamento das paredes.

Para a execução dos revestimentos das paredes, estabeleceu-se uma espessura de 2 cm para cada face das paredes e a utilização de 1 cm de espessura para argamassa de assentamento vertical e horizontal.

De acordo com os coeficientes de cálculo determinados na NBR 6120:2019, o peso total das paredes, respeitando as dimensões e espessuras citadas, resultou em 74290 Kgf. A tabela a seguir demonstra de forma resumida a execução do cálculo.

Tabela 4 : Cálculo do peso das paredes em alvenaria

	Área (m <sup>2</sup> )	Peso (Kgf)
Pavimento 1	188	31960
Pavimento 2	200	34000
Cobertura (Platibandas)	49	8330
Total	437	74290

NBR6120 : 170 kgf/m<sup>2</sup>

\* Para 2 cm de revestimento

Fonte: Autor

Além do peso das paredes, deve-se somar o peso da estrutura de concreto armado, pilares e vigas.

O peso estimado para a quantidade de pilares e vigas estabelecidos neste pré-lançamento estrutural alcançou em 30723 Kgf. O detalhamento deste cálculo é apresentado no apêndice B. A Tabela 9, demonstra de forma resumida a execução do cálculo.

Tabela 5: Peso das estruturas de concreto armado

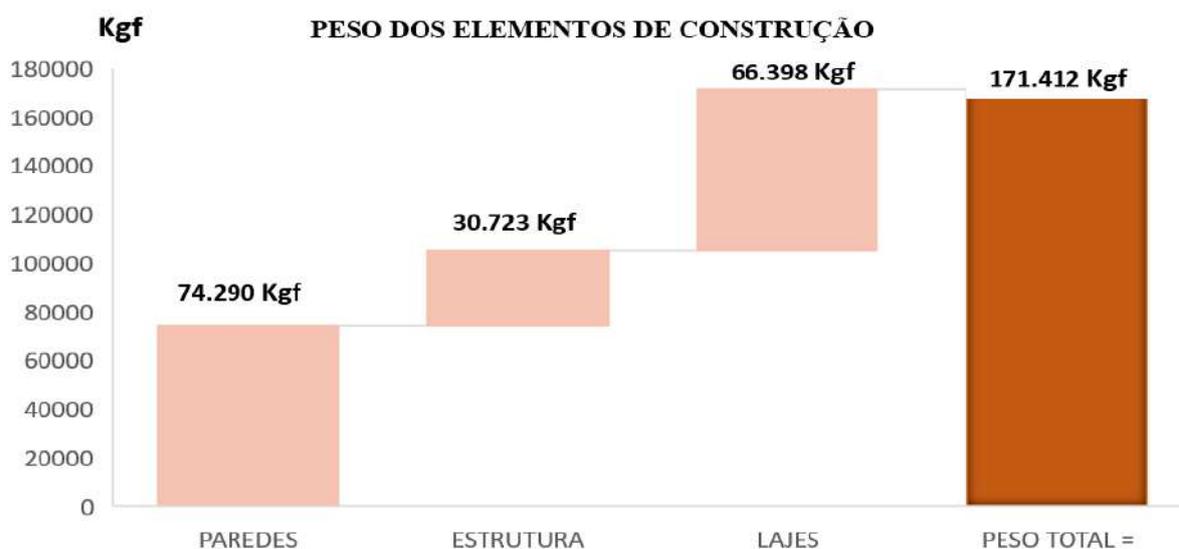
	Pilares (Kgf)	Vigas (Kgf)	Estrutura (Kgf)
Pavimento 1	6468	7140	13608
Pavimento 2	5670	6825	12495
Platibanda		4620	4620
Total	12138	18585	30723

\* $\gamma_{conc} = 25\text{kN/m}^3$

Fonte: Autor

Assim, o peso dos sobrados em alvenaria tradicional de tijolo, tem um peso estimado de 171411,8 kgf, incluindo o peso das lajes, paredes, pilares e vigas. O Gráfico 1 demonstra o somatório dos elementos para a construção em alvenaria tradicional.

Gráfico 1: Somatório dos pesos para os sobrados em alvenaria



Fonte: Autor

### Levantamento de custos – Alvenaria

A estimativa de custo para a execução do projeto em alvenaria, baseou-se na tabela não desonerada do SINAPI, com preços referentes ao mês de setembro de 2020 para o estado do Rio de Janeiro

De acordo com o SINAPI, o preço por metro quadrado para execução da alvenaria especificada é de R\$70,56. Os insumos, encargos e mão de obra de 01 pedreiro com 01 servente, estão inclusos no preço fornecido

O preço das lajes, também fornecido pelo SINAPI, é estimado em R\$90,27 por metro quadrado. Os insumos, encargos e mão de obra de 01 pedreiro com 01 servente, estão inseridos no preço fornecido.

Para o preço da execução da estrutura de concreto armado, utilizou-se como ferramenta o *software* para engenharia e construção Cype Ingenieros, S.A.

O Cype estabeleceu, uma estimativa de custos referente ao mês de setembro de 2020 o valor R\$1218,63 por metro cúbico de estruturas de concreto armado, pilares e vigas. O valor estimado inclui:

- Concreto C25 bombeado;
- Aço em barras nervuradas CA-50,
- Madeiras e insumos para execução das formas;
- Mão de obra e encargos para os serviços necessários.

A Tabela 10 demonstra o somatório dos itens mencionados, em quantidade necessária para execução do projeto.

Tabela 6: Estimativa de preços para execução em alvenaria tradicional

Item	Quantidade	Unidade	Preço	Total
Alvenaria	437,14	m <sup>2</sup>	R\$ 75,56	R\$ 33.030,30
Lajes	182,5	m <sup>2</sup>	R\$ 90,27	R\$ 16.474,28
Est. C. Armado	12,4	m <sup>3</sup>	R\$ 1.218,63	R\$ 15.111,01
<b>TOTAL ESTIMADO</b>				<b>R\$ 64.615,59</b>

Fonte: Autor

O valor final estimado para o levantamento das paredes e execução da estrutura de concreto armado correspondente ao projeto apresentado, resultou em um montante de R\$64.615,59.

Importante ressaltar que os levantamentos de custos abordados até aqui, limitou-se até a fase de revestimento bruto do edifício, sem a inclusão das escadas e acabamentos, tendo em vista que estas etapas são idênticas para ambos os métodos.

## ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS DOIS MÉTODOS

Conforme apresentado, a construção do sobrado pelo método em alvenaria tradicional de blocos cerâmicos apresentou um peso final maior que o sobrado construído em EPS.

Mesmo ao comparar somente o peso das paredes de tijolos com o peso das paredes em EPS, as paredes de alvenaria apresentam uma carga maior que as paredes de Poliestireno, O Gráfico 2 ilustra o peso dos elementos construtivos.

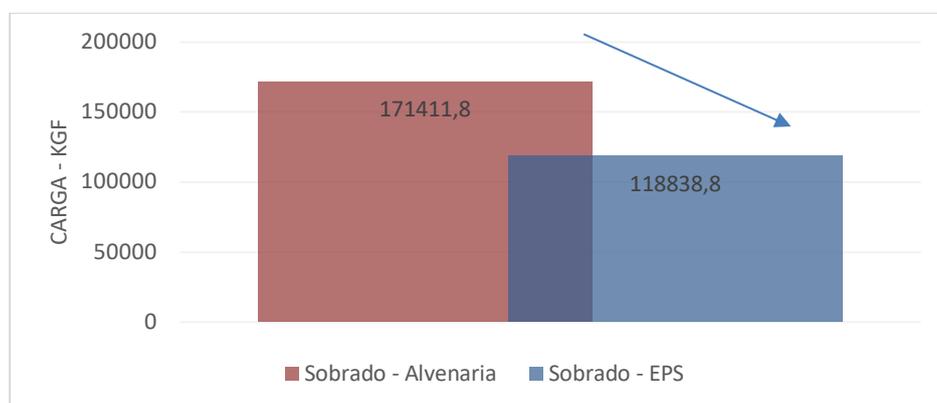
Gráfico 2: Cargas dos elementos de construção.



Fonte: Autor

Comparando a carga total dos sobrados em EPS, com a carga total do método tradicional (paredes em tijolo mais estrutura de concreto armado), observa-se no Gráfico 3, que o método construtivo em EPS é 44% mais leve que o sobrado construído em alvenaria tradicional.

Gráfico 3: Comparação de pesos: Alvenaria x EPS



Fonte: Autor

A leveza é uma característica de grande vantagem que o método construtivo em EPS oferece, permitindo fácil manuseio no canteiro de obras. Fator que facilita e acelera o processo de montagem, podendo assim reduzir a quantidade de mão de obra para a execução das paredes em EPS.

Por ser uma parede autoportante, sem a necessidade de uma estrutura de concreto armado auxiliar, é um fator importante que diferencia o método construtivo em EPS em comparação ao método construtivo em alvenaria de tijolos.

Diferente da construção em alvenaria de tijolos, a construção em EPS apresenta um tempo de construção menor e com índice de desperdício quase nulo.

A construção em alvenaria tradicional, necessita do levantamento da alvenaria e da execução da estrutura de concreto armado, processos que aumentam o tempo de construção e geração de resíduos.

Na construção em alvenaria tradicional, com paredes de vedação, possíveis modificações futuras no projeto e remanejamento das paredes poderão ser realizadas com mais facilidade.

Além das modificações do projeto após sua finalização, edifícios projetados em alvenaria tradicional, devido a sua estrutura de concreto armado, podem oferecer:

- Possibilidade de reformas não planejadas;
- Liberdade para arquiteturas criativas;
- Áreas mais abertas, com um espaço maior entre as paredes;
- Abertura de vãos maiores, ilimitados, para portas e janelas;

Diferente do método construtivo em EPS, por serem autoportantes, com a parte estrutural embutida nos painéis de EPS, uma modificação arquitetônica significa uma modificação estrutural, logo deve-se elaborar um estudo com maior cautela para esta atividade.

Para a construção de qualquer edifício deve-se estudar previamente o solo, para posterior execução, o estudo do solo irá estabelecer qual a carga que o solo suporta por área,

Em resumo, quanto menor o peso da edificação mais simples e econômico poderá ser a fundação. Possibilitando até a construção em terrenos com baixa resistência por área.

De acordo com o que foi apresentado, é notório que o método construtivo em alvenaria de blocos cerâmicos transmite uma carga muito superior ao método comparado. Portanto, necessitará de uma infraestrutura mais robusta, consumindo mais materiais e mão de obra.

Para a análise de custos entre os dois métodos construtivos, realizou-se um levantamento de preços para a execução de cada projeto, limitado à fase bruta de cada construção, não sendo contabilizados os gastos para regularização do terreno, infraestrutura e acabamentos, gastos comuns aos dois métodos.

Ao realizar uma comparação direta somente das paredes, as paredes em argamassa armada com núcleo de EPS apresentaram um custo 28% maior se comparado ao custo para o levantamento das alvenarias em blocos cerâmicos, conforme demonstra o Gráfico 4, evidenciando que a implantação deste sistema requer um investimento inicial maior.

Gráfico 4 : Comparativo direto de custos – Paredes de EPS x Paredes de Tijolo



Fonte: Autor

Entretanto, ao analisar os custos de construção para o método tradicional, incluindo as paredes, estruturas de concreto armado e lajes, pode-se notar que o cenário muda.

A construção em EPS começa a apresentar uma economia de aproximadamente 10% ao comparar os custos de construção dos sobrados como ilustra o Gráfico 5.

Gráfico 5 : Comparativa de custos de construção dos sobrados: Tijolos x EPS



Fonte: Autor

Os custos diretos para a construção no método construtivo em EPS mostra-se financeiramente viável, porém uma comparação direta de custos de implantação não deve ser o único ponto a ser considerado.

Uma das vantagens mais citadas referente ao uso do sistema construtivo em EPS está relacionado ao isolamento térmico proporcionado, não só no conforto, mas também economia.

Com o isolamento térmico proporcionado pelo EPS, as temperaturas externas e internas tornam-se independentes, o que possibilita uma economia em sistemas de refrigeração ou de aquecimento do ambiente.

Um estudo realizado por, Novais (2013), compara o desempenho térmico de sistemas de vedação em EPS e a alvenaria de blocos cerâmicos. A pesquisa realizada em

uma moradia localizada na cidade de Cuiabá-MT, região de clima quente, com temperatura média anual de 29 graus Celsius.

Nesta pesquisa o parâmetro de análise foi a temperatura da face interna, superficial das paredes de dois cômodos diferentes, um composto por EPS e o outro por vedação de tijolos. Ambos expostos às mesmas condições climáticas e direção.

Novais (2013), checou as temperaturas superficiais das paredes internas, utilizando um termômetro infravermelho nas alturas de 0,8m, 1,4m e 2,2m. A coleta de dados durou três dias consecutivos em três horários diferentes, 08:00, 14:00 e 18:00.

Os gráficos abaixo apresentam os resultados coletados de ambos os cômodos. O Gráfico 6 apresenta as temperaturas coletadas na parede de EPS, o Gráfico 7 apresenta as temperaturas coletadas na parede de alvenaria.

Gráfico 6 : Temperatura da face interna da parede de EPS

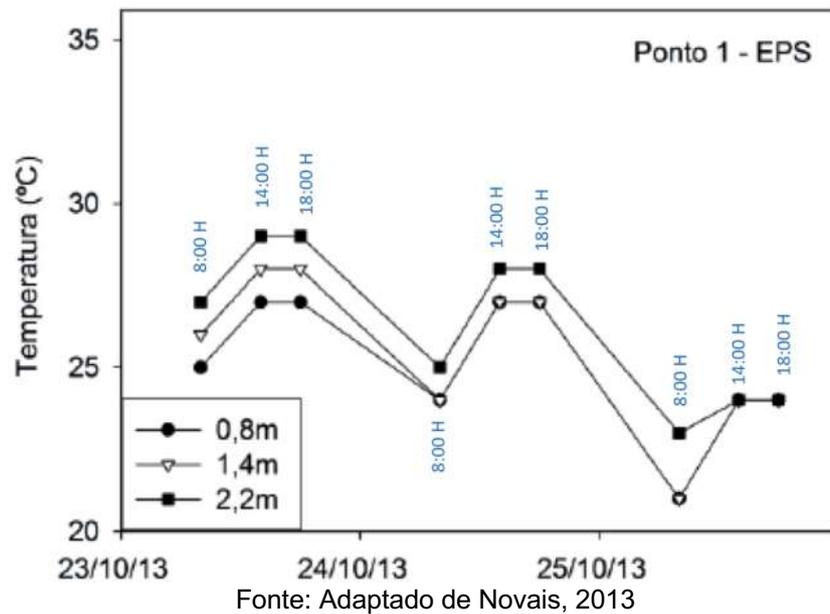
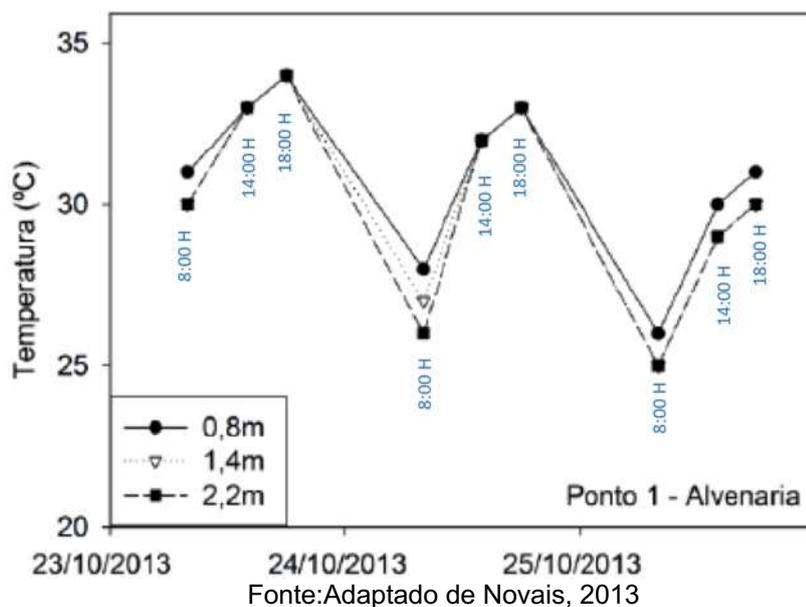


Gráfico 7 : Temperatura da face interna da parede de alvenaria



Com este estudo de, Novais (2013), observou-se que as temperaturas de pico superficiais das partes internas das paredes foram:

- Parede de EPS: 29°C;
- Paredes de Alvenaria- Tijolo: 34°C.

Assim, fica evidenciado que as paredes com núcleo em EPS mostraram-se mais eficientes no isolamento térmico do que as paredes de blocos cerâmicos.

## CONCLUSÃO

O sistema construtivo em EPS, para o projeto do sobrado geminado apresentado, mostrou ser economicamente viável apresentando uma economia de aproximadamente 10% nos custos de construção.

Além da economia direta dos custos de construção, também conclui-se que método construtivo em Poliestireno pode oferecer uma economia na infraestrutura do edifício devido ao seu baixo peso, redução no consumo de energia elétrica e prazo mais atrativo ao cliente.

Devido aos painéis chegarem ao canteiro de obra praticamente prontos, o tempo gasto para o levantamento das paredes é menor.

Possível ponto de dificuldade em relação ao EPS é encontrar fabricantes dos painéis em alguns estados e cidades do Brasil, diferente dos blocos cerâmicos que são encontrados com facilidade. Apesar dos fabricantes de Painéis de EPS entregarem em boa parte do território nacional, a despesa do frete pode elevar os custos de construção dependendo da localidade da entrega, perdendo a atratividade econômica.

Portanto, conclui-se que o método construtivo em EPS, além de ser economicamente viável, apresenta um melhor desempenho térmico e de produtividade em relação ao método tradicional de blocos cerâmicos, diminuindo também a quantidade de resíduos sólidos gerados.

O EPS coloca-se como método de construção mais sustentável, com características construtivas mais eficientes do ponto de vista energético e com menos impactos ambientais.

## TRABALHOS FUTUROS

- Análise comparativa com outros métodos construtivos e sustentáveis;
- Estudo do desempenho acústico que o EPS oferece;
- Estudo do modelo de dimensionamento, incluindo uma análise de contraventamento;
- Viabilidade da utilização do método construtivo em EPS na execução de habitações de interesse social;
- Estudo do uso de escadas e lajes executadas com painéis de EPS;

## REFERÊNCIAS

ABRAPEX. Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. **Aplicações do EPS na construção civil**. São Paulo, 2016.

AMBROSI, Tuilara Vanzo. **Logística reversa de embalagens de isopor**. 2009, p.18. Programa de pós-graduação em Administração (Especialização em gestão de operações

logísticas – Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do SUL, Porto Alegre 2009

ANAB brasil, Associação Nacional de Arquitetura sustentável. **Arquitetura Sustentável**, Disponível em: <https://anabbrasil.webnode.com/arquitetura-sustentavel>. Acesso em Setembro, 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8545: Execução de Alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos**. Rio de Janeiro, 1984

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: Procedimento**: Rio de Janeiro, 1998

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1: Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação: Terminologia e requisitos** - Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações Habitacionais: Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto: Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11752: Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial: Especificação**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2019.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O edifício até sua cobertura**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1997. 181p

BARRETO, Monalisa Nogueira. **Casa EPS: edifício residencial em painéis monolíticos de poliestireno expandido**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017

BERBERIAN, Dickran. **Engenharia de fundações**. 7ª Tiragem. 01ª Edição em Revisão e Ampliação. Brasília: Editora Unb – Infrasolo Technical Fevereiro, 2015. 463 p.

BERTINI, Alexandre Araújo. **Estruturas tipo sanduíche com placas de argamassa projetada**. 2002. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

BERTOLDI, Renato Hercílio. **Caracterização de sistema construtivo com vedações constituídas por argamassa projetada revestindo núcleo composto de poliestireno expandido e telas de aço: dois estudos de caso em Florianópolis**. 2007 Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Concreto armado, eu te amo, vol. 1**. 8ª ed. revista

segundo a nova norma de concreto armado NBR 6118/2014. – São Paulo: Blucher, 2015.

CBIC - Câmara brasileira da indústria e da construção. Custo unitário básico estadual. (CUB). Disponível em: <http://www.cub.org.br/cub-m2-estadual/RJ>. Acesso em: 20 Agosto 2020.

CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. 2. ed. revisada. Brasília: Editora Universidade de Brasília: Finatec, 2008. 410 p.

DA SILVA, Gêssica Oliveira. **Diagnóstico situacional e ambiental; de uma olaria no município de conceição do Araguaia-PA**. In: Congresso Brasileiro de gestão Ambiental, 4. 2013, Salvador/BA. IBEAS, 2013. 04 p. Disponível em <<http://revista.ugb.edu.br/ojs302/index.php/episteme/article/view/145>>. Acesso em: 07 Out. 2020

DOS REIS, Paola Medeiros et al. **A construção modular com utilização de painéis EPS**. Episteme Transversalis, [S.I.], v. 6, n. 1, ago. 2017. ISSN 2236-2649

MACHADO, Rosane M. A; PINTO, Taisa S. **Inovação tecnológica na construção civil: o caso dos painéis de EPS**. 2001. 27 p. Curso de Pós-Graduação em Gerenciamento de Obras. Monografia (Especialização) - CEFET-PR, Curitiba, 2001.

MONOLITE. **Manual técnico Monoplac**. Disponível em: <<https://www.monolite.cl/index.php/es/>>. Acesso em setembro 2020.

NETO, José O. A. **Caracterização do comportamento geotécnico do EPS através de ensaios mecânicos e hidráulicos**. 227 p. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 2008.

NOVAIS, Jonathan W. Z. *et al.* **Comparação do desempenho térmico de painéis em EPS como alternativa aos tijolos cerâmicos no conforto térmico de residências em Cuiabá-MT**. Revista UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 13, n. 1 2014. Disponível em: <<http://www.pgsskroton.com.br/seer/index.php/exatas/article/view/339>>. Acesso: agosto 2019.

PRUSNEI, Marli. et al. **As vantagens da aplicação do EPS na construção civil e como essa tecnologia pode ser um diferencial competitivo para as empresas do segmento**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso ( Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016

SANTOS, Claudio Gouvêa dos. et al. **Poliestireno expandido na construção civil**. Pós em Revista, [S.I] v. 8, 2013. ISSN 2176-7785. Disponível em: <<http://revistas.newtonpaiva.br/pos-em-revista/e8-eng18/>> Acesso em out. de 2020

SCHUH, Patrick Diogo Mariano. **O uso do EPS na construção civil: estudo comparativo entre concreto leve com EPS e o concreto convencional**. 2017. 117 p. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil - Departamento de ciências exatas e engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Grande do Sul – UNIJUI, Santa Rosa, 2017

SILVA, Fernando Henrique da. **Demonstração do sistema construtivo em painéis monolíticos de EPS**. 2018. 20 p. Trabalho de Conclusão de curso em Engenharia Civil – Centro de ciências exatas tecnológicas e agrárias, Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR, Maringá, 2018

SINAT-11. Diretriz para Avaliação Técnica de Produtos. **Paredes, moldadas no local, constituídas por componentes de poliestireno expandido (EPS), aço e argamassa, microconcreto ou concreto**. Brasília, 2014.

SINAPI. **Índices da Construção Civil**. Disponível em: [www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx](http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx) > Acesso em Set. 2020

SOUZA, Angela Cristina Alves Guimarães de. **Análise comparativa de custos de alternativas tecnológicas para construção de habitações populares**. 2009. 180 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2009.

STOCCO, Wagner; RODRIGUES, David; CASTRO, AP de AS. Concreto leve com uso de EPS. In: Congresso Brasileiro de Educação (COBENGE). 2009, Recife, **Concreto Leve com uso de EPS**. Centro Educacional Nossa Senhora do patrocínio – CEUNSP.2009 7 p.

TELAMARK. **Manual de montagem sistema EPS: Soluções duráveis que geram segurança e praticidade**. São Paulo. 2016

THOMAZ, Ercio. et al. Código de Práticas n. 01: Alvenaria de vedação em blocos cerâmicos. São Paulo: IPT – Instituto de pesquisas tecnológicas do estado de São Paulo, 2009. 72 p. (Publicação IPT ; 3011)

TREVEJO, Hiago Henrique. **Análise comparativa entre sistemas construtivos convencional e monolítico em painéis eps para residências unifamiliares**. 2018. 45 p. Trabalho de Conclusão de curso em Engenharia Civil – Centro de ciências exatas tecnológicas e agrárias, Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR, Maringá, 2018.

**Alexandre de Carvalho Araújo**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

**Marcelo Gonçalves Domingos Araújo**

Universidade Estácio de Sá (UNESA/Petrópolis)

## RESUMO

Este trabalho mostrará todo o processo de degradação de fachadas com revestimento cerâmico a partir de problemas originados na armadura de aço. Explicará os diferentes tipos de patologias que ocorrem na fachada. Objetiva um melhor entendimento de todas as fases deste processo para uma melhor atuação dos profissionais desta área da engenharia civil. Descreverá, sucintamente, cada fase deste processo, da detecção da patologia, sua origem, passando pelos processos de demolição, tratamento e reconstrução das camadas construtivas. Valer-se-á de pesquisas em bibliografia relevante ao tema e trará um estudo de caso de uma obra de recuperação de fachada que acontece, concomitantemente com a elaboração do trabalho, no condomínio da Zona Oeste do Rio de Janeiro, no bairro da Barra da Tijuca.

**Palavras-chave:** Patologia; Fachada; Aço; Recuperação.

## INTRODUÇÃO

O tema deste trabalho aborda um problema recorrente na construção civil, a degradação das fachadas de edifícios com revestimento cerâmico.

A abordagem deste tema, aqui se concentrará, nos problemas causados nas fachadas oriundos da degradação das barras de aço da construção. Trará a descrição dos processos de detecção desta patologia, da demolição das camadas construtivas não saudáveis, o tratamento das barras de aço e os materiais envolvidos e da reconstrução destas camadas. Por fim, mostrará a importância da manutenção das fachadas de prédios na Cidade do Rio de Janeiro, como forma de evitar tais patologias, propondo um protocolo simples e de fácil aplicação para engenheiros civis brasileiros.

Justifica-se tal abordagem visto que são inúmeros os casos de patologias nos revestimentos cerâmicos de fachadas, demandando ações complexas para recuperação das mesmas, elevados custos, profissionais diferenciados, especializados em trabalhos em altura com certificações específicas, locação de equipamentos e gestão complexa dos serviços, condicionados as condições favoráveis das intempéries.

O trabalho é de suma importância tendo em vista, principalmente, a segurança, visto que partes desprendidas das fachadas podem causar não somente danos materiais como colocar a integridade da vida humana em risco. Um exemplo do perigo mencionado foi o acidente acontecido no dia 05 de março de 2019, quando uma placa de granito despencou

da fachada de um prédio, no bairro Leblon, Rio de Janeiro, e atingiu a cabeça da jovem estudante de engenharia Larissa Spezani, de 20 anos. A estudante, inclusive, já passou por três cirurgias e, segundo o último laudo médico, após três meses em coma, teve alta do hospital. O caso levantou mais uma vez a importância da atenção com fachadas de condomínios e o perigo para quem está na calçada (O Globo, 2019).

Este trabalho destina-se, especificamente, a identificar e tratar as patologias de fachadas com revestimento cerâmico a partir de problemas na armadura de aço do condomínio Four Seasons, onde a fachada dos dois prédios do estáo sofrendo com patologias e tendo seus revestimentos descolados e caindo em áreas comuns.

O estudo de caso será a exposição prática do conteúdo teórico pesquisado pelo autor, que trabalha como Assistente Técnico de Engenharia da empresa responsável pela execução dos serviços. Mostrará e descreverá de maneira sucinta, também, através de fotos, o método de detecção da patologia nos revestimentos cerâmicos da fachada dos prédios do referido condomínio, o processo de demolição e seus necessários cuidados, o processo de tratamento das barras de aço e os pormenores da reconstituição das camadas construtivas.

O trabalho tem como principal finalidade o estudo de caso dos principais métodos de correção de patologias já empregados pela empresa MGDA Engenharia e Serviços Ltda. na obra de reforma emergencial do condomínio do edifício Four Seasons. As hipóteses para tais patologias já foram previamente discutidas e chegou-se a conclusão de que as patologias das fachadas do empreendimento eram provenientes da má execução na vedação dos pontalotes do guarda corpo presente em cada pavimento, causando infiltração de água e agentes químicos agressivos ao concreto e sua armadura metálica, causando o inchamento da armadura e, com isso patologias propagadas nas fachadas.

O autor coletará os dados qualitativos a partir de pesquisa em material bibliográfico pertinente ao tema e mostrará, na prática, toda a dinâmica do tema, em estudo de caso específico, em obra que acontece concomitantemente com a confecção e apresentação deste trabalho. Apresentará, em detalhes, todo o processo da obra de recuperação das fachadas dos dois blocos de apartamentos do condomínio Four Seasons, localizado na Avenida Prefeito Dulcídio Cardoso 2848 na Barra da Tijuca, na Cidade do Rio de Janeiro.

O objetivo geral deste trabalho é, de maneira organizada e clara, demonstrar o processo de colapso dos revestimentos cerâmicos de fachada, a partir da degradação das armaduras, suas fases de restauração que possibilite ao engenheiro civil, análise das patologias de fachadas com revestimento cerâmico.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

O estudo das patologias de fachada e de patologias provenientes do aço é amplamente estudado e abordado em temas de trabalhos de conclusão de curso, artigos científicos, teses de mestrado e doutorado. Todo este material foi pesquisado e estudado para elaboração deste trabalho.

Especialistas nos assuntos, como Jonas Silvestre Medeiros, Fernando Henrique Sabbatini, foram pesquisados a fim de nortear o processo de pesquisa. Também foi pesquisado trabalhos de conclusão de curso na área de patologias de concreto, como o trabalho de monografia de José Silva Lapa, da Universidade Federal de Minas Gerais, nortearo a pesquisa na parte de fundamentação teórica deste TCC.

O autor também levou em consideração, como forma de aprofundamento teórico o artigo científico dos engenheiros civis Antônio Henrique Correa de Freitas, Poliana Miranda França e Tamiris Miranda França que retrata de maneira sucinta e abrangente as principais patologias em fachadas.

As NBRs 137555 e 6118 referentes a revestimentos cerâmicos, estruturas de concreto armado, respectivamente, também serviram de fonte de embasamento para que o trabalho pudesse ter um melhor detalhamento e especificações técnicas.

## UNIVERSO DAS PATOLOGIAS DE FACHADA

A palavra patologia, segundo Freitas (2009) é determinada pelo estudo de doenças, sejam elas na área da medicina ou em outras áreas, como a engenharia. Essas “doenças” da fachada podem ocorrer por diversos processos, sejam eles nas fases de projeto, execução da obra ou pela ação do tempo e intempéries nos materiais empregados.

Os revestimentos são importantes para qualquer obra, tendo não apenas função estética, mas também função de vedação, prevenção a infiltrações, isolamento térmico e acústico, além da proteção da edificação. Por ser um dos maiores quantitativos da construção, visto que o revestimento de uma edificação a envolve por completo, as patologias das fachadas são um dos problemas mais comuns e preocupantes na construção civil.

Sobre este assunto e alinhado com Sabbatini (2000), a elaboração do projeto de revestimento de argamassa é de fundamental importância para obtenção de um melhor desempenho do revestimento, o que significa aumento da qualidade e produtividade, redução de falhas, desperdícios e custos.

Antes da execução de qualquer serviço, necessitamos saber quais materiais iremos usar, portanto o projeto é de suma importância para que não empreguemos materiais errados na fachada. Um erro muito comum é o emprego errado da argamassa.

Outras patologias ocorrem em decorrência da mão de obra. Como salienta Santos (2020), a mão de obra possui baixa capacitação profissional, fator determinante para a má execução dos serviços de preparo da superfície e colocação de revestimentos cerâmicos. Em alguns casos, as empresas envolvidas, optam por mão de obra mais barata, normalmente nas fases de acabamento das construções, para equilibrar um possível desacordo com o orçamento previsto. Decisão errada, já que o acabamento é a parte onde bons profissionais são necessários, para um bom acabamento estético na construção. O emprego de mão de obra não qualificada nesta fase da obra, acarreta patologias nos revestimentos.

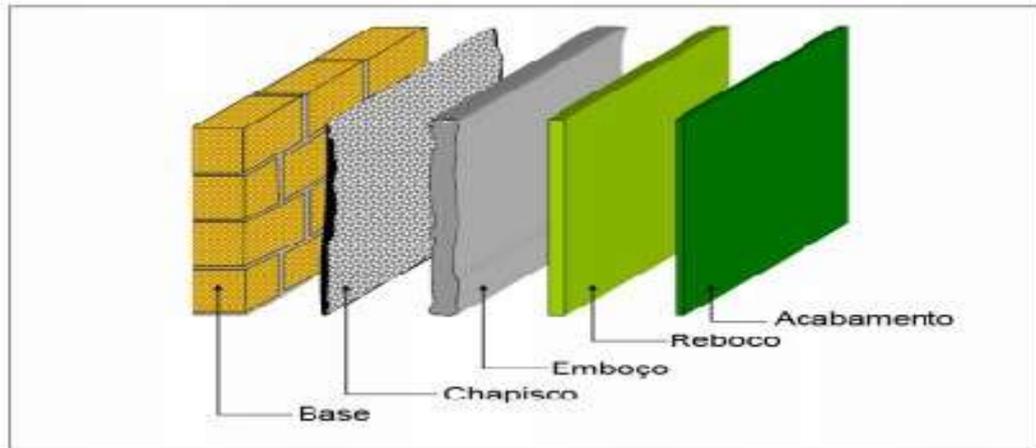
Segundo Freitas (2009), para identificarmos erros de execução, primeiramente precisamos saber quais processos são esses e a ordem em que eles devem ser executados, são eles:

- I. Limpeza da base: Seja ela alvenaria ou estrutural (pilar, viga, fundo de viga ou laje), a base sempre deverá ser muito bem limpa para que haja melhor aderência do revestimento com a superfície;
- II. Chapisco: Trata-se da superfície que servirá de “ponte” entre o substrato e a argamassa, provendo maior aderência entre as partes. Sua função é criar uma camada porosa que aumentará o atrito e fixará o emboço ou a massa única (dependendo do método construtivo optado) em sua superfície, evitando o cisalhamento;
- III. Emboço: Aplicado sobre o chapisco, tem como função servir de base para o reboco, nivelando, provendo uniformidade a superfície e protegendo a edificação;
- IV. Reboco: Tem função impermeabilizante e deixar a superfície ainda mais lisa, preparando-a para o recebimento do revestimento e conferindo conforto termo acústico;
- V. Massa Única: Também conhecido como Emboço Paulista, trata-se de uma camada única, aplicada sobre o chapisco, cumprindo a função de emboço e reboco ao mesmo tempo;
- VI. Acabamento: Tem por finalidade a valorização da construção. Pode ser

empregado diversos tipos de acabamento: pintura, revestimentos cerâmicos, texturização, pedras ornamentais, entre outros (FREITAS, 2009).

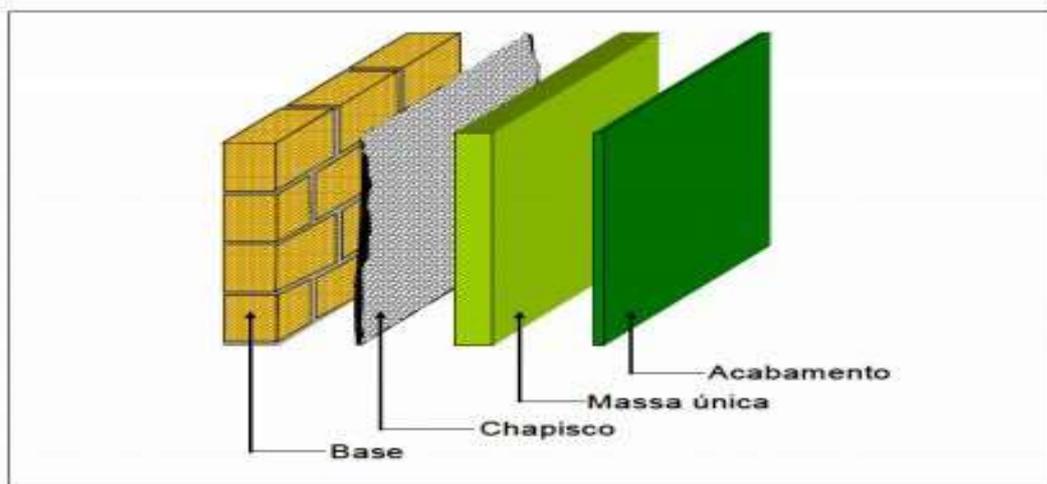
As Figuras 1 e 2, a seguir apresentam os processos de construção listados acima:

Figura 1 - Composição do sistema de revestimento com emboço e reboco



Fonte: [http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta\\_upload/artigos/a106.pdf](http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta_upload/artigos/a106.pdf); acesso em 11 de abril de 2020

Figura 2 - Composição do sistema de revestimento com massa única



Fonte: [http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta\\_upload/artigos/a106.pdf](http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta_upload/artigos/a106.pdf) ; acesso em 11 de abril de 2020

Conhecidos os processos necessários para execução do revestimento em uma fachada, podemos identificar erros nos processos construtivos, ocasionados pela falta de capacitação da mão de obra.

O descumprimento de uma destas fases pode acarretar diversas patologias, como o desprendimento do acabamento da fachada. Se nenhuma ação for executada pode se chegar ao colapso da fachada, acarretando danos materiais, pela queda de partes da fachada, e também, o risco de lesões e até a morte de pedestres.

## PRINCIPAIS TIPOS DE PATOLOGIAS EM FACHADAS

### Descolamento ou Destacamento

O descolamento é caracterizado pela perda de aderência das peças de revestimento cerâmico do substrato ou da argamassa colante. Com a perda da aderência estas placas cerâmicas podem vir a colapso, colocando em risco a segurança dos usuários do empreendimento. Esta patologia é considerada de alto risco.

Segundo Roscoe (2008):

As situações mais comuns de descolamento costumam ocorrer por volta de cinco anos de conclusão da obra. As ocorrências cíclicas das solicitações somadas às perdas naturais de aderência dos materiais de fixação, em situações de subdimensionamento do sistema, caracterizam falhas que costumam resultar em problemas de quedas (ROSCOE, 2008).

Figura 3 – Descolamento de cerâmicas em fachada



Fonte: <https://construfacilrj.com.br/ceramica-soltando-como-consertar/>; Acesso em 11 de abril de 2020

O autor Sabbatini (2009) faz uma observação relevante:

O destacamento acontece depois de passado o primeiro ano de ocupação do edifício e parece ocorrer, com maior frequência, nos primeiros e últimos pavimentos, provavelmente em função do maior nível de solicitação que essas regiões estão sujeitas (SABBATINI, 2009).

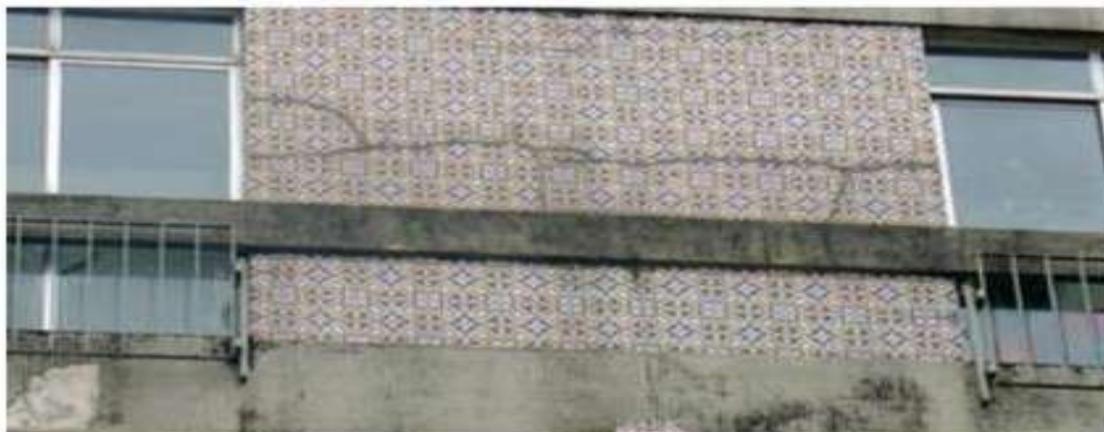
Sabbatini (2009) salienta ainda que o som oco é o principal indicador desta patologia, verificado pelo teste de percussão, podendo ocorrer também o estofamento do local onde verificado o problema.

## Trincas e Fissuras

As fissuras e/ou trincas são rupturas nas cerâmicas, superiores a 5 milímetros, provocadas por algum tipo de esforço mecânico, seja ele cisalhamento, tração, flexão, etc. ou variação de temperatura (Torres, 2017).

Outro motivador desta patologia pode ser a movimentação da estrutura de concreto que se expande, gerando com isso as indesejáveis trincas na fachada do empreendimento.

Figura 4 – Trincas no revestimento cerâmico em fachada



Fonte: <http://www.mrengenharia.com.br/materia/2015/Fachada-com-Trincas-e-Fissuras?-Descubra-o-que-Aconteceu> ; Acesso em 11 de abril de 2020.

Segundo Torres (2017) as trincas também podem ser encontradas entre o rejunte e as placas cerâmicas. Pode-se afirmar que as principais causas da patologia são:

- Má aplicação do rejunte;
- Juntas sujas;
- Juntas muito finas ou muito largas;
- Movimentação excessiva do substrato;
- Condições muito agressivas provenientes do meio ambiente.

## Gretamento

Complementando o item anterior temos a patologia de gretamento, que segundo Torres (2017) é determinado por uma série de aberturas, semelhantes às fissuras, porém inferiores a 5 milímetros nas placas cerâmicas, causando uma semelhança de “teia de aranha”. A expansão por umidade das camadas inferiores quase sempre é o fator causador do gretamento das placas cerâmicas.

## Bolor

O termo emboloramento, de acordo com Allucci (1988), constitui-se em uma “alteração observável macroscopicamente na superfície de diferentes materiais, sendo uma consequência do desenvolvimento de microrganismos pertencentes ao grupo dos fungos (ALLUCI, 1988).

Essa patologia, normalmente, é proveniente de algum tipo de vazamento e/ou

infiltração que esteja ocorrendo na fachada, visto que os fungos são formados em sua imensa maioria em locais úmidos. Pode estar associado a descolamentos dos revestimentos cerâmicos de fachada. A paralisação da infiltração e a limpeza de todo o bolor nos pontos onde está localizado é a maneira mais eficaz de tratar esta patologia, lembrando que se não for cessado o abastecimento de água no local o problema irá retornar.

## Eflorescência

Um importante sinal que algo não está normal na fachada é o aparecimento de manchas, principalmente brancas, ainda que podem aparecer de outras colorações, a Eflorescência (Santos e Silva, 2008).

Segundo Ambrósio et al, (2018), caracteriza-se pelo aparecimento de manchas esbranquiçadas no revestimento, proveniente do acúmulo cristalino, muitas das vezes descaracterizando o revestimento. Este depósito surge a partir de sais solúveis contidos nas placas cerâmicas, nas argamassas utilizadas para emboço, de rejunte ou de fixação dos revestimentos e, ainda nos constituintes na alvenaria.

Pelos mesmos autores, estes sais são conduzidos através da água de infiltração ou pela água usada na construção, pela porosidade apresentada nos itens de revestimento. Uma vez em contato com o ar estes sais se tornam sólidos, gerando estes depósitos tão característicos, indicativo de problema nas fachadas.

Outra definição explicativa sobre o fenômeno chamado eflorescência é dado por Santos e Silva Filho (2008) “depósitos cristalinos de cor branca que surgem na superfície do revestimento, como piso (cerâmicos ou não), paredes e tetos, resultantes da migração e posterior evaporação de soluções aquosas salinizadas”.

A eflorescência tratada até aqui, se subdivide e explica-se, por Menezes (2006):

As florescências podem ser divididas em dois grandes grupos: subflorescência (criptoflorescência) e eflorescência. As subflorescências são florescências não visíveis, porque os depósitos salinos se formaram sob a superfície da peça, enquanto que nas eflorescências os depósitos salinos se formam na superfície dos produtos cerâmicos (MENEZES, 2006).

Santos e Silva Filho (2008) ainda afirmam que:

os depósitos acontecem quando sais solúveis nos componentes da alvenaria, nas argamassas de emboço, de fixação, de rejuntamento ou nas placas cerâmicas são transportados pela água utilizada na construção, na limpeza ou vinda de infiltrações, através dos poros dos componentes de revestimento. Esses sais em contato com o ar se solidificam, causando depósitos.

Pelo exposto, pode-se afirmar que esta patologia se caracteriza pela aparição de camadas salinas sobre o revestimento da fachada, podendo ocasionar crostas insolúveis a água.

As eflorescências são problemas de ordem estética, visto que se manifestam na superfície dos revestimentos cerâmicos, trazendo desconforto visual aos engenheiros, construtores e proprietários dos imóveis. Porém, como segundo Santos (2008) em alguns casos pode se tornar um problema estrutural, pois há alteração físico-química das peças de revestimento, podendo ocasionar no descolamento das placas.

O cimento Portland é uma grande e importante fonte de eflorescência para o sistema, visto que o mesmo é uma fonte de sais solúveis em água. Deve-se tentar minimizar o máximo o seu uso. (LAPA, 2008)

A partir do exposto, pode-se exercitar a memória e confirmar que, provavelmente, todos já se depararam com eflorescência em revestimentos cerâmicos. As eflorescências se manifestam, principalmente, em alvenarias localizadas na parte externa das construções, e podem ocorrer em qualquer período do ano, porém seu aparecimento é mais comum no início da colocação dos revestimentos ou em períodos do ano de temperaturas mais elevadas.

Figura 5 – Eflorescência na fachada do condomínio Four Seasons



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020

Figura 6 – Eflorescência em revestimento cerâmico em fachada



Fonte: <https://www.oitomeia.com.br/colunas/engenheiro-marcos/2017/09/16/calor-zao-em-teresina- moveis-de-luxo-sofrem-com-clima-e-perdem-valor-de-mercado/> ; Acesso em 11 de abril de 2020

### **Subeflorescência ou Criptoeflorescência**

Esta patologia alinhado com Menezes (2006), causa esforços mecânicos sobre as Alvenarias, visto que causam aumento do volume no processo de cristalização, causando o desprendimento de materiais das alvenarias, proporcionando a exposição das armaduras de aço.

Figura 7 – Subeflorescência em fachada



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020

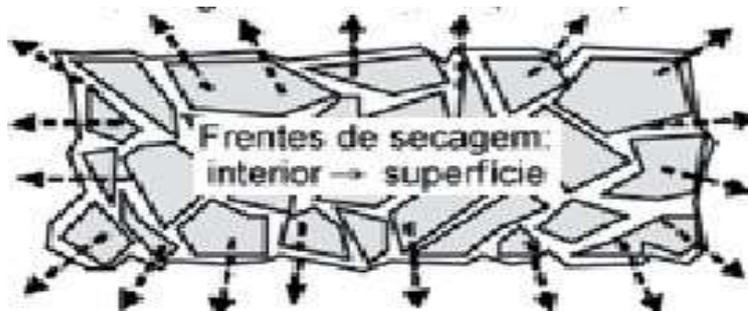
## PROCESSOS DE DETERIORAÇÃO DOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS DE FACHADA A PARTIR DA CORROSÃO DA ARMADURA

Segundo Ferreira (2000), todas as patologias podem estar ligadas diretamente ou indiretamente a degradação do concreto e da corrosão da armadura, sejam elas de maneiras primárias, tendo início por um erro de execução de um revestimento, expondo o concreto a agentes agressivos. Seja por fragilidade da solda do aço da armadura do concreto, os processos de carbonatação, lixiviação, ação de agentes químicos ou oxidação por contato com a água. Todos terão desfecho igual, a deterioração da fachada do empreendimento.

### Processos de Capilaridade na Estrutura de Concreto Armado

Segundo Kohls (2017), o concreto é um material poroso e basicamente, todos os processos que causam sua deterioração estão ligados a alta facilidade que a água se move através de sua estrutura. A porosidade do concreto varia de acordo com os agregados usados. Quanto mais fino for o cimento utilizado na mistura e quanto menor for a relação água/cimento adotada, menor será sua porosidade. Entretanto mesmo com a diminuição da porosidade o concreto se mantém poroso. Este situação acontece devido a evaporação de água na pasta de concreto, e seu caminho até a superfície criar redes de poros que determinarão a fragilidade do concreto em seu estado endurecido.

Figura 8 – Processo de secagem do concreto (caminho da água)



Fonte: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0366-69132008000200017&lng=en&nrm=iso](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132008000200017&lng=en&nrm=iso) ; Acesso em 11 de abril de 2020

## Ação dos Agentes Químicos

O contato do concreto com agentes químicos não é habitual, entretanto nas grandes cidades e centros, o concreto pode ser submetido ao contato com chuvas ácidas.

Pelo que enfatiza (ANDRADE, 2003), os ácidos destas chuvas ao entrarem em contato com o concreto agem destruindo suas camadas externas, atravessando seu sistema poroso e produzindo uma transformação completa na pasta de cimento endurecida. O resultado destas ações é a perda de massa e uma redução da seção do concreto.

Segundo (FERREIRA, 2000), esta perda acontece em camadas sucessivas, a partir da superfície exposta, sendo a velocidade da degradação proporcional à quantidade e concentração do ácido em contato com o concreto.

Os fluidos agressivos podem penetrar nos poros do concreto de três formas:

- Difusão: resultado da diferença de concentrações iônicas entre os fluidos externos e internos;
- Pressão hidrostática, resultado da diferença de pressão dos fluidos por forças capilares, resultado de mecanismos capilares ;
- Combinação de forças, que podem ser influenciadas por temperaturas, correntes elétricas, entre outros fatores;

As reações químicas se manifestam apresentando uma série de alterações nocivas ao concreto, tais como: aumento da porosidade, permeabilidade, diminuição da resistência, fissuração e destacamento de partes do concreto.

Através do processo de capilaridade esses agentes corrosivos se infiltram no concreto e chegam até a armadura, promovendo a corrosão das mesmas (MEHTA et al, 1994).

## Carbonatação

Como explicado por Figueiredo (2005) a alta capilaridade da estrutura de concreto acarreta uma das patologias mais comum ao concreto, a carbonatação.

O CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), presente na atmosfera tem tendência a se combinar com as bases do cimento hidratado, penetrando pelos seus poros. A reação mais simples e importante é a combinação com o hidróxido de cálcio liberado pela hidratação do cimento.  $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ . O concreto possui um pH da ordem de 12,5, principalmente por causa do Ca(OH)<sub>2</sub>. O desaparecimento do hidróxido de cálcio do interior dos poros da pasta de cimento hidratado e sua transformação em carbonato de cálcio faz baixar o pH da solução em equilíbrio de 12,5 para 9,4, fator importante para o início da corrosão das armaduras. Apesar do CO<sub>2</sub> penetrar no sentido superfície/ interior do concreto, a carbonatação inicia-se na superfície do concreto e penetra lentamente para seu interior.

Segundo SILVA (1995), em concretos de mediana qualidade, observa-se que a velocidade da carbonatação varia entre 1 e 3 milímetro por ano. A intensidade da corrosão da armadura por causa da carbonatação é variável segundo a espessura da camada do cobrimento.

Quanto maior for a camada, maior será o tempo que o CO<sub>2</sub> levará para atingir a armadura, iniciando sua deterioração. Outros fatores que influenciam a velocidade do processo são:

- A umidade relativa do ar;
- Tipo de cimento;
- A permeabilidade do concreto.

O grau de carbonatação máximo ocorre a uma umidade relativa de 60%, enquanto que em um ambiente seco ou saturado a carbonatação é reduzida para 20% deste valor. Se o concreto tem todos os seus poros cheios de água, o gás carbônico não pode penetrar e difundir-se. Por outro lado, se todos os poros estão secos, o gás carbônico não pode ionizar-se, e se o fizer, a carbonatação será realizada muito lentamente (SILVA, 1995)

Figura 9 – Concreto em processo de carbonatação



Fonte: <https://www.totalconstrucao.com.br/carbonatacao-do-concreto/> ; Acesso em 11 de abril de 2020

As superfícies do concreto devem ser protegidas para prevenir a carbonatação. A aplicação de barreiras espessas como rebocos, revestimentos com pedras ou cerâmicas, além de pinturas, evitam a entrada do CO<sub>2</sub>. Vale ressaltar que as pinturas possuem uma vida útil reduzida, necessitando de novas intervenções para garantir o bloqueio da carbonatação. Entretanto, qualquer falha proveniente dos processos de patologias já mencionados, expõe o concreto ao CO<sub>2</sub> novamente, dando início ao processo de carbonatação. (FIGUEIRADO, 2005)

### **Deterioração da Armadura por Contato com Água Pura**

A água subterrânea, ou mesmo a água de uso cotidiano, possui em suas propriedades cloretos, sulfatos e bicarbonatos de cálcio e magnésio. Essas águas são denominadas de água dura, geralmente não atacam os constituintes da pasta de cimento Portland.

Entretanto a água de condensação de neblinas ou vapor e a água da chuva podem conter pouco ou nenhum íon de cálcio, essa é a denominada água pura. Quando entram em contato com o cimento Portland, tendem a dar origem ao processo de hidrólise, agindo para dissolver produtos contendo cálcio, por causa da alta solubilidade do cálcio em água. Com isso dá origem ao processo de lixiviação do concreto. Frequentemente o produto desta lixiviação do concreto interage com o CO<sub>2</sub> presente no ar, dando origem a um processo já mencionado anteriormente, a eflorescência. (MEHTA et al, 1994).

## **Corrosão das Armaduras de Concreto Armado**

Segundo Ferreira (2000), o concreto emprega ao aço uma barreira física, que o separa e protege do meio ambiente. Entretanto, por as suas propriedades químicas, esta barreira confere ao aço uma elevada alcalinidade, o que o permite a formação de uma película fina de óxido de ferro na superfície do aço, chamada de camada de passivação, mantendo-o inalterado por tempo indeterminado, desde que o concreto seja de boa qualidade, e suas propriedades físico-químicas não se alterem devido às ações externas.

Ainda segundo (FERREIRA, 2000), a camada de passivação é criada pouco depois do início da hidratação do cimento. Quando as condições de serviço se modificam, e o concreto se altera pela penetração de substâncias agressivas, ocorre o rompimento da película passivante, e inicia-se a corrosão das armaduras.

Os óxidos gerados na corrosão, se expandem, ocupando um volume maior que a do aço original. Isto causa fissuras e o destacamento do revestimento original, facilitando assim a entrada de mais agentes agressivos.

A corrosão diminui a seção do aço, diminuindo assim sua resistência e sua capacidade de aderência ao concreto, diminuindo assim suas funções estruturais podendo levar ao descolamento de camadas de concreto (ANDRADE, 1992). Desconsiderar referência colocar referência atualizada

## **METODOLOGIA**

Levando em consideração a NBR 13755 - Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante e a NBR 6118 – Estruturas em concreto armado, pretende-se aqui detalhar os processos construtivos de revestimento de fachadas.

## **ESTUDO DE CASO**

O presente estudo de caso descreve obra de recuperação de fachada executada pela Empresa MGDA Engenharia e Serviços Ltda. empresa carioca que atua no ramo da engenharia civil, com realizações de obras de várias naturezas; reforma interna, de fachadas, construções, pavimentação, entre outras.

O autor deste trabalho ingressou na referida empresa no ano de 2018, mês de setembro, desempenhando a função de estagiário de engenharia civil. Em agosto de 2019, foi efetivado na função de Assistente de Engenharia, de maneira formal com assinatura de sua carteira de trabalho. A partir de então ficou baseado exclusivamente na obra referida, acompanhando de perto todo o processo de detecção das patologias e recuperação da fachada, que já se encontra em processo de finalização.

### **Início da obra**

O contrato entre as partes foi celebrado em dezembro de 2018 e a obra teve início em fevereiro de 2019, por opção do contratante.

### **Objetivo do contrato e características**

A natureza do contrato entre as partes pactua que a empresa contratada executará serviços de recuperação das fachadas dos dois edifícios do condomínio.

O condomínio possui dois blocos de apartamentos, 22 andares em cada bloco, com 12 unidades por andar, totalizando um universo de 528 unidades.

Suas fachadas são variadas, em relação ao tamanho e posicionamento das varandas. Praticamente toda a fachada é revestida com revestimento cerâmico, com áreas de prismas nas fachadas com acabamento em pintura.

## **Materiais**

Os revestimentos cerâmicos colados na fachada são de dois tipos e características:

- Revestimento quadrado de cor marrom, de dimensões 7,7 x 7,5 cm da marca Portobello;
- Pastilha 1,5 x 1,5 cm de cor branca de marca desconhecida

Todos os revestimentos são fornecidos pelo condomínio, seguindo o revestimento original que foi utilizado na obra.

As partes em pintura, segundo informação da síndica do condomínio, são cobertas por tinta acrílica para exteriores da cor areia da marca Suvinil.

A argamassa para assentamento do revestimento cerâmico citado, proposta pelo engenheiro responsável pela obra, é do Tipo AC III da marca Portokoll e o correlato rejunte acrílico da mesma marca da cor bronze, assim como a massa acrílica da marca Suvinil para os serviços de preparação de pintura.

A argamassa é do tipo massa pronta da marca Quartzolite.

Para o tratamento da armadura de aço é usado o inibidor de corrosão da marca Armatec e para a perfeita colagem das camadas reformadas se usa o aditivo epóxi da marca Sikadur 32.

Para o preparo da camada de chapisco, necessária para preparo da superfície anterior à Massa Única, usa-se areia lavada e cimento Portland do Tipo CP III.

## **Mão de obra**

Os profissionais contratados pela empresa, de maneira formal, com assinatura da carteira profissional, são em número de sete; três pedreiros gerais com conhecimento e experiência em trabalhos em altura e assentamento em revestimento cerâmico, três serventes de obra, também com experiência em serviços em altura e um pintor, também experiente em serviços desta natureza.

A MGDA Engenharia contratou empresa especializada para ministrar curso da Norma Regulamentadora nº 5 – Trabalho em Altura, certificando-os nestes serviços em alturas.

Outra medida protetora, que deixa os profissionais tranquilos para desempenho dos serviços em altura, foi a contratação de seguro de vida para cada funcionário.

## **Equipamentos e ferramentas**

A dinâmica de trabalho foi definida para que se formassem três duplas de trabalho, além do pintor, que desempenha serviço específico de pintura isoladamente.

Para essa estrutura de trabalho, foram locadas três plataformas elétricas do Tipo Jaú, de seis metros cada, junto as empresas Jirau Andaimes e Fixo Andaimes, uma para cada dupla de pedreiro e servente. Um jaú menor, de um metro e meio, foi locado para o trabalho de pintura.

As ancoragens destes elevadores elétricos foram feitas por cabo de aço,

circundados na estrutura de concreto armado que abriga a casa de máquinas do condomínio, localizado acima do último pavimento de cada edifício, técnica chamada de Varal.

Para a transposição de cada Jaú, ao término de cada fase do serviço de reforma, foi contratado a empresa Inovar Montagens. Para a movimentação das plataformas, motores, cabos de motor e de freio, linhas de vida, quadro elétrico e telas de proteção.

Junto à empresa Jirau, também foi locado a estrutura de aparta-lixo, local onde os Jaús estacionam e que servem como proteção de pedestres e carros do condomínio.

Além dos equipamentos mencionados acima, outras ferramentas fazem parte do cotidiano dos serviços, além é claro, dos equipamentos de proteção individual, já citados neste trabalho. Estas ferramentas são:

- Marteletos de 5 Kg da marca Makita;
- Marretas de aço de 2 e 4 Kg;
- Serra mármore da marca Makita;
- Talhadeiras e ponteiros de aço;
- Colher de pedreiro;
- Enxada e pá;
- Maseira grande;
- Baldes;
- Rolos de pintura com garfo;
- Pincéis de 2”;
- Lixas 180 e 120;
- Martelo de borracha;
- Desempeneira metálica;
- Desempeneira de madeira.

## **Serviços executados e volume**

As duas faces laterais de cada bloco foram divididas em onze faces de trabalho para recuperação de fachada com revestimento cerâmico. A face frontal e posterior de cada bloco foi dividida em duas faces, também para recuperação de fachada com revestimento.

Nestas mesmas duas faces laterais de cada bloco, foram divididas cinco faces de recuperação de fachada com acabamento de pintura.

Estas divisões de trabalhos, contemplando os dois blocos, atingem um total de 52 faces para recuperação de fachada com revestimento cerâmico e 20 faces para recuperação de fachada com acabamento de pintura.

Os trabalhos, sistematicamente, em cada face de cada edifício, se repetem, sendo diferentes somente no volume, proporcionais aos danos em cada face em questão. A sequência é a seguinte:

## **Teste de percussão manual**

O referido condomínio antes da contratação para execução dos serviços mencionados, contratou uma empresa para fazer o teste de percussão manual nas fachadas dos edifícios, valendo-se do método de Rapel com corda para a execução das marcações com tinta vermelha os pontos que apresentassem dano ou instabilidade.

Quando de trabalhos logo na primeira face de fachada, por parte dos profissionais da MGDA, constatou-se que as marcações não eram fidedignas e os executores, por

determinação do engenheiro responsável, abandonaram tais referências.

Com isso a MGDA passou a executar o teste de percussão manual, já descrito neste trabalho.

### **Natureza dos serviços**

**Panos de fachadas:** Esta parte da recuperação da fachada apresenta patologias de descolamento do revestimento cerâmico, além de eflorescências;

**Fundos de vigas:** Este é o foco deste trabalho, visto que os danos nos revestimentos nos fundos de vigas, são patologias causadas pela corrosão das barras de aço das mesmas.

A origem deste processo foi descoberta nas verificações do engenheiro responsável e o assistente técnico de engenharia, autor deste trabalho, nas visitas técnicas nas varandas e nas análises, nas áreas de fundo de viga.

Os pontaletes que fixam o guarda corpo de cada varanda, cravados na viga de chão, é o ponto de percolação de água da chuva e de limpeza das mesmas, dando partida no processo de “caminho” da água até as barras de aço.

Figura 23: Processo de eflorescência, caracterizando percolação de água pelo pontalete



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020

Este pontalete é cravado no topo do chapim de chão, de pedra ardósia, que apresenta fissuras parciais ou em sua totalidade.

Todos, literalmente todos, os fundos de viga que apresentam descolamento ou instabilidade do cobrimento (parte de concreto localizado entre a última barra de aço (negativa) até a extremidade da forma).

O processo de recuperação foi descrito em detalhes anteriormente no corpo deste trabalho.

### **Execução**

Detectada a origem, segue-se à execução:

## Demolição

Os profissionais fazem a demolição cuidadosa de parte do cobrimento ou, em alguns casos, a remoção total desta parte. Esta patologia é uma das mais perigosas em uma obra, pois o cobrimento é parte da massa de concreto, dependendo do tamanho lesionado deste, pode possuir dezenas de kilogramas de peso, despencando de qualquer altura pode gerar danos significativos

Figura 24: Viga com camada de cobrimento demolida



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020

## Tratamento das barras danificadas

O passo seguinte é devolver a integridade da armadura. No caso da seção transversal da barra sofrer perda significativa de volume, a análise para tomada de decisão deve passar pelo engenheiro calculista da estrutura da construção.

No estudo de Caso desta obra, todas as barras de aço das vigas com patologias, não tiveram perda significativa da seção transversal, menos de 10% de sua área líquida. Neste caso, as ações são na direção da recuperação das barras.

Primeiramente, se faz a remoção das partes de concreto que envolve toda ou parte da seção da barra. Feito isso, com uso minucioso do marteleto ou da marreta de mão e talhadeira e/ou ponteira, procede-se a remoção da camada de ferrugem envolvente das barras. Este trabalho se faz com lixa, manualmente, ou com lixadeira elétrica.

Chegada a hora da aplicação de inibidor de ferrugem. Com pincel de 2" procede-se a aplicação do produto. Aqui usa-se o Armatec. Necessário esperar o tempo de cura do produto, segundo seus fabricantes para seguir com o processo.

Figura 25: Armadura após aplicação de inibidor de corrosão



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020

O próximo passo é aplicar o aditivo epóxi nas barras. A função desta substância epóxi é aumentar a aderência das barras de aço ao concreto novo.

Figura 26: Armadura após aplicação do aditivo colante



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020

### **Recomposição da camada de cobertura**

Necessário manter a espessura desta camada, visto que existe uma proporcionalidade entre as bitolas das barras e a distância entre elas. Para reconstruir esta camada usa-se concreto preparado no local.

### **Execução do revestimento**

Posteriormente a execução da recomposição da camada de cobertura os funcionários seguem o caminho normal para a execução correta do revestimento cerâmico, assim como já mencionado e explicado neste trabalho, conforme capítulo 4.3.5, dando

sequência com as camadas de chapisco, massa única e por fim a colagem das peças de revestimento cerâmico e aplicação de rejunte.

## CONCLUSÃO

A partir do detalhamento e descrição das patologias majoritárias que incidem sobre as fachadas de edifícios, conclui-se que no estudo de caso proposto, o problema se dá pela percolação de água e posterior inchamento da armadura, deteriorando-se a fachada.

Todas as patologias identificadas no estudo de caso foram provenientes da percolação de água pelos pontaletes da fachada, feitos de maneira errônea, sem a devida vedação, ou por trincas e fissuras no chapim, permitindo também que a água percolasse pelo concreto e assim, deteriorando a armadura.

Até o momento, as patologias identificadas foram tratadas de maneira correta pela empresa executante da obra, seguindo os passos detalhados neste trabalho, a obra encontra-se em fase de finalização.

Outra constatação contundente é o risco que tais problemas nas fachadas trazem para moradores e bens materiais, podendo acarretar sérias conseqüências.

A síntese dos principais problemas de patologias em fachadas, excetuando-se os erros cometidos nas fases de projeto e de execução, dá-se pela percolação de água nestas estruturas.

Outra evidente conclusão é que não existe uma única e isolada causa principal para o aparecimento de patologias de fachadas. Existe, na verdade um conjunto de fatores, sobrepostos, para a degradação das partes que levam ao colapso parcial ou total de partes das fachadas.

## REFERÊNCIAS

AL ALAM, Fernando Wulff et al. Potencial da termografia infravermelha na detecção de manifestações patológicas ocultas ocasionadas pela umidade acidental em paredes de alvenarias cerâmicas com revestimento de argamassa e pintura. Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, v. 5, n. 1, p. 28-47, jun. 2016. ISSN 2318-1109. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/arqimed/article/view/1286>. Acesso em: 11 maio 2020. doi:<https://doi.org/10.18256/2318-1109/arqimed.v5n1p28-47>

ANDRADE, J.J.O. et al. Avaliação das características do concreto quando submetido à degradação de origem química. In: Congresso Brasileiro do Concreto– REIBRAC, 45, 2003, Vitória - ES. Anais. São Paulo: IBRACON, 2003 (CD Rom)

ANFACER. Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmicas. acessado em 01/12/2011.

ANJOS, Ana Carolina dos Passos dos. Comparação ergonômica: aplicação de argamassa manual x argamassa projetada. 2019. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gerenciamento de Obras) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

ARAÚJO, A. *et al.*, Monitoramento da corrosão em estruturas de concreto: sensor de umidade, de taxa de corrosão e de fibra óptica. São Paulo: Técnica 195, p.62-72 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregado – Análise petrográfica de agregados para concreto. Parte 1: Agregado miúdo. NBR 7389-1. Rio de Janeiro. 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13817: Placas Cerâmicas para Revestimento – Classificação. Rio de Janeiro, 1997

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6494 – Segurança nos Andaimos. Rio de Janeiro, 1990

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 : Projeto de estruturas de concreto: procedimentos. Rio de Janeiro, 2003. 170 p.

BARBOSA, Rogério Roque. Patologia de fachadas. 2005, 73f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2005.

BAUER, Roberto José Falcão. Revestimentos: falhas em revestimentos. Apostila. [S.l.]: Centro Tecnológico de Controle de Qualidade L. A Falcão Bauer, 1996. 75f.

BARIN, D. S. Carbonatação e absorção capilar em concretos de cimento portland branco com altos teores de adição de escória de alto forno e ativador químico. 2008. Dissertação (Mestrado). Rio Grande do Sul, 2008

BERTOLINI, L. Materiais de construção. São Paulo: Oficina de texto. 2010. 415p

DEFESA CIVIL DO RIO DE JANEIRO. Construções perigosas. Rio de Janeiro – RJ. Disponível em: <[http://www0.rio.rj.gov.br/defesacivil/construcoes\\_perigosas.htm](http://www0.rio.rj.gov.br/defesacivil/construcoes_perigosas.htm)>. Acesso em: 12 de maio de 2020.

COSTA e SILVA, Angelo Justa da. Método para gestão das atividades de manutenção de revestimentos de fachada. 2008. 239p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FALORCA, Jorge; MENDES SILVA, J.A.R. A model plan for buildings maintenance with application in the performance analysis of a composite facade cover. Construction and Building Materials. Elsevier, V. 23, n. 10, 3248-3257, 2009.

FERREIRA, Rui Miguel. Avaliação dos ensaios de durabilidade do betão. 2000. 246 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2000.

FIGUEIREDO, Enio Pazini. Efeitos da carbonatação e de cloretos no 53 concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 2, cap. 27, p. 828- 855. ISBN 85- 98576- 04- 2

FIGUEROLA, V. Vazios de concretagem. São Paulo: Técne. 109, abr. de 2006. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/109/artigo287074-1.aspx>>. Acesso em: 11 de abril 2020.

FREITAS, A. H. C.; FRANÇA, P.; FRANÇA, T. Patologias de fachadas – Revista Pensar.

Disponível em <[www.revistapensar.com.br](http://www.revistapensar.com.br)> - Acesso em 12 de abril de 2020

HORSTH, Alessandra Ambrósio et al. PATOLOGIAS NOS REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM FACHADA. REMAS - Revista Educação, Meio Ambiente e Saúde, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 27-38, fev. 2018. ISSN 1983-0173. Disponível em: <<http://www.faculdadedofuturo.edu.br/revista1/index.php/remas/article/view/166/273>>. Acesso em: 11 Mai. 2020.

ISAIA, G.C. Concreto: Ensino, Pesquisas e Realizações. São Paulo: Ibracon, 2005.

JUST, Ângelo C. S. Deslocamentos dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade do Recife. 2001. Dissertação (Mestrado). São Paulo, 2001

KOHL, M. A. et al. ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE EM CONCRETOS COM E SEM ADIÇÃO DE PRODUTOS DE PROTEÇÃO. UNISC: Universidade de Santa Cruz do Sul, 2017. Disponível em: . Acesso em: 17 de abril de 2020.

LAPA, J. S. Patologia, recuperação e reparação das estruturas de concreto armado. 2008. 56f. Monografia (Construção civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Patologia,%20Recupera%E7%E3o%20e%20Reparo%20das%20Estruturas%20de%20Concreto.pdf>>. Acesso em 12 de abril de 2020

LEAL, U. Quando as fissuras em paredes preocupam. Técnica, São Paulo, 70, Jan. 2003. Disponível em: < <http://techne.kubbix.com/engenharia-civil/70/artigo287252-1.aspx>>. Acesso em 12 de abril de 2020

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios. Boletim Técnico: BT/PCC/246. São Paulo: EPUSP, 1999, 28p.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. Tradução de Paulo Helene et al. 1. ed. São Paulo, PINI, 1994. 580p. ISBN 85- 7266- 040- 2

MENEZES, R. R. et al. Sais solúveis e eflorescência em blocos cerâmicos e outros

NBR 12655. Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.  
materiais de construção – revisão. Revista Cerâmica, v. 52, p. 37-49.2006.

NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos. Rio de Janeiro, 2005

NBR 14081: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Especificações Rio de Janeiro, 2004

NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.  
Pereira, E. Estudo da influência das propriedades de argamassas colantes na resistência de aderência de revestimentos cerâmicos aplicados no assentamento de piso sobre piso / Eduardo Pereira – Curitiba, 2012.

SABBATINI, F.H.; BARROS, M. M. S. B. Produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria: diretrizes básicas. 2001. Revisão do relatório técnico, SABBATINI, F.H.; BARROS, M. M. S. B. Recomendações para a produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação e em alvenaria - Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, R6-06/90 – EP/ENCOL-6, São Paulo, 1990.

SANTOS, Pedro Henrique Coelho; SILVA FILHO, Antônio Freitas. Eflorescência: causas e consequências. Salvador: [s.n.], 2008.

SILVA, Paulo Fernando A. Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana. 1. ed. São Paulo: Pini, 1995. 152 p. ISBN 85- 7266- 043- 7

SILVA, Maria de Nazaré Batista da. Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada: aplicação ao caso de Brasília/DF. 2014. xviii, 198 f., il. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil)—Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SOARES, Carlos Henrique Araújo. Análise de desempenho de revestimentos externo de fachada: cerâmico e argamassado com intuito de avaliar a manutenção corretiva adequada a ser utilizada no estudo de caso em Águas Claras-DF. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2017.

TAVARES, Caio Henrique Sanches Pinho. “PRODUTIVIDADE EM OBRAS: um estudo do processo executivo de argamassa projetada em Belo Horizonte, Minas Gerais.”, Revista Pensar Engenharia, 2015.

Torres, Matheus V. Principais patologias em revestimentos cerâmicos em fachadas prediais. Monografia. Rio de Janeiro, 2017.

UEMOTO, K. L. Patologia: danos causados por eflorescência. Tecnologia de Edificações, São Paulo. PINI/ IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Coletânea de trabalhos da Divisão de Edificações do IPT. 1988



  
epilaya  
Editora

ISBN: 978-65-87809-19-9

