

---

# Painéis de poliestireno expandido (EPS) revestidos com argamassa armada: Avaliação de desempenho

Trabalho de Conclusão de Curso  
Engenharia Civil  
Junho de 2021



Letícia Batista Araújo de Lima  
Matheus Nunes Moreira  
Rodolfo Cervelle Santos  
Thomas Hideki Kuninari

Prof. Ms. Fabiola Rago Beltrame

# Introdução e contextualização

## O atual cenário da Construção Civil no Brasil

### Mercado em ascensão

2020: Cerca de 140 mil novos postos de trabalho criados

2021: Projeção de maior crescimento desde 2013

### Foco em sustentabilidade

Crescente demanda por cimento (consumo mensal médio acima de 5 milhões de toneladas em 2020)

Acordo de Paris: Compromisso mundial na busca de alternativas para reduzir a emissão de GEE

### Déficit habitacional

Déficit em cerca de 5,8 milhões de moradias

Cerca de 25 milhões de habitações com inadequações

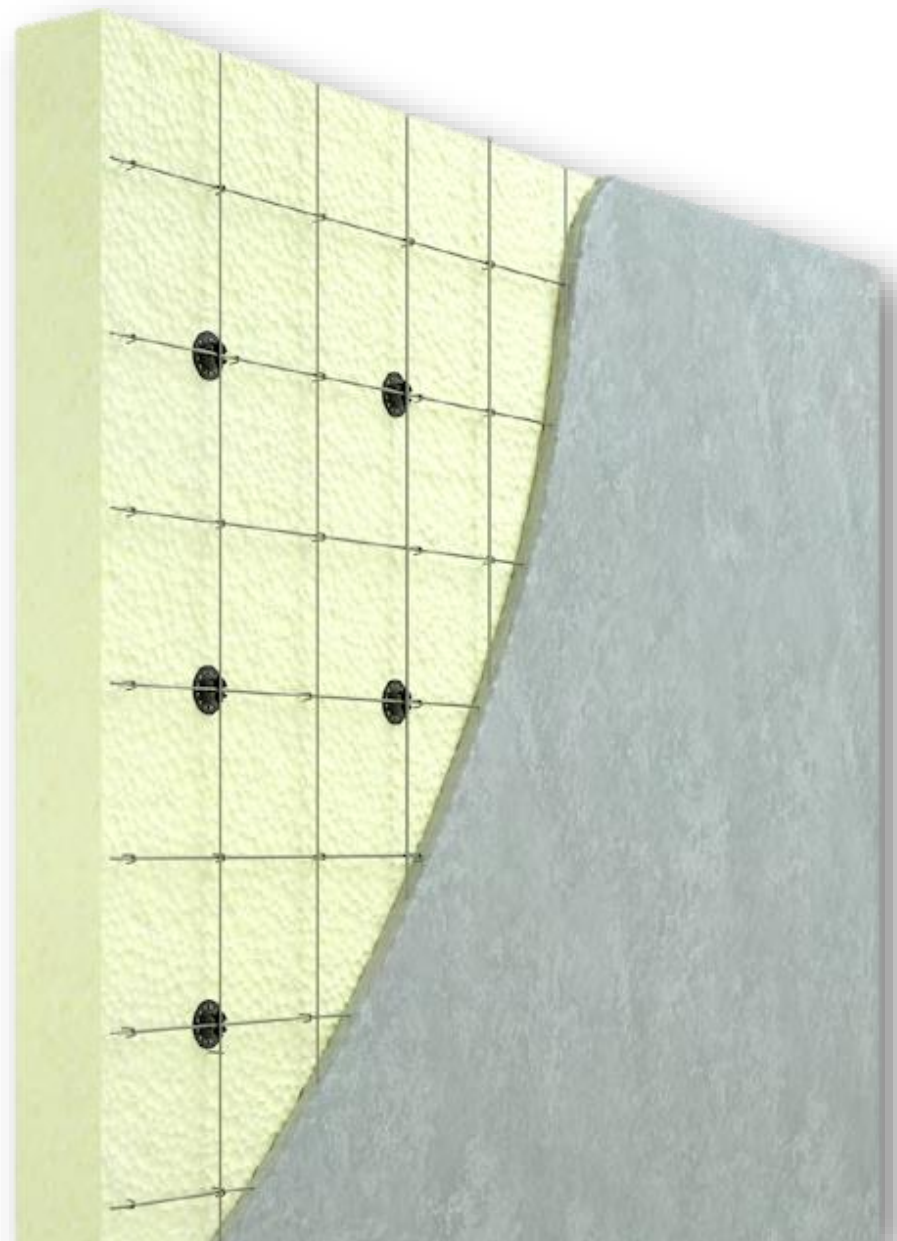
**Oportunidade e necessidade de implementar soluções sustentáveis e de alta produtividade!**



# Painéis monolíticos de EPS

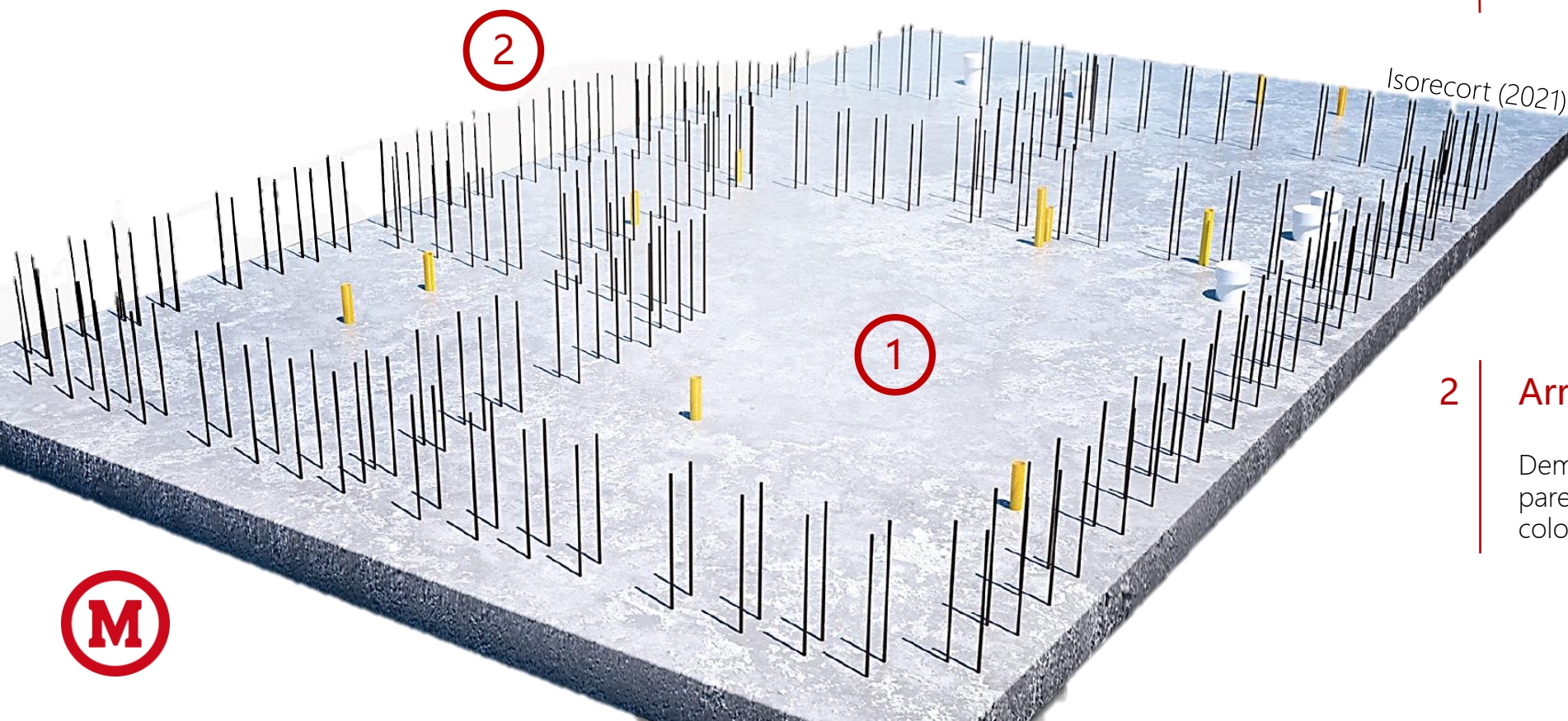
## Características do sistema construtivo

- ✓ Monopainel® da fabricante Isorecort
- ✓ Densidade entre 10 e 12 kg/m<sup>3</sup>
- ✓ Placa de EPS de 8 cm
- ✓ Telas metálicas Q61 (0,61 cm<sup>2</sup>/m) travadas entre si
- ✓ Revestido com 3 cm de argamassa em cada face
- ✓ Aditivo retardante à chama



# Painéis monolíticos de EPS

## Etapas do sistema construtivo



### 1 Fundação

Preparação do terreno, locação da obra e execução da fundação, preferencialmente em radier ou sapata corrida.

### 2 Arranques

Demarcação dos locais onde serão as paredes, e fixação dos arranques para a colocação dos painéis.

# Painéis monolíticos de EPS

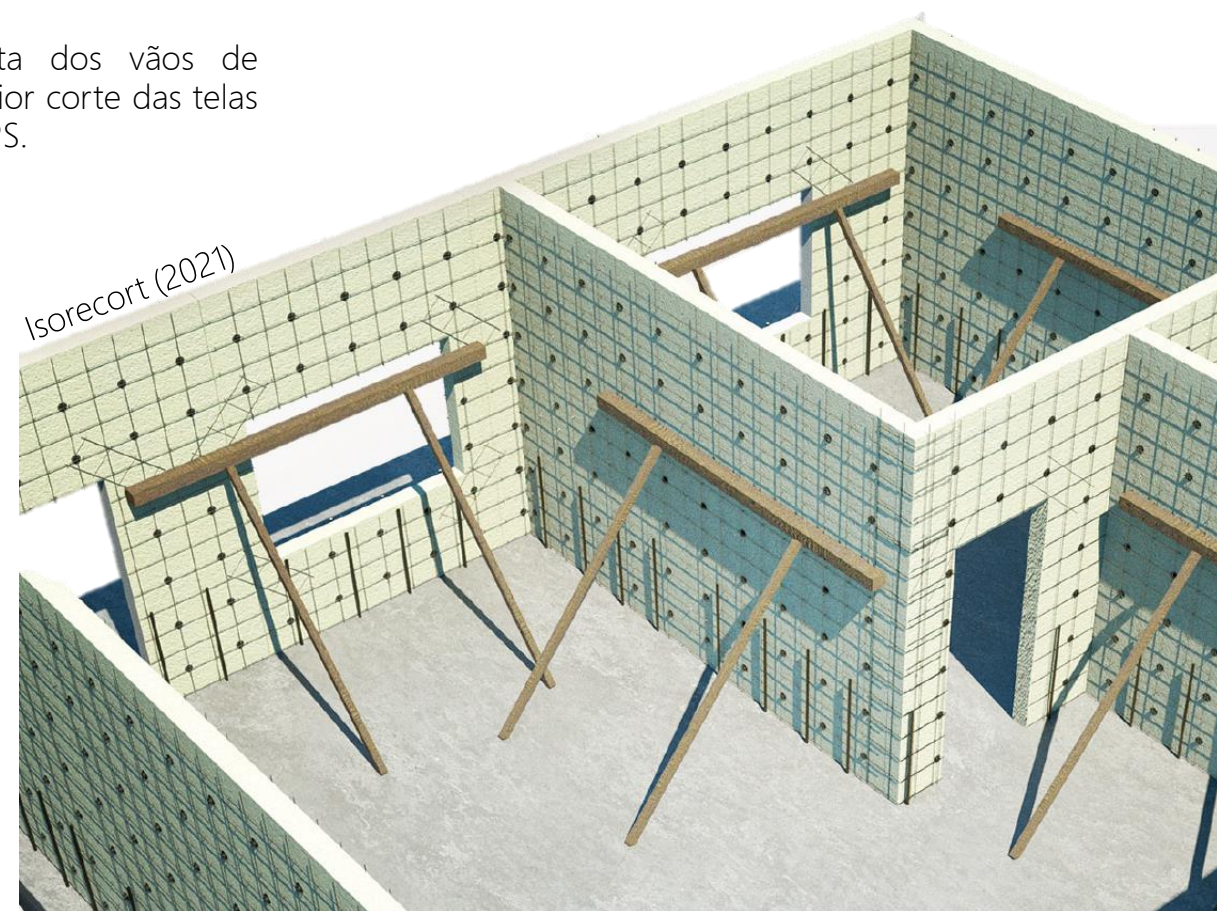
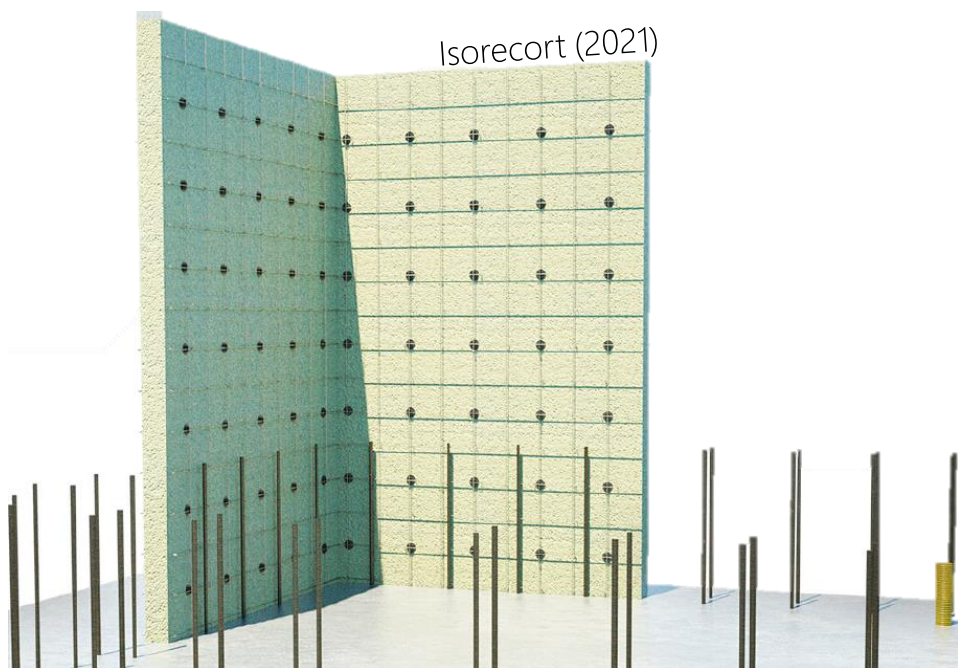
## Etapas do sistema construtivo

### 3 Montagem dos painéis

Posicionamento dos painéis sobre os arranques da fundação de acordo com o projeto arquitetônico.

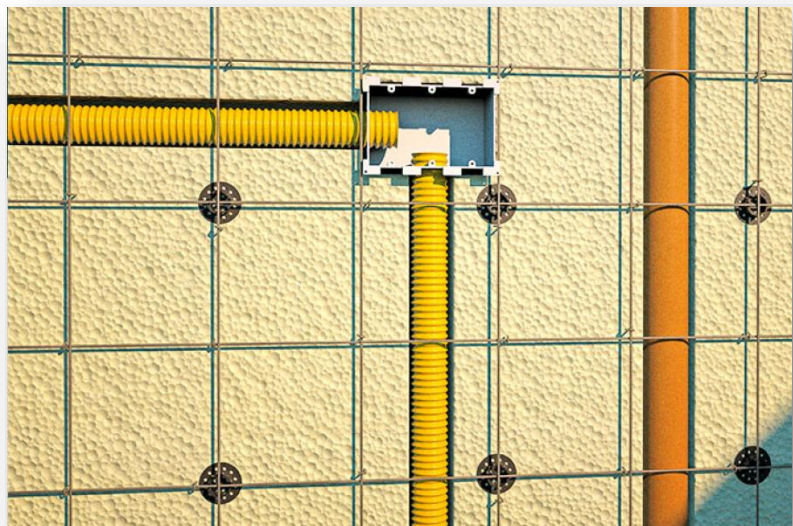
### 4 Abertura dos vãos

Demarcação com caneta dos vãos de portas e janelas, e posterior corte das telas de aço e das placas de EPS.



# Painéis monolíticos de EPS

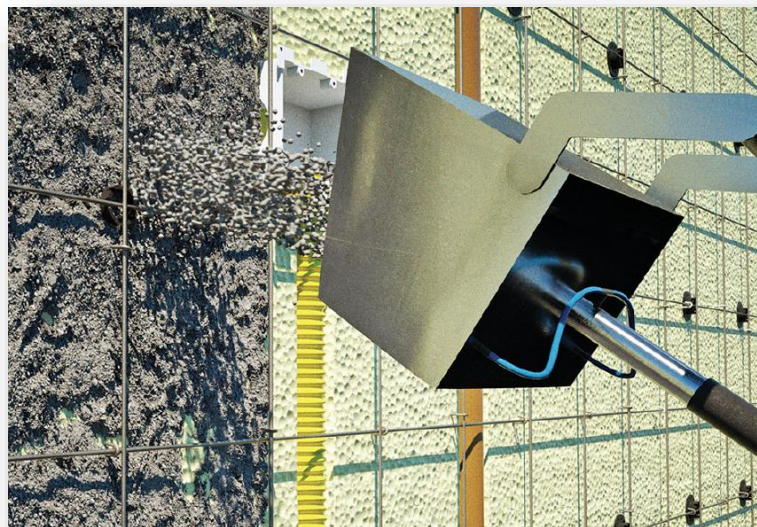
## Etapas do sistema construtivo



Isorecort (2021)

### 5 Instalações

Abertura de sulcos com soprador de ar quente e passagem das tubulações de instalações elétricas e hidrossanitárias.



Isorecort (2021)

### 6 Revestimento

Projeção de 3 cm de argamassa em cada face do painel, sendo estas em ao menos duas camadas.



# Objetivos de pesquisa

Um passo a frente no estado da arte

## Desconfiança popular

EPS culturalmente reconhecido como um material frágil e ornamental

## Embasamento normativo

Não existem normas que dão respaldo a projetistas e construtores

## Limitações técnicas

SINAT N°11 abrange edificações multifamiliares de até dois pavimentos

Avaliar o desempenho dos painéis de EPS revestidos com argamassa armada como sistema construtivo

Comparar o sistema construtivo com método convencional de alvenaria estrutural



# Avaliação de desempenho dos painéis de EPS

## Tópicos de estudo



### Desempenho sustentável

É possível reduzir a emissão de GEE?



### Análise financeira

É mais barato ou mais caro?



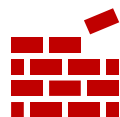
### Desempenho térmico

Atende aos requisitos de conforto térmico?



### Análise de produtividade

É realmente mais rápido?



### Desempenho estrutural

O método é seguro estruturalmente?

Até quantos pavimentos é possível construir?





# Projeto protótipo

Modelagens arquitetônicas e estruturais em BIM

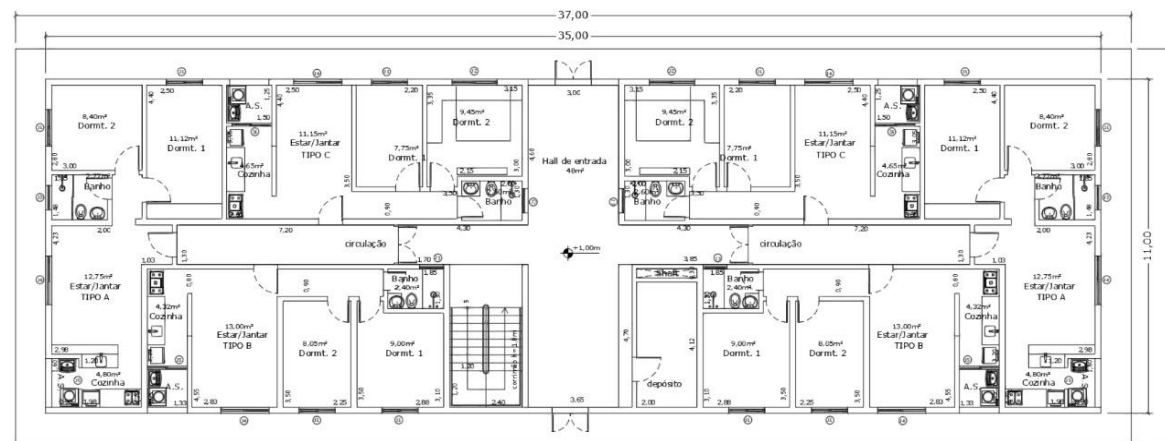
## Projeto arquitetônico

Edificação multifamiliar

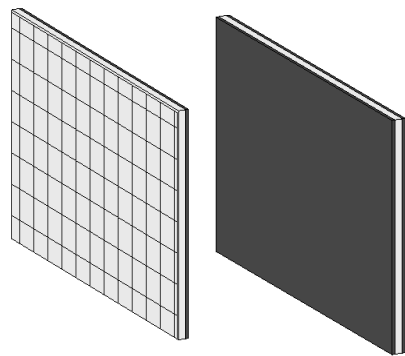
Habitação de interesse social

3 pavimentos com 6 habitações cada

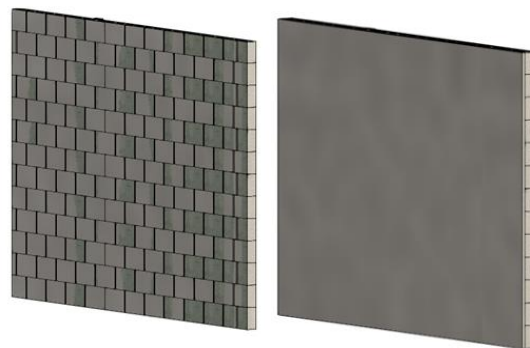
1155m<sup>2</sup> de área construída



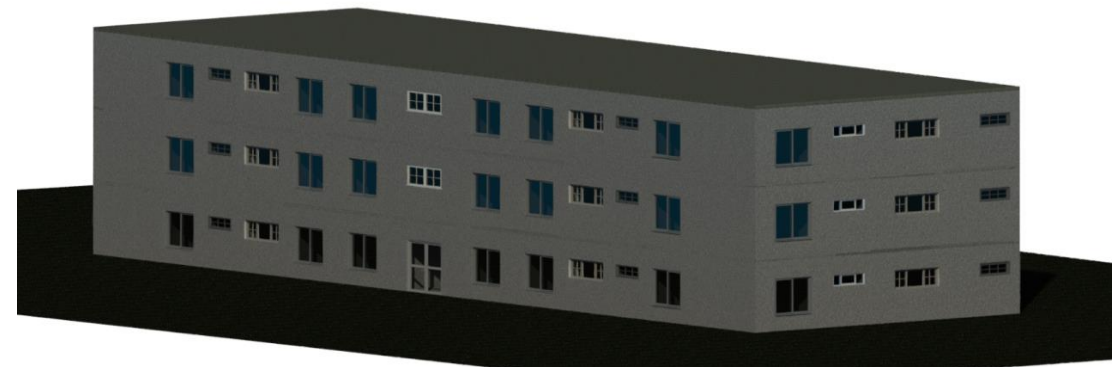
Planta baixa



Painéis de EPS



Alvenaria estrutural



Projeto protótipo



---

# Desempenho térmico

## Revisão bibliográfica

### O EPS

O EPS é um excelente isolante térmico pois mantém permanentemente uma grande quantidade de ar dentro das suas células

(ACEPE, 2020)

### A parede com painel de EPS

O isolamento térmico se aplica para o frio e para o calor pois as temperaturas externas e internas da residência se tornam independentes

Machado e Pinto (2001 *apud* SIQUEIRA, 2017)



# Desempenho térmico

## Metodologia de pesquisa

### 1 Metodologia da NBR 15575

Análise de uma unidade habitacional

Temperaturas de verão e de inverno

Ambos os métodos construtivos

### 2 Condutividades térmicas

Cálculo da condutividade térmica equivalente para cada sistema:

Parede de painéis de EPS: 0,565 W/m.K

Parede de alvenaria: 5,454 W/m.K

### 3 Simulações em MEF

Utilização do *software* Ansys

Classificação dos níveis de desempenho térmico (NBR 15575)



# Desempenho térmico

## Resultados da pesquisa

### 1 Alvenaria estrutural

Diferenças de temperatura externa e interna:

8,6°C no verão e 8,9°C no inverno

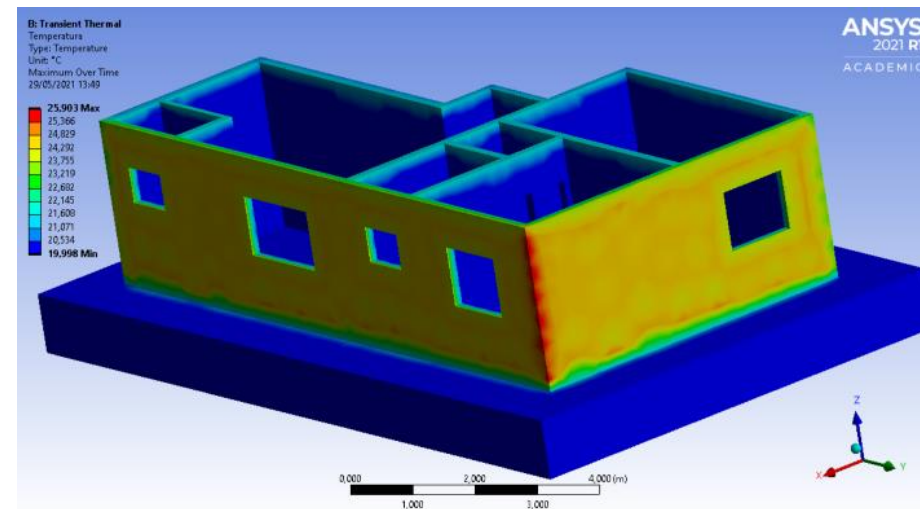
Nível de desempenho térmico **superior** (NBR 15575-1)

### 2 Painéis de EPS

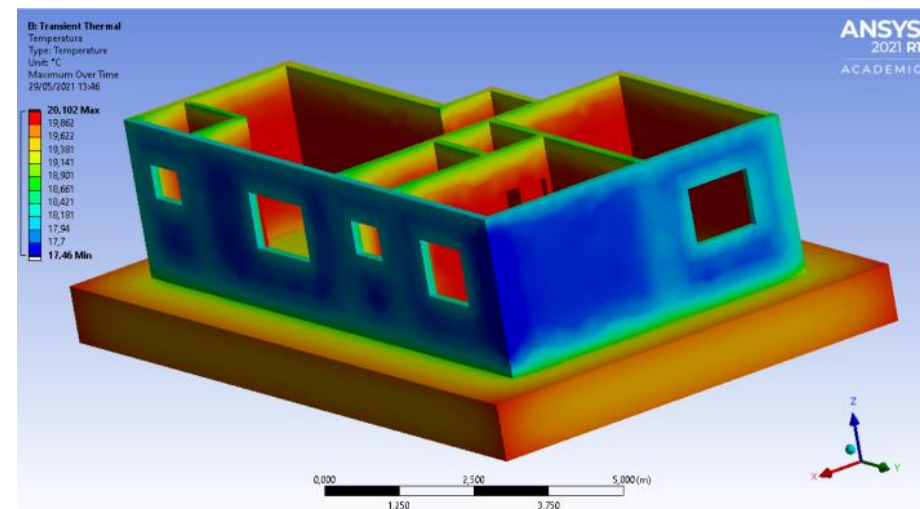
Diferenças de temperatura externa e interna:

9,2°C no verão e 9,5°C no inverno

Nível de desempenho térmico **superior** (NBR 15575-1)



Sistema com painéis de EPS em dia típico de verão



Sistema com painéis de EPS em dia típico de inverno



# Desempenho sustentável

## Revisão bibliográfica

### Emissão de CO<sub>2</sub>

EPS como solução sustentável pois apresenta baixa emissão de carbono

Fator de emissão de CO<sub>2</sub> de apenas 3,29 kg por kg de material

Hammond e Jones (2011)

### Reaproveitamento

Material reciclável e facilmente encontrado em aterros e lixões

Diminui a necessidade de produção de matéria prima para a fabricação dos painéis

Santos et. al (2009)



# Desempenho sustentável

## Metodologia de pesquisa

### 1 Quantitativo de materiais

Levantamento a partir dos modelos desenvolvidos em BIM no *software* Revit



### 2 Emissão unitária de CO<sub>2</sub>

Obtidas pelas seguintes referências:  
CECarbon (2020) e Maciel (2016)



### 3 Emissão total de CO<sub>2</sub>

Estimativas de emissões para ambos os métodos construtivos dos insumos diferentes



# Desempenho sustentável

## Resultados da pesquisa

Atividade	Alvenaria estrutural (kg de CO <sub>2</sub> )	Painéis de EPS (kg de CO <sub>2</sub> )
Fundação em radier	124.034	92.888
Execução das lajes	48.496	48.496
Execução das paredes estruturais	72.509	34.261
<b>Emissão total de carbono</b>	<b>245.029</b>	<b>175.646</b>

**28%**

de redução total na emissão de CO<sub>2</sub>  
para a execução da obra

**52%**

de redução na emissão de CO<sub>2</sub> para a  
execução das paredes

**32%**

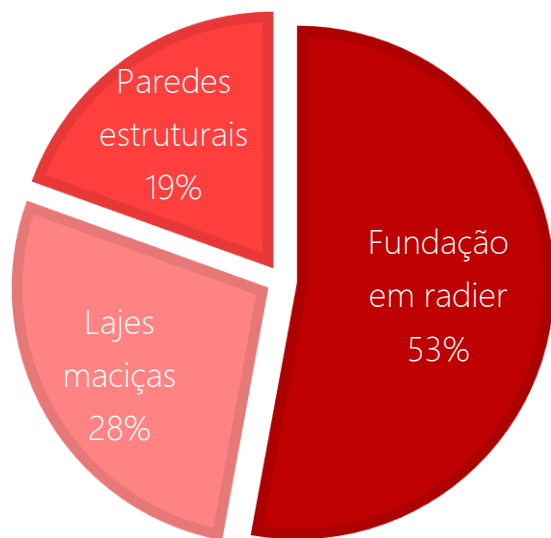
de redução na emissão de CO<sub>2</sub> para a  
execução da fundação



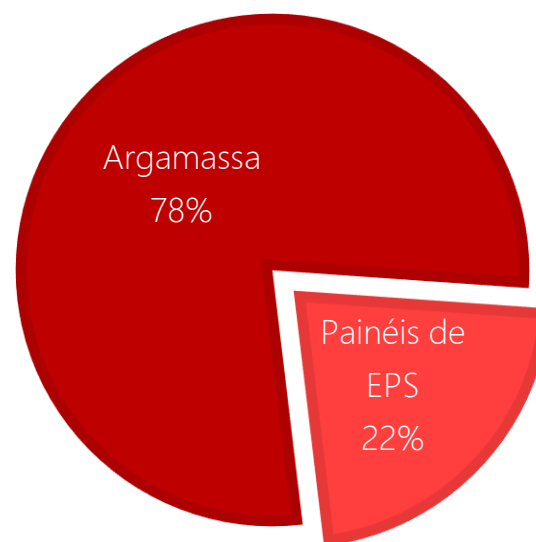
# Desempenho sustentável

## Resultados da pesquisa

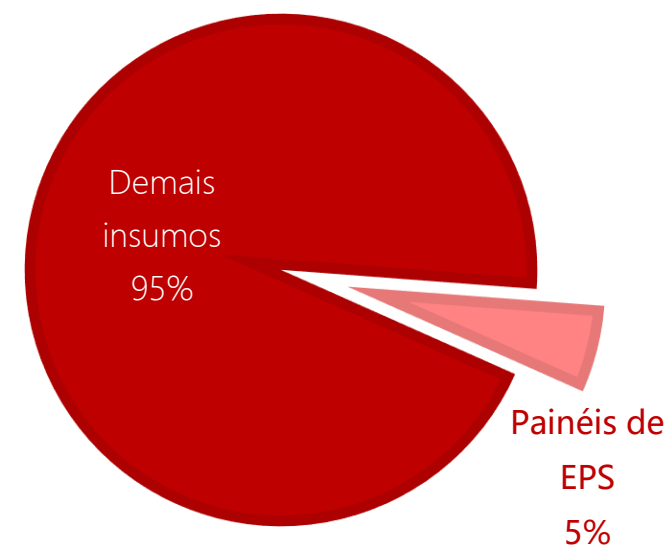
Emissão de CO<sub>2</sub> total da obra com painéis de EPS



Emissão de CO<sub>2</sub> das paredes estruturais com painéis de EPS



Emissão de CO<sub>2</sub> total da obra com painéis de EPS





# Desempenho físico-financeiro

## Revisão bibliográfica

### Custo

Souza (2009):

Alvenaria estrutural: R\$670/m<sup>2</sup>

Painéis de EPS: R\$682/m<sup>2</sup>

EPS Brasil (2014 apud ELIBIO, 2019):

Redução de 6% a 8% no custo global

### Produtividade

Souza (2009):

Alvenaria estrutural: 16,86 h/m<sup>2</sup>

Painéis de EPS: 13,34 h/m<sup>2</sup>

EPS Brasil (2014 apud ELIBIO, 2019):

Redução de 20% no tempo gasto



# Análise da produtividade

## Metodologia de pesquisa

### 1 Tempos despendidos em Mão de Obra

Obtidos pelas seguintes referências:

Tabela de composição de custos (SIURB)

Souza (2009)

### 2 Composição dos Tempos

#### **Painéis de EPS:**

Fixação e prumos do painéis

Instalação de reforços nos vãos abertos dos painéis

Colocação dos conectores

Projeção da argamassa

#### **Alvenaria estrutural:**

Assentamento dos blocos de concreto

Aplicação do graute

Instalação de barras de aço nas amarrações de encontro

Aplicações de chapisco, emboço e reboco interno e externo



# Análise da produtividade

## Resultados da pesquisa

Método Construtivo	Tempo gasto para a produção de 1m <sup>2</sup> de parede (horas)
Alvenaria estrutural (Pedreiro)	2,82
Alvenaria estrutural (Servente)	3,02
Painéis de EPS (Pedreiro)	1,41
Painéis de EPS (Servente)	1,47

**50%**

de redução no tempo de  
execução das paredes estruturais



# Análise financeira

## Metodologia de pesquisa

### 1 Quantitativo de materiais

Levantamento a partir dos modelos desenvolvidos em BIM no *software* Revit



### 2 Estimativas de custos

Obtidos pelas seguintes referências:

Tabela de composição de custos (SIURB)

Fabricantes



### 3 Custos totais

Estimativa de custo para ambos os sistemas construtivos



# Análise financeira

## Resultados da pesquisa

Atividade	Alvenaria estrutural	Painéis de EPS
Fundação em radier	R\$ 412.828,08	R\$ 306.287,44
Paredes estruturais	R\$ 426.239,47	R\$ 450.243,58
Itens em comum	R\$ 378.210,07	R\$ 378.210,07
<b>Custo Total</b>	<b>R\$ 1.217.277,62</b>	<b>R\$ 1.134.741,10</b>

**7%**

de redução no custo total da obra

**35%**

de redução no custo da fundação



# Desempenho Estrutural

## Revisão bibliográfica

### Fundações menos solicitadas

Peso próprio da estrutura drasticamente reduzido devido a aplicação do EPS

### Limitações construtivas

Até 4 pavimentos

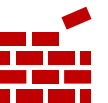
Bertoldi (2007)

Até 2 pavimentos

(SINAT N°11, 2014)

### Hiato de conhecimento

Há poucos estudos e análises sobre o sistema estudado, e quase nenhuma avaliação sobre o desempenho estrutural



# Desempenho Estrutural

## Metodologia de pesquisa

### 1 Material Hipotético Equivalente

Características do material, com resistências minoradas em 1,4

$$\gamma_3 = 878,28 \text{ kg/m}^3$$

$$f_{ck_{eq}} = 7,65 \text{ MPa}$$

$$E_{eq} = 11.143 \text{ MPa}$$

### 2 Carregamentos absolutos

Carregamentos permanentes e variáveis, majorados em 1,4 (NBR 16868 e NBR 6118)

Lajes representam 55,50%,  
Paredes representam 44,5%, do peso próprio da estrutura.

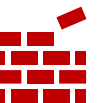
### 3 Simulações em MEF

Utilização do *software* Ansys

Simulação otimizada devido simetria do edifício

31.661 nós de malha

Lajes maciças com 15 cm de espessura



# Desempenho estrutural

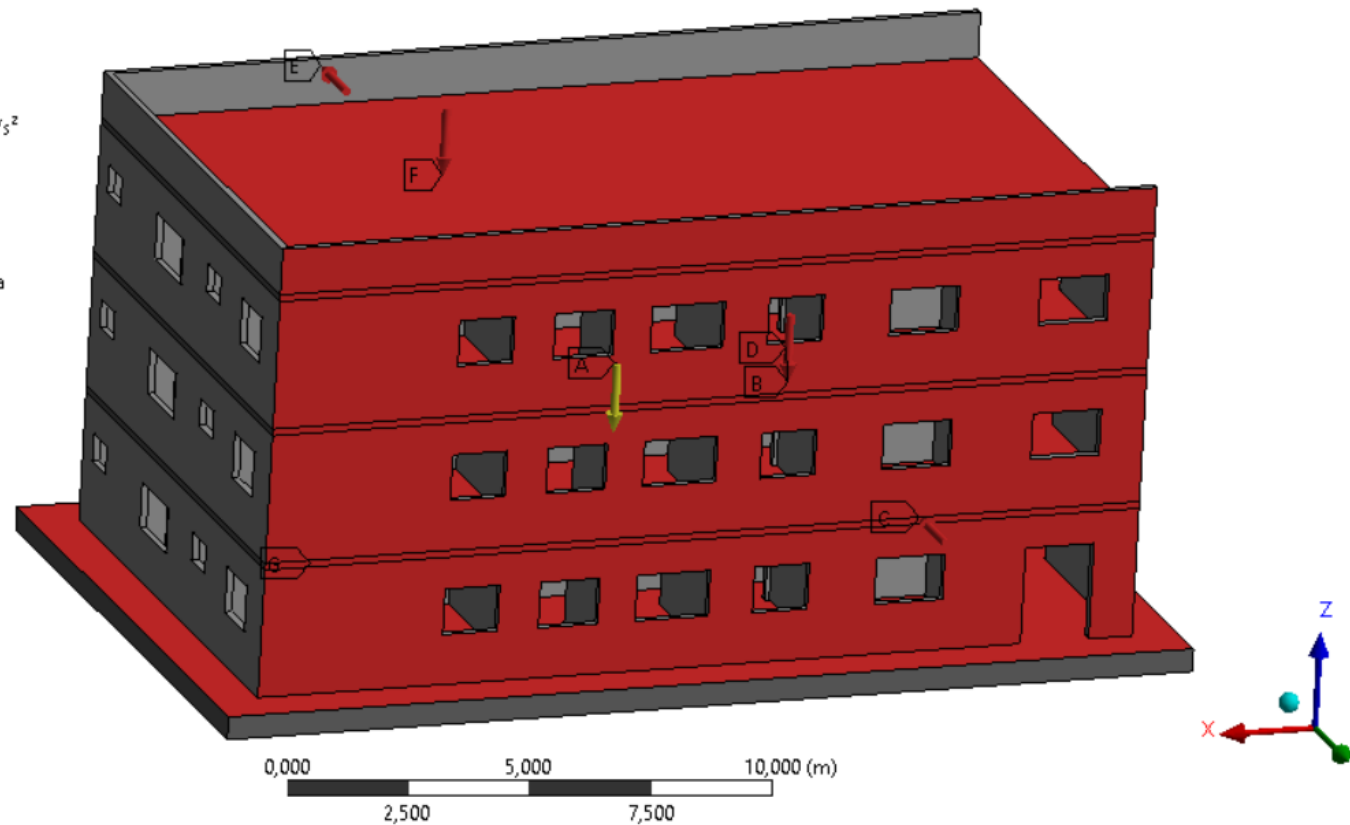
## Resultados da pesquisa

### Estrutura estática

#### A: Static Structural

Static Structural  
Time: 1, s  
20/06/2021 12:55

- A** Gravidade terrestre padrão: 9,8066 m/s<sup>2</sup>
- B** CV - Edifícios residenciais: 2438,7 Pa
- C** CV - Carga de ventos: 1266,5 Pa
- D** CP - Revestimento de pisos: 1400, Pa
- E** CV - Vento Sucção: 949,91 Pa
- F** CP - Telhado de fibrocimento: 560, Pa
- G** Fuporte fixo



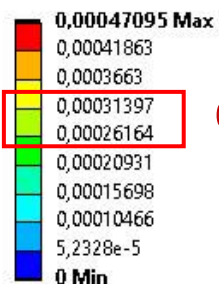


# Desempenho estrutural

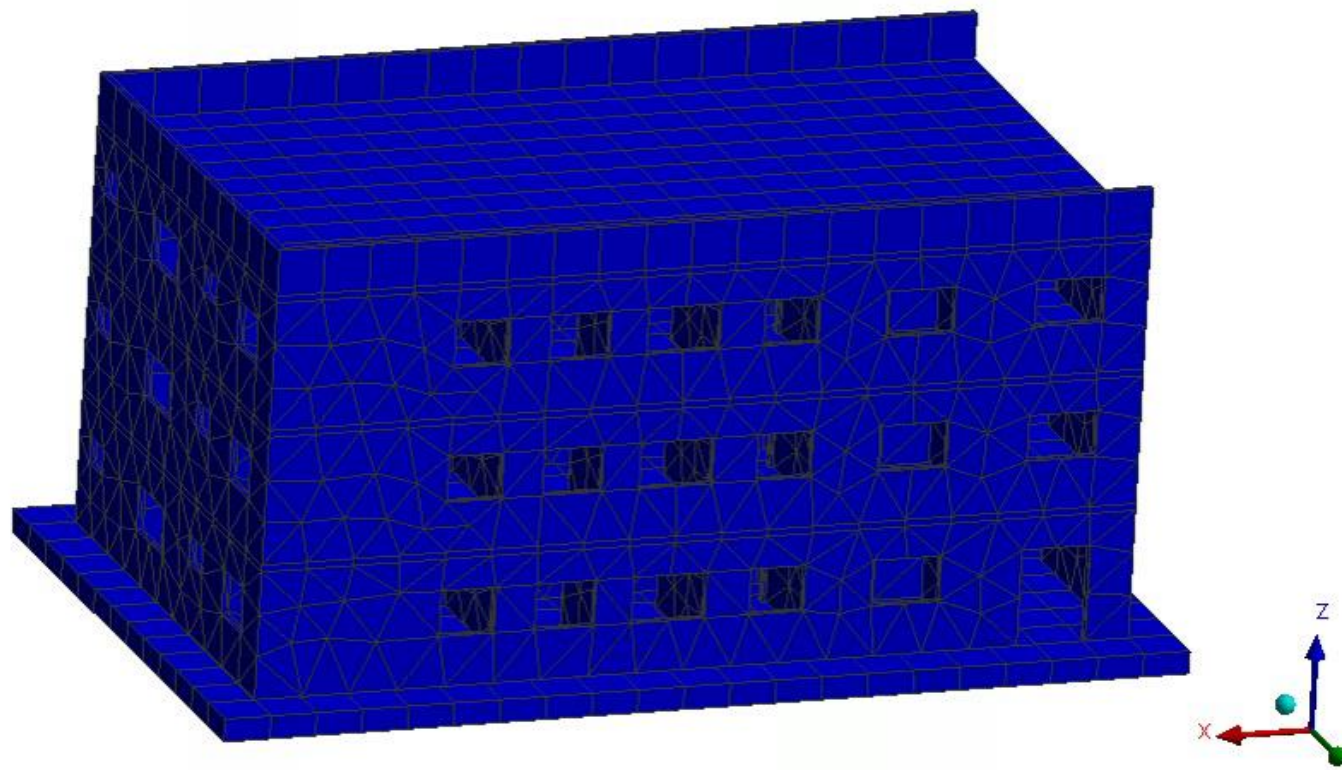
## Resultados da pesquisa

### Deslocamentos totais

**A: Static Structural**  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: m  
Time: 2,5641e-002  
20/06/2021 13:08



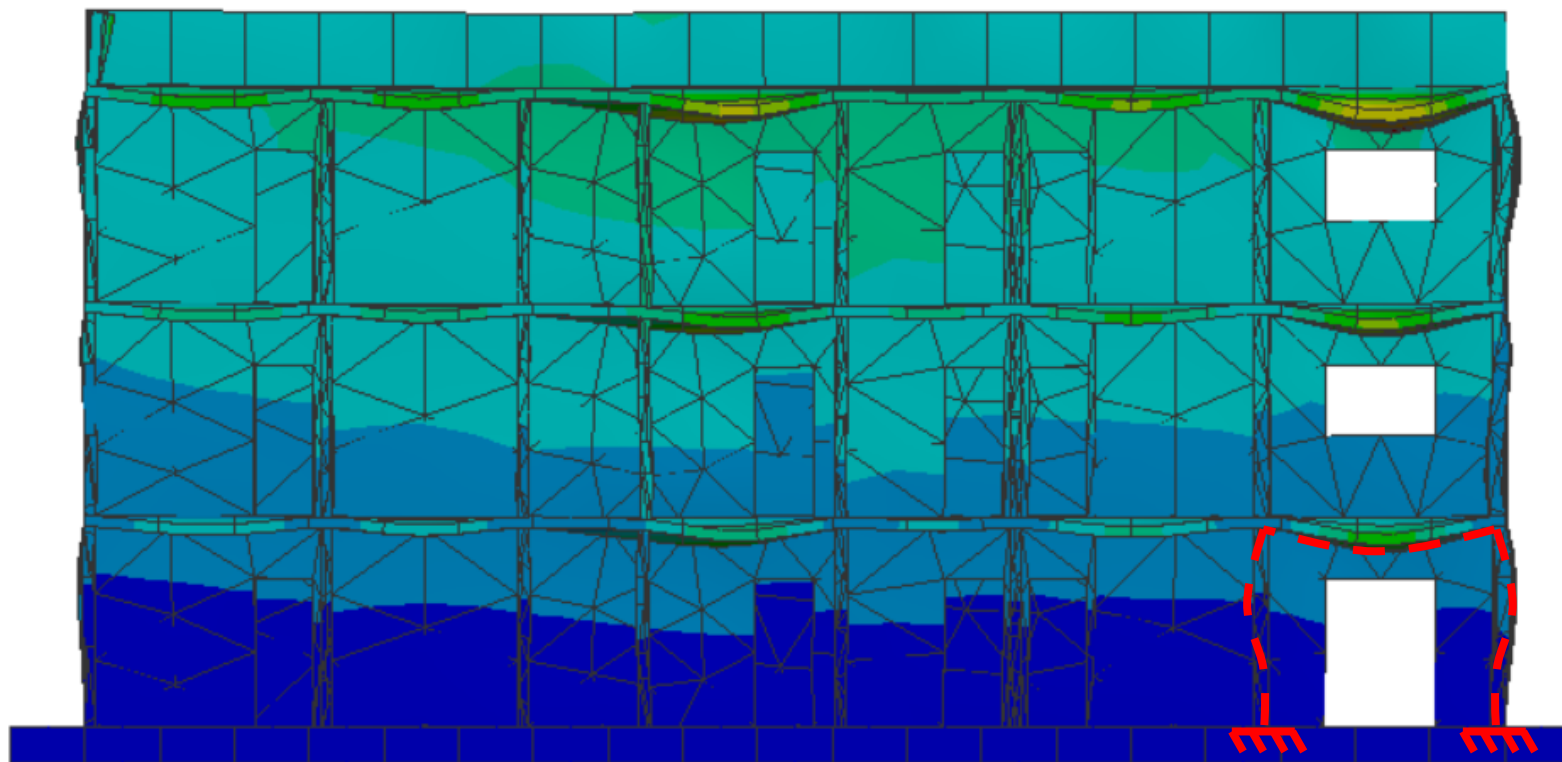
0,31 mm



# Desempenho estrutural

Resultados da pesquisa

| Deslocamentos totais em seção transversal

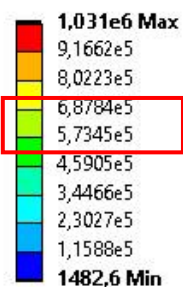


# Desempenho estrutural

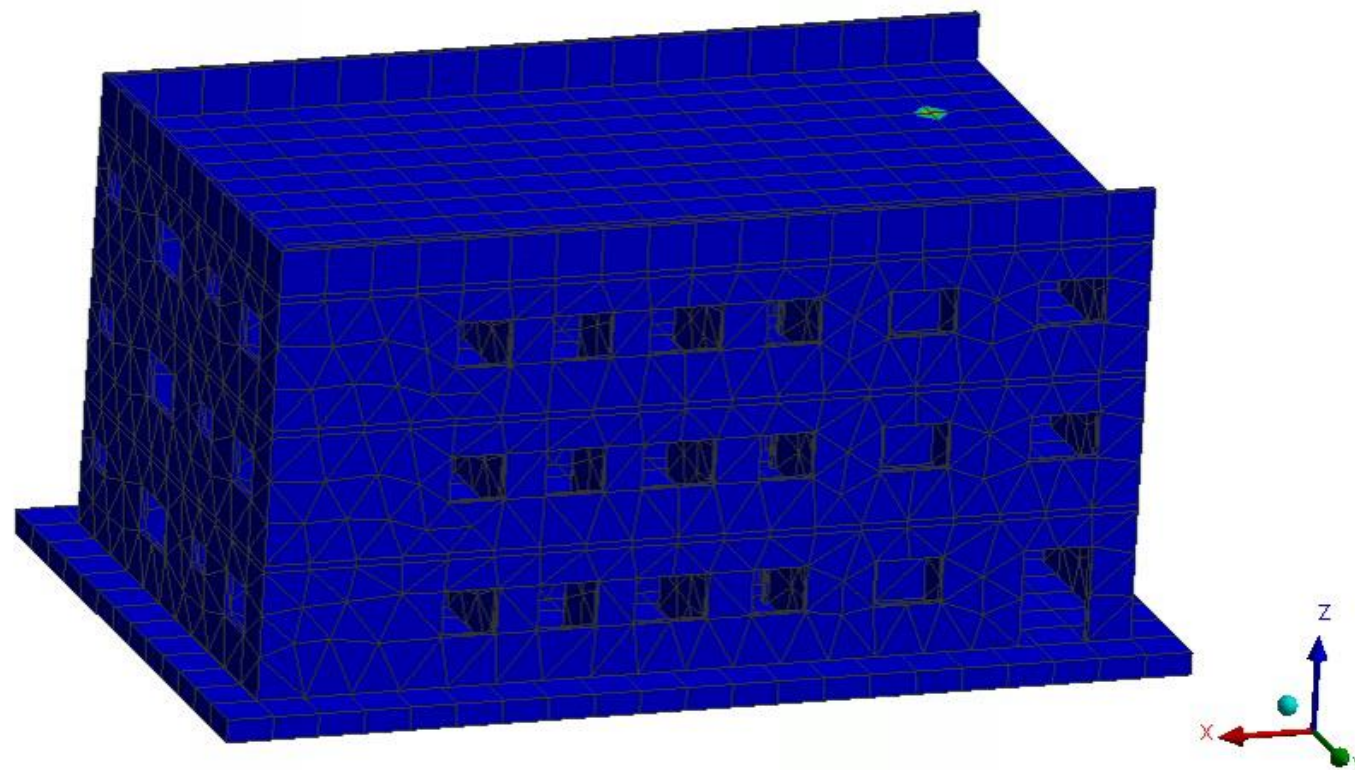
## Resultados da pesquisa

### Intensidade das tensões

**A: Static Structural**  
Stress Intensity  
Type: Stress Intensity  
Unit: Pa  
Time: 2,5641e-002  
20/06/2021 13:20



0,69 MPa

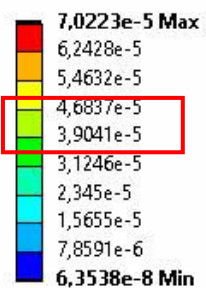


# Desempenho estrutural

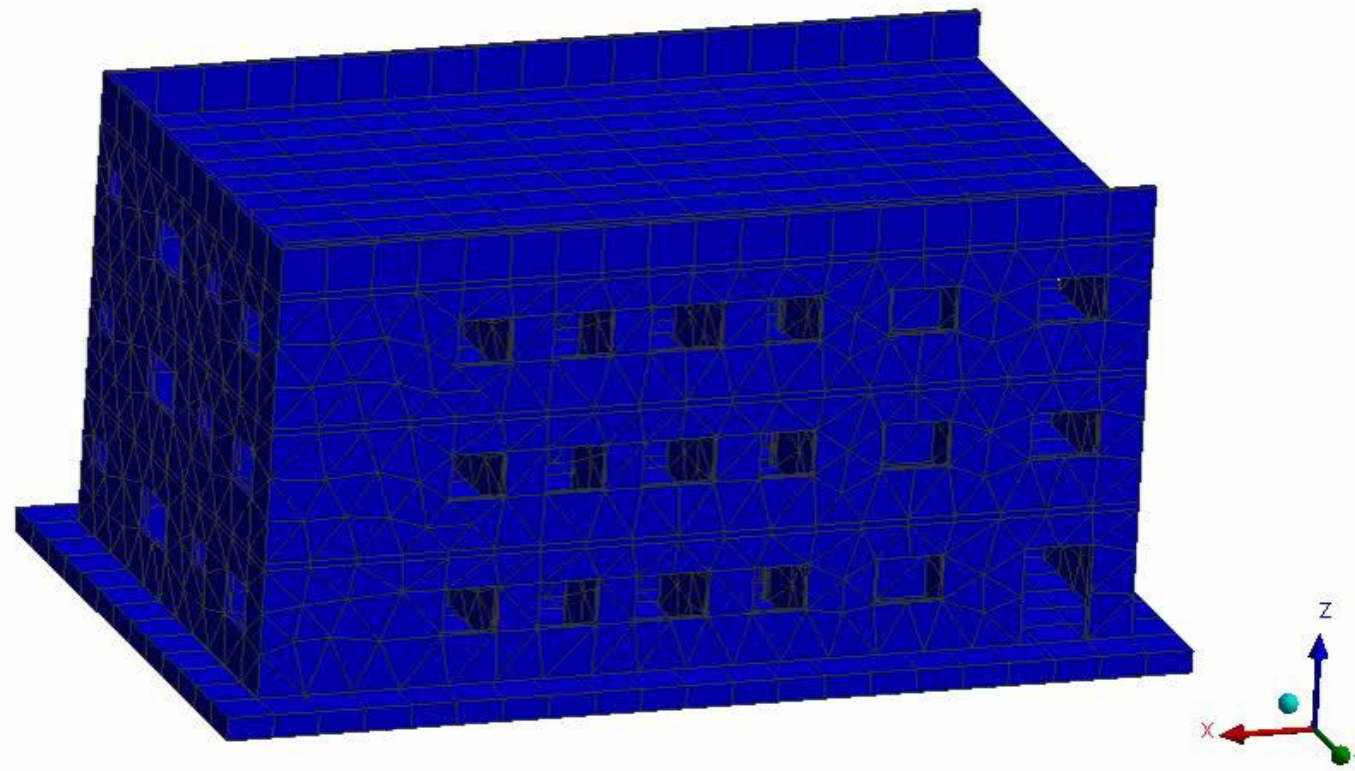
## Resultados da pesquisa

### Intensidade das deformações elásticas

**A: Static Structural**  
Elastic Strain Intensity  
Type: Elastic Strain Intensity  
Unit: m/m  
Time: 0  
20/06/2021 13:22



0,47 mm/m



# Desempenho estrutural

## Resultados da pesquisa

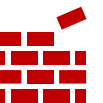
Descrição	Valor máximo admitido	Valor máximo obtido na simulação
Tensões máximas nas paredes	7,65 MPa	0,69 MPa
Deslocamentos máximos	1,38 mm (L/800, segundo NBR 15575-2)	0,31 mm

**9,2%**

da tensão máxima resistente

**22,5%**

da deformação máxima admitida



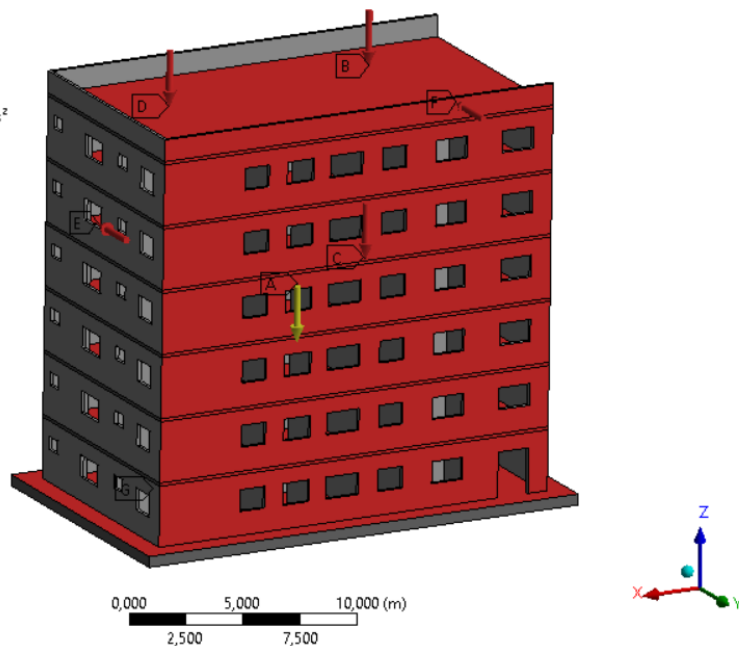
# Desempenho estrutural

## Resultados da pesquisa

### Estrutura estática

A: Static Structural  
Static Structural  
Time: 2, s  
20/06/2021 14:25

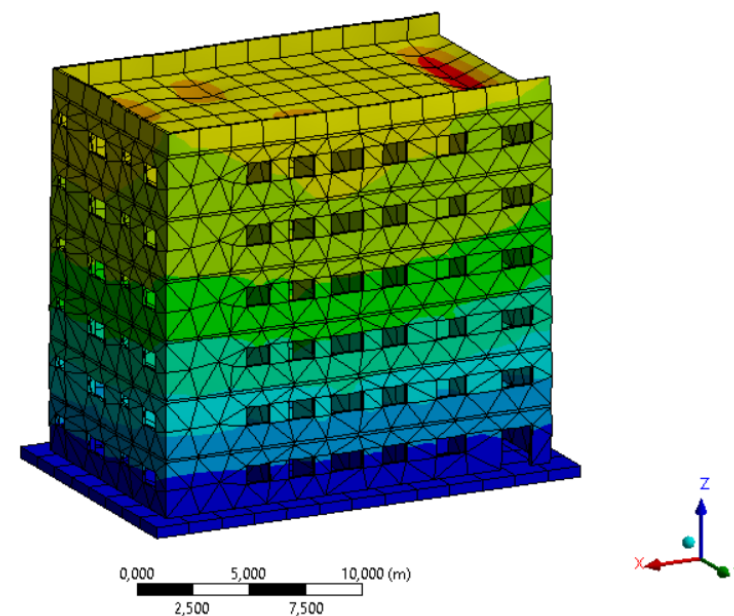
- A Gravidade terrestre padrão: 9,8066 m/s<sup>2</sup>
- B CV - Edifícios residenciais: 2438,7 Pa
- C CP - Revestimento de pisos: 1400, Pa
- D CP - Telhado de fibrocimento: 560, Pa
- E CV - Vento Sucção: 949,91 Pa
- F CV - Carga de ventos: 1266,5 Pa
- G Fuporte fixo



### Deslocamentos totais

A: Static Structural  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: m  
Time: 2  
20/06/2021 14:26

- 0,0009501 Max
  - 0,00084454
  - 0,00073897
  - 0,00063334
  - 0,00052784
  - 0,00042227
  - 0,0003167
  - 0,00021113
  - 0,00010557
  - 0 Min
- 0,74 mm

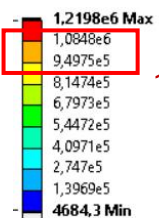


# Desempenho estrutural

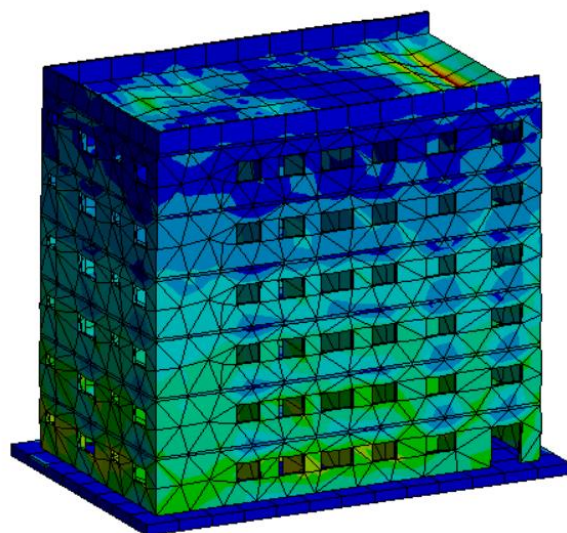
## Resultados da pesquisa

### Intensidade das tensões

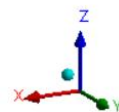
A: Static Structural  
Stress Intensity  
Type: Stress Intensity  
Unit: Pa  
Time: 2  
20/06/2021 14:27



1,08 MPa

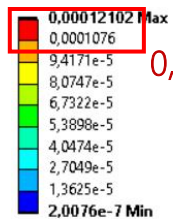


0,000 5,000 10,000 (m)  
2,500 7,500

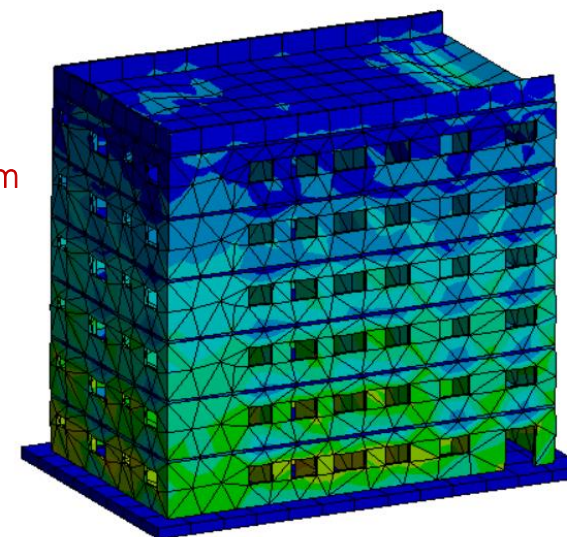


### Intensidade das deformações elásticas

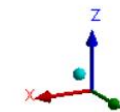
A: Static Structural  
Elastic Strain Intensity  
Type: Elastic Strain Intensity  
Unit: m/m  
Time: 2  
20/06/2021 14:28



0,12 mm/m



0,000 5,000 10,000 (m)  
2,500 7,500



# Desempenho estrutural

Resultados da pesquisa (6 pavimentos)

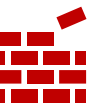
Descrição	Valor máximo admitido	Valor máximo obtido na simulação
Tensões máximas nas paredes para 6 pavimentos	7,65 MPa	1,08 MPa
Deslocamentos máximos para 6 pavimentos	1,38 mm (L/800, segundo NBR 15575-2)	0,74 mm

14,1%

da tensão máxima resistente

53,6%

da deformação máxima admitida





# Desempenho estrutural

## Resultados da pesquisa

9,2%

da tensão máxima resistente  
considerando 3 pavimentos

14,1%

da tensão máxima resistente  
considerando 6 pavimentos

Resistência à  
compressão da  
argamassa (MPa)

25

15

5

Resistência equivalente  
do sistema (MPa)

10,7

6,4

2,1

Resistência equivalente  
do sistema minorada  
(MPa)

7,6

4,6

1,5

Representatividade da  
tensão resistente  
(3 pavimentos)

9,2%

15,0%

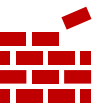
45,1%

Representatividade da  
tensão resistente  
(6 pavimentos)

14,1%

26,6%

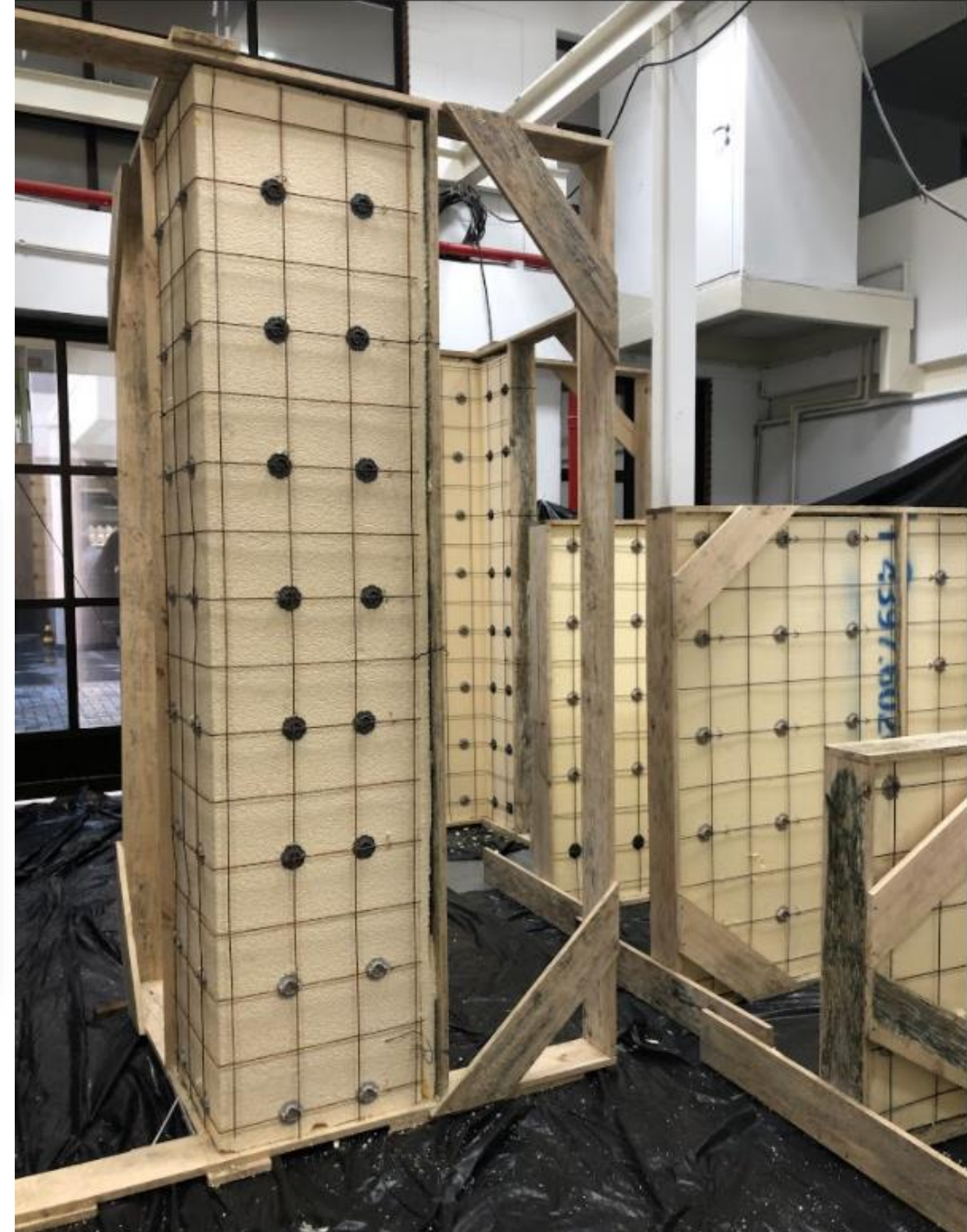
79,7%



# Painéis monolíticos de EPS

Ensaio laboratoriais

## 1 | Recebimento e preparo dos painéis



# Painéis monolíticos de EPS

Ensaio laboratoriais

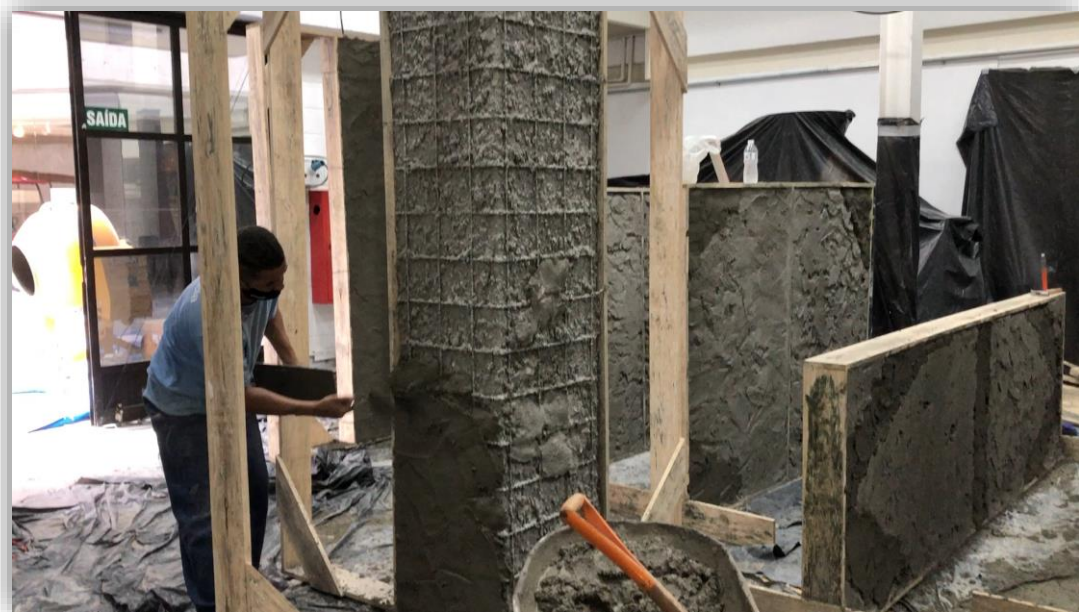
2 | Projeção de argamassa



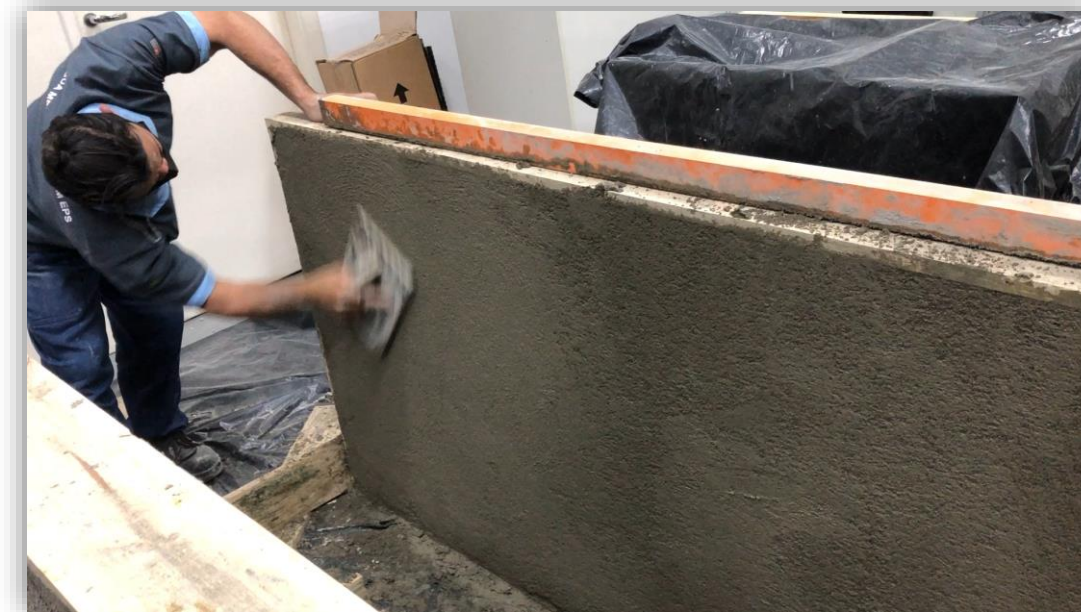
# Painéis monolíticos de EPS

Ensaio laboratoriais

3 | Segunda etapa de revestimento



4 | Acabamento final



# Painéis monolíticos de EPS

Ensaio laboratoriais

5 | Controle tecnológico e desforma



# Painéis monolíticos de EPS

Ensaio laboratoriais

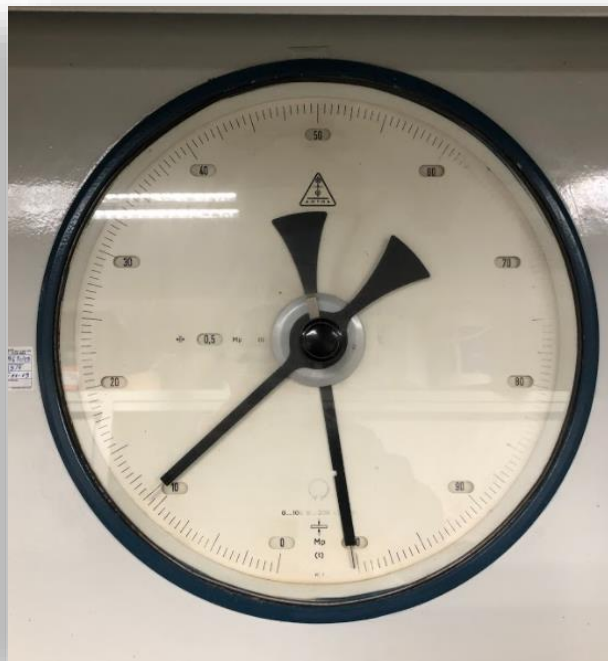
6 | Movimentação dos corpos de prova



# Painéis monolíticos de EPS

Ensaio laboratoriais

7 | Ensaio de resistência à tração na flexão



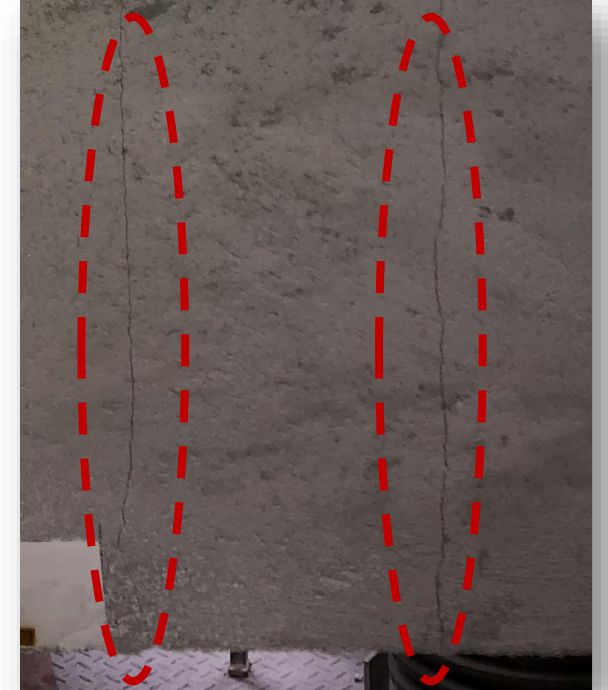
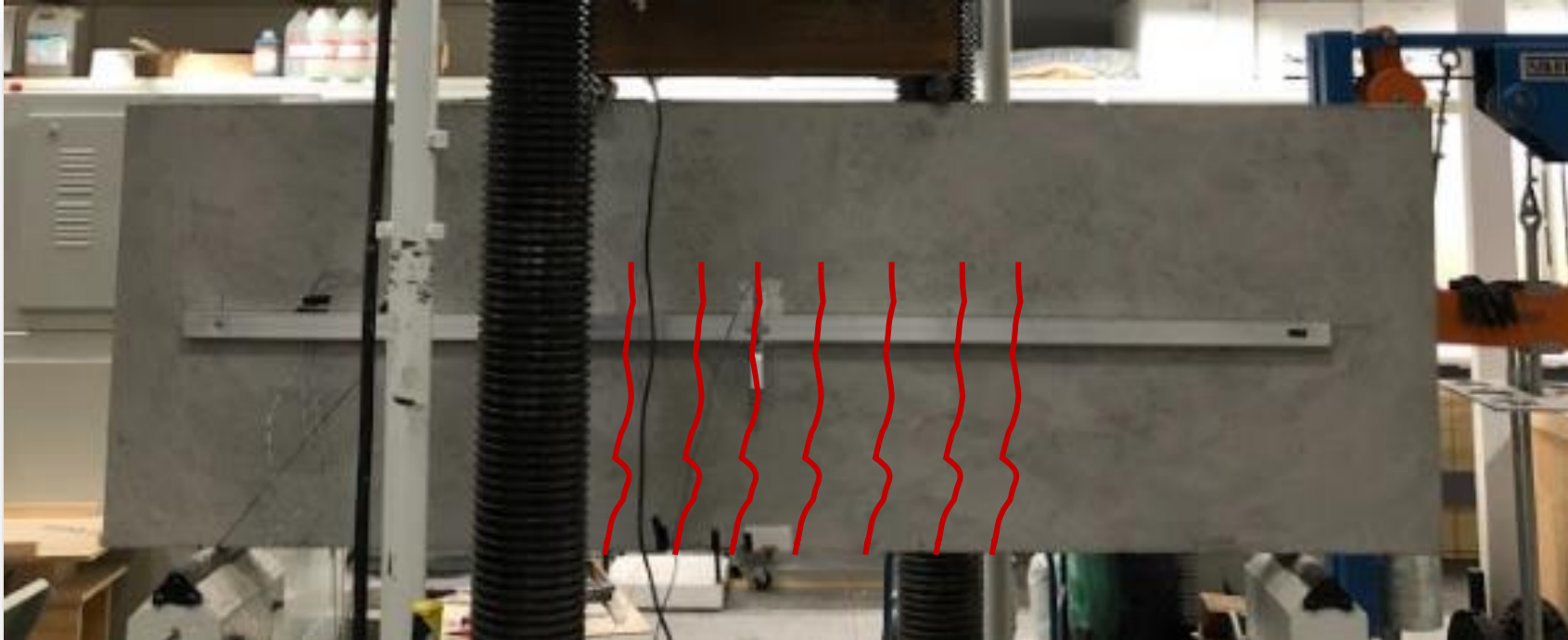
10 toneladas



---

# Painéis monolíticos de EPS

Ensaio laboratoriais





# Painéis monolíticos de EPS

Ensaio laboratoriais

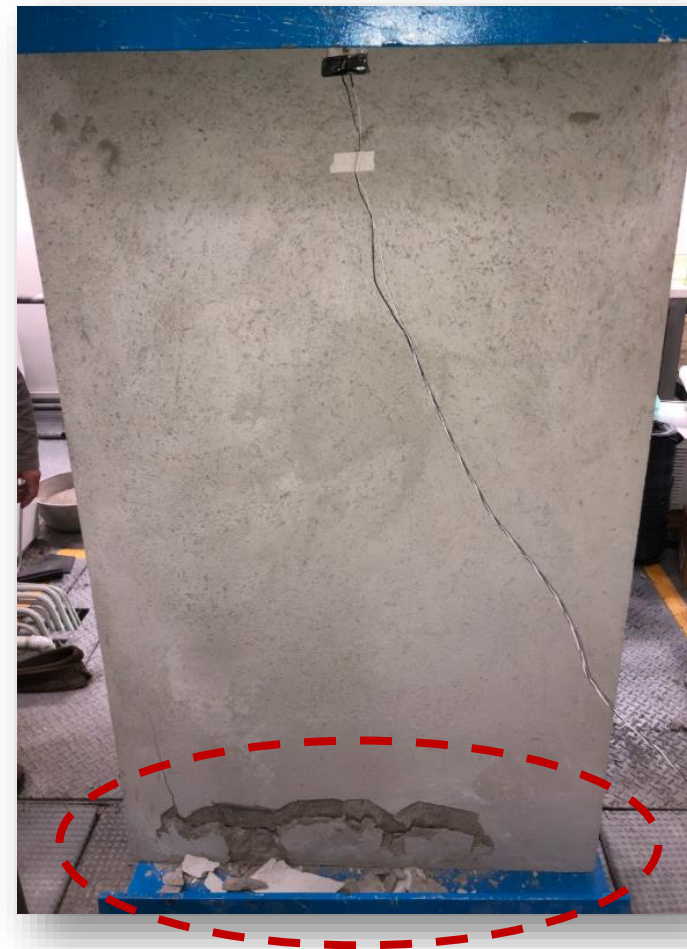
8 | Ensaio de resistência à compressão



20 toneladas

# Painéis monolíticos de EPS

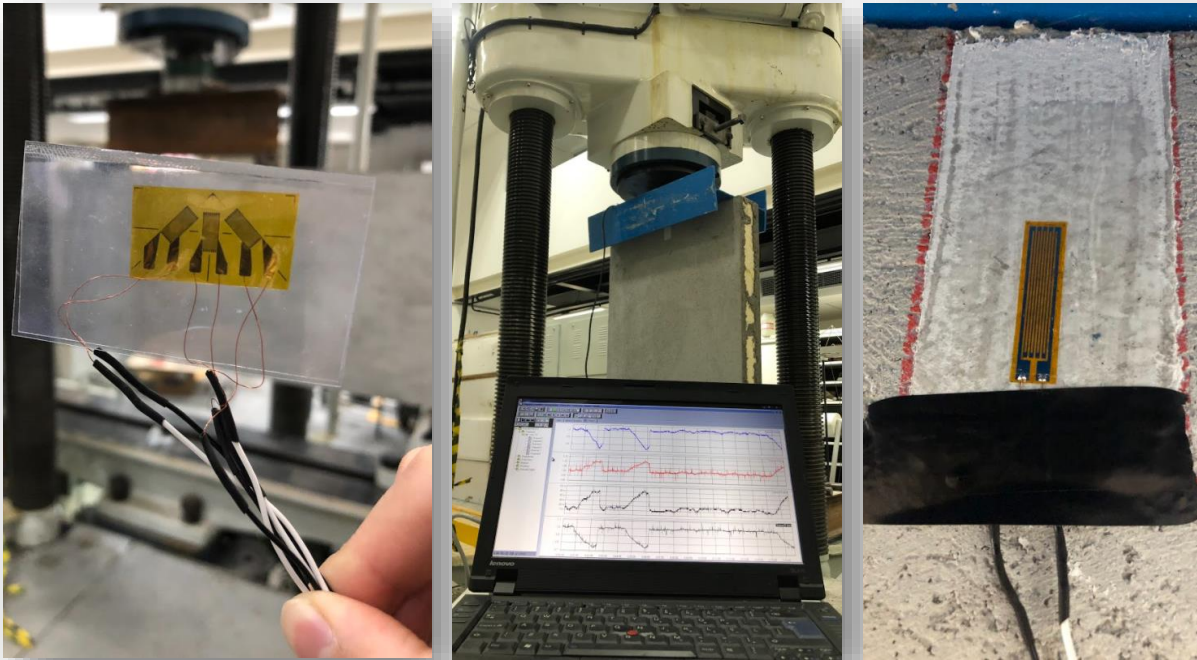
Ensaio laboratoriais



# Painéis monolíticos de EPS

Ensaio laboratoriais

## 9 | Monitoramento de deformações e deslocamentos



# Painéis monolíticos de EPS

Resultados preliminares dos ensaios laboratoriais

Descrição	Carregamentos últimos	Suporte de carregamento
Tração com 4 pontos	10 t	2,07 MPa
Compressão	20 t	15.873 kg/m <sup>1</sup>



# Painéis monolíticos de EPS

## Ensaio laboratoriais

Descrição	Massa total (kg)
Lajes do tipo	73.307,14
Paredes do tipo	58.190,71
Tipo = lajes + paredes	<b>131.497,85</b>

Tipologia	Suporte de carregamento(kg/m <sup>1</sup> )
Térreo + 2 (169 m)	2.333,86
Térreo + 5 (169 m)	4.668,56

**15.873 kg/m<sup>1</sup>**

suporte do sistema

**29,41%**

do suporte máximo obtido em laboratório



# Análises de desempenho dos painéis de EPS

## Resumo dos resultados



### Desempenho térmico

Nível de desempenho térmico superior (NBR 15575-1)



### Análise financeira

Redução de 7% no custo total da obra



### Desempenho sustentável

Redução de 28% na emissão total de CO<sub>2</sub>



### Análise de produtividade

Metade do tempo gasto para executar as paredes estruturais



### Desempenho estrutural

Redução de 40% no peso próprio do sistema de vedação

Resistência suficiente para mais que 2 pavimentos





# Agradecimentos



---

# Painéis de poliestireno expandido (EPS) revestidos com argamassa armada: Avaliação de desempenho

Trabalho de Conclusão de Curso  
Engenharia Civil  
Junho de 2021



Letícia Batista Araújo de Lima  
Matheus Nunes Moreira  
Rodolfo Cervelle Santos  
Thomas Hideki Kuninari

Prof. Ms. Fabiola Rago Beltrame