

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JORDANA DE CASTRO ROSA

**DESCRIÇÃO DO PROCESSO CONSTRUTIVO DE RESIDÊNCIAS
UTILIZANDO PAINÉIS AUTOPORTANTES DE EPS**

Goiânia, GO
2021

Jordana de Castro Rosa

**DESCRIÇÃO DO PROCESSO CONSTRUTIVO DE RESIDÊNCIAS UTILIZANDO
PAINÉIS AUTOPORTANTES DE EPS**

Monografia para conclusão do Curso de
Graduação em Engenharia Civil, da
Coordenação da Área De Construção Civil
no Instituto Federal de Educação, Ciências e
Tecnologia de Goiás – IFG

Orientador: Prof.º Me Ricardo de Alcântara
Ferreira

Goiânia, GO
2021

R7101d Rosa, Jordana de Castro.
Descrição do processo construtivo de residências utilizando painéis autoportantes de EPS /
Rosa, Jordana de Castro. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás, 2021.
69 f. : il.

Orientador: Prof. Me Ricardo de Alcântara Ferreira.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Engenharia Civil,
Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás.

1. Painel autoporte. 2. Poliestireno expandido. 3. Sistema monolítico. I. Ferreira, Ricardo de
Alcântara (orientador). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.
III. Título.

CDD 668.4233

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Jordana de Castro Rosa

Matrícula: 20161011050150

Título do Trabalho: Descrição do processo construtivo de residências utilizando painéis autoportantes de EPS

Autorização - Marque uma das opções

1. (x) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

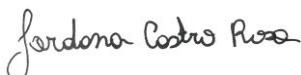
Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.



Goiânia, 14/ 04/2021.

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Jordana de Castro Rosa

**DESCRIÇÃO DO PROCESSO CONSTRUTIVO DE RESIDÊNCIAS UTILIZANDO
PAINÉIS AUTOPORTANTES DE EPS**

Monografia para conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Coordenação da Área De Construção Civil no Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Goiás – IFG

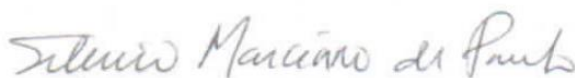
Aprovado em 19 de abril de 2021



Prof. ° Ms. Eng. Civil Ricardo de Alcântara Ferreira



Prof. ° Ms. Eng. Civil Humberto Rodrigues Mariano



Prof. ° Ms. Eng. Civil Silênio Marciano de Paulo

Goiânia, GO
2021

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus que me deu essa oportunidade de estar aqui próximo a concluir um sonho, aos meus pais que sempre estiveram como apoiadores e incentivadores, servindo como exemplos de pessoas éticas, dedicadas e esforçadas, bem como aos meus professores que me auxiliaram durante o decorrer da produção deste trabalho.

EPÍGRAFE

“Aprender é a única coisa de
que a mente nunca se
cansa, nunca tem medo e
nunca se arrepende.”

(Leonardo da Vinci)

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Ricardo de Alcântara Ferreira, pelo aprendizado e empenho. Ele que com tanto carinho e dedicação se dispôs a me mostrar o caminho para mais essa aprovação em minha vida.

A todos os professores do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Goiás que me ajudaram a estender meus conhecimentos.

À empresa HN Engenharia que me recebeu e colaborou para a realização da pesquisa, abrindo as portas de suas obras para serem estudo de caso para a realização deste trabalho.

RESUMO

DESCRIÇÃO DO PROCESSO CONSTRUTIVO DE RESIDÊNCIAS UTILIZANDO PAINÉIS AUTOPORTANTES DE EPS

AUTOR: Jordana de Castro Rosa
ORIENTADOR: Ricardo de Alcântara Ferreira

ROSA, Jordana Castro. Descrição do processo construtivo de residências utilizando painéis autoportantes de EPS. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil da Coordenação da Área de Construção Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Goiás – IFG, Goiânia.

Este trabalho aborda as dificuldades de se modernizar a construção civil a fim de combater o elevado déficit habitacional brasileiro. Devido a necessidade de apresentar soluções viáveis e inovadoras para o mercado de construções, tem-se a apresentação do sistema construtivo utilizando painéis monolíticos de poliestireno expandido (EPS) e a descrição detalhada do método utilizando painéis autoportantes de EPS, propondo a substituição do sistema tradicional de vedação com alvenaria tradicional de tijolos cerâmicos e dos projetos estruturais de vigas e pilares. Ademais, tem-se a abordagem das vantagens e desvantagens do emprego do EPS e também o estudo de casos, uma obra realizada a partir desse método localizada no interior de Goiás, na cidade de Jataí.

Palavras-chave: painel autoportante; EPS; sistema monolítico; poliestireno expandido; isopor; painel autoportante.

ABSTRAT

DESCRIPTION OF THE BUILDING PROCESS OF RESIDENCES USING SELF-SUPPORTING EPS PANELS

AUTHOR: Jordana de Castro Rosa
ADVISOR: Ricardo de Alcântara Ferreira

ROSA, Jordana Castro. Description of constructive process of residences using EPS panels. Completion of Course Work - (Graduation of Civil Engineering from the coordination of Area of Civil Construction) - Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Goiás – IFG, Goiânia.

This work addressed the difficulties of modernizing civil construction in order to combat the high Brazilian housing deficit. Due to the need to present viable and innovative solutions for the construction market, there is a presentation of the construction system using monolithic panels of Electric Power Steering and (EPS) and a detailed description of the method using self-supporting EPS panels, proposing the replacement of the traditional masonry sealing system traditional design of ceramic bricks and structural designs of beams and pillars. In addition, there is an approach to the advantages and disadvantages of using EPS and also a case studies, a work carried out using the method, located in the interior of state Goiás, Jataí city.

Keywords: self-supporting panel; EPS; monolithic system; expanded polystyrene; polystyrene.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - DÉFICIT HABITACIONAL RELATIVO NO BRASIL	13
FIGURA 2 - DEFICIT HABITACIONAL RELATIVO POR UNIDADE FEDERATIVA.....	14
FIGURA 3 - COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS AUTOPORTANTES DE EPS.....	19
FIGURA 4 - MALHAS DE AÇO E OS CONECTORES HORIZONTAIS ENTRE AS 2 MALHAS.....	20
FIGURA 5 - CORTE TÍPICO DOS PAINÉIS DE PAREDE COM 120MM E 150MM DE ESPESSURA	20
FIGURA 6 - PANÉIS BÁSICO, DUPLO E CURVO.....	21
FIGURA 7 - BLOCOS DE ESCADA	22
FIGURA 8 - PAINEL DE LAJE E DE BASE	22
FIGURA 9 - CANALETA DE ISOPOR	23
FIGURA 10 - CAVIDADES NO PAINEL EPS REVESTIDO COM MALHA DE AÇO	23
FIGURA 11 - ESTUDO DE CASO – OBRA EM JATAÍ	25
FIGURA 12 - ARMAZENAMENTO DOS PAINÉIS.....	26
FIGURA 13 - IMPERMEABILIZAÇÃO DE BALDRAME COM LONA	28
FIGURA 14 - GRAMPEADOR PARA GRAMPOS DE AÇO PARA AMARRAÇÃO DOS PAINÉIS NOS ARRANQUES	29
FIGURA 15 - DETALHE DAS BARRAS INICIAIS.....	30
FIGURA 16 – MONTAGE DOS PAINÉIS – OBRA EM JATAÍ	30
FIGURA 17 - DETALHE DAS RÉGUAS E ESCORAS.....	31
FIGURA 18 - DETALHE RÉGUAS E ESCORAS – OBRA EM JATAÍ	31
FIGURA 19 - TIPOS DE REFORÇOS DE PAINÉIS.....	32
FIGURA 20 - DETALHE DOS REFORÇOS DOS PAINÉIS.....	33
FIGURA 21 - REFORÇO ENTRE PAINÉIS – OBRA EM JATAÍ.....	33
FIGURA 22 – ABERTURA DE CANELETAS COM SOPRADOR TÉRMICO	34
FIGURA 23 - MONTAGEM DOS SISTEMAS NA PAREDE DE EPS.....	35
FIGURA 24 - SISTEMAS NA PAREDE DE EPS.....	35
FIGURA 25 - MONTAGENS E INSTALAÇÕES DOS PAINÉIS – OBRA EM JATAÍ.....	36
FIGURA 26 - REVESTIMENTO SOBRE PAINEL EPS	37
FIGURA 27 - REVESTIMENTO – OBRA EM JATAÍ.....	38
FIGURA 28 - REVESTIMENTO – OBRA EM JATAÍ.....	38
FIGURA 29 – ENCHIMENTO DE ISOPOR EM LAJE AGUARDANDO CONCRETAGEM	39
FIGURA 30 – LAJE CONFECCIONADA POR VIAGOTAS DE CONCRETO.....	40
FIGURA 31 - LAJE TRELIÇADA UNIDIRECIONAL DE EPS.....	40
FIGURA 32 – LAJE INCLINADA	41
FIGURA 33 - LAJE FÁCIL.....	41
FIGURA 34 - VISTA ISOMÉTRICA E SEÇÃO TRANSVERSAL TÍPICA	45
FIGURA 35 - PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE PEQUENA ESCALA	48
FIGURA 36 - TESTES REALIZADOS	48
FIGURA 37 - SEÇÕES LONGITUDINAIS E TRANSVERSAIS PAINEL DELGADO.....	49
FIGURA 38 - FALHA TÍPICA DO PAINEL.....	50
FIGURA 39 - GRÁFICO DO TEMPO DE RESISTÊNCIA AO FOGO	57
FIGURA 40 - PROCESSO MECÂNICO DE RECICLAGEM DO EPS RESIDUAL	60
FIGURA 41 - MÃO DE OBRA ESPECIALIZADA.....	62
FIGURA 42 - AMARRAÇÃO ENTRE PAINÉIS	63
FIGURA 43 - MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA - RACHADURAS COMUNS NO PÓS OBRA.	63

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DO EPS	18
QUADRO 2 - ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA CONSTRUTIVO MONOFORTE.....	44
QUADRO 3 - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO SONORO REALIZADA EM CAMPO.....	45
QUADRO 4 - CARACTERÍSTICAS DOS PAINÉIS DE PEQUENA ESCALA.....	47
QUADRO 5 - PRINCIPAIS PROPRIEDADES DO EPS E DO AÇO DE REFORÇO USADO EM PAINÉIS.....	48
QUADRO 6 - RESULTADO ESPERIMENTAL PARA PAINÉIS ESBELTOS	50
QUADRO 7 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS E TEÓRICOS PARA PAINÉIS DE PEQUENA ESCALA	53
QUADRO 8 - AMOSTRAS DE MONTAGEM DE PAREDE	57
QUADRO 9 - VANTAGENS DO SISTEMA EPS E CARACTERÍSTICAS SUSTENTÁVEIS	59

SUMÁRIO

1	CAPÍTULO 1	13
1.1	INTRODUÇÃO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
1.2	OBJETIVOS	15
1.3	LIMITAÇÕES.....	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	CAPÍTULO 2	16
2.1	POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS).....	16
2.1.1	<i>Tipos de EPS</i>	17
2.1.3	<i>Propriedades mecânicas</i>	18
2.2	PAINÉIS AUTOPORTANTES DE EPS.....	18
2.2.1	<i>Tipos de painel</i>	21
3	CAPÍTULO 3	24
3.1	ESTUDO DE CASO	24
3.2	METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO	25
3.2.1	<i>Transporte e armazenamento dos painéis</i>	25
3.2.2	<i>Fundação</i>	26
3.2.3	<i>Montagem dos painéis</i>	29
3.2.4	<i>Ligação painel/painel</i>	32
3.2.5	<i>Instalações elétricas e hidráulicas</i>	34
3.2.6	<i>Revestimento e acabamento</i>	37
3.2.7	<i>Montagem da laje</i>	39
3.3	ADAPTAÇÃO COM OUTROS SISTEMAS	42
4	CAPÍTULO 4	42
4.1	ANÁLISE DO DESEMPENHO MONOFORTE CONFORME NBR 15575.....	42
4.2	ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	44
4.2.1	<i>Programa experimental</i>	45
4.2.1.1	<i>Painéis de pequena escala</i>	45
4.2.1.2	<i>Painéis esbeltos</i>	49
4.2.2	<i>Resultados e análises</i>	50
4.2.2.1	<i>Painéis de pequena escala</i>	50
4.2.2.2	<i>Painéis esbeltos</i>	53
4.3	OBSERVAÇÕES E RESULTADOS DOS TESTES.....	54
4.3	ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À INCÊNCIOS	55
5	CAPÍTULO 5	58
5.1	VANTAGENS DO EMPREGO DO EPS	58
5.1.1	<i>Reciclagem</i>	59
5.1.2	<i>Redução do desperdício de material</i>	60
5.1.3	<i>Energia incorporada</i>	61
5.2	DESVANTAGENS DO EMPREGO DO EPS	61
6	CONCLUSÃO	64
7	REFERÊNCIAS	65

1 CAPÍTULO 1

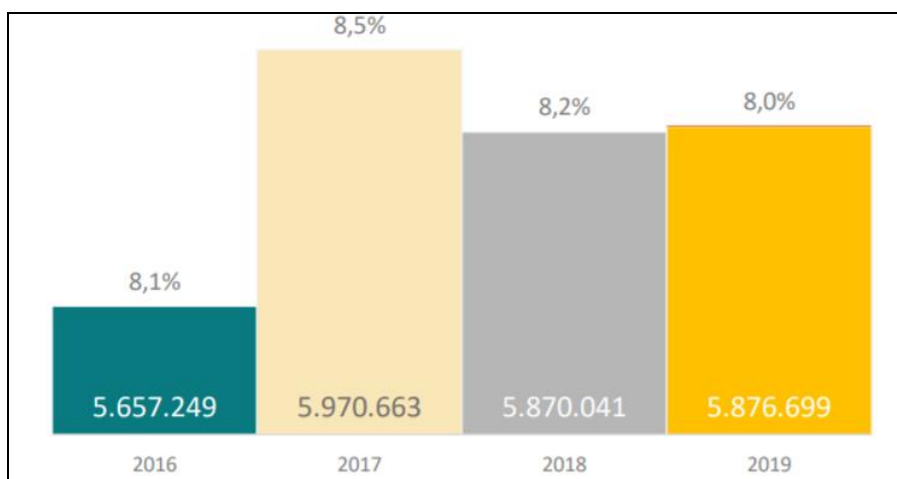
1.1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população brasileira deve gerar uma demanda para mais 30,7 milhões de novos domicílios até 2030. Isso é o que mostra o estudo realizado pelo economista Robson Gonçalves, professor da Fundação Getúlio Vargas (FGV) a pedido da Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias (Abrainc). Essas projeções foram geradas a partir de dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Desses 30,7 milhões de moradias necessárias para atender a demanda que vai surgir a partir do crescimento demográfico na próxima década, 14,4 milhões (46,9%) estarão concentrados na população com renda média, entre três e dez salários mínimos. A segunda maior demanda - 13,0 milhões (42,3%) - virá da população de baixa renda, que recebe até três salários mínimos. Já a menor demanda - 3,3 milhões (10,7%) - terá origem no extrato social mais rico, com famílias que ganham mais de 10 salários mínimos.

A Figura 1 apresenta o gráfico da Fundação João Pinheiros (FJP), referente ao déficit habitacional brasileiro relativo aos anos de 2016 a 2019:

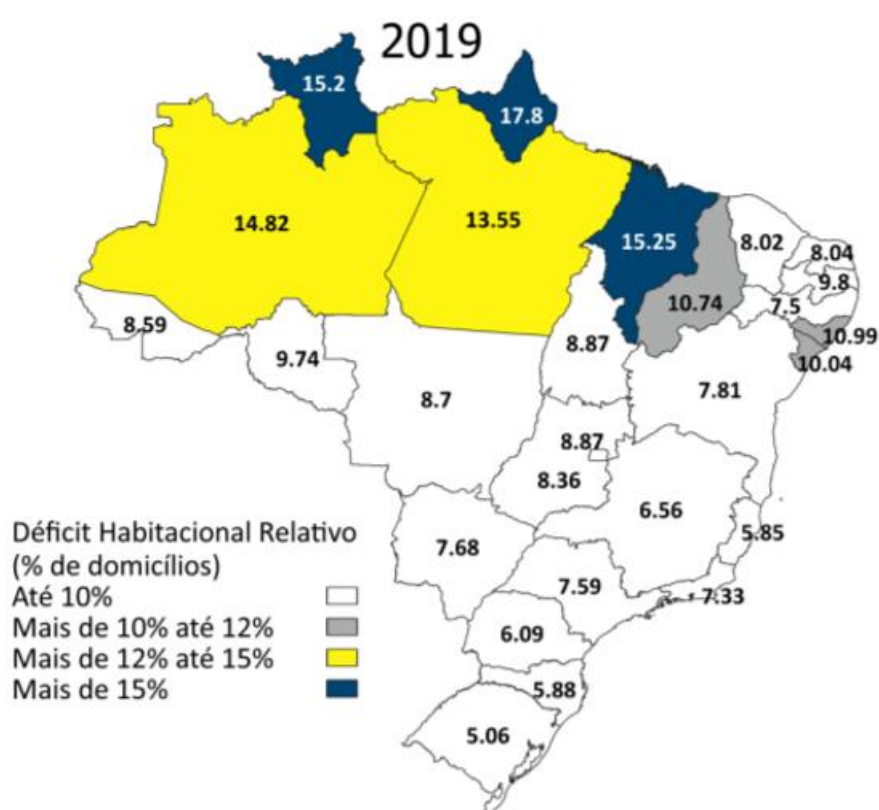
Figura 1 - Déficit habitacional relativo no Brasil



Fonte: Fundação João Pinheiro, 2021

A maior demanda por habitações no Brasil se encontra nas regiões Norte e Nordeste. Todavia, o centro-oeste, assim como o estado de Goiás não estão com o déficit habitacional sanado, ao contrário, o valor ainda é elevado e a tendência é aumentar com o crescimento da população e as crises econômicas sofridas nos últimos anos. A Fundação João Pinheiro, a partir de estudo realizado por unidade federativa, elaborou o seguinte mapa ilustrado na Figura 2:

Figura 2 - Déficit habitacional relativo por unidade federativa



Fonte: Fundação João Pinheiro, 2021

Em 2019, Goiás apresentou 8,46% de déficit habitacional relativo, conforme apresentado pela FJP. Esta escassez de moradias juntamente com a falta de recursos financeiros, impõem a urgência da criação de novos processos construtivos, mais econômicos e eficientes.

A busca contínua de racionalização e otimização dos processos, que é a base da qualidade total dos meios de produção, insere o Brasil numa tendência mundial de industrialização da construção civil, com a consequente redução da

produção de itens e serviços nos canteiros de obra, utilizando-se de materiais pré-fabricados e/ou prontos para montagem, como alternativa para diminuição de desperdícios e custos, combinados ao aumento de produtividade e qualidade final da habitação. Com esse intuito de inovar e desenvolver novas técnicas para suprir as necessidades e proporcionar melhores condições de vida e moradia para a sociedade, o método construtivo com utilização de painéis autoportantes de EPS, caracterizado pela rapidez na execução, é alternativa para o desenvolvimento tecnológico que propõe maior produtividade e racionalização na construção civil.

1.2 OBJETIVOS

- Aumento da velocidade de produção residencial;
- Diminuição do desperdício de materiais;
- Diminuição do consumo de mão-de-obra;
- Racionalização da produção;
- Uniformização do produto;
- Aumento do nível de organização do trabalho;
- Aumento da qualidade e desempenho do produto;
- Melhorias no conforto termoacústico;
- Diminuição do consumo de água e energia;
- Diminuição de manifestações patológicas.

1.3 LIMITAÇÕES

- Pouco material didático e pesquisas disponíveis relacionados ao tema;
- Carência de profissionais inteirados no método;
- Poucas edificações construídas com painéis monolíticos de EPS na composição das paredes da edificação;
- Ausência de normatização nacional específica para o método construtivo.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

De maneira geral a pesquisa possui a seguinte estrutura:

- Capítulo 1 – Introdução, objetivos e limitações;
- Capítulo 2 – Poliestireno Expandido (EPS), Painéis autoportantes de EPS, características
- Capítulo 3 – Metodologia de construção e estudo de caso;
- Capítulo 4 – Análises de desempenho;
- Capítulo 5 – Vantagens e desvantagens;
- Capítulo 6 – Conclusão;
- Capítulo 7 – Referências.

2 CAPÍTULO 2

2.1 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

EPS (*Electric Power Steering*) é a sigla internacional do Poliestireno Expandido de acordo com a definição da norma DIN ISO-1043/78. No Brasil, é mais conhecido como “Isopor ®”, marca registrada pela empresa Knauf. É um plástico celular rígido, derivado do petróleo através da polimerização do estireno em água, constituindo-se em uma espuma termoplástica, classificada como material rígido tenaz. No estado compacto, o poliestireno expandido é um material rígido, incolor e transparente (ALVES, 2015).

A ABRAPEX (Associação Brasileira de Poliestireno Expandido) afirma o seguinte sobre o processo de produção do EPS:

O EPS é um material plástico na forma de espuma com micro células fechadas, composto basicamente de “vazios” contendo ar, na cor branca, inodoro, reciclável, não-poluente e fisicamente estável. Com essas características, é um material isolante da melhor qualidade nas temperaturas de – 70° a 80° Celsius. Resistente, fácil de recortar, leve e durável, é o melhor material para preenchimento de rebaixos ou vazios necessários a vários processos construtivos, principalmente lajes e painéis pré-fabricados.

2.1.1 Tipos de EPS

Conforme testes realizados pela Knauf Isopor, empresa especialista em soluções no setor de embalagens, isolamento e construção civil, são fabricados sete diferentes tipos de EPS, cujas propriedades básicas estão descritas no Quadro 1.

Quadro 1 - Propriedades e características do EPS

Propriedades	Norma	Unidade	Tipos de EPS						
	Método de ensaio		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6	Tipo 7
Densidade aparente nominal	NBR 11949	Kg/m ³	10	12	14	18	22,5	27,5	32,5
Densidade aparente mínima	NBR 11949	Kg/m ³	9	11	13	16	20	25	30
Condutividade térmica máxima (23°C)	NBR 12094	W/mk	-	-	0,042	0,039	0,037	0,035	0,035
Tensão por compressão com deformação de 10%	NBR 8082	KPa	≥33	≥42	≥65	≥80	≥110	≥145	≥165
Resistência mínima à flexão	ASTM C-203	KPa	≥50	≥60	≥120	≥160	≥220	≥275	≥340
Resistência mínima ao cisalhamento	EN-12090	KPa	≥25	≥30	≥60	≥80	≥110	≥135	≥170
Flamabilidade (se material classe F)	NBR 11948	Material Retardante à chama							

Fonte: Knauf Isopor, 2018

Para os painéis monolíticos de concreto, se utilizam o tipo 7 que possui maior densidade aparente mínima e nominal, resistência mínima a flexão e à cisalhamento, além de menores valores de condutividade térmica (BARRETO, 2017).

2.1.3 Propriedades mecânicas

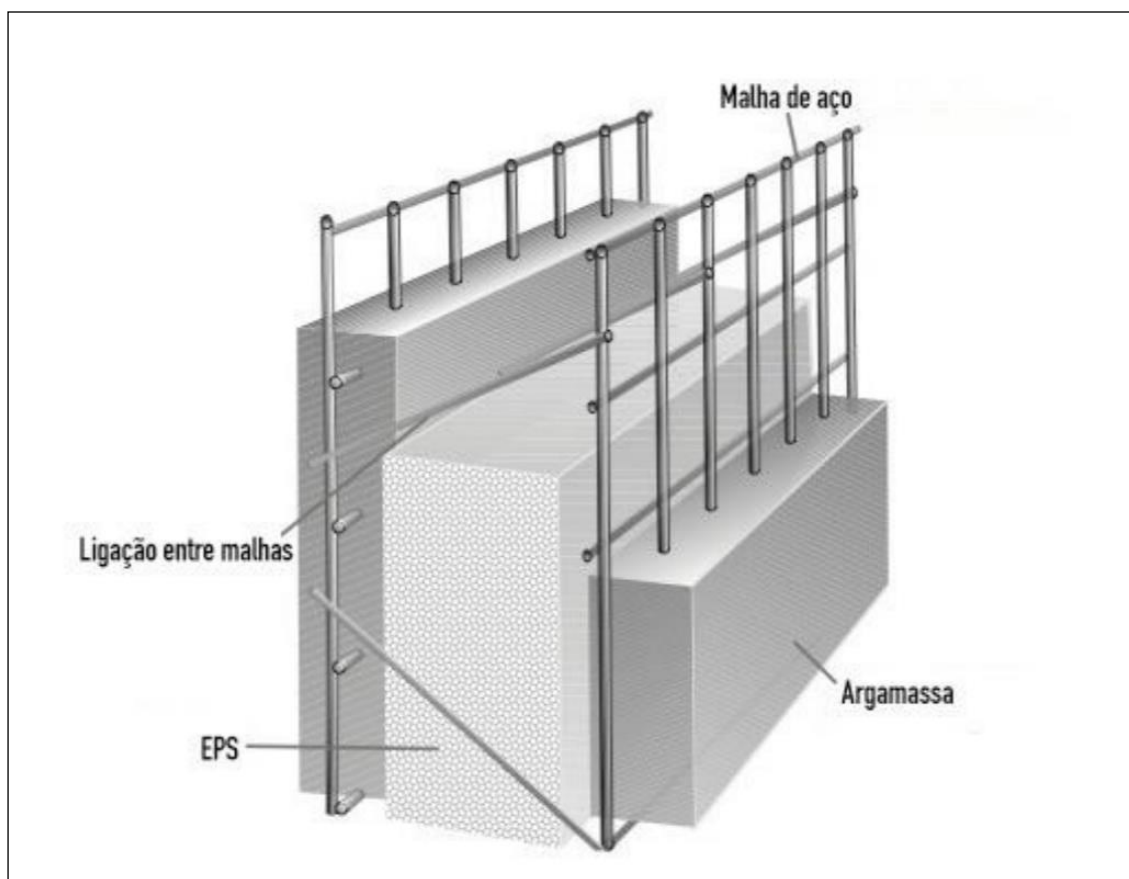
Aparentemente frágil, o poliestireno expandido é material altamente resistente à compressão, a flexão e à tração. Essas propriedades mecânicas decorrem diretamente de sua densidade, que vai de 10 kg/m³ até 46 kg/m³. É interessante observar que, mediante compressão e dependendo da densidade, a peça de EPS se retrai até certo ponto. Quando retirada a força, o material retorna a seu estado original. Porém, se a força de compressão for incompatível com a densidade do material, ocorrerá deformação permanente de parte das células, que não se rompem. Daí a importância da especificação correta para cada tipo de uso de EPS. A resistência à flexão é bastante elevada. De acordo com a *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, em obras geotécnicas, uma peça com densidade de 46 kg/m³ atinge 517 kPa, mas se tiver 12 kg/m³ a resistência será de 69 Kpa (EPS Brasil, 2020).

2.2 PAINÉIS AUTOPORTANTES DE EPS

A tecnologia construtiva é composta basicamente por um sistema integrado de painéis modulares que possuem função estrutural e de fechamento. As placas de poliestireno expandido (EPS) têm faces planas ou com baixo relevo, são monolíticas e possuem dimensões de 1,20 m de largura, espessura de 50 mm, 80 mm, 100 mm e 120 mm de espessura - a altura tem a capacidade de ser alterada no processo de fabricação. Estas são estruturadas com telas de aço baixo carbono, com fios galvanizados de 2,1 mm de diâmetro e malha 50 mm x 50 mm ou 150 mm x 50 mm, posicionadas em suas duas faces. As placas são interligadas entre si por conectores de aço médio carbono galvanizados com 2,76 mm de diâmetro, eletrosoldados às telas, formando uma treliça.

Posteriormente, no processo construtivo, recebem, em cada uma de suas faces, uma camada de microconcreto de fck 25 MPa com espessura mínima de 3,5 cm (TECHNE, 2012). A Figura 3 ilustra esse procedimento descrito acima.

Figura 3 - Composição dos painéis autoportantes de EPS



Fonte: Macrotem, 2015

As malhas utilizadas no sistema construtivo são produzidas com aço de alta resistência, com tensão última superiores a 600 MPa, com limite de escoamento, $f_yk > 600 \text{ N/mm}^2$ e limite de ruptura, $f_{tk} > 680 \text{ N/mm}^2$.

O aço utilizado poderá ser do tipo comum, zincado, galvanizado a quente e inoxidável, adequados às necessidades de aplicação e que garantam estabilidade e integridade ao longo do tempo (ALVES, 2015).

As duas telas de aço eletro soldadas de bitola entre 2,1mm a 5,0 mm e malha a partir de 5,0 cm x 5,0 cm (Figura 4), podendo variar de acordo com cada projeto, fazem um sanduíche da peça e são presas por grampos de aço (TECHNE, 2012).

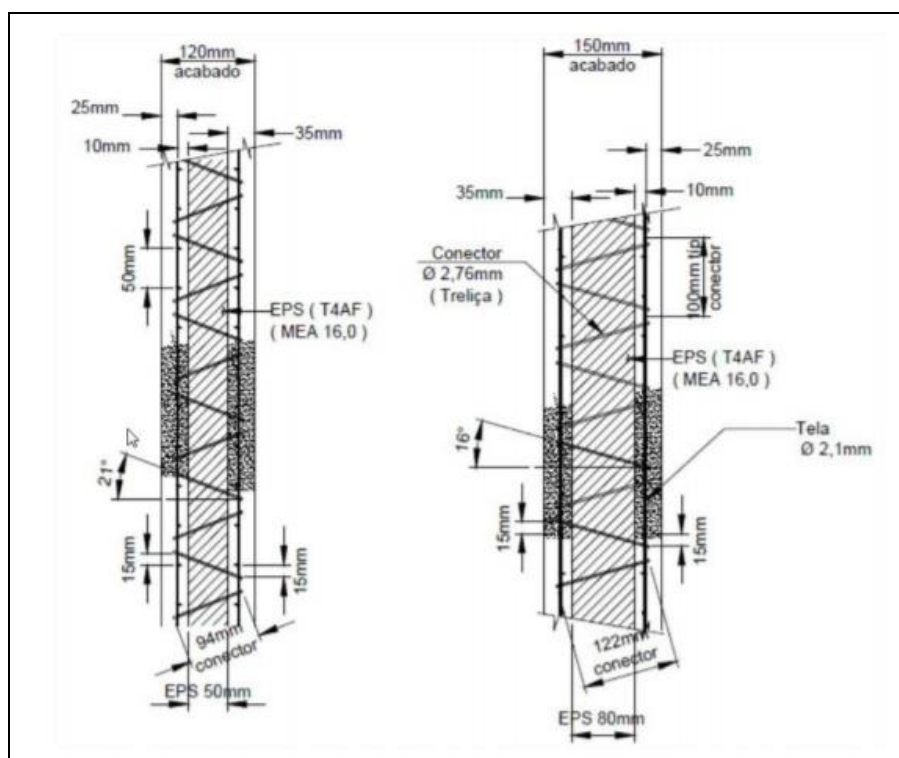
As Figuras 4 e 5 ilustram a descrição dos materiais e os procedimentos de aplicação.

Figura 4 - Malhas de aço e os conectores horizontais entre as 2 malhas



Fonte: CSIR, 2017

Figura 5 - Corte típico dos painéis de parede com 120mm e 150mm de espessura



Fonte: Termotécnica

A composição final dessa parede é bastante leve, pesando entre 2,5 kg/m² a 4,0 kg/m² (antes da aplicação da argamassa). Uma maneira de entender esses valores é relacionar as mesmas dimensões de alvenaria simples, que podem chegar a 120 kg/m² (ALVES, 2015).

2.2.1 Tipos de painel

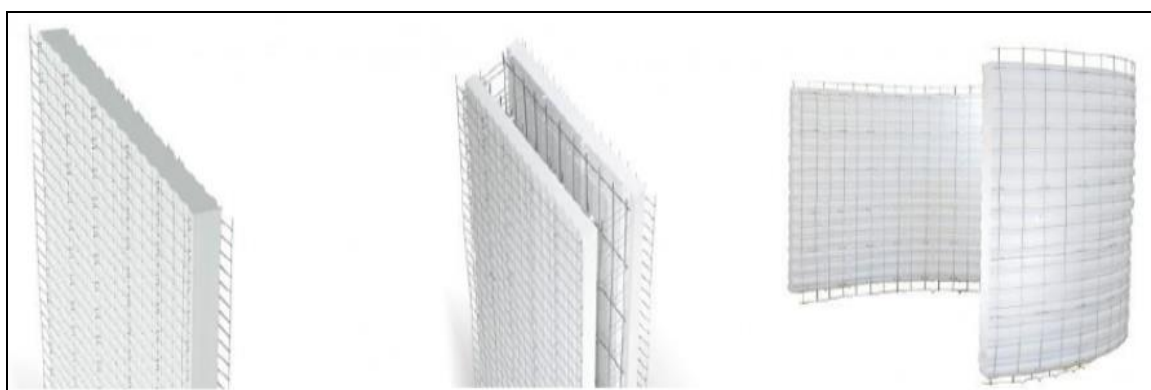
Os painéis de EPS podem ser ondulados, retangulares ou duplos (Figura 6), e sua utilização será determinada pela capacidade de se preencher as cavidades com argamassa, para que se formem micro colunas de reforço.

O componente de painel único pode ser utilizado como vedação, divisórias, coberturas e paredes estruturais para edifícios de até seis pavimentos. Os painéis duplos consistem na união de dois painéis básicos através de dois conectores horizontais criando uma cavidade interna a ser preenchida por concreto ou por com material resistente a chamas e não inflamável, como por exemplo, fibra de vidro. Também podem ser empregados para shafts de descidas de dutos de água e esgoto, colaborando na vedação e no isolamento acústico.

Os painéis curvos possuem grandes dimensões e espessuras, são fabricados de forma plana com cavidades que conferem maleabilidade, facilmente transportado e dobrado manualmente no canteiro de obras, ou por um equipamento semiautomático e pneumático. Eles permitem liberdade de criação arquitetônica, característica não comum nas construções convencionais (BARRETO, 2017).

A Figura 6 ilustra os diversos tipos de painéis descritos no texto.

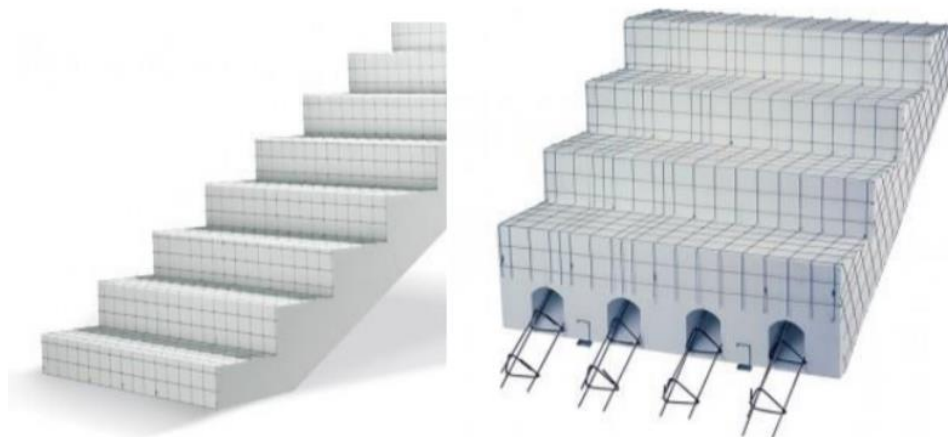
Figura 6 - Painéis básico, duplo e curvo



Fonte: M2 Emmedue, 2012

O painel para escada (Figura 7), é composto por um bloco monolítico de EPS com cavidades de espera para treliças de aço galvanizado e rodeado pela malha de ferro galvanizado. É fabricado sob medida, facilitando a execução rápida e simultânea. Assim como os componentes de vedação, posteriormente recebem camada de microconcreto e qualquer material de revestimento (BARRETO, 2017).

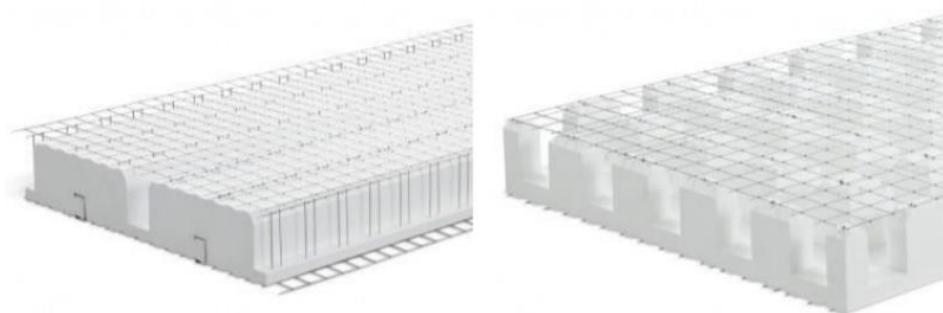
Figura 7 - Blocos de escada



Fonte: M2 Emmedue, 2012

O painel de laje é formado por uma placa de EPS (Figura 8) com calhas de espera para instalação de ferragem, as quais criam vigotas de concreto armado e pode ser utilizado para construir lajes de piso e de cobertura. O painel de base tem a particularidade de possuir calhas de espera nos dois eixos horizontais e muito próximas entre si. Este painel pode ser utilizado como base para o radier e laje de piso a ser reforçada em duas direções horizontais (BARRETO, 2017). Ambos têm sua geometria com secções em formato de “T”, para que seja possível reforçá-las com aço estrutural (COSTA, 2019).

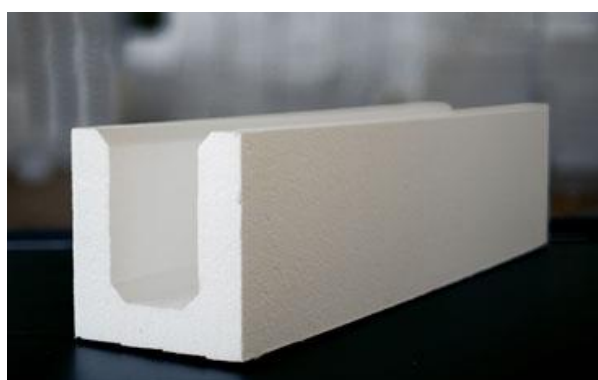
Figura 8 - Painel de laje e de base



Fonte: M2 Emmedue, 2012

As canaletas em EPS (Figura 9) são produtos que se utiliza para fazer as formas das vigas baldrame. As vantagens das Canaletas em EPS são que elas dispensam toda parte de carpintaria, mão de obra, madeira, pregos e produtos de impermeabilização, pois o nosso produto já é impermeável e reduzir custos de até 40% no final da obra, seja ela residencial, predial ou comercial. Os tamanhos das Canaletas variam de espessura e tamanho de acordo com o projeto. Atendemos todo tipo de projeto, sem limitações (Isocentro).

Figura 9 - Canaleta de isopor



Fonte: Isocentro, 2017

As formas do poliestireno expandido utilizado no painel conferem um desenho estrutural inteligente ao revestimento e sua utilização, será determinada pela capacidade de se preencher as cavidades, por onde corre o fio da malha de aço e da armadura de reforço, com argamassa, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Cavidades no painel EPS revestido com malha de aço



Fonte: BARRETO, 2017

Dessa maneira, a forma do EPS confere ao painel a característica de “micropilares”, recebendo e distribuindo as cargas uniformemente (ALVES, 2015).

Esse método permite a construção de casas com mais de um pavimento sem a necessidade de colunas ou vigas. O conceito estrutural desse sistema pode ser considerado realmente monolítico, característica de grande vantagem quanto à estabilidade da edificação como um todo, pois foi desenvolvido para distribuir de maneira uniforme as cargas sobre as fundações (ALVES 2015).

Na construção de prédios com vários pavimentos, os painéis principais de sustentação devem ser duplos, com espaço variável entre eles, conforme a altura do edifício, e serão preenchidos com concreto estrutural.

No final, o aspecto da edificação será de construção tradicional de alvenaria. O sistema monolítico pode ser empregado para executar tanto paredes como pisos e coberturas inclinadas (ALVES, 2015).

3 CAPÍTULO 3

3.1 ESTUDO DE CASO

A obra objeto desta pesquisa é uma residência unifamiliar de um único pavimento térreo em construção, localizada no perímetro urbano, em uma região residencial em desenvolvimento no interior de Goiás, na cidade de Jataí.

A edificação ocupa um lote único, em boas condições de limpeza, organização e terraplenagem, o que colaborou para o estudo e compreensão dos processos construtivos.

Na Figura 11 é apresentada uma visão geral da obra, demonstrando os diversos componentes utilizados na montagem dos painéis, de forma propiciar o entendimento do processo de construção.

Figura 11 - Estudo de Caso – Obra em Jataí



Fonte: Foto tirada pelo próprio autor

3.2 METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO

3.2.1 Transporte e armazenamento dos painéis

Os painéis utilizados na obra foram adquiridos da fabricante Isocentro, indústria que atua desde 2012 na região Centro-Oeste do Brasil, com centro de distribuição localizado nas proximidades de Goiânia.

O transporte e içamento dos painéis podem ser manuais, e os painéis devem ser armazenados na posição horizontal com pilhas de no máximo 20 painéis, em locais secos e limpos (ALVES, 2015). Para essa obra, o transporte dos painéis de Goiânia até Jataí foi realizado por caminhão toco baú de eixo simples com rodagem simples com um pneu em cada ponta e capacidade máxima para até 5 toneladas, todavia, a carga das placas, por ser leve, não exigia tanto suporte do caminhão, podendo ser um caminhão de menor capacidade em toneladas.

Para evitar que os painéis fiquem sujos, recomenda-se que sejam cobertos com lona preta e disposto sobre apoios de madeira para que não fique em contato direto com o solo. Caso haja ventanias na região, deve-se prender a lona ao piso ou amarrar os painéis uns aos outros de forma a garantir que esses painéis não voem.

Figura 12 - Armazenamento dos painéis



Fonte: ALVES, 2015

3.2.2 Fundação

Antes do início da obra, quando necessários, são executados os serviços preliminares como limpeza, capina, escavação e aterro. A preparação das fundações é feita, de acordo com o cálculo estrutural. À depender do tipo de terreno, podem ser adotados diferentes tipos de fundação: fundação tipo laje radier com (18 cm de altura, por exemplo); sapata corrida de 40 cm de largura e 15 cm de profundidade nos projetos mais simples, ou então fundações especiais se as condições de sondagem do terreno ou arquitetônicas não forem favoráveis (TECHNE, 2012).

Radier é um tipo de fundação superficial (rasa), que descarrega as cargas da edificação por meio da resistência da base, uma vez que sua profundidade máxima é de, aproximadamente, três metros. A fundação radier também é conhecida como fundação em placa e pode ser explicada como uma laje

de concreto que abrange toda a área de projeção da construção. Geralmente é executado com concreto fck 20 MPa, com espessura de 18,0 cm, obedecendo as especificações de projeto, assentado sobre lastro drenante de 5,0 cm de brita nº 1, impermeabilizada com manta de PEAD (Manta de Polietileno de Alta Densidade) de 200 g/m². A resistência característica do concreto é definida em razão dos aspectos de durabilidade e resistência estrutural, conforme NBR 6118 - Projeto de estrutura de concreto. A armadura do radier é geralmente constituída por tela de aço CA-60 soldada, com malha de 10 cm x 10 cm. Pode ser simples ou dupla, dependendo do projeto estrutural, que considera as tensões atuantes e as condições do solo no local de implantação da obra (TECHNE, 2012).

Por se tratar de uma construção leve e de apenas um pavimento, o engenheiro da obra optou por adotar a fundação de radier. Sobre o solo nivelado e compactado colocou-se uma lona apropriada para a impermeabilização. Utilizou-se lona plástica preta extraforte paperplast premium 4 x 50 REF200 20 kg. Acima da lona, aplicou-se um lastro de brita de 5,0 cm em uma camada média de 7,5 cm com objetivo proteger a armadura do radier das matérias orgânicas, componentes e umidade do solo. Também foram colocadas formas de madeira na lateral, de modo a fazer o fechamento da área a ser concretada conforme previsto e indicado no projeto de fundações e estrutural.

Logo após, foram inseridas as armaduras dimensionadas no projeto estrutural, tendo como base as informações do estudo geotécnico previamente realizado. O espaçamento entre elas, assim como as dimensões respeitaram as particularidades do projeto assim como os parâmetros de deformabilidade e resistência do solo. Para tal, utilizou-se tela de aço CA-60 soldada com malha de 10,0 cm x 10,0 cm para compor a armadura.

Sistemas hidrossanitários, elétricos, de comunicação, segurança e outros, que venham a interferir no radier, são executados antes do início da concretagem da fundação. A tubulação é enterrada e nivelada sob o solo para lançamento do concreto do contra piso. Feito o contra piso, este servirá como pavimento para que os trabalhos possam ser desenvolvidos com mais limpeza e eficiência. (MONOLITE, 2017)

Os eletrodutos rígidos foram fixados às armaduras para que não fossem deslocados durante o lançamento do concreto. O kit de esgoto, já montado, foi disposto sobre o terreno apiloado por meio de gabaritos fixados à fôrma lateral do radier. Recomenda-se checar se as extremidades das instalações hidráulicas atravessam a laje. A tubulação precisa ser isolada para evitar aderência ao concreto e deve-se evitar sua passagem vertical por meio das nervuras dos vergalhões - ou aplicar barras de ferro com reforço nas nervuras. Recomenda-se fazer o encanamento por baixo da manta impermeabilizante para não enfraquecer a laje e manter a integridade estrutural do concreto.

Na Figura 13 está demonstrada toda preparação necessária antes da concretagem da fundação tipo Radier, com a execução das tubulações hidrosanitárias e as de passagem elétricas.

Figura 13 - Impermeabilização de baldrame com lona



Fonte: BARRETO, 2017

Após o término das instalações de esgoto, juntamente com a armadura de fundação, deverão ser posicionados os arranques de aço na vertical (na tela do radier) que ficarão à espera da fixação dos painéis. Estes possuem dimensão de 3,4 mm a 5,0 mm com 50,0 cm de comprimento. Destes, 30 cm deve ficar acima do piso para ancoragem, que alinhados pelo gabarito da obra serão dispostos a 20 cm de distância entre si (ALVES, 2015). Essas barras de aço podem ser engastadas posteriormente, perfurando a fundação e fixando-as com graute ou produto

equivalente, com o mínimo de 10 cm de engastamento e ancoragem mínima de 50 cm para os painéis, conforme a locação e as definições do projeto (TECHNE, 2012).

A concretagem do radier é feita in loco, de forma tradicional: o concreto (estrutural) é despejado diretamente do caminhão-betoneira no local. Deve-se evitar emendas ou fissuras na camada de concreto de 10 cm de espessura. Em seguida, é feito o desempenamento e o alisamento com polidora de piso, já que no caso de radiers a camada de concreto serve como contrapiso. Deve ser realizada a cura apropriada, a fim de evitar manifestações patológicas.

Até a finalização do contrapiso, em nada o método EPS se difere de uma construção convencional, podendo essa base receber tanto uma edificação de tijolos cerâmicos quanto uma edificação de paredes autoportante com núcleo em EPS.

3.2.3 Montagem dos painéis

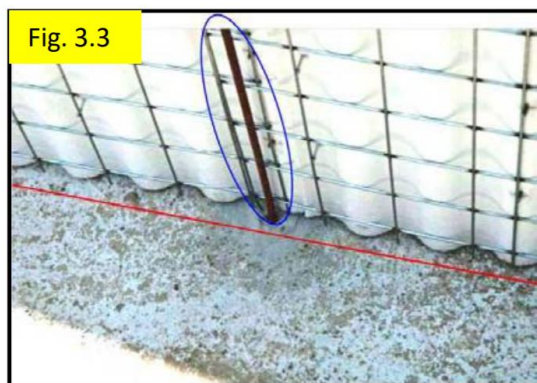
O montador deve fixar os painéis nos arranques previamente colocados (Figura 15), com o auxílio de um grampeador (Figura 14) com grampos de aço CA 60 (o mesmo que prende a malha aos painéis) ou simplesmente com arame recozido e torquês. Os painéis têm abas de malha de aço que se sobrepõem, para que sejam solidarizadas ao painel vizinho. (MONOLITE,2017)

Figura 14 - Grampeador para grampos de aço para amarração dos painéis nos arranques



Fonte: Macroterm (data)

Figura 15 - Detalhe das barras iniciais



Fonte: CSIR, 2017

O trabalho de montagem (Figura 16) poderá ser facilitado com a numeração dos painéis. O painel é manuseado e colocado na posição por um funcionário apenas, o que simplifica e acelera a montagem e, também, dispensa a formação de equipes de trabalhos especiais (ALVES, 2015).

Figura 16 – Montagem dos painéis – Obra em Jataí



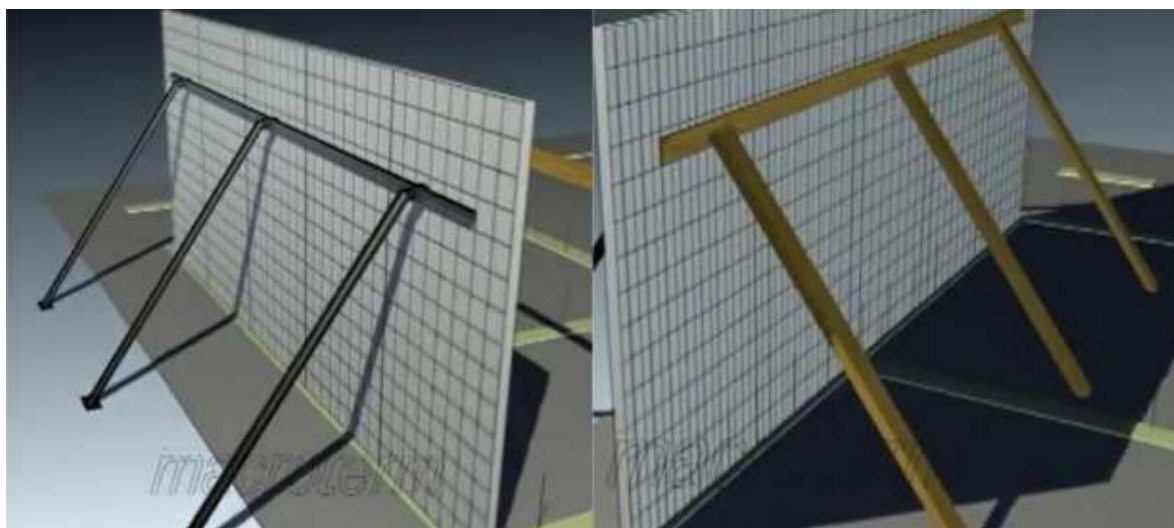
Fonte: Foto tirada pelo próprio autor

Para garantir o prumo e alinhamento dos painéis utilizam-se réguas que são fixadas na horizontal a 2 m do piso (Figura 17). As escoras reguláveis, na diagonal perpendicular às réguas, são ajustadas para garantir a verticalidade dos

painéis. Devem ser usadas régua de alumínio, que também podem ser substituídas, sem qualquer prejuízo, por sarrafos de madeira.

Caso os painéis sejam aplicados num segundo piso, os processos se repetem, não havendo necessidade de arranques, pois a própria tela dos painéis verticais poderá fazer essa função (MONOLITE, 2017).

Figura 17 - Detalhe das régua e escoras



Fonte: Macroterm, 2015

Figura 18 - Detalhe régua e escoras – Obra em Jataí



Fonte: Foto tirada pelo próprio autor

3.2.4 Ligação painel/painel

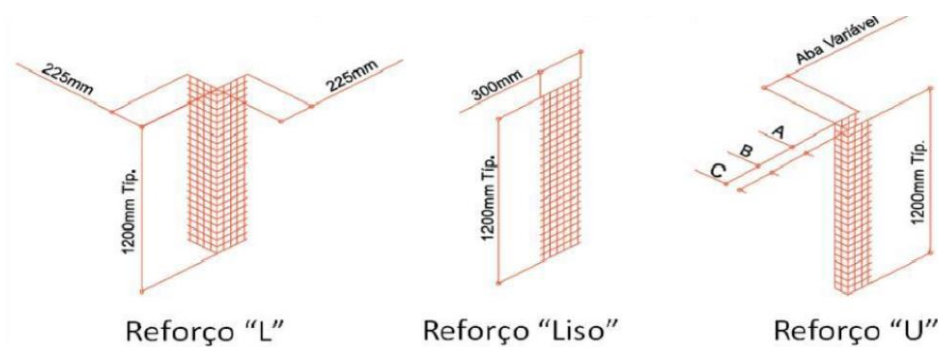
Os painéis são amarrados entre si por meio de transpasse das abas da malha de tela eletrossoldada, que devem ser sobrepostas ao painel ao lado. Essa união pode receber reforço de peças de telas estruturais.

Este sistema apresenta três modelos básicos de reforço, conforme demonstrado nas Figuras 19, 20 e 21. São constituídos de arame de aço galvanizado com malha, similares aos painéis. O reforço com armadura tipo “L” é aplicado em todo encontro de paredes perpendiculares, cantos de paredes ou paredes em T. São aplicados tanto na face interna, quanto na face externa, na altura total do pé-direito, com fixação feita em arame recozido (TECHNE, 2012).

O reforço “liso” é usado para reforçar o abrimento de janelas e portas em cantos, local onde se apresentam as concentrações de esforços. O referido esforço poderá também ser usado em painéis que perderam seus transpasses e em recortes para passagens de tubulações hidráulicas e elétricas. Com dimensões de 30 cm x 60 cm, a armadura é disposta diagonalmente em relação aos fios do painel em suas duas faces (TECHNE, 2012).

Ademais o reforço conhecido por “U”, este é usado na totalidade do perímetro das aberturas (portas, janelas, passagem de ar condicionado, etc.). São armaduras com o formato de vergas e contra vergas de tela em U fixadas com arame recozido, evitando assim que o revestimento dos painéis seja aplicado diretamente no EPS e para neutralizar os esforços de corte e esmagamento localizados (TECHNE, 2012).

Figura 19 - Tipos de reforços de painéis



Fonte: Termotécnica, 2015

Esses reforços têm como objetivo formar uma única estrutura ligando a toda montagem e fortificar possíveis situações críticas na estrutura (ALVES, 2015).

Figura 20 - Detalhe dos reforços dos painéis



Fonte: Macroterm, 2015

Em relação às aberturas de vão e esquadrias, os painéis, sob consulta, são fornecidos com qualquer tipo de abertura de portas e janelas, conforme projeto arquitetônico. No entanto, as aberturas podem ser feitas no canteiro de obra, e são realizadas cortando-se o painel com máquina de corte (tipo maquina) na medida desejada. Neste último caso, os reforços devem ser projetados para que ocorram estes cortes (MONOLITE,2017).

Figura 21 - Reforço entre painéis – Obra em Jataí



Fonte: Foto tirada pelo próprio auto

3.2.5 Instalações elétricas e hidráulicas

Com todos os painéis e reforços instalados, a fase seguinte é o posicionamento das tubulações de elétrica e hidráulica embutidas. No sistema construtivo monolítico, as instalações hidráulicas e elétricas, são mais simplificadas, pois não acontecem quebras de material para a abertura de poços, como são comuns nas construções tradicional (ALVES, 2015).

Primeiramente é desenhado o percurso das instalações na placa de EPS com a utilização de tinta spray. Em seguida, utiliza-se um soprador de ar quente, com o qual são produzidos canaletas para os tubos das instalações, de modo rápido, e em comparação com o sistema convencional não gera desperdício (SOUZA, 2009).

O ar quente que sai do soprador funde o isopor com facilidade, abrindo os espaços necessários, conforme ilustrado a Figura 22.

Figura 22 – Abertura de canaletas com soprador térmico



Fonte: MONOLITE, 2017

Como alternativa ao gerador de ar quente, pode-se utilizar também um maçarico a gás, que recebe um tubo metálico na ponta (MONOLITE, 2017).

Como todos os encaminhamentos de instalações já realizados, a tubulação deverá ser colada sob a tela de aço, montando-se todo o conjunto antes da etapa de revestimento, de maneira que o diâmetro dos tubos embutidos nas paredes não pode ser maior que a espessura interna do EPS.

Para garantir o nivelamento de acordo com a parede, as saídas de hidráulica e caixas para instalação elétrica devem ser fixadas na malha de aço e

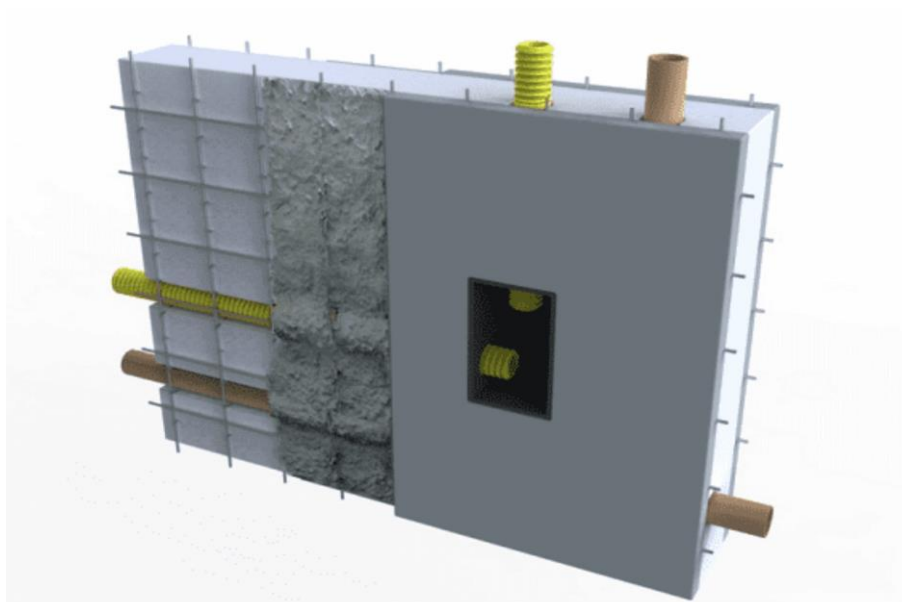
reguladas para que fiquem no mesmo plano da face concluída do revestimento (COSTA, 2019). As Figuras 23 e 24 ilustram os procedimentos descritos.

Figura 23 - Montagem dos sistemas na parede de EPS



Fonte: Termotécnica, 2015

Figura 24 - Sistemas na parede de EPS



Fonte: Termotécnica, 2015

No caso de tubos rígidos ou semi-rígidos, quando necessário, corta-se a tela metálica com um alicate e no final, fecha-se novamente a tela para segurar a tubagem. Uma sofisticação admitida pelo sistema é o aterramento dessa malha, criando uma gaiola de Faraday e para projetos de multipavimentos recomenda-se a

utilização de shafts, pois facilita o acesso e a manutenção dos sistemas elétrico e hidráulico (MONOLITE,2017).

Os detalhes da união dos dutos a outras peças do sistema são executados de forma usual a todos os projetos de instalações elétricas ou hidráulicas. Além disso, estas peças não influenciam na eficácia da estrutura autoportante devido a pequena área que ocupam no interior do painel.

A Figura 25 dá uma visão de todos os elementos envolvidos na montagem dos painéis e das instalações elétricas (dutos) sendo recobertos pelo revestimento das paredes.

Figura 25 - Montagens e instalações dos painéis – Obra em Jataí



Fonte: Foto tirada pelo próprio autor

Quando houver a necessidade de manutenção das instalações hidráulicas, esta será feita da mesma forma em que é feita para a alvenaria de tijolos cerâmicos, ou seja, quando a falha estiver no interior da alvenaria será necessário a quebra de uma das camadas de revestimento em argamassa estrutural. Após o conserto deve-se repor novamente a malha de aço e o microconcreto, bem como os revestimentos finais (LUEBLE, 2004).

3.2.6 Revestimento e acabamento

Em seguida é feito o revestimento da parede. É utilizado argamassa ou microconcreto sobre o painel (Figura 26). Distinguindo-se do reboco da alvenaria tradicional por conta do traço e da constituição da massa de 3,5:1 areia-cimento (SOUZA, 2009).

Para a fase de revestimento é necessário a cobertura em duas camadas. A primeira preenche a superfície até facear com a tela de aço, nas duas faces do painel. Esse cuidado é importante para que a parede não apresente retração diferencial nas faces revestidas. Após a cura total inicia-se a colocação de caixilhos e batentes, que depois de fixados, nivelados e aprumados, devem ser protegidos para que não sofram respingos da argamassa da segunda aplicação. Na fase de revestimento pode ser usada a argamassa projetada ou simples, lançada manualmente, que deve ser desempenada até se atingir a espessura especificada no projeto (ALVES, 2015). Durante esse processo, é necessário que se espalhem as mestras (responsáveis pelo nivelamento correto), delimitando a espessura final do microconcreto, e como apoio para a régua utilizada no sarrafeamento (COSTA, 2019).

Figura 26 - Revestimento sobre painel EPS



Fonte: BARRETO, 2017

As mestras devem estar alinhadas e aprumadas para garantir o acabamento da camada de microconcreto, até facear com a malha de aço (espessura mínima de 3,5 cm), nas duas faces do painel. Esse cuidado é importante para que a parede não apresente retração diferencial nas faces revestidas.

O microconcreto é projetado no espaço definido pelas mestras (Figuras 27 e 28). A projeção deve começar sempre de baixo para cima e a espessura de 3,5 cm do microconcreto é obtida por camadas: cada camada de projeção deve ter espessura de no mínimo 0,5 cm e no máximo 2,0 cm, sem excesso e de forma a evitar o retrabalho (TECHNE, 2012).

Figura 27 - Revestimento – Obra em Jataí



Fonte: Foto tirada pelo próprio autor

Figura 28 - Revestimento – Obra em Jataí



Fonte: Foto tirada pelo próprio autor

Os revestimentos seguem os mesmos procedimentos comuns a maiorias dos sistemas construtivos, seja em áreas secas, com aplicação de textura nas paredes externas; gesso ou massa corrida com pintura nas internas; ou ainda, nas áreas molhadas, o assentamento de qualquer tipo de revestimento (LUEBLE, 2004).

3.2.7 Montagem da laje

Depois de dada a primeira e segunda mão de projeção em todas as paredes, internas e externas, é colocada a laje de cobertura (ALVES, 2015), conforme ilustrado pela Figura 29. Alves escreve que é preferencial utilizar o sistema de lajes pré-fabricadas de isopor e pontua suas vantagens:

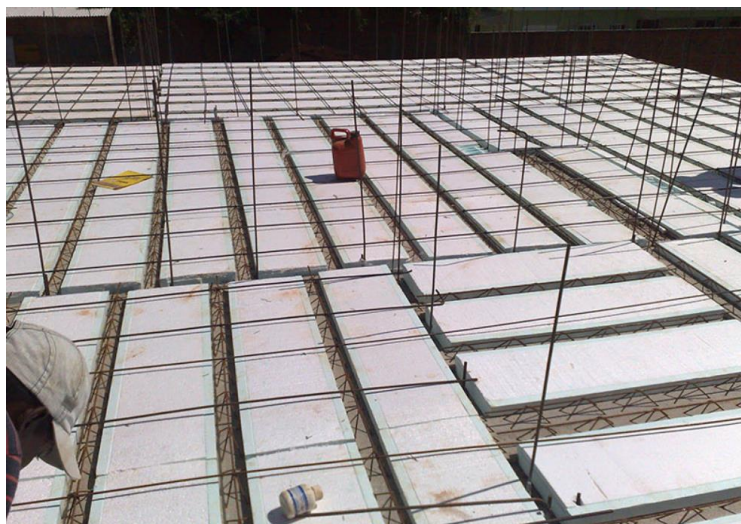
- Leveza, com peso entre 10 e 25 Kg/m³ (Peso da cerâmica = 800 Kg/m³);
- Resistência a compressão de 1.000 a 2.000 Kg/m²;
- Possibilita grandes vãos e sobrecargas altas nas lajes;
- Economia no Transporte e fácil manuseio;
- Reduz em até 50% o tempo de montagem das lajes;
- Elimina a reposição de material por quebras de lajotas;
- Diminui a perda de nata de cimento e melhora cura da laje;
- Melhoria de até 70% no isolamento da laje;
- Redução de 5 a 15% no consumo de concreto;
- Redução da quantidade de entulho.

Figura 29 – Enchimento de isopor em laje aguardando concretagem



A utilização de laje confeccionada por vigotas de concreto (Figuras 30 e 31) é outra possibilidade, com placas de EPS em substituição a tábua cerâmica, apoiados sobre viga de cinto de 3cm de altura, executadas sobre as paredes (LUEBLE, 2004).

Figura 30 – Laje confeccionada por vigotas de concreto



Fonte: Construindodecor, 2021

Outra opção para coberturas é a laje treliçada unidirecional de EPS de 10 cm, em alguns casos, empregam uma malha de 3,4 mm de 15 cm x 15cm em pontos onde o vão é maior, mas não há necessidade do uso da malha em todas as peças da obra, deve-se seguir, em todo caso, a orientação do calculista (COELHO, 2015).

Figura 31 - Laje treliçada unidirecional de EPS



Fonte: BARRETO, 2017

Os painéis de cobertura inclinados (Figura 32), podem receber as telhas diretamente sobre o concreto desempenado e em processo de cura, evitando assim todo o madeiramento de sustentação do telhado (COSTA,2019).

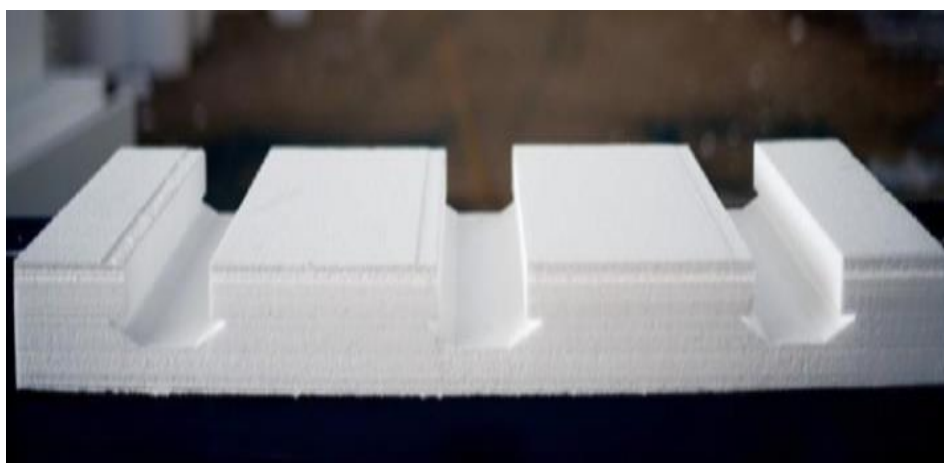
Figura 32 – Laje inclinada



Fonte: BARRETO, 2017

Também pode-se utilizar a laje de EPS, chamada pelos fornecedores de laje fácil (Figura 33). Essa deve ser aplicada diretamente sobre as paredes e tem espessura de 90 mm a 300 mm. Esta dispensa a utilização das vigas concretadas e trabalha como forma para as vigas e enchimento da laje ao mesmo tempo, reduzindo o tempo de montagem e riscos de perdas (ALVES, 2015).

Figura 33 - Laje fácil



Fonte: BARRETO, 2017

3.3 ADAPTAÇÃO COM OUTROS SISTEMAS

Em virtude da propriedade autoportante da tecnologia construtiva em EPS e de sua baixa densidade, quando necessária à utilização de outro sistema construtivo, este último operar como um reforço, possuindo dimensões mínimas. Um exemplo comum é a utilização de vigas chatas de concreto armado para corroborar lajes a vencer grandes vãos, acima de 6,0 m (BARRETO, 2017). Nada impede, nesse método construtivo, que se combinem vigas, pilares e paredes autoportantes de EPS. Em casos específicos de sobrecarga pontual, recomenda-se o emprego de pilares que se encarreguem de receber tais cargas. Tudo vai depender dos cálculos estruturais realizados.

Na obra estudada, o engenheiro responsável optou por construir pilares em pontos estratégico e de sobrecarga, como nos cantos da construção e nas aberturas de portas e grandes vãos, para garantir que a construção não venha a sofrer com possíveis erros de cálculo ou falhas de resistência referentes às paredes autoportantes de EPS. Por se tratar de um método inovador e ainda não muito utilizado no Brasil, a escolha do engenheiro se caracteriza como uma decisão em prol da segurança, uma vez que ele desconhece o real comportamento dessa estrutura e não se assegura em normas de construção, visto que ainda não existem no Brasil.

O engenheiro também optou por adotar uma viga apoiada em dois pilares no vão aberto entre a sala e o corredor, pois, sem as paredes para sustentar as cargas nessa área, fez-se conveniente o emprego da viga.

4 CAPÍTULO 4

4.1 ANÁLISE DO DESEMPENHO MONOFORTE CONFORME NBR 15575

A Termotécnica é uma das maiores indústrias mundiais de transformação de EPS e líder no mercado brasileiro deste segmento. Em 2003, a empresa investiu no setor da construção civil para desenvolver produtos com tecnologia de ponta para atender a este mercado. A introdução do conceito Monoforte para as construções

compostas por painéis monolíticos de EPS ocorreu em 2012 e a nomenclatura “monoforte” passou a ser utilizada pela empresa (Termotécnica, 2015).

A seguir, no Quadro 2 são descritos alguns dos resultados coletados da avaliação de desempenho sonoro e do desempenho do sistema construtivo monoforte conforme NBR 15575 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos.

Quadro 2 - Análise do desempenho do sistema construtivo monoforte

Análise de Desempenho do Sistema Construtivo Monoforte conforme NBR 15575 - Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos		
Característica	Resultados	Normas
Resistência compressão centrada Painel h= 2,70 m e Esp.= 0,15 m	≥ 538 kN/m	ABNT NBR 8949/2005
Resistência compressão centrada Painel h= 2,70 m e Esp.= 0,12 m	≥ 370 kN/m	ABNT NBR 8949/2005
Resistência compressão excêntrica – e= 4cm Painel h= 2,70 m e Esp.= 0,15 m	≥ 535 kN/m	ABNT NBR 8949/2005
Resistência a flexão em 4 pontos (Parede de 12 cm)	Momento fletor máximo em média = 4,43 kN.m/m	ABNT NBR 14322
Resistência a flexão em 4 pontos (Parede de 15 cm)	Momento fletor máximo em média = 6,62 kN.m/m	ABNT NBR 14322
Verificação em laboratório da estanqueidade à água de SVVE	Não houve manchamento do painel na face oposta	ABNT NBR 15.575 - 4/2008 - anexo C
Ensaio de impacto externo de corpo mole em vedação vertical externa (fachada) - para atender o nível (S)	Energia de impacto de corpo mole = 960 J (não ocorrência de ruína - estado limite último)	ABNT NBR 15575/2012; ABNT NBR 11675 - MB - 3256; SINAT N° 002
Ensaio de impacto externo de corpo duro (ação de 10 impactos iguais com energia de 3,75 J)	Não ocorrência de falhas	ABNT NBR 15575/2012; ABNT NBR 11675 - MB - 3256
Ensaio de impacto interno de corpo duro (ação de 10 impactos iguais com energia de 20 J)	Não ocorrência de ruína, caracterizada por ruptura ou transpassamento	ABNT NBR 15575/2012; ABNT NBR 11675 - MB - 3256
Ensaio de ação de cargas provenientes de peças suspensas (carga de ensaio aplicada 1,2kN e carga de uso aplicada 0,6kN em cada ponto)	Não foram observadas fissuras nem deslocamentos	ABNT NBR 15575/2012
Ensaio de resistência ao fechamento brusco com aplicação de 10 impactos com força de 147N	Não apresentou falhas, tais como rupturas, fissuras, destacamentos e cisalhamento	ABNT NBR 8054/1983
Ensaio de impacto de corpo mole no centro geométrico da porta (sentido fechamento da folha)	Aprovado	ABNT NBR 8051/1983
Ensaio de impacto de corpo mole no centro geométrico da porta (sentido de abertura da folha)	Aprovado	ABNT NBR 8051/1983
Determinação da resistência ao fogo	Apresentou resistência ao fogo, no grau corta-fogo, pelo período de 30 minutos	ABNT NBR 5628/2001; CETAC - LSF - PE - 047
Desempenho térmico para as condições de verão e inverno com uso de qualquer cor como pintura	Atende ao desempenho mínimo nas 8 zonas bioclimáticas	ABNT NBR 15.575 : 2008

Fonte: Termotécnica, 2015

No Quadro 3 são demonstrados os resultados coletados da avaliação de desempenho sonoro realizada em campo.

Quadro 3 - Avaliação de desempenho sonoro realizada em campo

Elemento	Índice de Redução Sonora Ponderado* ABNT NBR 15.575-4 D2m,nT,W dB	Espessura Parede do Sistema Construtivo Monoforte	Resultado Ensaio de Campo (D2m,nT,W) dB
Vedação externa de dormitório	25 a 29	12 cm 15 cm	25 26
Paredes entre unidades habitacionais autônomas (Paredes de geminação)	40 a 44	15 m	43

Fonte: Termotécnica, 2015

4.2 ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

G. Carbonari et. al., em 2013, realizou testes experimentais para analisar o comportamento compressivo de painéis sanduíche com diferentes condições de suporte e geometria. Com o objetivo de identificar a influência de aspectos como espessura das camadas de argamassa e o diâmetro das telas de aço sobre a resistência global dos painéis propôs dois programas experimentais.

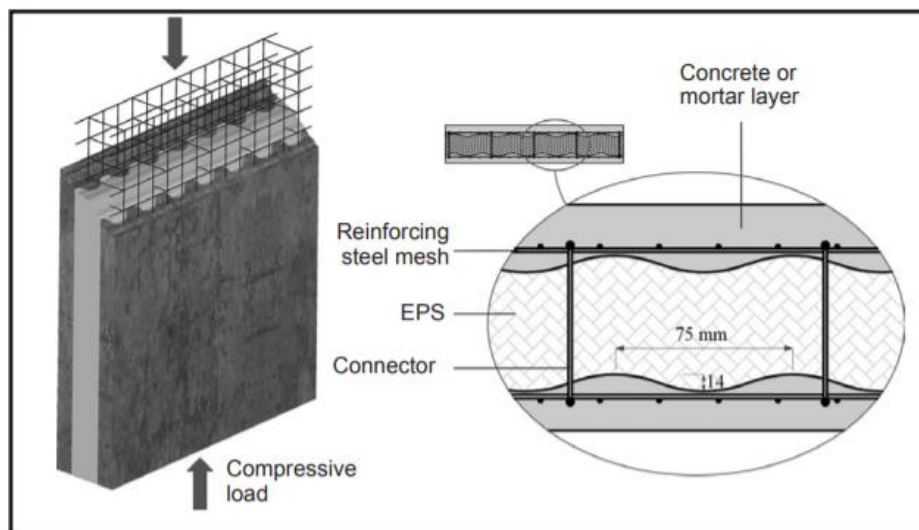
No primeiro experimento, painéis de pequena escala foram testados a fim de avaliar sua força resistente à compressão. No segundo experimento, painéis esbeltos foram testados para avaliar o comportamento global dos painéis sujeitos a maior instabilidade lateral devido à flambagem.

Em ambos os casos, os painéis testados foram formados por duas camadas de argamassa com uma camada ondulada de EPS entre elas. As ondas do EPS tinham 14 mm de profundidade e 75mm de largura, compondo uma seção transversal perpendicular à altura do painel e na direção da carga normal de compressão.

Um total de 38 painéis com diferentes espessuras de EPS (de 40 mm a 120 mm), espessuras de argamassa (de 15 mm a 60 mm), alturas de painel (de 300 mm a 777 mm) e misturas de argamassa foram testados.

Na Figura 34 são apresentadas vistas isométricas e da seção transversal dos painéis já revestidos.

Figura 34 - Vista isométrica e seção transversal típica



Fonte: CARBONARI, 2013

4.2.1 Programa experimental

4.2.1.1 Painéis de pequena escala

Neste programa, os painéis foram identificados pelas letras SC e por um número que variou de 1 a 26. O Quadro 4 mostra as características de cada tipo de painel proposto.

A maioria dos painéis apresentam a mesma espessura para ambas as camadas de argamassa, exceto para os painéis SC8, SC9 e SC10, nos quais o efeito de se usar diferentes espessuras para as camadas de argamassa 1 e 2 foi avaliado. O efeito das variações na espessura do EPS (e consequentemente no comprimento dos aços conectores) também foi investigado.

No total, 8 misturas de argamassa com cimento Portland, Cal, areia de calcário, enchimento, plastificantes e aditivos de entrada de ar foram usados para avaliar a repercussão de materiais com diferentes propriedades mecânicas sobre a carga final. Uma mistura de argamassa incorporou 1,2 kg / m³ de fibras de plástico (M4-PF1.2), enquanto duas misturas de argamassa incluíram 0,6 e 3,0 kg / m³ (M4-GF0,6 e M4-GF3,0) de fibra de vidro. A resistência à compressão das misturas foi

medido de acordo com opadrão UNE-EN 1015-11:2000 usando amostras cúbicas. Os resultados obtidos são apresentados entre parênteses no Quadro 4.

Quadro 4 - Características dos painéis de pequena escala

Referência	Argamassa	Espessura média da argamassa (mm)		Espessura EPS (mm)	Comprim. conector de aço (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
		Camada 1	Camada 2				
SC1	M1 (4.60 MPa)	15.0	15.0	80	95	500	300
SC2		15.0	15.0	120	135	500	300
SC3	M2 (39.60 MPa)	15.0	15.0	80	95	500	300
SC4		15.0	15.0	120	135	500	300
SC5		15.0	15.0	160	175	500	300
SC6		15.0	15.0	200	215	500	300
SC7		15.0	15.0	240	255	500	300
SC8		25.0	15.0	80	95	500	300
SC9		25.0	15.0	120	135	500	300
SC10		25.0	15.0	240	255	500	300
SC11	M3 (17.15 MPa)	15.0	15.0	80	95	500	300
SC12		15.0	15.0	120	135	500	300
SC13	M4 (8.24 MPa)	58.5	58.5	80	95	555	475
SC14		60.0	60.0	80	95	530	795
SC15		60.0	60.0	80	95	545	483
SC16		60.0	60.0	80	95	530	777
SC17	M4-FV0.6 (9.01 MPa)	59.5	59.5	60	75	545	470
SC18		60.0	60.0	60	75	530	770
SC19		58.5	58.5	80	95	545	480
SC20		59.0	59.0	80	95	530	782
SC21	M4-FV3.0 (9.12 MPa)	58.5	58.5	60	75	550	467
SC22		58.5	58.5	60	75	530	770
SC23	M4-PF1.2 (8.51 MPa)	58.5	58.5	60	75	542	473
SC24		58.5	58.5	60	75	521	776
SC25	M5 (5.11 MPa)	22.5	22.5	40	55	550	477
SC26		22.5	22.5	40	55	546	778

Fonte: CARBONARI, 2013

Uma malha de reforço quadrada de 75 mm composta por barras de aço galvanizado com 3,4 mm de diâmetro foi colocada com uma cobertura de 7,5 mm medida a partir do lado interno do camada de argamassa.

Conectores de aço com o mesmo material e 3,0 mm de diâmetro foram colocados entre o reforço malhas a cada 225 mm na largura e a cada 75 mm no comprimento dos painéis.

As principais propriedades para o EPS e para o aço de reforço usado no experimento são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 - Principais propriedades do EPS e do aço de reforço usado em painéis

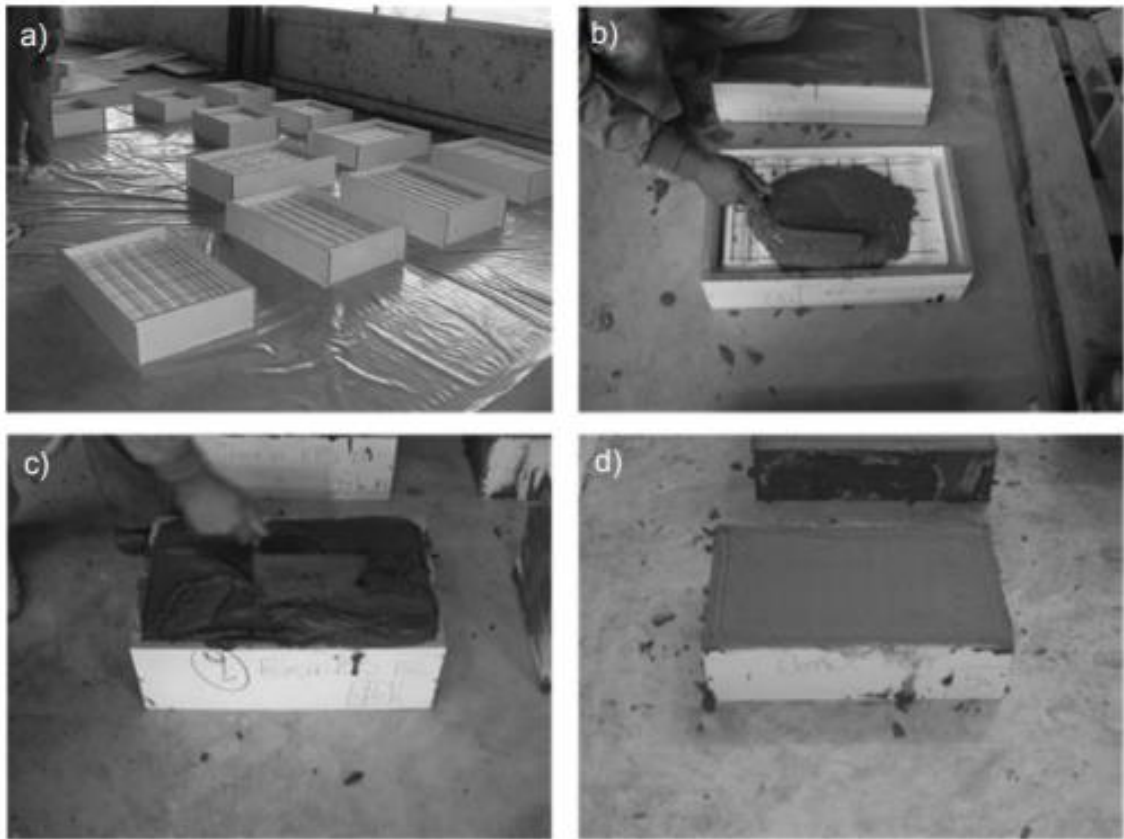
Material	Densidade	Módulo de elasticidade (MPa)	Limite de Escoamento (MPa)	Resistência Compressão (MPa)	Resistência Tração (MPa)
EPS	25	5.9 – 7.2	-	-	0.32 – 0.41
Aço galvanizado	7850	210000	620	700	700
Aço B-500 S	7850	210000	500	500	500

Fonte: CARBONARI, 2013

A produção e os testes dos painéis SC1 a SC12 foram realizados no Laboratório de Controle Consorci Lleidatà (Lerida, Espanha) usando uma prensa hidráulica, conforme mostrado na Figura 36.a.

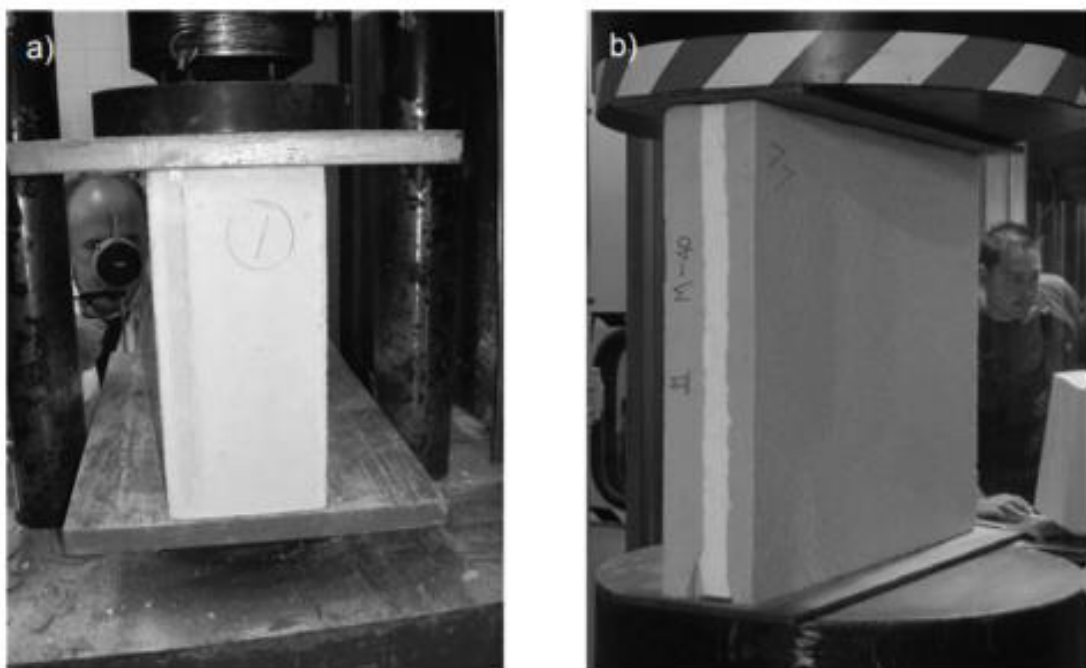
A produção e os testes dos painéis SC13 a SC26 foram realizadas no Laboratório Tecnológico de Estruturas da UPC (Barcelona, Espanha) também usando um prensa hidráulica conforme mostrado na Figura 36.b.

Figura 35 - Processo de produção de painéis de pequena escala



Fonte: CARBONARI, 2013

Figura 36 - Testes realizados



Fonte: CARBONARI, 2013

4.2.1.2 Painéis esbeltos

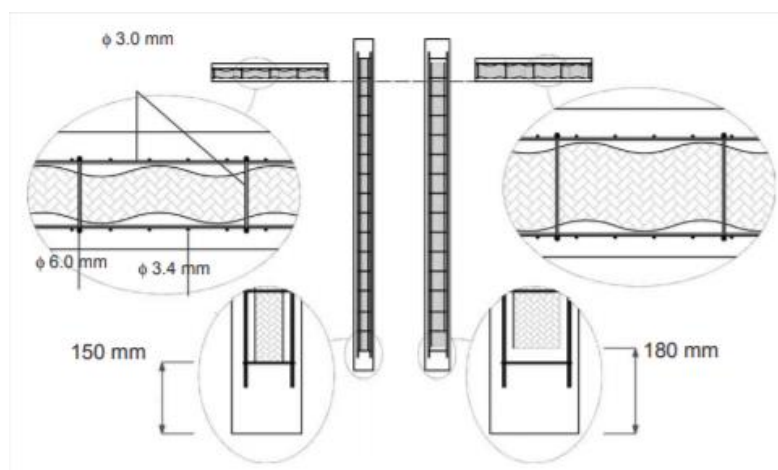
No segundo programa experimental, um painel com EPS de 100 mm de espessura (PMR-10) e um painel com 60 mm EPS espesso (PMR-6) foram testados. Ambos tinham 2,55 m de altura e 0,90 m de comprimento. Dados os resultados obtidos no programa experimental com painéis de pequena escala, a espessuras das camadas de argamassa foram de 40 mm e 50 mm cada. A resistência à compressão da argamassa utilizada foi 25 MPa.

Quadro 6 - Resultado experimental para painéis esbeltos

Painel	Argamassa	Espessura média da argamassa (mm)		Espessura do EPS (mm)	Pmax médio (kN)
		Camada 1	Camada 2		
PMR-60	M-6 (25 Mpa)	50	40	60	530
PMR-100		50	40	100	480

Conforme mostrado na Figura 37, um aro de aço de reforço foi fundido nas extremidades superior e inferior do painel a fim de reduzir a incidência de danos locais e para simular o layout geralmente encontrado na junção entre painéis e lajes ou fundações.

Figura 37 - Seções longitudinais e transversais painel delgado



Fonte: CARBONARI, 2013

A malha de reforço é composta por barras de aço galvanizado que na direção vertical apresentavam 3,4 mm de diâmetro e foram colocados a cada 5 cm, enquanto na direção horizontal apresentou 3,0 mm de diâmetro e foram colocados a cada 15 cm. Além disso, 5 barras de aço verticais do tipo B-500 S com 6 mm de diâmetro foram dispostos coincidindo com a posição dos conectores de aço, a fim de fornecer mais estabilidade ao reforço durante a produção dos painéis.

Conectores de aço galvanizado com 3,0 mm de diâmetro foram espaçados a 21,5 cm na direção horizontal e a 15 cm na vertical direção. O Quadro 5 apresenta as propriedades do material para o EPS e para o aço de reforço utilizado. Os testes foram encomendados pela empresa Pamodin SL da Instituto de Ciencias de La Construcción Eduardo Torroja. Os resultados obtidos estão inseridos no contexto do projeto de pesquisa com a Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) (CTT-UPC-4791).

4.2.2 Resultados e análises

4.2.2.1 Painéis de pequena escala

Durante o teste, uma rachadura comum foi observada paralela para a superfície lateral do painel. A abertura da fenda aumentou conforme a carga de compressão foi aplicada, levando a falha do painel, conforme ensaio demonstrado na Figura 38.

Figura 38 - Falha típica do painel



Fonte: CARBONARI, 2013

O Quadro 7 apresenta a carga máxima medida para os painéis testado. A influência da espessura do EPS (consequentemente do comprimento do conector) pode ser observado através da análise dos resultados obtidos para os painéis SC1 a SC12.

Em geral, eles mostram que o aumento da espessura do EPS produz uma diminuição da carga máxima medida. Embora no caso de painéis com argamassa M1 isto não é perceptível, tal resultado é evidente no caso de painéis com argamassas M2 e M3.

No primeiro, o aumento da espessura do EPS de 80 mm (em SC3 e SC8) para 240 mm (em SC7 e SC10) levou a uma redução média de 44% na carga máxima.

Neste último, o aumento de 80 mm (SC11) para 120 mm (SC12) produzido redução de 16,9% na carga máxima medida.

O Quadro 7 também demonstra que, em painéis com características semelhantes, o aumento da resistência à compressão da argamassa, produz um aumento da carga máxima resistida.

Este efeito foi mais evidente para painéis com menores espessura de EPS. Por exemplo, nos painéis SC1, SC3 e SC11 (todos com 80 mm de espessura EPS) o aumento da resistência à compressão da argamassa de 4,6 MPa para 17,15 MPa e para 39,6 MPa levou a um aumento de 112% e 395% da carga máxima, respectivamente.

Por outro lado, nos painéis SC2, SC4 e SC12 (todos com 120 mm de espessura EPS) a mesma mudança da resistência à compressão da argamassa levou a um aumento de 70% e 163% da carga máxima, respectivamente.

Quadro 7 - Resultados experimentais e teóricos para painéis de pequena escala

Referência	Pmax experimental (kN)			Pmax teórico (kN)	
	1	2		Compressão- flexão	Flambagem
SC1	98.0	96.0	97.0	102	215
SC2	111.0	91.0	101.0	104	164
SC3	493.0	468.0	480.5	520	502
SC4	288.0	243.0	265.5	543	398
SC5	419.0	352.0	385.5	543	330
SC6	303.0	276.0	289.5	543	282
SC7	293.0	237.0	265.0	543	246
SC8	543.0	471.0	507.0	542	522
SC9	253.0	228.0	240.5	567	414
SC10	264.0	-	264.0	567	343
SC11	208.8	204.0	206.4	222	323
SC12	191.0	152.0	171.5	229	251
SC13	732.0			613	512
SC14	528.0			599	510
SC15	802.0			615	502
SC16	589.0			593	500
SC17	587.0			687	564
SC18	672.0			663	542
SC19	795.0			666	544
SC20	723.0			653	532
SC21	652.0			664	543
SC22	650.0			635	541
SC23	631.0			617	512
SC24	691.0			594	510
SC25	131.0			174	126
SC26	132.0			173	124

Fonte: CARBONARI , 2013

Observou-se que a altura dos painéis pode afetar consideravelmente os resultados obtidos. Em geral, o aumento desta dimensão produz uma redução considerável da carga máxima suportada.

Essa resposta pode ser atribuída ao aumento do momento fletor devido a imperfeições de teste e momentos de segunda ordem. A única exceções a esta observação foram encontradas para painéis fundidos com argamassa M4-PF1.2 e M4-FV3.0.

O uso de diferentes espessuras de camada de argamassa (15 e 25 mm) nos painéis SC8, SC9 e SC10 não causou nenhuma variação significativa em relação à carga máxima medida no ensaio dos painéis SC3, SC4 e SC7, que apresentam a mesma espessura para ambas as camadas de argamassa (15 mm).

Aparentemente, o aumento da seção transversal afeta o mecanismo de falha que é mais dependente da espessura do EPS (comprimento dos conectores) e da espessura mínima da camada de argamassa.

A mudança do teor de fibra de vidro de $0,6 \text{ kg} / \text{m}^3$ (painéis SC17 e SC18) a $3,0 \text{ kg} / \text{m}^3$ não mostrou uma clara influência sobre os resultados do teste. Da mesma forma, nenhuma variação na carga máxima foi observada entre painéis com fibra de vidro e com fibra de poliéster.

3.2.2.2 Painéis esbeltos

O Quadro 6 mostra os resultados em termos de carga máxima medido para cada painel do segundo programa experimental. A falha típica observada foi semelhante à dos painéis de pequena escala com maior tendência à instabilidade lateral.

Verificou-se que o aumento da espessura do EPS e do comprimento dos conectores levou a uma diminuição da carga máxima medida.

O aumento de 60 mm para 100 mm na espessura do EPS produz um decréscimo de 9,4% na carga máxima. Isso confirma a tendência já observada no teste com painéis de pequena escala.

3.3 OBSERVAÇÕES E RESULTADOS DOS TESTES

Vários aspectos que podem afetar o comportamento estrutural e as cargas máximas resistidas pelos painéis foram analisadas. Os resultados indicaram que as condições mais desfavoráveis ocorrem à medida que malha de reforço aproxima-se da face interna da camada de argamassa, enquanto a condição mais favorável ocorre para um malha centrada na camada de argamassa. Tais diferenças são mais evidentes quanto ao diâmetro das barras utilizadas para compor a malha aumentam. Se o reforço não está centrado, malhas com barras mais grossas deslocar mais a linha central de gravidade da camada de argamassa gerando assim excentricidades maiores do que as malhas com barras mais finas. Nesse contexto, a redução da resistência causada pelo aumento do diâmetro pode exceder o efeito benéfico de aumentar a taxa de reforço.

É claro que se a falha do painel acontecer devido a instabilidade lateral, a carga máxima resistida diminui com a redução do diâmetro ou do número de conectores por linha. No entanto, nenhuma influência é observada se o falha acontece devido à combinação de flexão-compressão, que apresenta a mesma carga máxima apesar das alterações realizadas nos conectores. Isso indica que, caso a falha seja causada por instabilidade lateral, para melhorar a carga máxima resistida é aconselhável que se aumente o número ou o diâmetro dos conectores. Ao contrário, caso a falha seja causada por compressão flexo-compressão combinada, seria melhor mudar a espessura da camada de argamassa ou suas propriedades materiais.

Os resultados obtidos com painéis de pequena escala e esbeltos ilustram o comportamento estrutural dos painéis sanduíche esperado na prática. Apesar do número limitado de testes, os resultados indicam que a resistência à compressão da argamassa e a espessura dos painéis (comprimento dos conectores) são os principais aspectos que afetam a carga máxima resistida pelos painéis. Essa carga aumenta com o aumento da resistência a compressão e com a redução da espessura do painel.

Foram investigados dois possíveis mecanismos de falha: 1) devido à combinação flexão-compressão ou 2) devido à instabilidade lateral da argamassa

camada. Para painéis com altura pequena, EPS fino (aço dos conectores curto) ou argamassa menos resistente, predomina o primeiro mecanismo de falha.

O estudo paramétrico realizado com a nova formulação proposta mostra que o aumento de o número ou do diâmetro dos conectores de aço aumenta a carga máxima devido à instabilidade lateral. Por outro lado, o aumento da espessura da camada de argamassa produz um consequente aumento da carga máxima resistida para ambos os mecanismos de falha.

Verificou-se que a resistência dos painéis é maximizada se a malha de reforço estiver centrada na camada de argamassa. Qualquer outra posição desloca a linha central de gravidade da camada de argamassa gerando uma excentricidade que reduz a carga normal global resistida. Se a posição da malha de reforço não estiver centrada na camada de argamassa, um especial cuidado deve ser tomado para seleccionar o diâmetro das barras usado. Nesse caso, o uso de malhas com barras mais grossas pode ter um efeito adverso, provocando a redução de a carga máxima resistida pelo painel.

4.3 ANÁLISE DE RESISTÊNCIA À INCÊNCIOS

Entre todos os plásticos, o poliestireno expandido (EPS) é o material que tem o desempenho mais seguro em situações de incêndio. Composto por apenas 2% de matéria sólida (poliestireno) e 98% de ar, ele simplesmente “encolhe” mediante elevadas temperaturas. A partir dos 80/100 graus, sua estrutura geométrica se deforma e as pérolas de poliestireno retornam ao seu estado original. Esse é exatamente o processo inverso ao da origem do EPS, ou seja, na sua fabricação, a matéria-prima se expande através do vapor d'água.

No momento da sua reciclagem, um dos métodos é a termo reciclagem, que reduz o material através do calor. Além disso, 100% do material produzido no país, consumido pela construção civil, pertence à classe “F”, que recebe aditivo retardante à chama, para evitar a propagação do fogo (EPS Brasil, 2020).

O EPS de boa qualidade é um material não tóxico e não inerente, ou seja, não é inflamável, corrosivo, patogênico, e nem possui tendência a sofrer uma reação química. Porém deve-se tomar muito cuidado com a garantia da qualidade do

produto, uma vez que se o EPS for de baixa qualidade, pode perder todas essas características vantajosas e ser altamente inflamável. Para não colocar a construção exposta a riscos de incêndio, é necessário ter fornecedores confiáveis de produtos de alta qualidade que assegurem a qualidade desse material, para que não sejam utilizados elementos inflamáveis na obra (AVESANI NETO, 2008).

Todavia, estudos realizados pela Universidade de Lisboa, afirmam que a velocidade de desintegração dos painéis de EPS é muito rápida e por isso estudam formas de prolongar a forma íntegra das placas de EPS para que em caso de incêndios eles não se desintegrem em poucos minutos.

Nos testes realizados pela Universidade de Lisboa, utilizaram como núcleo dos painéis espuma de poliestireno expandido (EPS) com densidade de 15 kg / m³ e condutividade térmica de 0,038 W / m · K.

Dois painéis sanduíche com núcleo de poliestireno expandido foram testados com duas placas diferentes à prova de fogo: placa de gesso à prova de fogo de 12 mm de espessura (P-EPS-FG) e placa de óxido de magnésio de 3 mm de espessura (P-EPS-MGO). Um painel central de duas camadas com lã de rocha e espuma de poliestireno expandido foi testado sem qualquer proteção contra fogo (P-SW / EPS). A camada central de lã de rocha foi colocada no lado exposto ao fogo.

No Quadro 8 estão descritos os testes executados com 2 placas diferentes a prova de fogo.

Quadro 8 - Amostras de montagem de parede

Rótulo	Material do Núcleo	Proteção contra fogo
P-EPS-MGO	EPS (80 mm)	MGO (3 mm)
P-EPS-FG	EPS (80 mm)	FG (12 mm)
P-SW / EPS	SW (50 mm) + EPS (40 mm)	Sem proteção contra incêndio

O núcleo de EPS de 80 mm de espessura foi obtido pela montagem de placas de 1000 × 500 × 80 mm. O núcleo de dupla camada SW-EPS de 100 mm de espessura foi obtido pela montagem de placas de lã de rocha 1000 × 500 × 50 mm e placas de espuma de poliestireno expandido 1000 × 500 × 40 mm.

Os testes de decomposição realizados permitiram a determinação de valores aproximados de temperaturas de decomposição térmica (T_d) superiores a: 85 ° C para núcleos de EPS. Em relação às montagens de parede de núcleo de EPS com proteção externa contra fogo, a observação dos testes indicou que a decomposição do material do núcleo ($T_E \geq T_d = 85 \text{ ° C}$) começou após 6 min de exposição ao fogo na montagem de parede de P-EPS-MGO e após 9 min de exposição no conjunto de parede P-EPS-FG. A decomposição completa da espessura do núcleo ($T_U \geq T_d = 85 \text{ ° C}$) ocorreu após 14 min de exposição ao fogo para a amostra P-EPS-MGO e após 23 min para a amostra P-EPS-FG.

Na Figura 39 estão relacionados o tempo de resistência ao fogo de cada tipo de material ensaiado.

Figura 39 - Gráfico do tempo de resistência ao fogo



A fim de melhorar o desempenho ao fogo de montagens de parede usando espuma EPS como material de núcleo, uma camada de lã de pedra de 50 mm (SW) foi adicionada a uma camada de espuma EPS de 40 mm, formando espécime P-SW / EPS (90 mm de espessura). Nenhuma outra proteção contra incêndio foi usada. A camada SW atrasou a decomposição do EPS ($TC \geq T_d = 85^\circ C$) para 22 min de exposição ao fogo. A decomposição completa da espessura do núcleo da amostra P-SW / EPS foi detectada visualmente após 35 minutos de exposição ao fogo, embora a temperatura da superfície não exposta nunca tenha atingido o limite de temperatura ($T_U \leq T_d = 85^\circ C$).

Considerando os dados coletados e as observações visuais dos corpos de prova durante e após a exposição ao fogo, as montagens de parede P-EPS-MGO e P-EPS-FG apresentaram baixas resistências ao fogo de 12 e 23 min, portanto classificadas como não resistente. Essas classificações estão intimamente relacionadas à baixa temperatura de decomposição térmica do EPS ($T_d = 85^\circ C$).

5 CAPÍTULO 5

5.1 VANTAGENS DO EMPREGO DO EPS

O Quadro 9 apresenta as propriedades do EPS e as vantagens de sua utilização.

Quadro 9 - Vantagens do sistema EPS e características sustentáveis

Propriedades	Vantagens	Sustentabilidade
Baixa condutividade térmica	A estrutura de células fechadas, cheias de ar, dificulta a passagem do calor o que confere ao isopor um grande poder isolante	Conforto termoacústico; Redução do consumo de energia
Baixo peso	As densidades do isopor variam entre 10-30 kg/m ³ , permitindo uma redução substancial do peso das construções quando utilizado como sistema construtivo	Redução do uso de materiais em canteiro; redução de peso e materiais na fundação

Resistência a intempéries	O EPS está ausente de qualquer valor nutritivo, por isso fungos ou microrganismos não podem crescer	Durabilidade do material
Resistência mecânica	Apesar de muito leve, o isopor tem uma resistência mecânica elevada, que permite o seu emprego onde esta característica é necessária	Menor perda de material e maior durabilidade do produto acabado
Baixa absorção de água	O isopor não é higroscópico. Mesmo quando imerso em água o isopor absorve apenas pequenas quantidades de água. Tal propriedade garante que o isopor mantenha as suas características térmicas e mecânicas mesmo sob a ação da umidade	Durabilidade do material; Conforto hidrotérmico
Facilidade de manuseio	O baixo peso do isopor facilita o manuseamento do mesmo em obra	Economia com transporte e mão de obra
Versatilidade	Facilmente cortado e moldado. Quimicamente estável e pode ser trabalhado com a maioria dos materiais de construção, tais como cimento, gesso, cal, água e outros	Integração no processo de produção da edificação; redução de desperdício e resíduos em canteiro de obras

Fonte: IMED, 2015

5.1.1 Reciclagem

A EPS Brasil é a comissão empresarial que difunde o desenvolvimento sustentável do EPS em todas as aplicações possíveis controla o uso de EPS no país, sempre visando qualidade e ampliação. Em estudo realizado pela comissão, identificaram que no Brasil, 21% do EPS é reciclado – taxa próxima à da europeia, de 25%. Somente em 2016, 35 mil toneladas foram reutilizadas por vários segmentos industriais. A reciclagem é feita pelos sistemas mecânicos – o mais usual – ou químico. No primeiro, o EPS totalmente limpo passa por extrusoras dotadas de degasagem, que retira o ar do material, reduzindo em 90% o seu volume total. Outra

forma mecânica e simples de reciclar o EPS é triturar as placas residuais em grânulos e misturá-los com o EPS fresco em uma proporção de até 15% (CSIR, 2017). A reciclagem química envolve reatores que mantêm as propriedades do poliestireno expandido. Na construção civil, o Material Reciclado (MR) é constituído de 20% de EPS reciclado e 80% de material virgem, que resulta num novo produto com densidade de 9 a 10 Kg/m³, próximo ao tipo 1.

A Figura 40 apresenta o sistema utilizado na reciclagem do EPS.

Figura 40 - Processo mecânico de reciclagem do EPS residual



Fonte: CSIR, 2017

A fabricação do EPS utiliza gases que não são prejudiciais à natureza. Ademais, é um material 100% reciclável (AVESANI NETO, 2008). É importante salientar que o EPS, em comparação, por exemplo, com a madeira libera proporções inferiores de gases tóxicos. Até o momento não foram encontrados nenhum efeito prejudicial à saúde (SOUZA, 2009). A redução da emissão de CO₂ pode ser de até 40% se comparada a uma obra convencional (COSTA, 2019).

5.1.2 Redução do desperdício de material

É fácil perceber a redução de desperdício, já que a alvenaria tradicional descarta cerca de 30 % de materiais na fase de execução, e de todo desperdício mundial 50% provem da construção civil o que é um número preocupante, fazendo necessário à adoção de medidas para diminuir esse percentual, e é aí que entram métodos construtivos menos impactantes como o sistema construtivo monolítico (PAVESI, 2016).

5.1.3 Energia incorporada

A indústria da construção é uma das maiores consumidoras de energia em muitos países. Esta energia pode ser categorizada como energia incorporada e energia operacional. A energia incorporada trata da energia necessária aos processos associados à conclusão de um edifício. Portanto, inclui a energia necessária para a aquisição de recursos naturais, incluindo mineração, fabricação de materiais, transporte, etc. A energia operacional envolve aquela utilizada pelas operações do edifício e usos como ar condicionado, aquecimento, iluminação, outros equipamentos, eletrodomésticos, etc (Dissanayake et. al., 2016).

O material, por oferecer excelente conforto térmico e acústico, proporciona redução do consumo de energia pelos habitantes, diminuindo a necessidade do condicionamento térmico do ambiente, o que colabora para redução da energia operacional.

Por se tratar de um material leve, 100% reciclável, de fácil obtenção e transporte, acompanhado por um método de edificação rápido e eficiente, a energia incorporada ao processo de construção também é menor quando comparado a métodos convencionais mais demorados e menos sustentáveis.

5.2 DESVANTAGENS DO EMPREGO DO EPS

A maior desvantagem em se adotar o método EPS está relacionada à falta de mão de obra especializada (Figura 41). Por ser um método relativamente novo e com utilização de

processos específicos, poucos profissionais no mercado possuem experiência com esse tipo de construção, o que pode resultar na elevação do custo da produção e no início tardio da obra.

Outra grande desvantagem está relacionada à ausência de normatização específica para essas construções, o que abre espaço para dúvidas e inseguranças na hora de se construir. Além disso, essa ausência atrapalha a padronização das construções, uma vez que cada construtor pode desenvolver um método diferente no desenvolvimento da obra. A padronização das técnicas construtivas, que deve ser adotada como estratégia, visa buscar a

forma mais eficiente de desenvolvimento de uma atividade. Esta padronização dos procedimentos construtivos vai embasar as demais ações que terão como objetivo aumentar a racionalização dos processos construtivos, durante a fase de execução.

Esse método construtivo, por adotar painéis pré-fabricados, exige que os projetos de execução sejam bem detalhados e compatibilizados, uma vez que a construção em EPS não permite alterações futuras, como são comuns nas construções de alvenaria tradicional.

Ademais, tem-se a dificuldade de encontrar fabricantes que forneçam material de alta qualidade, que seja certificado e produzido por empresas especializadas. O EPS deve ser comercializado em painéis prontos para serem fixados na base, por isso é importante encontrar um fornecedor com capacidade de produção para atender as demandas, para evitar problemas na obra.

Por fim, o alto consumo de argamassa e aço podem ocasionar em aumento dos gastos com materiais, podendo ultrapassar a economia adquirida com a velocidade da produção.

Figura 41 - Mão de obra especializada



Fonte: Foto tirada pelo próprio autor

Como manifestação patológica comum no pós-obra das construções em EPS, tem-se o surgimento de trincas devido a locomoção dos painéis devido a dilatação dos materiais ou devido falhas na fixação dos painéis, causadas principalmente por afrouxamento das amarras que prendem os painéis às barras iniciais e uns aos outros.

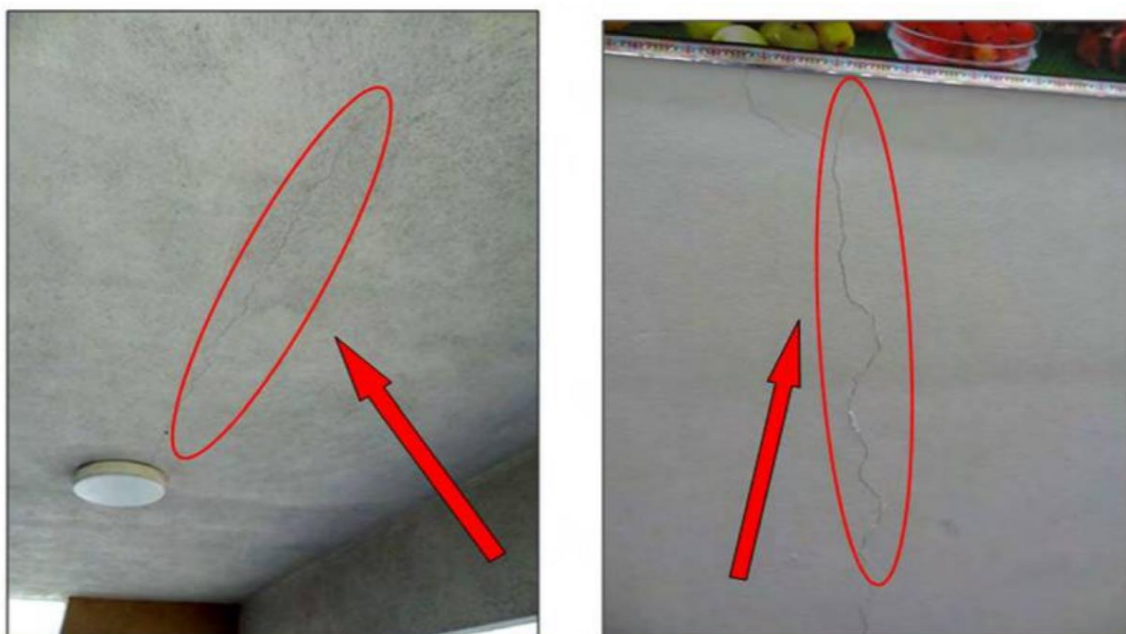
É importante verificar a consistência das amarrações para garantir que essas placas não se desloquem posteriormente e resultem em trincas futuras nas paredes do produto acabado. Exemplo ilustrado na Figura 42 e 43.

Figura 42 - Amarração entre painéis



Fonte: BARRETO, 2017

Figura 43 - Manifestação patológica - Rachaduras comuns no pós obra.



Fonte: Foto tirada pelo próprio autor

6 CONCLUSÃO

A importância dessa pesquisa se deve a utilização de painéis monolíticos de EPS na construção de casas residenciais, a fim sanar o alto índice de déficit habitacional brasileiro. A pesquisa objetivou-se em fazer um estudo sobre os painéis, compreendendo as vantagens e desvantagens do mesmo, descrever seu sistema construtivo, analisar a viabilidade de utilização.

O método construtivo utilizando painéis autoportantes de EPS tem como propósito diminuir os prazos de execução, os desperdícios, a necessidade de mão de obra e o consumo de água e de energia, promover a sustentabilidade e a qualidade do produto acabado. Esse método permite estruturar a edificação com a utilização de painéis monolíticos autoportantes que dispensam a necessidade de vigas e pilares, uma vez que esse conjunto monolítico atua como micropilares recebendo e distribuindo as cargas uniformemente sobre a fundação.

A construção em EPS tem inúmeras vantagens relacionadas a sustentabilidade, a velocidade, ao conforto e ao custo, todavia, ainda há limitações quanto sua aplicação no Brasil, tais como escassez de mão de obra especializada, ineficiência na elaboração e compatibilização de projetos e a inexistência de normas construtivas específicas para o método.

Foi visto que o sistema construtivo monolítico atende diversos requisitos, podendo substituir sem prejuízo algum a alvenaria convencional de blocos cerâmicos ou de concreto, diminuindo assim o tempo de execução e gerando menos resíduos que o método tradicional. Entretanto, faz-se necessária a criação de normas específicas para o método e a qualificação dos profissionais.

7 REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estrutura de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Desempenho. Rio de Janeiro, 2007.

ABRAPEX. **Manual de utilização – EPS na construção civil**. São Paulo: Pini, 2016.

ALVES, João Paulo de Oliveira. **Sistema Construtivo em Painéis de EPS**. 2015. 221f.

Artigo (Graduação) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade católica de Brasília, Brasília. Disponível em:

<<https://repositorio.ucb.br:9443/jspui/bitstream/123456789/8028/1/Jo%c3%a3oPauloDeOliveiraAlvesTCCGRADUACAO2015.pdf>>. Acesso em: 27 de fev. 2021.

BARRETO, Monalisa Nogueira. **Edifício residencial em painéis monolíticos de poliestireno expandido**. 2017. 130f. Artigo (Graduação) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/76862753/tcc-sobre-eps>>. Acesso em: 21 de mar 2021.

CSIR – Central Building Research Institute Roorkee, **Manual for Expanded Polystyrene (EPS) Core Panel System and its field Application**. Disponível em: <https://www.bmtpc.org/DataFiles/CMS/file/PDF_Files/Manual_EPS.pdf> Acesso em: 07 de out. 2020.

COELHO, Fabilson Márcio Ferreira. **Ensaio Projetual de um protótipo habitacional em bloco monolítico de EPS: estudo de caso em Petrolina-PE.**

Dez. 2015. Revista Especialize On-line IPOG, Goiânia, Edição nº v. 01, dez./2015.

Disponível em: <[https://www.ipog.edu.br/revista-especialize-online-](https://www.ipog.edu.br/revista-especialize-online-busca/?autor=Fabilson%20Marcio%20Ferreira%20Coelho)

busca/?autor=Fabilson%20Marcio%20Ferreira%20Coelho>. Acesso em 01 de julho de 2017.

COSTA, Lucas Felipe Terencio. **Casas de EPS: Análise do uso dos painéis monolíticos de poliestireno expandido em construções residenciais.** 2019. 32f.

Artigo (Graduação) – Faculdade de Engenharia Civil, Centro Universitário

CESMAC, Maceió. Disponível em:

<<https://ri.cesmac.edu.br/bitstream/tede/650/1/Casa%20de%20eps%20an%c3%a1lise%20do%20uso%20dos%20pain%c3%a9is%20monol%c3%adticos%20de%20poliestireno%20expandido%20em%20constru%c3%a7%c3%b5es%20residenciais.pdf>>.

Acesso em: 07 de out. 2020.

Desprotegido, poliestireno propaga fogo. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 16 de dez. 2001. Disponível em:

<<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/construcao/cs1612200103.htm#:~:text=Al%C3%A9m%20de%20o%20material%20ser,espessura%20do%20acabamento%22%2C%20afirma>> Acesso em: 27 de fev. 2021.

Deficit é de 106 mil casas. **Diário do Nordeste**, 25 de Ago. 2007. Disponível em:

<<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/deficit-e-de-160-mil-casas-1.238949?page=3>>. Acesso em: 07 de mar. 2020.

Déficit Habitacional no Brasil – 2016/2019. **Fundação João Pinheiros**, Belo Horizonte, 2020. Disponível em:

<http://novosite.fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/10.03_Apresentacao_Lancamento-Deficit.pdf> Acesso em: 07 de out. 2020.

Déficit Habitacional nos municípios goianos: uma leitura a partir dos dados do Cadastro Único dos anos de 2017 e 2018. **Instituto Mauro Borges**, Goiânia, nov. 2018. Disponível em:

<<https://www.imb.go.gov.br/files/docs/publicacoes/estudos/2018/deficit-habitacional->

[em-goias-uma-analise-do-cadunico-novembro-2018.pdf](#)>. Acesso em: 27 de fev. 2021.

D.M.K.W. Dissanayakea, C. Jayasinghe, M.T.R. Jayasinghe. **A comparative embodied energy analysis of a house with recycled expanded polystyrene (EPS) based foam concrete wall panels**. Energy and Building. Postgraduate researcher Department of Civil Engineering, University of Moratuwa. Sri Lanka: nov. 2016. Disponível em: <<file:///C:/Users/jorda/Downloads/1-s2.0-S0378778816315985-main.pdf>>. Acesso em: 06 de mar. 2021.

EPS BRASIL. **Mitos e verdades: 10 perguntas e respostas sobre o EPS**. São Paulo, 2020. Disponível em: <<http://www.epsbrasil.eco.br/noticia/view/114/mitos-e-verdades-10-perguntas-e-respostas-sobre-o-eps.html>> . Acesso em: 06 de mar. 2021.

GONSALVES, Ricardo. EPS, uma tendência na construção para um futuro melhor. **TEM Sustentável**. Disponível em: <<http://www.temsustentavel.com.br/eps-uma-tendencia-na-construcao-futuro/>>. Acesso em: 16 de mar. 2017.

G. Carbonari, S. H. P. Cavalaro , M. M. Cansario, A. Aguado. **Experimental and analytical study about the compressive behavior of eps sandwich panels**. Materiales de Construcción Vol. 63, 311, 393-402 jul.-set.2013. Disponível em: <<file:///C:/Users/jorda/Downloads/Painel%20sandwiche.pdf>> . Acesso em: 21 de abr. 2021.

ISOCORT. **Construções com EPS**. Disponível em: <<https://www.construcaocomeps.com.br/paineis-autoportantes-com-eps/>>. Acesso em: 07 de out. 2020.

KNAUF INDUSTRIES. **Propriedades e características técnicas do isopor**. Disponível em: <<https://www.knauf-isopor.com.br/produtos/servicos-em-inovacao/eps>>. Acesso em: 26 de fev. 2021.

Lajes de isopor – Preços, medidas e muito mais, **Construindodecor**. Disponível em: <<https://construindodecor.com.br/laje-de-isopor/>>. Acesso em: 22 de mar. 2021.

LCP Timelapse construção de Protótipo de Casa Sustentável para o Design Weekend SP 2013, **LCP Engenharia**, São Paulo, 21 de set. 2013. Disponível em: <<https://youtu.be/Ohttps://www.youtube.com/watch?v=OoOsZNVzTVM&feature=https://www.youtube.com/watch?v=OoOsZNVzTVM&feature=youtu.be=youtu.beoOsZNVzTVM>>. Acesso em: 27 de fev. 2021.

LUEBLE, Ana Regina Ceratti Pinto. **Construção de habitações com painéis de EPS e argamassa armada**. In: Conferência latino-americana de construção sustentável x encontro nacional de tecnologia do ambiente construído. UNERJ - Centro Universitário de Jaraguá do Sul. São Paulo: 21 de jul. 2004. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/11566772-Construcao-de-habitacoes-com-paineis-de-eps-e-argamassa-armada.html>>. Acesso em: 02 de abr. 2021.

MONOLITUS. **Sistema construtivo leve**. Disponível em: <<https://monolitussistemas.com.br/>> Acesso em: 22 de abr. 2021.

MORAES e BRASIL, Carolina Brandão, Paula de Castro. **Estudo da Viabilidade do Poliestireno Expandido (EPS) na produção de edificações com baixo impacto ambiental**, 4º Seminário Nacional de Construções Sustentáveis, 1º Forum Desempenho das Edificações, IMED. Passo Fundo, Nov. 2015. Disponível em: <[https://www.imed.edu.br/Uploads/Estudo%20da%20Viabilidade%20do%20Poliestir%20Expandido%20\(EPS\).pdf](https://www.imed.edu.br/Uploads/Estudo%20da%20Viabilidade%20do%20Poliestir%20Expandido%20(EPS).pdf)> Acesso em: 07 de out. 2020.

M2 EMMEDUE. **Bulding Solutions**. Disponível em: <<http://en.mdue.it/construction-system/products/emmedue-panels/single-panel/>>. Acesso em: 06 de mar. de 2021.

PAREDES BETEL. **Produtos em EPS**. Disponível em: <http://paredesbetel.com.br/?page_id=17>. Acesso em: 02 de nov. 2017.

PEREIRA, GADO, PROEÇA, MORGADO, Diogo, António, Jorge, Tiago. **Fire performance of sandwich wall assemblies**. Composites. Part B, Engineering. 15 mai. 2016, Vol. 93, p. 123-131.

SOUZA. A.C.A.G. **Análise comparativa de custos de alternativas tecnológicas para construção de habitações populares**. Nov. 2009. 108f. Dissertação de Pós-graduação de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife.

Disponível em:

<file:///C:/Users/jorda/Downloads/dissertacao_angela_cristina_alves_guimaraes_souza.pdf> Acesso em: 27 de fev. 2021.

TÉCNHE. **Escolha de fôrmas para paredes de concreto deve considerar critérios técnicos e econômicos.** Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/202/escolha-de-formas-para-paredes-deconcreto-deve-considerar-criterios-304347-1.aspx>> . Acesso em: 07 de abr. 2021.

TÉCHNE. **Sistemas construtivos: Painéis monolíticos de concreto.** Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/188/artigo286963-2.aspx>>. Acesso em: 07 de abr. 2021.

TÉCHNE. **Tecnologia: Paredes de painéis monolíticos de EPS.** Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/129/artigo285706-2.aspx>>. Acesso em: 07 de abr. 2021.

TERMOTÉCNICA. **EPS.** Disponível em: <<https://www.termotecnica.ind.br/tag/isopor/>>. Acesso em: 07 de dez. 2020.