

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

THAIS ELENIZE DE SIQUEIRA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO E CUSTOS DE SISTEMA DE
VEDAÇÃO EM EPS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2017

THAIS ELENIZE DE SIQUEIRA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO E CUSTOS DE SISTEMA DE VEDAÇÃO
EM EPS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Profa. Dr^a. Marina Rocha Pinto Portela Nunes.

PATO BRANCO

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DE DESEMPENHO E CUSTOS DE SISTEMA DE VEDAÇÃO EM EPS

THAIS ELENIZE DE SIQUEIRA

No dia 21 de junho de 2017, às 16h30min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº16 - TCC/2017.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. MARINA ROCHA PINTO PORTELA NUNES (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Dr. GUSTAVO LACERDA DIAS (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Dr. JOSÉ ILO PEREIRA FILHO (DACOC/UTFPR-PB)

RESUMO

A alvenaria de blocos cerâmicos é o sistema de vedação tradicionalmente utilizado na construção civil. Este sistema é responsável por consumir uma considerável parcela do tempo de execução da obra além de produzir uma significativa quantidade de resíduos sólidos. Entretanto, a inserção de novos produtos no mercado da construção tem possibilitado aprimorar seus métodos construtivos como, por exemplo, o sistema de vedação em Poliestireno Expandido (EPS). Neste sistema, constituído por painéis de EPS e telas de aço argamassadas, o EPS dá formato à parede e as telas argamassadas confere-lhe resistência. Devido à sua facilidade de aplicação e conseqüente redução do tempo de execução, assim como a menor quantidade de resíduos gerados, faz deste um sistema alternativo ao de blocos cerâmicos. Pesquisas relacionadas ao desempenho em geral do sistema de EPS no Brasil, entretanto, ainda são escassas. Desta forma, este trabalho teve como objetivo analisar o desempenho não estrutural de dois protótipos de sistema de vedação de EPS quanto a solicitações de cargas suspensas e compará-lo às prescrições da NBR 15575-4 e referência bibliográfica. Uma análise comparativa do desempenho quanto ao isolamento térmico entre o sistema de EPS e o de blocos cerâmicos também foi realizada com base em estudos da literatura. O sistema de EPS apresentou um excelente desempenho quanto às solicitações de cargas suspensas e vantajoso em relação ao bloco cerâmico quanto no estudo de isolamento térmico. Para avaliar a competitividade do sistema de EPS com relação ao sistema de blocos cerâmicos, foi ainda realizada uma análise comparativa de seus custos com base em dados apresentados em bibliografia; os custos mais elevados do sistema de EPS, referentes a seus materiais constituintes, são compensados pela redução da mão de obra se comparado ao sistema de bloco cerâmico.

Palavras-chave: Sistema de EPS, resistência a peças suspensas, isolamento térmico, análise de custos.

ABSTRACT

The masonry of ceramic blocks is the system of sealing traditionally used in civil construction. This system is responsible for consuming a considerable portion of the execution time of the work besides producing a significant amount of solid waste. However, the insertion of new products in the construction market has made it possible to improve its construction methods, such as the Expanded Polystyrene (EPS) sealing system. In this system, made up of EPS panels and mortared steel screens, the EPS shapes the wall and the mortar screens gives it resistance. Due to its ease of application and consequent reduction of the execution time, as well as the smaller amount of residues generated, it makes of this an alternative system to the one of ceramic blocks. However, the researches related to the general performance of the EPS system in Brazil are still scarce. In this way, this work had as objective to analyze the non-structural performance of two prototypes of EPS system of sealing for suspended loads and to compare it with the prescriptions of NBR 15575-4 and bibliographic reference. A comparative analysis of the thermal insulation performance between the EPS system and the ceramic block system was also performed based on literature studies. The EPS system presented an excellent performance in relation to the suspended load applications and advantageous in relation to the ceramic block in the thermal insulation study. In order to evaluate the competitiveness of the EPS system in relation to the ceramic block system, a comparative analysis of its costs was carried out based on data presented in bibliography. The higher costs of the EPS system, related to its constituent materials, are offset by the reduction of labor compared to the ceramic block system.

Keywords: EPS system, resistance to suspended parts, thermal insulation, cost analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Configuração de um sistema de vedação em EPS	17
Figura 2: Pérola de poliestireno (antes da expansão) - granulado de EPS (após a expansão)..	19
Figura 3: Silos ventilados para estocagem do EPS.....	19
Figura 4: Bloqueira - moldagem do EPS.....	20
Figura 5: Pantógrafo	21
Figura 6: Correlações entre a massa específica e a resistência do EPS.....	22
Figura 7: Curva tensão x deformação do EPS para diferentes massas específicas	25
Figura 8: Variação da resistência à compressão em função da temperatura.....	27
Figura 9: Resultado do ensaio de TGA	28
Figura 10: Absorção de água por submersão e suas correlações com a massa específica	29
Figura 11: Características exigíveis para o uso do EPS	31
Figura 12: Elementos componentes das telas	33
Figura 13: Solda por caldeamento	34
Figura 14: Características das telas padronizadas	36
Figura 15: Designação de tela padronizada.....	37
Figura 16: Designação de tela não padronizada	37
Figura 17: Painel de vedação.....	38
Figura 18: Painel escada.....	42
Figura 19: Painel de piso: armadura unidirecional e bidirecional	43
Figura 20: Blocos e placas de EPS	44
Figura 21: Painel duplo	45
Figura 22: Conectores rígidos em uma direção	46
Figura 23: Conectores flexíveis.....	46
Figura 24: Tipos de composição de uma seção sanduíche	47
Figura 25: Arranques em baldrame (edificação ao nível do solo).....	49
Figura 26: Arranques em vigas e lajes.....	49
Figura 27: União dos painéis com lajes, pilares e vigas.....	50
Figura 28: Emenda das malhas de aço por transpasse.....	51
Figura 29: Malha diagonal no canto de aberturas	51
Figura 30: Escoramento dos painéis.....	52

Figura 31: Armaduras de reforço.....	53
Figura 32: Instalação do sistema elétrico	54
Figura 33: Instalação hidráulica	54
Figura 34: Aplicação da primeira camada de revestimento.....	55
Figura 35: Cronograma de avaliação de desempenho	60
Figura 36: Corpo de prova.....	63
Figura 37: Corpo de prova.....	63
Figura 38: Mão-francesa padronizada	64
Figura 39: Disposição dos relógios comparadores	65
Figura 40: Cargas de ensaio e critérios para peças suspensas fixadas por mão-francesa padrão	66
Figura 41: Configuração e dimensões dos protótipos	67
Figura 42: Painéis tipo macho e fêmea.....	68
Figura 43: Confeção dos painéis de vedação de EPS	69
Figura 44: Painéis concretados com os pilares	70
Figura 45: Pilares com arranques	71
Figura 46: Esquema de engastamento vertical dos painéis	72
Figura 47: Detalhamento do espaçamento vertical entre as esperas do pilar	72
Figura 48: Dimensões da tela utilizada	73
Figura 49: Conector	74
Figura 50: Fixação dos conectores às telas das faces do painel	74
Figura 51: Disposição dos conectores e das tiras de espaçamento.....	75
Figura 52: Detalhamento do espaçamento entre os conectores.....	76
Figura 53: Detalhe das tiras de espaçamento e da espessura do painel.....	76
Figura 54: Painéis instalados	78
Figura 55: Detalhe da amarração das telas dos painéis aos arranques	79
Figura 56: Primeira camada de revestimento	80
Figura 57: Parede com o revestimento de argamassa finalizado.....	81
Figura 58: Edifícios modelo	86
Figura 59: Cargas dos materiais de fechamento	86
Figura 60: Comparação entre cargas e custos de vedação em alvenaria e EPS associado ao drywall.....	87

Figura 61: Comparativo do valor das cargas atuantes sobre a fundação	88
Figura 62: Análise de viabilidade	89
Figura 63: Ponto de análise das temperaturas de superfície	95
Figura 64: Temperatura interna de paredes com painéis de EPS e alvenaria	96
Figura 65: Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar admissíveis para paredes externas	97
Figura 66: Comparativo entre espessuras de paredes de blocos cerâmicos e painéis de EPS para uma mesma transmitância térmica	98
Figura 67: bucha de expansão fixada em drywall	99
Figura 68: Instalação das buchas e fixação dos parafusos	100
Figura 69: Dispositivo de aplicação dos carregamentos	100
Figura 70: Distribuição dos três relógios comparadores	101
Figura 71: Configuração do ensaio 1	101
Figura 72: Configuração do ensaio 2	102
Figura 73: Mão francesa com todo o carregamento aplicado	103
Figura 74: Ocorrência de fissura	107
Figura 75: Desprendimento da bucha do ponto 1 e fissuração do ponto 2	107
Figura 76: Resultados - ensaios de cargas suspensas	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Compatibilidade do EPS com materiais utilizados na construção civil.....	24
Tabela 2: Normas que regulamentam o uso do EPS no Brasil	30
Tabela 3: Normas que regulamentam o uso e a fabricação de telas soldadas	33
Tabela 4: Tipos de telas soldadas.....	35
Tabela 5: Traço usual da argamassa de revestimento	56
Tabela 6: Requisitos de desempenho estrutural de um sistema de vedação conforme NBR 15575-4.....	61
Tabela 7: Tipologias construtivas de uma residência	83
Tabela 8: Consumo de mão de obra para cada sistema construtivo	84
Tabela 9: Custos diretos dos sistemas construtivos	85
Tabela 10: Economia percentual de concreto e aço.....	88
Tabela 11: Levantamento dos custos do sistema de vedação em EPS.....	91
Tabela 12: Levantamento dos custos do sistema de vedação em blocos cerâmicos.....	92
Tabela 13: Dados do ensaio do Protótipo 1	103
Tabela 14: Dados do ensaio do Protótipo 2	104
Tabela 15: Deslocamentos ocorridos após 24 h.....	105
Tabela 16: Sistemas construtivos avaliados.....	108

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1.	OBJETIVOS.....	13
1.1.1.	Geral.....	13
1.1.2.	Específicos	14
1.2.	JUSTIFICATIVA.....	14
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1.	POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)	18
2.1.1.	Características	21
2.1.2.	Aplicações do EPS na construção civil.....	30
2.2.	TELAS DE AÇO	32
2.2.1.	Processo de fabricação das telas de aço	33
2.2.2.	Classificação das telas de aço	35
2.3.	SISTEMA MONOLÍTICO DE VEDAÇÃO COMPOSTO POR EPS E TELAS DE AÇO ARGAMASSADAS.....	38
2.3.1.	Características e composição do painel de vedação.....	43
2.3.2.	Processo executivo do sistema de vedação em EPS	48
2.3.3.	Comportamento ao fogo	58
2.4.	NORMA DE DESEMPENHO NBR 15575 (2013)	59
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	62
3.1.	SISTEMA DE APLICAÇÃO DAS CARGAS E MEDIÇÃO DOS DESLOCAMENTOS	64
3.2.	CONFIGURAÇÃO E EXECUÇÃO DO SISTEMA DE VEDAÇÃO	67
3.2.1.	Arranjo e dimensão dos painéis	67
3.2.2.	Fixação dos painéis nos pilares.....	70
3.2.3.	Tela de aço e material do EPS.....	72
3.2.4.	Conectores.....	73
3.2.5.	Execução da camada de revestimento do sistema.....	76
4.	ANÁLISES: EXECUÇÃO DOS PROTÓTIPOS, COMPARATIVO DE CUSTOS E DE ISOLAMENTO TÉRMICO	78
4.1.	EXECUÇÃO DOS PROTÓTIPOS	78

4.2.	ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE UM SISTEMA DE VEDAÇÃO EM EPS E O SISTEMA DE ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS.....	82
4.3.	ISOLAMENTO TÉRMICO DO SISTEMA DE VEDAÇÃO EM EPS COM BASE EM REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	94
5.	CONFIGURAÇÃO DOS TESTES E RESULTADOS.....	99
5.1.	RESULTADOS DOS ENSAIOS.....	103
5.1.1.	Comparação dos resultados obtidos com referências bibliográficas	108
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	110
	REFERÊNCIAS	112

1. INTRODUÇÃO

O sistema de vedação mais utilizado pelo setor da construção civil é composto por blocos cerâmicos que são ligados entre si por uma argamassa de assentamento. Este sistema tem sido o mesmo por décadas, e é responsável por consumir uma considerável parcela do tempo de execução de uma edificação e dos insumos necessários, pois envolve diversas atividades dentro do canteiro de obras, dentre elas: a movimentação de materiais e pessoas, para transportar os blocos, confeccionar e levar a argamassa até o seu local de uso, e por fim executar a alvenaria. Além dos custos, materiais e pessoas, este sistema é responsável por uma considerável parcela dos carregamentos que são impostos à estrutura da edificação, pois apresenta uma elevada carga por metro quadrado, e também pelos resíduos sólidos gerados, resultado da quebra e recorte dos blocos.

No entanto, o avanço nos estudos de novos materiais que se aplicam a construção civil e a crescente preocupação com desempenho aliado a ganho de produtividade faz com que surjam novas formas de se pensar certos processos. Um exemplo disto é o sistema monolítico de vedação formado por telas de aço argamassadas e placas de Poliestireno Expandido (EPS), que surgiu na Itália em 1980, em uma região de invernos rigorosos e sujeita a terremotos, que tinha como objetivo atender a condições climáticas severas e de resistência, conferindo conforto e segurança ao usuário (Bertoldi, 2007).

Este sistema construtivo chegou ao Brasil na década de 90, porém é ainda pouco utilizado nos dias atuais (Bertoldi, 2007), fato que pode ser atribuído à resistência de mercado e ao seu pouco conhecimento. Porém se mostra como uma boa alternativa a alvenaria convencional de blocos cerâmicos, pois alia em um único elemento requisitos de desempenho térmico; resistência; facilidade de aplicação, diminuindo o tempo de execução e consumo de mão de obra; além de produzir uma quantidade menor de resíduos, os quais podem ser reaproveitados (LUEBLE, 2004).

O EPS é um material que, segundo a Associação Brasileira de Poliestireno Expandido (ABRAPEX), foi descoberto na Alemanha no ano de 1949, e que nos últimos 35 anos ganhou uma posição estável na construção civil, por suas características isolantes, por sua leveza, resistência, facilidade de manuseio e baixo custo. Outra vantagem do produto se refere ao seu baixo impacto ambiental, pois seus produtos finais não contaminam o solo, água e ar, sendo 100% reaproveitáveis e recicláveis, podendo voltar à condição de matéria-prima

(MACHADO; PINTO, 2001).

Outro material, porém que já tem seu uso consolidado no setor da construção civil é o aço, um material ferroso com elevada resistência à ruptura por tração ou compressão e que apresenta versatilidade de aplicação, conferindo resistência e leveza às edificações. Seu uso não é recente, começou a ser produzido em larga escala na Inglaterra a partir das décadas de 1860/70, tendo seu uso difundido no Brasil na década de 1940, após a construção da Usina Presidente Vargas da CSN - Companhia Siderúrgica Nacional, em Volta Redonda, no Rio de Janeiro (PFEIL, 2008).

Neste sistema de vedação, o EPS é responsável por propiciar o conforto térmico para o usuário da edificação, pois é composto por 98 % de ar, o que lhe confere um alto poder de isolamento térmico e ao mesmo tempo um baixo peso específico, característica que lhe confere leveza e facilidade de manuseio. As telas de aço revestidas com argamassa conferem a resistência da vedação, que pode ou não desempenhar função estrutural. Quando desempenha função estrutural não são utilizados elementos estruturais como vigas e pilares na edificação, sendo as paredes o único elemento responsável por receber e transferir os carregamentos da edificação às fundações.

Como forma de se construir um maior conhecimento com relação a este sistema construtivo que faz uso do EPS e do aço, foi realizado neste trabalho um estudo, por meio de referencial bibliográfico, sobre o seu isolamento térmico e sobre o seu custo se comparado à alvenaria de blocos cerâmicos. Outro aspecto a ser analisado diz respeito a sua resistência, a qual será avaliada por meio de ensaio a ser executado em dois protótipos de vedação em EPS. Este ensaio faz parte dos requisitos de desempenho prescritos pela NBR 15575-4 (2013) para sistemas de vedação e que avalia sua resistência quando submetido a solicitações de cargas suspensas, sendo um mecanismo para que possa se estabelecer as cargas de uso do sistema de vedação testado.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Geral

Analisar o desempenho de um sistema de vedação não estrutural em EPS quanto às solicitações de cargas provenientes de peças suspensas conforme prescrito na norma NBR

15575-4 e comparar os custos e o desempenho térmico entre o sistema de vedação em EPS e o sistema de alvenaria convencional de blocos cerâmicos.

1.1.2. Específicos

Realizar ensaios de solicitações de cargas provenientes de peças suspensas em protótipos de vedação não estrutural em EPS e comparar os resultados com os valores de desempenho prescritos pela NBR 15575-4 (2013).

Analisar o desempenho térmico do sistema de vedação em EPS, comparando-o com o de paredes em alvenaria de blocos cerâmicos por meio de estudos presentes na literatura;

Comparar os custos entre o sistema de vedação em EPS e o sistema de alvenaria convencional de blocos cerâmicos referentes ao valor de aquisição dos materiais e de execução com base em dados disponíveis na literatura.

1.2. JUSTIFICATIVA

O setor da construção civil é considerado ainda pouco desenvolvido tecnologicamente se comparado a setores voltados ao desenvolvimento de softwares e máquinas, por exemplo. Pinatt, Almeida e Mori (2013) atribuem este atraso à dificuldade em se inserir novas tecnologias na construção civil, seja por motivos “culturais” - a praticidade em construir utilizando-se projetos-padrão onde o conhecimento dos materiais, sistemas estruturais e métodos construtivos estão consolidados - seja pela falta de qualificação adequada dos operários.

Entretanto, nas últimas décadas, a busca por aprimoramento técnico, de materiais e processos, visando um maior ganho de produtividade e uma redução do impacto ambiental, tem se mostrado um tema em destaque no setor da construção civil. Isto se deve a atual necessidade de se obter maior lucratividade por meio da produção de bens da forma mais rápida possível e com um menor consumo de recursos materiais e financeiros. Além disto, fazer uso de técnicas que proporcionem maior rapidez de execução e que otimizem o uso de recursos materiais proporciona às empresas maior competitividade no mercado.

Um dos materiais que vem apresentando uso crescente na construção civil nos últimos anos é o poliestireno expandido (EPS). Segundo a ABRAPEX, isto se deve as suas

características isolantes, leveza, resistência e facilidade de manuseio. Devido a sua versatilidade de uso, ele supre a necessidade de processos mais dinâmicos, que aumentam a produtividade no canteiro de obras, aliando qualidade do produto e serviço, além de apresentar boa durabilidade, baixo impacto ambiental e compatibilidade com a grande maioria dos materiais comumente utilizados na construção civil.

Dentre os usos do EPS, este material pode ser utilizado como parte componente de um sistema de vedação, no qual é associado a telas de aço eletrossoldadas, formando um painel, que ao ser revestido com argamassa torna-se rígido e resistente. Este sistema de vedação em EPS surgiu na Itália na década de 80, e era utilizado para a construção de habitações, tendo o objetivo de criar uma estrutura rígida capaz de resistir a abalos sísmicos e, ao mesmo tempo, capaz de proporcionar conforto térmico, pois a região da Itália em que surgiu é sujeita a terremotos e invernos rigorosos (SOUZA, 2009).

Atualmente, este sistema de vedação se apresenta como uma boa alternativa a modelos convencionais de vedação em blocos cerâmicos, que ocasionam uma maior sobrecarga na edificação e geram maior gasto com materiais e mão de obra. Desta forma, o uso do EPS torna possível racionalizar o processo de execução de sistemas de vedação no canteiro de obras, diminuindo trabalhos com o descarregamento, transporte e assentamento de blocos cerâmicos, além de reduzir as perdas de material que ocorrem durante este processo; torna ainda o canteiro de obras mais limpo e organizado, facilitando a circulação de materiais e pessoas pelo mesmo.

Por ser mais leve que os demais sistemas, a vedação em EPS proporciona também uma economia no custo das fundações. Segundo Viana e Alves (2012) a redução da carga aplicada ao solo pode chegar a 25%, podendo até mesmo influenciar no tipo de fundação a ser utilizado (direta ou indireta), o que acarreta em menores custos.

Apesar deste sistema de vedação em EPS ter chegado ao Brasil na década de 90, ele ainda é pouco utilizado (BERTOLDI, 2007). Este fato pode ser atribuído ao pouco conhecimento relacionado ao seu comportamento, assim como uma resistência do mercado à inserção de métodos diferentes aos convencionalmente adotados. Como afirmam Machado e Pinto (2001), a utilização de novas técnicas exige pesquisa, aceitação de mercado e preço competitivo. Portanto, uma melhor compreensão sobre o comportamento do sistema em EPS pode contribuir para a sua maior aplicação, de forma a otimizar os processos construtivos e o uso de materiais.

É objetivo deste trabalho desenvolver um sistema de vedação em EPS a fim de analisar seu desempenho em relação às solicitações de cargas provenientes de peças suspensas conforme prescrito pela norma de desempenho ABNT NBR 15575 (2013); esta norma regulamenta o desempenho a ser atendido por sistemas de vedações que tenham ou não função estrutural.

O ensaio de solicitações de cargas suspensas simula a suspensão de cargas às quais um sistema de vedação vertical pode ser submetido ao longo de sua vida útil como, por exemplo: suspensão de televisores, armários, prateleiras, quadros, entre outros. Neste ensaio, o sistema é submetido a esforços de flexão por meio de um dispositivo de mão-francesa, a fim de avaliar e especificar a sua resistência com base nas cargas de uso (serviço) a que pode ser submetido.

Ainda será analisado neste trabalho o desempenho térmico do sistema construtivo em EPS se comparado à alvenaria convencional como forma de avaliar o ganho de conforto que o seu uso pode proporcionar a uma edificação, pois conforme Novais *et al.* apud Frota; Schiffer (1995), depois da cobertura, a parede é o elemento que mais absorve calor e o transmite para o interior da edificação.

O outro ponto abordado diz respeito ao custo do sistema de vedação em EPS, que será comparado a tradicional alvenaria de blocos cerâmicos, para que se possa avaliar sua competitividade econômica com relação ao método convencional. Este estudo será feito, em um primeiro momento, com base em referencial bibliográfico, sendo posteriormente realizado um comparativo de custos entre o protótipo proposto neste trabalho e a vedação em blocos cerâmicos com base nas Tabelas de Composições de Preços para Orçamento (TCPO) da Editora PINI (EDITORA PINI, 2010).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O sistema de vedação em EPS se mostra uma vantajosa alternativa a tradicional alvenaria de blocos cerâmicos, seja por suas características de isolamento térmico ou pelo seu baixo peso específico, gerando um menor consumo de energia com sistemas de refrigeração e ganhos no dimensionamento estrutural de uma edificação, além de otimizar processos construtivos refletindo em ganho de tempo.

A configuração deste sistema está apresentada na Figura 1 abaixo, e como se observa é composto por uma placa de EPS, a qual possui duas telas de aço em suas faces, que recebem revestimento de argamassa, conferindo resistência à vedação. Para uma melhor compreensão do funcionamento deste sistema será apresentado, nos itens seguintes deste capítulo, um estudo sobre o EPS e as telas que o compõem, ressaltando seus processos produtivos, características físicas e de desempenho.



Figura 1: Configuração de um sistema de vedação em EPS
Fonte: Adaptado de SANTOS, 2015.

Após a análise dos elementos que o compõe, serão apresentadas as características do sistema de vedação em si, com os seus aspectos construtivos e suas possibilidades de uso, além de uma análise de seu desempenho térmico e um comparativo de custos com a tradicional alvenaria de blocos cerâmicos. Por fim será realizada uma análise da parte da norma de desempenho destinada a sistemas de vedação, NBR 15575-4 (2013), apontando os critérios de desempenho a serem atendidos, embasando o ensaio experimental a ser realizado em dois protótipos de vedação em EPS.

2.1. POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

O Poliestireno Expandido foi descoberto pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz na Alemanha em 1949. Atualmente, é conhecido internacionalmente pela sigla EPS. No Brasil é mais conhecido como “Isopor®”, marca registrada da empresa Knauf Isopor Ltda, que designa desta forma os produtos de EPS que comercializa (MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2006).

O EPS é um plástico celular rígido resultado da polimerização do estireno em água, e que tem como matéria prima o polímero de estireno, que é obtido a partir do petróleo (NETO, 2008).

A polimerização é uma reação química que provoca a combinação de um grande número de moléculas iguais entre si, que no caso do poliestireno é o polímero de estireno, de modo a formar uma macromolécula, o polímero de poliestireno. Deste processo resultam pérolas de até 3 milímetros de diâmetro, que são a matéria prima para a produção do EPS (ABRAPEX, 2016). Depois de ocorrida a transformação química, este polímero irá passar por transformações físicas nas empresas que fabricam o EPS. Estas transformações se processam em três etapas: a pré-expansão, o armazenamento intermediário e a moldagem.

Conforme Bertoldi (2007), na pré-expansão a matéria-prima é aquecida através do contato com vapor de água aquecido associado a um agente expensor, o pentano, a temperaturas compreendidas entre 80 e 110° C, em uma máquina denominada de pré-expensor. Esta matéria-prima são as pérolas resultantes da polimerização, que ao entrar em contato com o vapor de água e com o gás pentano se expandem (o calor faz com que o agente de expansão – pentano - se dilate, expandindo o poliestireno), ocasionando um aumento de 20 a 50 vezes no volume das pérolas, dependendo da duração e intensidade do tratamento. O agente expensor pentano não agride o meio ambiente, pois se deteriora rapidamente pela reação fotoquímica gerada pelos raios solares (ABRAPEX, 2016).

Ao fim deste processo se obtém o granulado de EPS, onde as pérolas de poliestireno, que estavam inicialmente compactas, estão transformadas em esferas de plástico celular, com pequenas células fechadas que contém ar no seu interior. Na Figura 2 é possível verificar uma pérola de poliestireno antes e depois da expansão, quando já está em forma de granulado, evidenciando o significativo aumento ocorrido após a pré-expansão.



Figura 2: Pérola de poliestireno (antes da expansão) - granulado de EPS (após a expansão)
Fonte: BERTOLDI apud ACEPE, 2006.

Após esta pré- expansão o volume das pérolas será composto por até 98% de ar e 2% de poliestireno. Assim, em 1 m³ de EPS existem de 3 a 6 bilhões de células fechadas e cheias de ar, o que acarreta em um baixo peso específico deste material (ABRAPEX, 2016).

Após esta primeira etapa, o granulado de EPS é armazenado temporariamente para se estabilizar térmica e quimicamente. Nesta segunda etapa, durante a fase de estabilização, o material granulado se esfria, ocasionando uma zona de depressão no interior das células; o ar circundante irá penetrar por difusão no vácuo contido no interior das partículas, preenchendo-as (NETO, 2008). Desta forma, a expansão do material estará completa e os grânulos terão alcançado maior estabilidade mecânica. Todo este processo ocorre em silos ventilados, conforme os apresentados na Figura 3, durante o repouso do material (BERTOLDI, 2007).



Figura 3: Silos ventilados para estocagem do EPS
Fonte: CAPIVARI, 2016.

Após a estabilização, o granulado de EPS segue para a terceira e última etapa de sua fabricação, na qual é colocado em moldes com tamanhos e formas pré-definidas, sendo novamente aquecido pela exposição ao vapor de água, a temperaturas compreendidas entre 110-120°C. Nestas condições as pérolas de poliestireno se agrupam umas às outras, tomando a forma do molde, obtendo-se um material monolítico e rígido, o qual contém uma grande quantidade de ar (BERTOLDI, 2007).

Este segundo processo de expansão é interrompido pela projeção de jatos de água contra o molde, para que se reduza a pressão no interior do corpo formado, possibilitando a retirada da peça moldada. A partir desta etapa o material está pronto para uso ou recorte para posterior utilização (BERTOLDI, 2007). Na Figura 4 está apresentada a Bloqueira, máquina na qual ocorre este processo de modelagem.



Figura 4: Bloqueira - moldagem do EPS
Fonte: NETO apud ABRAPEX, 2006.

Conforme Neto (2008), o tipo de regulagem adotado durante o processo de fabricação (valor da expansão, forma e tamanho do molde) permite que se obtenha uma variada gama de tipos de EPS, que se adaptam as mais variadas utilizações em engenharia e nas demais áreas.

De acordo com a ABRAPEX (2016), são diversas as aplicações do EPS, que vão desde artigos de consumo, embalagens industriais e até mesmo para o uso na agricultura. Contudo, é na construção civil que seu uso é mais difundido, destaque este, que segundo Neto (2008), se deve à possibilidade de adequação de suas propriedades às necessidades de cada obra, seja por suas características de isolamento térmico como pelo seu reduzido peso específico, aliados a alta resistência e a sua facilidade de manuseio.

Para sua aplicação na construção civil, os produtos de EPS podem ser fabricados com processo de moldagem direta ou como subprodutos recortados dos blocos produzidos. O recorte destes blocos é feito em equipamentos chamados pantógrafos, como o apresentado na Figura 5, que irão dar a forma desejada ao EPS. O pantógrafo é um equipamento formado por fios aquecidos, que em contato com o poliestireno, efetuam o corte desejado, com espessuras e formas variadas (BERTOLDI, 2007).



Figura 5: Pantógrafo
Fonte: PORTOMAQ, 2016.

2.1.1. Características

Conforme a ABRAPEX (2016), as vantagens do uso do material EPS estão relacionadas às suas características, que são: a baixa condutividade térmica e de absorção de água; baixo peso (composto essencialmente por ar); facilidade de manuseio e corte; versatilidade de uso; resistência ao envelhecimento (não é consumido por microrganismos – não apodrece nem mofa); capacidade de absorção de choques e resistência à compressão.

Por ser um material plástico composto basicamente de vazios preenchidos por ar, é um excelente isolante em temperaturas de -70° a 80° Celsius. Devido ao seu isolamento térmico, o EPS oferece uma baixa absorção de água, sendo de no máximo de 5% em volume. Desta forma, quando estiver associado ao concreto ou argamassa, irá permitir que a cura dos mesmos ocorra de uma forma melhor e mais rápida (MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2006).

Estas características apresentadas pelo EPS fazem dele um excelente material para uso na construção civil, sendo empregado em diversos processos construtivos, como por exemplo: material de preenchimento em lajes pré-fabricadas e em juntas de dilatação; como componente de painéis divisórios e telhas tipo ‘sanduíche’; no concreto leve, dentre outros.

Porém, para o seu correto uso, é necessário verificar se o material adquirido é tecnicamente o mais adequado para a utilização a que se destina e se sua densidade e espessura estão em conformidade com as necessidades de projeto (ABRAPEX, 2016).

Através do controle no processo de fabricação do EPS podem-se obter produtos com diferentes valores de massa específica, que podem variar de 10 a 100 kg/m³ (NETO apud STARK *et al*, 2004). Porém, o mais comum é se encontrar valores de massa específica variando de 15 a 40 kg/m³, com variação de 5 em 5 kg/m³ (NETO apud HORVATH, 1994).

De acordo com Neto (2008), a massa específica do EPS é de grande importância para as mais variadas propriedades do material, tanto mecânicas quanto hidráulicas. Na Figura 6 é possível observar as diversas correlações entre a massa específica e as propriedades mecânicas, onde as resistências à flexão, compressão e ao cisalhamento são diretamente proporcionais à massa específica, com maiores valores de resistência para maiores de densidade do material.

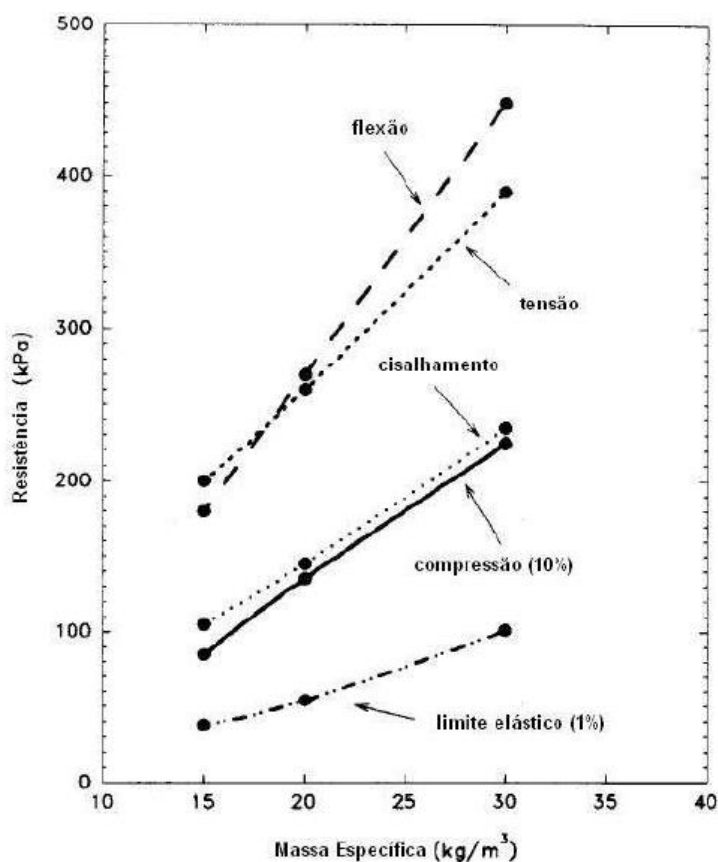


Figura 6: Correlações entre a massa específica e a resistência do EPS
Fonte: NETO apud BASF, 1991.

Conforme a ABRAPEX (2016) o EPS se classifica quanto à classe e quanto ao tipo de massa específica aparente. A classificação quanto ao tipo se refere aos 3 grupos de massa específica aparente: I - de 13 a 16 kg/m³; II - de 16 a 20 kg/m³; III - de 20 a 25 kg/m³. A classe em que se dividem descreve o mecanismo de inflamação e combustão, conforme a NBR 11948, sendo produzidos em duas versões: Classe P (não retardante à chama), e Classe F (retardante à chama).

2.1.1.1. Durabilidade e impactos ao meio ambiente

Um ponto importante a ser avaliado com relação aos materiais utilizados na construção civil diz respeito a sua durabilidade, pois ao longo de sua vida útil os mesmos podem estar sujeitos as mais variadas intempéries e circunstâncias de uso, que podem danificá-los e comprometer o seu funcionamento quanto à finalidade que se destinam.

Quanto à durabilidade do EPS, Neto (2008) afirma que se for aplicado de forma correta à finalidade que se destina, pode apresentar um adequado desempenho ao longo de toda a vida útil da obra. Este material possui uma alta durabilidade, que pode ser atribuída ao fato de ser um material inerte, que não reage quimicamente com outros materiais; não é biodegradável e não serve de alimento para microrganismos e outros animais, pois não possui valor nutritivo. Outra característica importante se deve ao fato de não sofrer alterações quando em contato com o solo ou com a água (NETO apud BASF, 1990).

O EPS é sensível aos raios ultravioleta, por isso deve ser evitada a sua exposição a eles, ou quando expostos necessitam de proteção. Conforme Neto (2008), a radiação solar direta, e outras radiações ricas em energia deterioram o EPS, ocasionando o seu amarelamento devido à alteração da sua estrutura química.

A compatibilidade química entre o EPS e outros materiais é outro fator a ser considerado para que se possa garantir a sua durabilidade. De acordo com Machado e Pinto (2001) é necessário tomar cuidado com certos materiais, pois apesar de ser considerado estável – que não reage com outros materiais, o EPS é sensível aos solventes utilizados em pinturas a base de óleo de produtos derivados do alcatrão (carvão mineral).

O EPS também é sensível a materiais que contenham solventes derivados do petróleo, como óleos, gasolina e diesel, pois os mesmos danificam sua estrutura celular, sendo necessário, portanto, que se evite o contato ou a sua exposição a vapores destes materiais

(NETO, 2008). No entanto, o EPS é compatível com a maioria dos demais materiais utilizados na construção civil, conforme se pode observar na Tabela 1, onde estão apresentados alguns materiais comumente utilizados e sua compatibilidade com o EPS. A indicação “-”, “+”, “+/-” quer dizer que o EPS apresenta, respectivamente, baixa, alta e média resistência aos materiais apresentados.

Tabela 1: Compatibilidade do EPS com materiais utilizados na construção civil

Água, água do mar, soluções de sais	+
Materiais de construção corrente (cal, cimento, gesso)	+
Soluções alcalinas	+
Ácido clorídrico 35%	+
Ácido nítrico 50%	+
Ácido sulfúrico 95%	-
Betumes, produtos betuminosos diluídos em água	+
Produtos betuminosos com solventes	-
Produtos asfálticos	-
Alcool	+/-
Solventes orgânicos	-
Hidratos de carbono alifáticos	-

Fonte: Adaptado de NETO, 2008.

Além do seu uso na construção civil, o EPS também é bastante empregado no meio farmacêutico e alimentício para as embalagens dos produtos, e conforme Neto (2008) não oferece qualquer risco de contaminação ou danos. Os produtos formados por EPS são inodoros, não contaminam o ar, solo e água, sendo 100% reaproveitáveis e recicláveis e podem voltar à condição de matéria-prima (MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2006).

Na fabricação do poliestireno expandido, o gás utilizado como agente expensor não prejudica a camada de ozônio e nem a natureza. O EPS é um produto sintético do petróleo, sendo composto por carbono e hidrogênio, o que o torna um produto não tóxico ao meio ambiente. A tecnologia de fabricação deste material pode ser considerada limpa, pois a fonte de energia utilizada no processo é o vapor de água, com um consumo de água mínimo e que pode ser ainda reutilizada (NETO, 2008).

De acordo com Neto (2008) a fabricação do EPS não produz resíduos sólidos, pois as sobras geradas são reintroduzidas no processo, não gerando desperdício algum de material. Outro ponto que torna este material de baixo impacto ambiental é o fato de que após a sua vida útil poderá ser totalmente reciclável, reaproveitando-se totalmente os resíduos gerados

(NETO, 2008). Conforme Machado e Pinto (2001), da sua reutilização como matéria-prima, os blocos, placas e utensílios de EPS podem ser remodelados para aplicações que não exijam aparência e características mecânicas homogêneas, como por exemplo, caixões perdidos para lajes.

2.1.1.2. Resistência à compressão e ao cisalhamento

A resistência à compressão do EPS, como visto anteriormente, é diretamente proporcional a sua massa específica, havendo uma relação linear entre ambas. Conforme pode se observar no gráfico de tensão *versus* deformação da Figura 7, um acréscimo de massa específica acarreta em um ganho de resistência à compressão e uma menor deformação do material, ou seja, quando mais denso for o EPS maior será o seu módulo de elasticidade e a sua resistência (NETO, 2008). Conforme a ABRAPEX (2016) o EPS tem uma resistência à compressão que varia de 1 a 2 kg/cm².

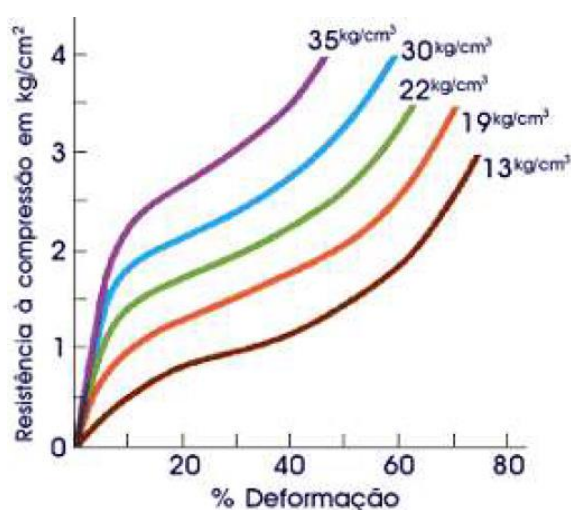


Figura 7: Curva tensão x deformação do EPS para diferentes massas específicas
Fonte: NETO apud ABRAPEX, 2006.

Quando sujeito à compressão, após o limite de elasticidade do EPS ter sido superada, surge um trecho plástico na curva tensão x deformação. Neste trecho, as deformações impostas ao material se tornam permanentes, porém sem que ocorra ruptura (NETO, 2008), característica que faz do EPS um material de comportamento dúctil.

Conforme os trabalhos feitos por Duskov (1997) e citados por Neto (2008), a partir

de uma deformação de 1%, a perda de resistência no EPS ocorre de forma mais acentuada, pois a plastificação do material se torna mais significativa. Esta perda de resistência se deve ao rompimento da estrutura celular do EPS, que ocorre durante a plastificação. Este rompimento faz com que o ar que está contido nos vazios do material, que auxilia na resistência à deformação, escape pelas fendas geradas, acarretando em uma menor resistência.

Neto (2008) também realizou ensaios nos quais submeteu amostras de EPS a uma compressão uniaxial cíclica. Os resultados obtidos pelo autor indicaram que este material não é indicado para uma utilização que o solicite dinamicamente acima do seu limite de elasticidade. Porém, ao ser solicitado na fase elástica, o EPS se mostrou com elevada eficiência, suportando ciclos de cargas sem exibir a perda de suas propriedades mecânicas, deformação acumulada ou fadiga estrutural.

2.1.1.3. Influência da temperatura na resistência

Para que o EPS tenha um emprego adequado em obras de construção civil, se faz importante avaliar o seu comportamento quando exposto ao calor, pois o requisito básico de toda obra é a segurança. O EPS é um material plástico, ou seja, pouco resistente ao calor, e conhecer o quanto e a partir de que temperatura esta perda de resistência pode vir a comprometer o seu uso é essencial para que o restante da estrutura à qual faz parte não seja comprometida.

O EPS tem sua resistência influenciada pela temperatura, e de acordo com Neto (2008) o estudo desta variação de resistência em função da variação térmica do ambiente é extremamente importante para a sua utilização em obras, pois o mesmo estará sujeito a grandes amplitudes térmicas e de condições climáticas.

Conforme Neto (2008), estudos mostraram que a variação de temperatura gerou uma variação no comportamento da resistência de forma inversamente proporcional, ou seja, o aumento de temperatura acarreta em perda de resistência.

Neto (2008) cita em seu trabalho o estudo feito por Yeo e Hsuan (2006), os quais realizaram ensaios de compressão uniaxial do EPS, variando-se a temperatura a qual o material estava submetido. Neste estudo foram utilizadas seis temperaturas, que variaram de 23°C a 58°C, com incrementos de 7°C. Na Figura 8 estão apresentados os dados obtidos, onde é possível verificar os efeitos da variação da resistência em função do aumento da

temperatura, na qual se observa um comportamento bi-linear de 23° C a 44° C e de 44° C a 58° C e que é inversamente proporcional, onde a resistência diminui com o aumento da temperatura.

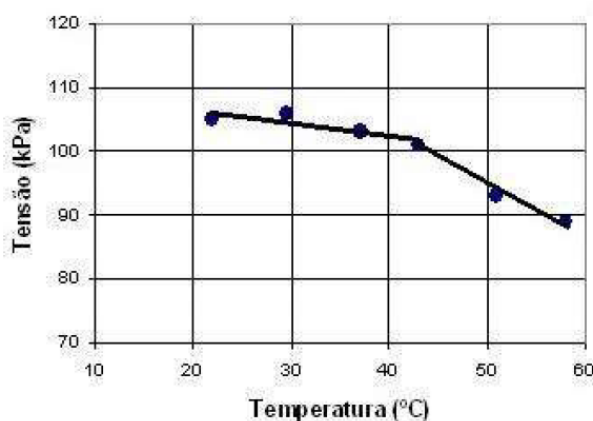


Figura 8: Variação da resistência à compressão em função da temperatura
Fonte: NETO apud YEO; HSUAN, 2006.

Neto (2008) explica que a temperatura aumenta a energia cinética das moléculas do poliestireno expandido, tornando o material menos viscoso. Assim sendo, o aumento da temperatura irá influenciar significativamente nas deformações deste polímero, tornando-o menos resistente a carregamentos estáticos.

A temperatura também influencia na resistência ao cisalhamento do EPS. Neto (2008) realizou ensaios em corpos de prova com diferentes densidades e com exposição a temperaturas que variaram de 23 a 72° C. A influência da temperatura na resistência ao cisalhamento do material, se mostrou mais acentuada nas amostras com maiores valores de massa específica, 20 e 30 kg/m³, com reduções de até 20% para variações de 50°C. Porém, as amostras com menores valores de massa específica não foram afetadas de forma significativa pela temperatura.

Neto (2008) explica que quando o EPS possui um maior valor de massa específica ele apresenta um menor valor de vazios internos, e conseqüentemente uma maior parcela do polímero poliestireno, o qual é afetado de forma mais significativa pela variação de temperatura do que o ar contido nos vazios. Em contrapartida, quando a massa específica é menor ele é menos influenciado pela temperatura, pois o valor de vazios é maior que a parcela de polímero.

Neto (2008) também realizou ensaios de Análise Termogravimétrica (TGA) em amostras de EPS. Este ensaio consiste no aumento gradativo da temperatura, sendo ao mesmo tempo, medida a perda de massa do corpo de prova. Para cada perda de massa ocorrida em uma determinada temperatura determina-se um elemento que compõe a amostra por curvas calibradas. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 9 abaixo, na qual é possível observar que há uma perda total de massa dos corpos de prova utilizados para uma temperatura de cerca 400° C.

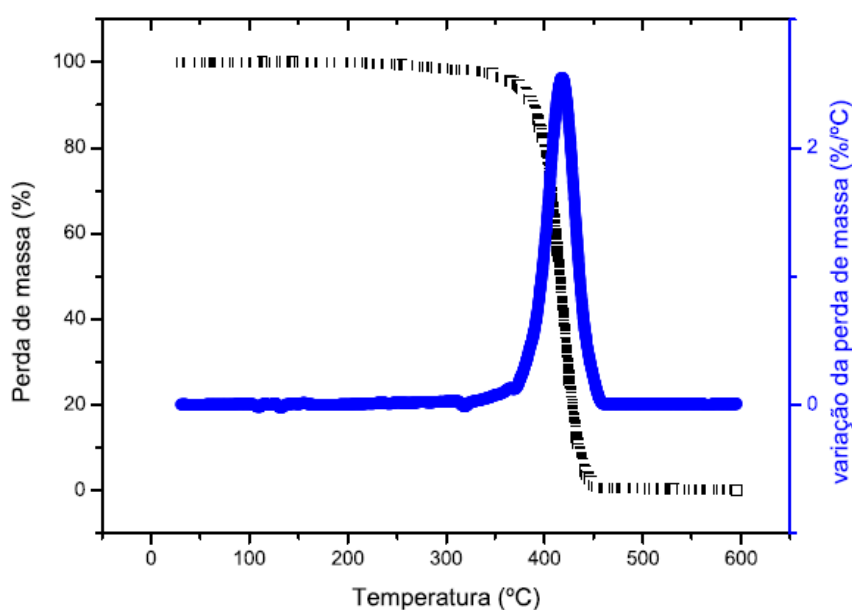


Figura 9: Resultado do ensaio de TGA
Fonte: NETO, 2008.

Destes dois estudos apresentados, de Neto (2008) e de Yeo e Hsuan (2006), fica evidenciado o cuidado que se deve ter ao fazer uso do EPS quando o mesmo está sujeito a variações de temperatura, pois um aumento de temperatura acarreta em perda de resistência e de massa, podendo vir a comprometer a estrutura à qual este material faz parte.

2.1.1.4. Absorção de água

A importância de se estudar a absorção de água do poliestireno expandido deve-se ao fato da água possuir um peso específico cerca de 50 vezes maior que a do EPS, sendo que se este material tiver uma grande capacidade de absorção, os benefícios de fazer o seu uso devido a sua leveza desaparecem, pois a absorção da água ocasiona uma elevada massa

específica do conjunto.

Segundo Neto (2008), quanto maior a massa específica do EPS menor será a quantidade de massa de água absorvida pelo material, como pode ser observado na Figura 10, que apresenta as correlações entre a porcentagem de absorção de água com a massa específica. Este fenômeno pode ser explicado pela redução de vazios que há no material de maior densidade, havendo menos espaço para a água se infiltrar e se alojar, o que reduz a absorção. Segundo Neto (2008), a relação entre a absorção de água e a massa específica gerada, pode ser utilizada para estimar o acréscimo de carga imposta à estrutura que faz uso do EPS quando o mesmo estiver sujeito a infiltração de água.

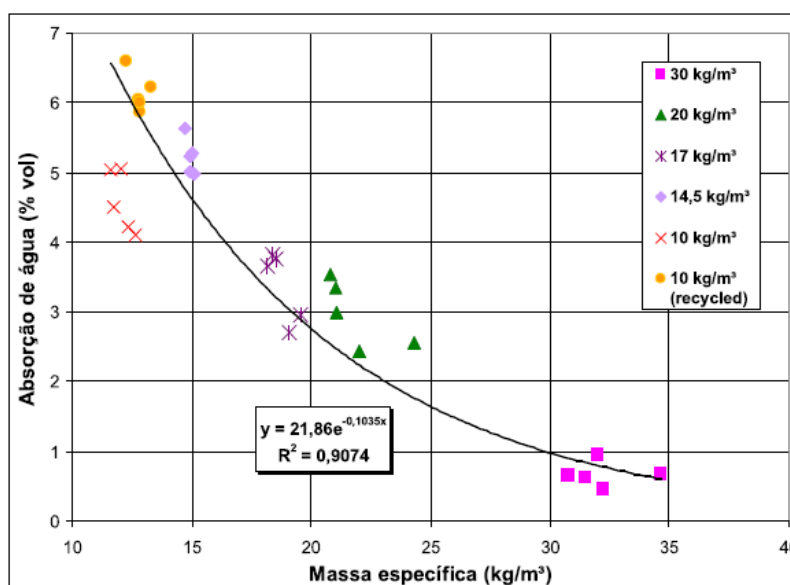


Figura 10: Absorção de água por submersão e suas correlações com a massa específica
Fonte: NETO, 2008.

A partir destes estudos, Neto (2008) evidencia a perda das características benéficas da utilização de um material de baixo peso específico como o EPS, quando este está sujeito ao contato direto com a água. Desta forma ele alerta para a necessidade de um sistema de impermeabilização e proteção que evite este contato, e que impeça a absorção por parte do material.

Duskov (1997) por meio de ensaios em amostras de EPS realizou estudos para verificar a influência da absorção de água na resistência à compressão do EPS, e concluiu que a mesma não compromete o seu comportamento, pelo contrário, foi observado que o material apresentou um acréscimo de resistência. Conforme este autor, as células do EPS preenchidas

com água oferecem um ganho de resistência quando solicitadas por compressão se comparada à estrutura preenchida por ar.

2.1.2. Aplicações do EPS na construção civil

Nos últimos 35 anos a aplicação do EPS vem adquirindo uma posição mais estável na construção civil (ABRAPEX, 2016). Tal fato pode ser explicado pelas vantajosas características do material que, além de otimizar os processos e uso de materiais no setor da construção, também permite que sejam atingidos requisitos de desempenho de seus sistemas, como é o caso do isolamento térmico de painéis de vedação.

Conforme o Manual de Utilização de EPS na Construção Civil (2006), este material tem o seu uso e fabricação regulamentado pelas normas apresentadas na Tabela 2 abaixo, que avaliam as suas variadas características por meio de ensaios.

Tabela 2: Normas que regulamentam o uso do EPS no Brasil

Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e câmaras frigoríficas.	NBR 11752 (1990)
Determinação de absorção d'água – Método de ensaio	NBR 7973 (2007)
Permeabilidade ao vapor d'água – Método de ensaio	NBR 8081 (2015)
Resistência à compressão – Método de ensaio	NBR 8082 (2016)
Inspeção e amostragem de isolantes térmicos	NBR 10411 (1988)
Ensaio de flameabilidade	NBR 11948 (2007)
Determinação da massa específica aparente	NBR 11949 (2007)
Determinação da condutividade térmica	NBR 12094 (1991)
Test method for breaking load and flexural properties of block-typt thermal insulation.	ASTM C-203

Fonte: ABRAPEX, 2016.

Na Figura 11 abaixo, tem-se conforme estes ensaios normatizados, algumas das características exigíveis a serem observadas para o uso do EPS com relação à classe e ao tipo que são produzidos.

Propriedades	Mét. de Ensaio	Unidade	Classe P			Classe F		
			I	II	III	I	II	III
Tipo de Material								
Massa específica aparente	NBR 11949	Kgm ³	13-16	16-20	20-25	13-16	16-20	20-25
Resistência à compressão com 10% de deformação	NBR 8082	K Pa	≥60	≥70	≥100	≥60	≥70	≥100
Resistência à flexão	ASTM C-203	K Pa	≥150	≥190	≥240	≥150	≥190	≥240
Absorção de água Imersão em água	NBR 7973	g/cm ³ x100	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1
Permeabilidade ao vapor d'água	NBR 8081	ng/Pa.s.m	≤7	≤5	≤5	≤7	≤5	≤5
Coefficiente de condutiv. térmica a 23°C	NBR 12904	X/(m.k)	0,042	0,039	0,037	0,042	0,039	0,037
Flamabilidade	NBR 1948		Material não retardante à chama			Material retardante à chama		

Figura 11: Características exigíveis para o uso do EPS
Fonte: ABRAPEX, 2016.

A principal vantagem do uso do EPS na construção civil está relacionada à sua baixa condutividade térmica. Esta propriedade permite projetar e construir edificações voltadas ao uso racional de energia, diminuindo a demanda por equipamentos que condicionam a temperatura ambiente, as quais terão conforto térmico sem custo adicional. Tal fato permitiu, a países mais desenvolvidos elaborar projetos de empreendimentos que apresentam considerável economia de energia (MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2006).

Segundo a ABRAPEX (2016) os usos do EPS na construção civil são os que seguem:

- Quanto ao isolamento térmico, é usado em lajes industrializadas, telhados, dutos de ar condicionado, tubulações e reservatórios e em câmaras frigoríficas.
- Em lajes industrializadas e em juntas de dilatação é usado como material de enchimento.
- No concreto leve está na forma de agregado, diminuindo o consumo dos demais materiais da mistura e proporcionando a construção de estruturas mais leves.
- Pode ser utilizado como um material drenante, onde os blocos de EPS são fabricados de modo a apresentar micro canais que funcionam como drenos.
- Pode ainda atuar no isolamento acústico em pisos flutuantes.
- No acabamento está presente em forros isolantes e decorativos.
- O EPS também é usado na geotecnia, em aterros sobre solo mole para a construção de estradas e rodovias. Em aterros em encostas é utilizado como um elemento que alivia empuxos em muros de arrimo. Em cabeceiras de pontes

este material minimiza os esforços horizontais no tabuleiro da ponte ou face do muro de contenção do talude, reduzindo o dimensionamento destas estruturas.

- Em sistemas de vedações o EPS atua como um material de isolamento térmico, podendo ser usado apenas para enchimento ou ser parte componente da vedação. No sistema em estudo neste trabalho o EPS atua como parte componente, como apresentado em detalhes no item 2.3.

2.2. TELAS DE AÇO

As telas de aço além de comumente empregadas na construção civil como, por exemplo, na construção de casas e edifícios (lajes, calçadas, reforço de paredes, etc), em estruturas pré-moldadas, pavimentações de concreto, obras de drenagem, dentre outros (IBTS, 2016), são também parte componente do sistema de vedação de EPS.

O Instituto Brasileiro de Telas Soldadas (IBTS) (2016), tabela as telas de três formas, de acordo com a finalidade a que se destinam: telas utilizadas em estruturas de concreto armado, telas destinadas a construção de tubos de concreto armado, utilizados em galerias de águas pluviais e de esgoto, e telas galvanizadas para alambrados.

A NBR 7481 (1990) define a tela de aço como uma armadura pré-fabricada em forma de rede de malhas retangulares, que se destina a armar o concreto, sendo constituída de fios de aço longitudinais e transversais, que estão sobrepostos e soldados em todos os pontos de contato (nós), por resistência elétrica (caldeamento). A malha, por sua vez, é definida como a menor figura geométrica, em forma de retângulo ou quadrado, obtida pela interseção de dois pares de fios (contíguos) ortogonais, que podem ser de mesmo diâmetro ou de diâmetros diferentes (NBR 7481, 1990). Os elementos constituintes das telas estão apresentados na Figura 12.

Conforme a NBR 7480 (2007), são classificados como fios os elementos de aço de diâmetro nominal de 10,0 mm ou inferior, obtidos a partir de fio-máquina por trefilação ou laminação a frio, sendo estes últimos classificados na categoria CA 60.

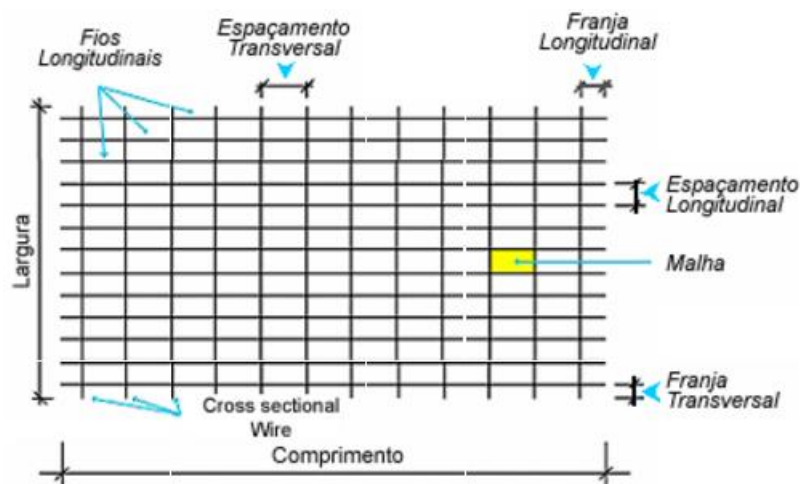


Figura 12: Elementos componentes das telas
Fonte: IBTS, 2016.

Outras quatro normas, além de regulamentar sua fabricação, determinam os ensaios a que devem ser submetidas, conforme a Tabela 3 abaixo.

Tabela 3: Normas que regulamentam o uso e a fabricação de telas soldadas

Junta de tela de aço soldada para armadura de concreto – Ensaio de resistência ao cisalhamento – Método de ensaio	NBR 5916 (1990)
Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado – Especificação	NBR 7480 (2007)
Produtos metálicos - Ensaio de dobramento semiguiado - Método de ensaio	NBR 6153 (1988)
Arame de aço - Ensaio de tração - Método de ensaio	NBR 6207 (1982)

Fonte: IBTS, 2016.

2.2.1. Processo de fabricação das telas de aço

As telas são constituídas por fios de aço fabricados por meio dos seguintes processos: trefilação ou laminação a frio. Ambos produzem o efeito de encruamento a frio do fio, tornando-o mais resistente (BERNARDES; MIRANDA; SOUZA, 2011 apud IBTS, 2011).

Os fios podem receber tratamento superficial anticorrosivo, como o processo de galvanização. Nas telas galvanizadas os fios são galvanizados no fogo, com cerca de 240 gramas de zinco por m² de superfície zincada, conferindo maior resistência à corrosão (MANUAL TELAS SOLDADAS GALVANIZADAS – IBTS, 2016).

As propriedades mecânicas dos fios de aço devem estar em conformidade com as prescrições da NBR 7480 (2007). Esta norma classifica os fios na categoria CA 60, de acordo com o valor característico da resistência ao escoamento.

A soldagem dos fios que formam as telas ocorre por caldeamento, processo representado na Figura 13, e que consiste na união de duas peças metálicas, que podem ser do mesmo material ou de materiais diferentes que possam ser ligados. Para que ocorra a ligação, é gerado um aquecimento localizado nas partes a serem unidas, ao mesmo tempo em que se exerce uma pressão para uni-las. A fonte de calor que gera este aquecimento pode ser de várias origens, tais como, aquecimento das peças em forjas (aquecimento por chama oriunda da queima de gases), fricção e por meio da energia dissipada por resistência elétrica. Para que possa ocorrer o caldeamento é necessário que os materiais das peças a serem unidas atinjam temperaturas, na região da solda, acima do seu ponto de fusão (BERNARDES; MIRANDA; SOUZA, 2011).

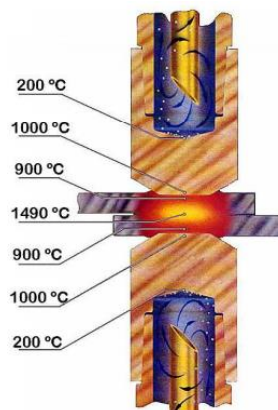


Figura 13: Solda por caldeamento
Fonte: BERNARDES; MIRANDA; SOUZA, 2011.

As telas soldadas utilizadas na construção civil tem sua fabricação realizada através do processo de soldagem por resistência elétrica. Neste tipo de soldagem, a energia necessária para o aquecimento é fornecida através de eletrodos, que aplicam uma pressão sobre as regiões aquecidas fazendo com que ocorra o caldeamento (BERNARDES; MIRANDA; SOUZA apud BATALHA, 2001).

Para a fabricação das telas soldadas são necessários diversos equipamentos, organizados de forma sequencial e que trabalham em processos contínuos, podendo ser semi ou totalmente automatizados. A operação de soldagem é realizada comprimindo-se os fios longitudinais e o fio transversal entre os eletrodos, nos quais flui uma corrente elétrica, que ao passar pelos fios gera aquecimento, soldando-os. Os eletrodos são pressionados contra os fios através de cilindros hidráulicos, sendo que a pressão de soldagem a ser empregada varia de

acordo com os diâmetros dos fios a serem soldados. Os pontos de soldas são considerados satisfatórios quando a profundidade de soldagem atinge 10 a 12 % da soma dos diâmetros dos fios (BERNARDES; MIRANDA; SOUZA, 2011).

Conforme a NBR 7481 (1990), a fim de garantir uma boa soldabilidade e resistência ao cisalhamento das juntas soldadas, o diâmetro do fio mais fino não deve ser inferior a 0,55 do diâmetro do outro fio.

Os fios utilizados devem ser isentos de defeitos que prejudiquem o adequado funcionamento a que se destinam as telas, tais como: corrosão, manchas de óleo, redução da seção, fissuras transversais e esfoliação (escamas) (NBR 7481).

As telas podem ser fornecidas em painéis ou em rolos. De acordo com a NBR 7481 (1990) as telas com diâmetros dos fios longitudinais menores ou iguais a 4,2 mm são fornecidas em painéis ou em rolos. Quando os fios longitudinais apresentam diâmetros maiores que 4,2 mm, as telas são ser fornecidas em painéis. O comprimento usual dos painéis deve ser de 4,2 m a 6,0 m e os rolos com comprimento usual de 60 m a 120 m.

Conforme a NBR 7481 (1990) as telas são ainda classificadas conforme a seção da armadura principal, como apresentado na Tabela 4:

Tabela 4: Tipos de telas soldadas

Tipo		Malha	Aço
Q	Seção da armadura longitudinal é igual a seção da armadura transversal	Quadrada	CA - 60
L	Seção da armadura longitudinal é maior que a seção da armadura transversal	Retangular	CA - 60
T	Seção da armadura transversal é maior que a seção da armadura longitudinal	Retangular	CA - 60
QA	Seção da armadura longitudinal é igual a seção da armadura transversal	Quadrada	CA – 50B
LA	Seção da armadura longitudinal é maior que a seção da armadura transversal	Retangular	CA – 50B
TA	Seção da armadura transversal é maior que a seção da armadura longitudinal	Retangular	CA – 50B

Fonte: NBR 7481, 1990.

2.2.2. Classificação das telas de aço

As telas de aço, com relação as dimensões que são produzidas, são classificadas em padronizadas e não padronizadas.

2.2.2.1. Telas de aço padronizadas

As telas padronizadas seguem a NBR 7481 (1990), que padroniza a sua largura de fabricação em 2,45 m, correspondente ao comprimento de seus fios transversais. Nas extremidades, os fios transversais se projetam além dos fios longitudinais, e vice-versa, formando bordas denominadas de franjas, as quais devem ter um comprimento de 2,5 cm para os fios transversais, e para os fios longitudinais o comprimento deve ser a metade do espaçamento entre os fios transversais. Estes elementos descritos podem ser vistos na Figura 14.

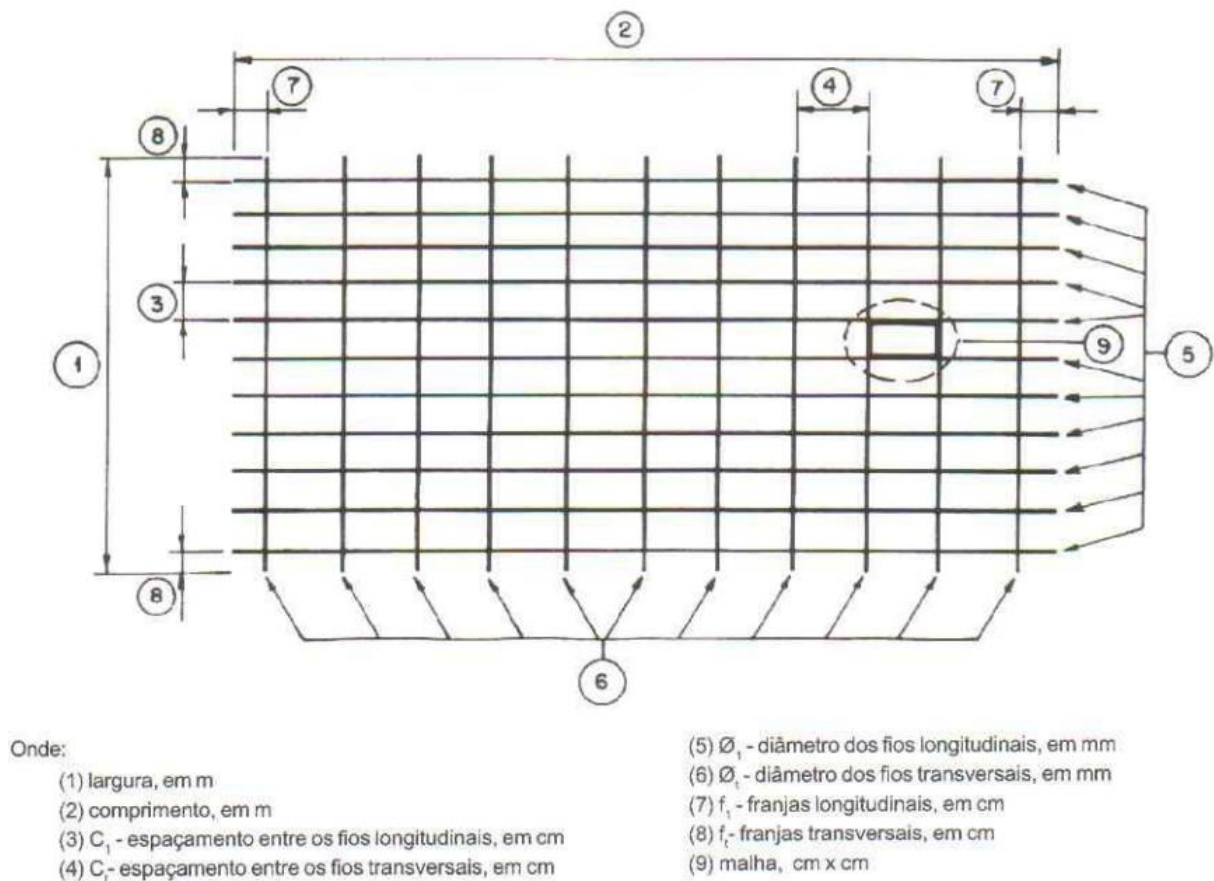


Figura 14: Características das telas padronizadas

Fonte: NBR 7481, 1990.

A nomenclatura das telas padronizadas é formada por uma letra que define o tipo a que pertence, conforme apresentado na Tabela 4, e um número que informa a área de aço da armadura principal, em cm^2/m (TELAS SOLDADAS – INFORMAÇÕES TÉCNICAS IBTS, 2016). Na Figura 15 está representado um exemplo de designação de tela padronizada.



Figura 15: Designação de tela padronizada
 Fonte: IBTS, 2016.

A NBR 7481 (1990) especifica que cada fabricante deverá elaborar tabelas para as telas padronizadas de sua fabricação normal, as quais devem conter além do nome do fabricante, as indicações do tipo de aço, a designação da tela, área das seções dos fios longitudinais e transversais em cm^2 , diâmetro dos fios longitudinais em mm, e a massa por unidade da área em kg/m^2 .

2.2.2.2. Telas de aço não padronizadas

As telas não padronizadas possuem características específicas, adequando-se à necessidade do projeto a que se destinam. Desta forma, as suas dimensões (largura/comprimento), relação entre área de aço (principal e secundária), comprimento de franjas e espaçamentos entre fios (longitudinal/ transversal) não seguem os padrões determinados por norma, mas sim o definido pelo fabricante (TELAS SOLDADAS – INFORMAÇÕES TÉCNICAS – IBTS, 2016).

A nomenclatura das telas não padronizadas, exemplificada na Figura 16, é formada por duas letras, sendo que a primeira indica que a mesma foi produzida para um projeto específico, e a segunda o tipo a que pertence. Também são acrescentados dois números, que informam a área de aço da armadura principal e secundária, respectivamente, em cm^2/m (TELAS SOLDADAS – INFORMAÇÕES TÉCNICAS – IBTS, 2016).



Figura 16: Designação de tela não padronizada
 Fonte: IBTS, 2016.

2.3. SISTEMA MONOLÍTICO DE VEDAÇÃO COMPOSTO POR EPS E TELAS DE AÇO ARGAMASSADAS

O sistema monolítico de vedação objeto deste estudo consiste na associação de painéis modulares pré-fabricados, que são compostos por uma placa de EPS (núcleo), a qual está envolta por duas telas de aço eletrossoldadas e que recebem revestimento de argamassa, conforme ilustra a Figura 17, e que depois de finalizado traz vantagens de desempenho e resistência.

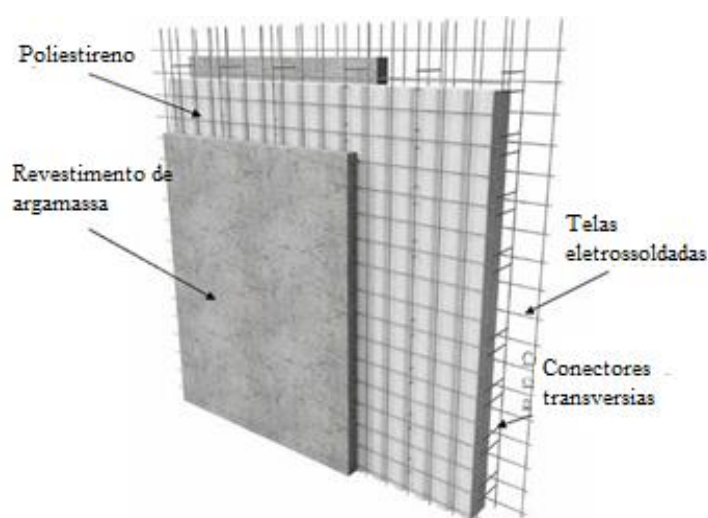


Figura 17: Painel de vedação
Fonte: Adaptado de SANTOS, 2015.

A resistência deste sistema é assegurada pelo revestimento de argamassa, que é executado nas duas faces, seja por processos que fazem uso de projeção sob pressão ou por métodos tradicionais de emboçamento (BERTINI, 2002). O sistema pode ser empregado de duas maneiras, com função estrutural ou sem função estrutural.

No caso de desempenhar função estrutural, não são utilizadas vigas e nem pilares na edificação, e as lajes e outros elementos se apoiam diretamente nas paredes, sendo estas as responsáveis por suportar todas as cargas e transmiti-las as fundações. Painéis sem função estrutural desempenham apenas a função de vedação, devendo apenas atender aos requisitos de desempenho prescritos aos mesmos por norma (MACHADO; PINTO, 2001).

Este sistema construtivo foi inicialmente desenvolvido na Itália na década de 80 pela empresa Monolite, que o designou como Sistema Monolite (BERTOLDI, 2007). Surgiu com

o objetivo de atender a exigências climáticas severas e também estruturais, pois foram desenvolvidos para construções localizadas em regiões sujeitas a terremotos e a invernos rigorosos, cujo objetivo era criar uma estrutura menos susceptível ao desmoronamento e que pudesse oferecer características de isolamento térmico (MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2006). Chegou ao Brasil por volta do ano de 1990, sendo submetido a análises pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) e apresentou bons resultados de desempenho, porém é ainda pouco utilizado no país nos dias atuais (BERTOLDI, 2007).

O sistema de vedação em EPS possui patentes relativas a sua técnica de execução em vários países, dentre elas: Isolite, Cabrini Monolite, W-Panel, Polywall e Insteel, sendo que cada sistema se diferencia pelo tipo de material e espessura de seu núcleo, pelas dimensões do painel, disposição da armadura, espessura da camada resistente de argamassa e pela forma que é feita a ligação das telas soldadas entre as faces (BERTINI, 2002).

Esta grande diversificação de painéis produzidos permite materializar todos os elementos necessários à execução de uma obra, sejam eles estruturais, de fechamento e de acabamento, apresentando desta forma flexibilidade aos projetos e capacidade de integração a outros sistemas construtivos (BERTOLDI, 2007).

Este método construtivo é formado por painéis do tipo sanduíche, que segundo Bertini (2002), consiste em duas placas de material resistente, que são intercaladas por uma camada de outro material, que em geral apresenta resistência inferior à das placas e é de baixa densidade. Conforme Bertini, com o emprego deste sistema construtivo há uma economia no consumo de materiais que são de maior custo e que apresentam melhor desempenho, como por exemplo, a argamassa. Isto se deve a combinação feita com materiais menos nobres e de menor valor, como o núcleo de EPS, obtendo-se elementos que são mais leves e que apresentam adequada resistência.

Para Bertoldi (2007), o uso de elementos de vedação formado por painéis tipo sanduíche surgiu para suprir a necessidade de elementos construtivos mais eficientes no que se refere à qualidade e desempenho, pois cada elemento da seção transversal irá atender a funções específicas. Neste sistema em estudo o EPS é responsável por conferir o isolamento térmico e dar forma à parede, as telas argamassadas respondem pela resistência da vedação.

Conforme Bertini (2002) os materiais que compõem as placas resistentes de um sistema sanduíche podem ser de diversos outros materiais além da argamassa, como fibra de

vidro, amianto, madeira, alumínio, chapas de aço, concreto, dentre outros. Quanto ao núcleo, além do EPS, podem ser empregados o gesso, papelão, poliuretano expandido, concreto celular e materiais reciclados. De acordo com Bertini, quando o núcleo não participa da transferência de esforços entre as placas resistentes a exigência é de que seja composto de um material leve e que ofereça rigidez necessária a montagem do elemento, além do que, o uso de núcleos leves também irá facilitar o transporte.

Uma característica deste sistema de vedação é a repetição dimensional, pois faz uso de um painel de dimensões padrão, o que imprime uma característica modular, e que se adequam a diferentes outros padrões, atendendo a variadas aplicações em obras. De acordo com Bertoldi (2007), desenvolver um projeto com base na modulação de painéis, torna a fase de execução mais racionalizada e produtiva. Para uma maior racionalização Bertoldi aponta que o aspecto dimensional deve ser levado em consideração desde a fase da elaboração do projeto, pois apesar dos painéis serem facilmente cortados, a montagem no canteiro de obras terá maior produtividade. De acordo com Lueble (2004) quando os painéis já vêm prontos de fábrica o tempo de execução pode ser reduzido em até 70% em relação ao sistema convencional.

Conforme Bertoldi (2007), obras executadas com esta tecnologia aumentam a qualidade dos ambientes construídos e incrementam índices de industrialização na construção, pois o uso de componentes industrializados possibilita aumentar a qualidade e produtividade dos elementos construtivos, reduzindo os prazos de execução. Segundo ele a indústria da construção de edifícios no Brasil ainda está baseada em sistemas construtivos convencionais, que fazem uso de processos e métodos que utilizam mão de obra intensiva no canteiro e que apresentam grandes índices de desperdícios de materiais.

De acordo com o Manual de Utilização do EPS na Construção Civil (2006), na atualidade este processo é um dos sistemas construtivos de vedações que apresentam maiores avanços do ponto de vista técnico, quando se analisa tempo, qualidade e economia. Este fato se deve a possibilidade que o sistema tem de atender a exigências normativas de desempenho estrutural, de impermeabilidade e conforto térmico, o que é um desafio complexo de ser sanado em processos convencionais de construção.

Araújo (2004) considera o sistema como sendo de fácil aplicação e com custos próximos aos praticados pelo mercado convencional de vedações, porém que necessita de maiores estudos sobre suas propriedades para que ocorra o correto aproveitamento desta

tecnologia, principalmente no que se refere ao condicionamento de sua aplicação às características climáticas da região que se pretende empregá-lo.

Para Bertini (2002), este sistema se apresenta como uma vantajosa alternativa a sistemas convencionais de construção, como as tradicionais paredes de alvenaria ou sistemas pré-fabricados de concreto, seja por suas características de resistência quanto de isolamento termo-acústicos. Isto é o que também afirma Lueble (2004), que considera este sistema construtivo uma das respostas tecnologicamente mais avançadas e vantajosas, tendo-se em vista exigências não só de desempenho térmico e acústico, mas também estruturais em comparação ao sistema tradicional de construção em tijolos cerâmicos ou em concreto. Lueble (2004) aponta que este sistema possibilita a execução de construções racionalizadas, aliando-se ainda redução de prazos de execução.

Segundo Bertoldi (2007) o fato deste sistema construtivo necessitar de materiais como o aço e o poliestireno expandido, acaba por elevar os custos de produção. No entanto, suas características construtivas possibilitam rapidez de execução, flexibilidade de aplicação, racionalização do processo construtivo e redução dos desperdícios na obra, o que se faz um contraponto interessante em relação ao seu custo de produção. Para Machado e Pinto (2001), outro fator que viabiliza o uso do painel de EPS se deve ao fato de ser um sistema construtivo relativamente simples, em que a mão de obra não precisa ser especializada.

De acordo com Bertini (2002), estes painéis podem ser usados tanto como divisórias internas quanto externas, e são facilmente ligadas a diversos outros tipos de elementos, sejam eles metálicos ou de concreto, ou até mesmo a alvenaria convencional. Conforme Bertoldi (2007), estes painéis além de servirem para fechamento vertical, também podem ser usados como elementos de vedação horizontal, em lajes planas, inclinadas e em forma de arco e em coberturas, sendo que para cada caso será adicionado armadura complementar aos painéis, de forma a atender as necessidades de carregamento a que estão submetidos.

As aplicações deste sistema construtivo são variadas, sendo desde obras simples, como conjuntos habitacionais, até obras verticais como hotéis. Depois de finalizada sua construção não é possível distinguir este método de outro convencional, e no caso de uma ampliação ou devido a alguma necessidade, o revestimento do painel pode ser quebrado até a tela de aço, de forma a permitir seu engastamento com outros painéis (BERTOLDI, 2007).

Dentre as vantagens do uso desta técnica construtiva está a redução de algumas tarefas no canteiro de obras, como por exemplo: preparo e transporte de argamassa para

assentamento de blocos; assentamento de blocos cerâmicos; execução de vergas e contravergas; corte de blocos cerâmicos para embutimento de instalações elétricas e hidráulicas (MACHADO; PINTO, 2001), fato que agiliza a execução da vedação de uma edificação e economiza no consumo de mão de obra, além de minimizar o desperdício com materiais.

Além de ser usado como sistema de vedação, este método construtivo também é utilizado para a fabricação de outros elementos empregados na construção civil. Um exemplo disto é o painel escada, apresentado na Figura 18, que propicia ganho de tempo e qualidade na execução, pois racionaliza e simplifica a execução deste elemento. Este painel é constituído por um núcleo de EPS, que é cortado de acordo com o projeto, e revestido por duas malhas de aço unidas entre si por conectores de mesmo material. Neste painel, colocam-se armaduras adicionais, treliças em tuneis existentes no interior da escada, que posteriormente serão concretados.



Figura 18: Painel escada
Fonte: INTECO, 2017.

Este tipo de painel ainda pode ser utilizado na construção de pisos, sendo aplicado para a execução de lajes, conforme o apresentado na Figura 19, no qual são colocadas barras de aço adicionais, armaduras bidirecionais ou unidirecionais, para atender as especificações de projeto (BERTOLDI, 2007).

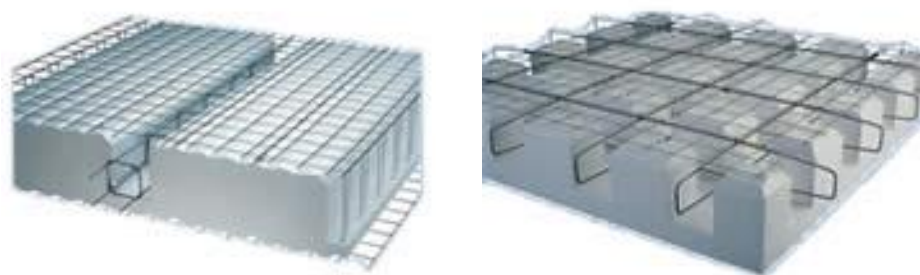


Figura 19: Painel de piso: armadura unidirecional e bidirecional
Fonte: INTECO, 2017.

Para Bertini (2002) este método construtivo não se aplica apenas a sistemas de vedação, pois também apresenta potencial de aplicação em obras de infraestrutura, como muros de arrimo, galerias, reservatórios de água, canais de drenagem, dentre outros.

2.3.1. Características e composição do painel de vedação

A produção dos painéis se inicia com a fabricação de seus componentes, núcleo (EPS) e telas, que tiveram todo o seu processo de produção apresentado nos itens 2.1 e 2.2 deste trabalho. As dimensões e densidade do núcleo, bem como a espessura e espaçamento das telas, são muito variadas, pois cada empresa adota a sua própria maneira de conceber este sistema construtivo.

O núcleo é obtido a partir de blocos de poliestireno, que já possuem as características de densidade e tipo de extinção necessária (classe F – retardante à chama). A modelagem será feita por um pantógrafo, equipamento que recorta o bloco e deixa as placas nas dimensões e formatos desejados, podendo estas placas apresentar superfícies lisas ou onduladas (BERTOLDI, 2007). Neste trabalho será abordado apenas o sistema de vedação com placas de EPS na forma lisa, como as apresentadas na Figura 20, em que também estão apresentados os blocos de onde são recortadas.

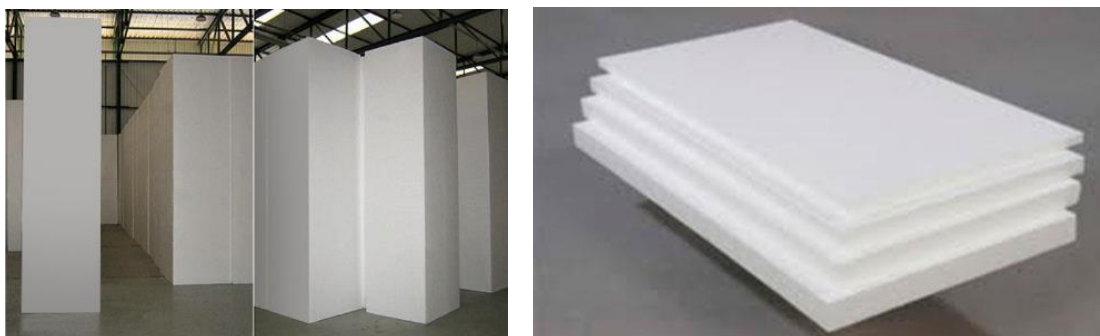


Figura 20: Blocos e placas de EPS
Fonte: GLOBO EPS, 2016.

As telas são feitas de fios de aço, horizontais e verticais, que podem ter diâmetros iguais ou diferentes, dependendo da forma dos painéis e de sua aplicação. Os diâmetros utilizados neste sistema construtivo variam de 2 a 10 mm. As dimensões das malhas podem variar de 50 a 300 mm de espaçamento, podendo ser quadradas ou retangulares. Conforme Bertoldi (2007) a malha padrão mais utilizada na composição dos painéis possui bitola de fio de 3,4 mm, com um espaçamento médio entre fios de 73 por 130 mm.

A produção dos painéis é realizada em equipamentos de solda por resistência, onde são colocados de forma sequencial, tela/ EPS / tela. Este equipamento coloca de forma automática os conectores que interligarão as telas das faces, e efetua ao mesmo tempo a solda. Este equipamento permite produzir variados tipos de painéis, como: painéis simples (com variados tipos de telas e espessuras do EPS) e painéis duplos. De acordo com as especificações de projeto estes painéis são cortados e modulados, sendo posteriormente codificados conforme a planta de montagem da edificação, otimizando os trabalhos na obra (BERTOLDI, 2007).

De acordo com Bertoldi (2007), painéis simples são utilizados com função estrutural em obras de até quatro pavimentos. Para maiores alturas são utilizados painéis duplos, conforme o apresentado na Figura 21, que são formados por dois painéis que se unem através de conectores transversais, mantendo um espaço entre eles. Neste espaço são colocadas armaduras estruturais adicionais, sendo posteriormente preenchido com concreto. Desta forma, podem-se construir obras com vários pavimentos, adaptando ambos os sistemas. Como sistema de vedação, os painéis simples são utilizados em todos os casos.

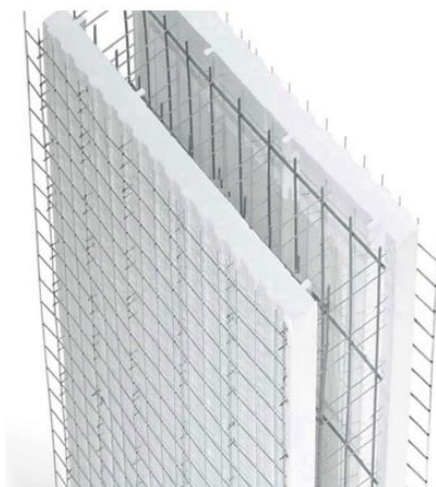


Figura 21: Pannel duplo
Fonte: TUOHUA GROUP, 2017.

A ligação entre as faces resistentes de painéis simples também ocorre por meio de conectores, os quais tem a função de manter a estabilidade geométrica do painel durante o seu manuseio, nas operações de confecção, transporte, armazenamento e montagem. Esses conectores atravessam o núcleo e são fixados às telas de ambas as faces, ligando-as, sendo responsáveis por conferir firmeza ao painel de vedação (BERTINI, 2002). Conforme Bertini apud PCI (1997), estes conectores possuem espaçamentos que variam entre 406 mm x 406 mm e 1219 mm x 1219 mm.

Estes conectores podem ser de diferentes materiais, como concreto, aço ou plástico e apresentarem diferentes combinações de montagem. Os conectores devem ser capazes de resistir aos esforços criados entre as placas durante o corte dos painéis e são responsáveis também por transferir ações de ventos, e até mesmo sismos, de uma placa para a outra (BERTINI, 2002).

Estes conectores se classificam em rígidos e flexíveis, de acordo com a capacidade de cisalhamento que transmitem entre as placas (BERTINI apud FONSÊCA, 1994).

Conectores rígidos, como os apresentados na Figura 22, transferem forças cortantes de uma placa para a outra e podem ser rígidos em uma direção e flexíveis na outra (BERTINI apud PCI, 1997). Com o uso destes tipos de conectores uma das placas possui independência de movimento em relação à outra, porém esta última fica condicionada ao comportamento da primeira. Na presença de conectores rígidos nas duas direções as placas resistentes do painel de vedação trabalham juntas, pois há uma transferência de forças cortantes transversais e longitudinais ao longo do vão do painel.

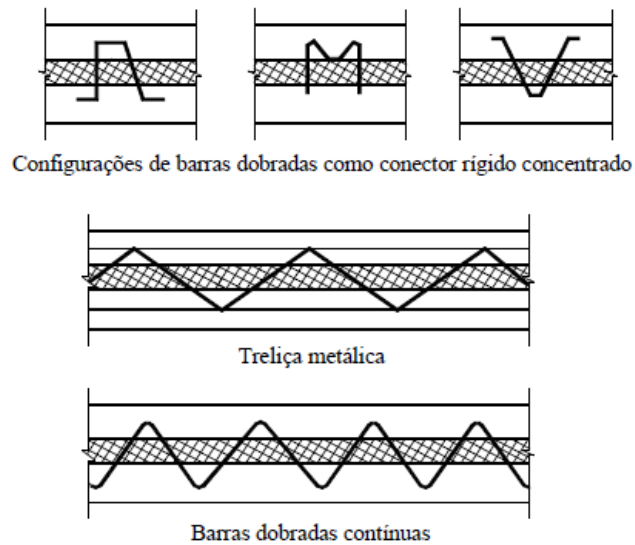


Figura 22: Conectores rígidos em uma direção
Fonte: BERTINI apud PCI, 1997.

Os conectores flexíveis resistem a esforços de tração e compressão, porém apresentam uma baixa capacidade de resistir a esforços cortantes. Desta forma, são usados apenas para transferir forças normais entre as placas (BERTINI, 2002). Alguns exemplos destes conectores estão representados na Figura 23 abaixo.

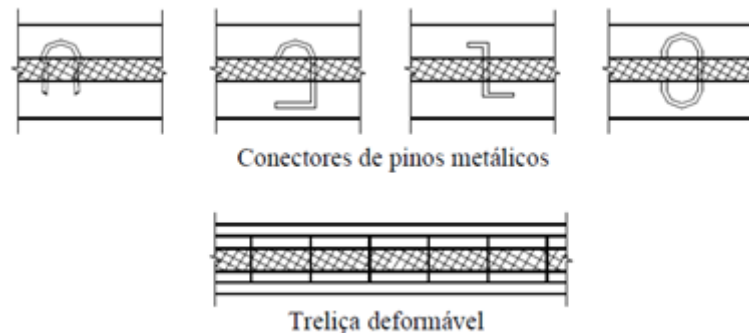


Figura 23: Conectores flexíveis
Fonte: BERTINI apud PCI, 1997.

Na transferência de esforços entre as placas resistentes o núcleo pode ou não participar, e quando não participa esta transferência se dá por meio dos conectores. Bertini (2002) classifica a estrutura do painel de vedação de acordo com a transferência de cisalhamento entre as placas em três formas. A estrutura é considerada com composição total quando os conectores ou o núcleo do painel transferem 100% do cisalhamento entre as placas. Quando esta transferência de cisalhamento é parcial a estrutura é considerada com

composição parcial, havendo uma significativa deformação transversal. Quando não há nenhuma interação entre as placas o elemento é considerado não composto. Estes três tipos de composição estão apresentados na Figura 24.

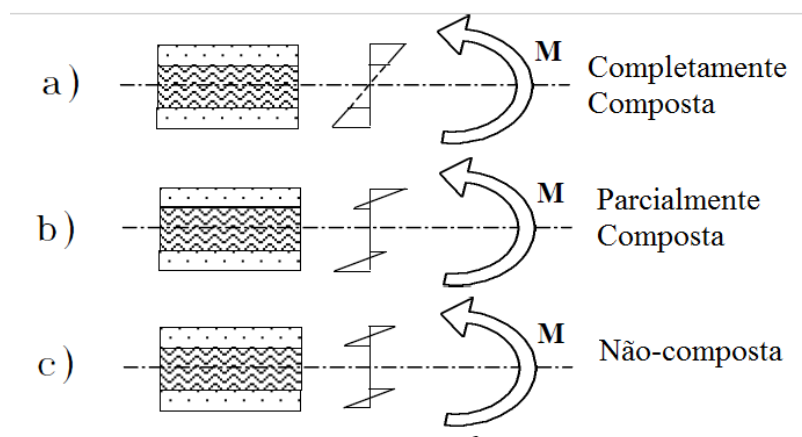


Figura 24: Tipos de composição de uma seção sanduíche
 Fonte: Adaptado de BERTINI, 2002.

No painel totalmente composto as placas resistentes não se movimentam uma em relação à outra, pois a seção transversal funciona como se fosse um único elemento, e que tem sua inércia majorada devido ao afastamento das faces resistentes. Neste caso os conectores são responsáveis por proporcionar a resistência do conjunto à flexão e ao cisalhamento. Garantir uma composição total pode se tornar antieconômico, devido ao uso excessivo de conectores. Desta forma, a disposição e quantidade dos conectores são feitas de acordo com a experiência e levando-se em conta aspectos construtivos, para que somente depois se determine o grau de composição obtido por meio de um estudo experimental. Portanto, é difícil caracterizar a composição de uma estrutura sanduíche, pois os tipos e disposições de conectores podem ser feitas de infinitas formas (BERTINI, 2002).

Conforme Bertini (2002), em uma seção não composta as faces resistentes funcionam de forma independente, pois os conectores não são capazes, ou transmitem muito pouco o cisalhamento entre as faces. Ainda conforme Bertini (2002) em diversas situações de estruturas tipo sanduíche a maior parte da transferência de esforços é garantida pelo núcleo, tendo os conectores apenas a função construtiva e de manter as placas interligadas. Em painéis compostos por núcleo de EPS e faces argamassadas, as quais estão conectadas por fios soldados em ambas as telas das faces, os conectores não oferecem contribuição significativa ao cisalhamento, sendo esta contribuição decorrente apenas da aderência do núcleo com as

faces resistentes (BERTINI apud HANAI; TAKEYA, 1994).

Bertini apud PCI (1997) faz algumas recomendações quanto à disposição, quantidade e espaçamento dos conectores.

- a) O espaçamento entre conectores flexíveis, de eixo a eixo, deve ser em torno de 60 cm e nunca superior a 120 cm; usar no mínimo dois conectores por metro quadrado de área do painel;
- b) Em torno de aberturas maiores que 60 cm e no perímetro do painel, o espaçamento entre os conectores deve se limitar a 60 cm;

Quanto ao núcleo, do ponto de vista estrutural, ele terá maior importância quando o painel tipo sanduíche não tiver conectores, onde a transferência de esforços se dá unicamente pela aderência, sendo que núcleos que tenham faces mais rugosas transferem mais cisalhamento do que os que possuem faces lisas. Porém, se o elemento sanduíche faz uso de conectores mais eficientes, o núcleo tem a sua importância limitada apenas a eficiência térmica da edificação (BERTINI, 2002).

2.3.2. Processo executivo do sistema de vedação em EPS

De acordo com Bertoldi (2007), as etapas de execução deste sistema construtivo não requerem o uso de ferramentas complexas e pesadas, como guias ou guinchos, e nem mesmo mão de obra especializada, pois os painéis apresentam leveza e são de fácil manuseio. É necessário apenas que os operários sigam os procedimentos já pré-definidos para a execução.

O processo de construção se inicia pelas fundações. As edificações que ficam ao nível do solo fazem uso de uma fundação do tipo sapata corrida, devido ao baixo peso que deverá sustentar. Em edificações que ficam acima do nível do solo, os painéis ficam apoiados em vigas ou lajes, conforme o projeto adotado (MACHADO; PINTO, 2001).

De acordo com Bertoldi (2007), nas fundações, vigas e lajes nas quais os painéis serão apoiados são fixados arranques de aço de \varnothing 5 mm, com um comprimento de 30 cm acima do nível do piso, conforme demonstram as Figuras 25 e 26, que devem ser alinhados conforme o gabarito da obra. Nestes arranques serão fixados os painéis de EPS. Para obras térreas, recomenda-se que antes de serem fixados os painéis nos arranques seja feito o piso do pavimento, para que os trabalhos sejam realizados com maior eficiência e limpeza. Estas ancoragens podem ser feitas dispendo as esperas alinhadas, prendendo-as em apenas uma das

faces do painel, ou poderão estar dispostas de forma alternada, com a ancoragem sendo feita nas duas faces dos painéis.



Figura 25: Arranques em baldrame (edificação ao nível do solo)
Fonte: ECOKIT CASAS, 2016.



Figura 26: Arranques em vigas e lajes
Fonte: TELAMARCK, 2016.

Na Figura 27 abaixo está representado como se dispõe a ancoragem no encontro dos painéis com elementos estruturais de concreto armado (vigas e pilares). A execução destas ancoragens requer cuidado, pois são elas que conferem continuidade estrutural entre as telas dos painéis e os elementos estruturais (BERTOLDI, 2007).

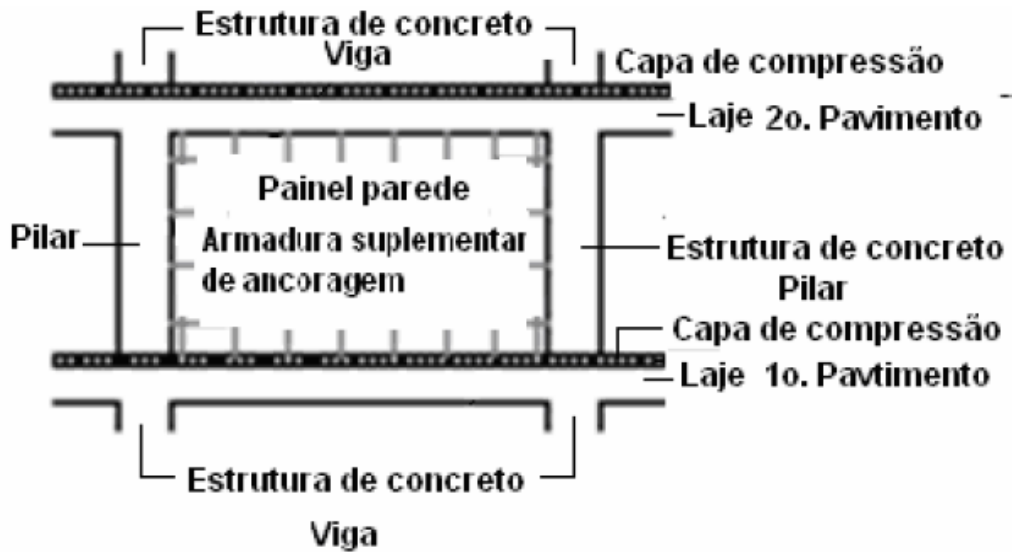


Figura 27: União dos painéis com lajes, pilares e vigas
 Fonte: BERTOLDI apud FRIDULSA, 2006.

A montagem dos painéis se dá de forma simples e manual, sendo conectados uns aos outros e aos arranques com o uso de arame recozido e alicate ou mediante o uso de uma pistola pneumática (grampeadeira) (BERTOLDI, 2007).

O processo de montagem é facilitado quando estes painéis já vão para a obra numerados e identificados em planta, cabendo apenas ao montador fixá-los aos arranques. Painéis adjacentes são solidarizados uns aos outros por malhas de aço que se sobrepõem, conforme apresenta a Figura 28, que são unidas da mesma forma que se unem os painéis aos arranques. Nos cantos de portas e janelas, são colocados pedaços de malha na posição diagonal em relação aos fios do painel, conforme o apresentado na Figura 29, as quais absorvem tensões e evitam o surgimento de trincas.

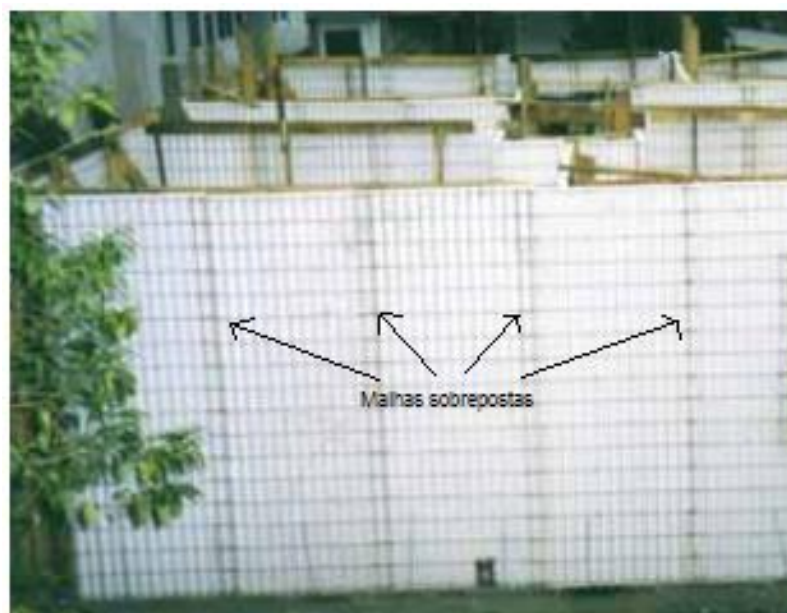


Figura 28: Emenda das malhas de aço por transpasse
Fonte: Adaptado de BERTOLDI, 2007.

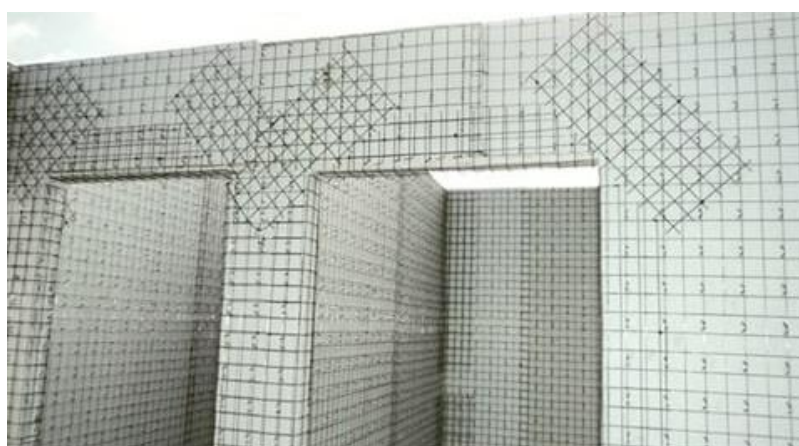


Figura 29: Malha diagonal no canto de aberturas
Fonte: MONOFORTE, 2016.

Para garantir o prumo e o alinhamento dos painéis são utilizadas régua de alumínio, que são fixadas horizontalmente nos painéis a cerca de 2m do piso, que são mantidas na vertical por escoras reguláveis que as mantêm travadas. Podem ser utilizados sarrafos de madeira como alternativa as régua metálicas (MACHADO; PINTO, 2001). Na Figura 30 está apresentado um exemplo de como é feito este escoramento.

Esta é uma importante etapa na execução deste sistema construtivo, e que se não for executada de forma correta irá comprometer a execução do revestimento, é o que aponta Lueble (2004) no estudo de caso que fez, no qual acompanhou a execução de duas obras que

fizeram uso da vedação de EPS. Conforme Lueble (2004) quando não se realiza um correto escoramento, o prumo das placas é modificado com facilidade quando se projeta a argamassa, o que acarreta em paredes executadas fora do prumo.



Figura 30: Escoramento dos painéis
Fonte: LUEBKE, 2003.

Na execução da parede os painéis podem se encontrar de várias formas, de topo (de forma contínua), de canto (formando um L) e perpendicular (formando um T). Quando o encontro ocorre de topo é realizado um transpasse com as próprias telas dos painéis. No encontro de canto, a tela do painel é suficiente para realizar o transpasse, sendo apenas externamente colocadas malhas auxiliares. Quando ocorre um encontro perpendicular entre painéis (T), deve-se executar reforço em ambas as faces (BERTOLDI, 2007).

De acordo com Bertoldi (2007), nos vãos em que serão colocadas esquadrias, ao longo do perímetro exposto do painel que foi recortado, deve ser colocada uma malha de reforço em forma de 'U'. Desta forma haverá continuidade entre as malhas das faces interna e externa e o vão terá resistência para receber as esquadrias. O mesmo deve ser feito nos vãos de portas, para que o núcleo de EPS esteja protegido e reforçado. Estes três tipos de armaduras, de transpasse, de reforço e em forma de 'U', estão apresentadas na Figura 31.

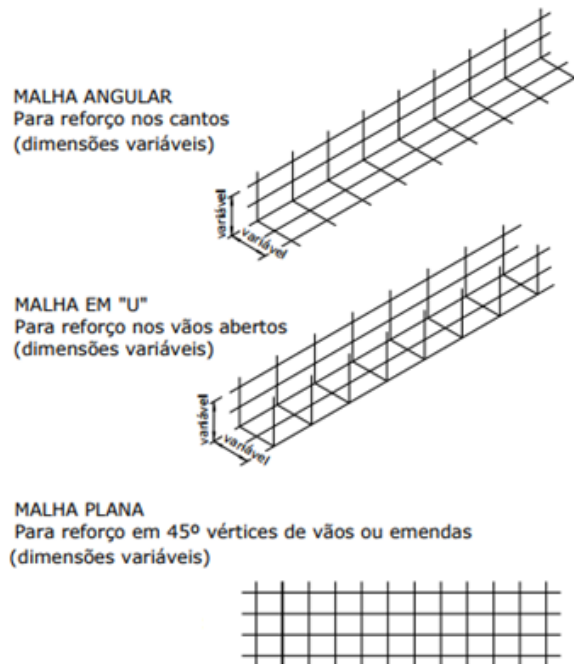


Figura 31: Armaduras de reforço
Fonte: SOUZA, 2009.

Após todos os painéis estarem instalados, pode-se embutir as tubulações de elétrica, hidráulica e sanitária. De acordo com Bertoldi (2007) a execução das instalações é realizada de forma simples e rápida, sem produção de entulhos e necessidade de retrabalhos, mantendo o ambiente construído limpo. Esta é uma das vantagens deste sistema em comparação ao convencional de alvenaria, conforme Lueble (2004) na etapa de colocação dos dutos e tubulações, uma construção convencional, apresenta um elevado desperdício de materiais, pois a alvenaria é quebrada e recortada, gerando entulho, o qual deve ser recolhido a uma central de reciclagem.

Nesta etapa, primeiramente é feito na parede o trajeto das instalações, e com o auxílio de um gerador de ar quente são abertos sulcos no EPS, que permitem a passagem das tubulações, que são colocadas por detrás das telas (BERTOLDI, 2007). A abertura das fendas por onde deve passar as tubulações podem ser feitas não só com uma pistola de ar quente, mas também com um maçarico a gás, sendo que ambos devem conter um tubo metálico na ponta de modo a cobrir a chama viva que poderá queimar o EPS. O ar quente faz com que a espuma se funda com facilidade e abra caminho para a passagem dos dutos e canos. Esta abertura também pode ser feita com algum instrumento cortante (MACHADO; PINTO, 2001).

Tubulações flexíveis podem ser colocadas com maior facilidade por detrás da tela nos rasgos abertos. Para tubos rígidos é necessário que a tela de aço seja cortada, e posteriormente receba um reforço constituído por uma faixa de tela fixada à tela do painel (MACHADO; PINTO, 2001).

As tubulações são colocadas sob a malha, conforme se verifica nas Figuras 32 e 33, e fixadas à mesma com arame recozido e uma torquês, processo que ocorre de forma rápida. Deve-se tomar cuidado com as saídas de hidráulica e as caixas de instalações elétricas, pois devem ser fixadas na malha de aço e reguladas para que fiquem no mesmo plano da face concluída do revestimento (MACHADO; PINTO, 2001).



Figura 32: Instalação do sistema elétrico
Fonte: MONOFORTE, 2016.



Figura 33: Instalação hidráulica
Fonte: MONOFORTE, 2016.

As peças dos sistemas de instalações ocupam uma pequena área no interior do painel, e desta forma não influenciam a eficácia do sistema de vedação. Quanto à manutenção destas instalações, estas são feitas da mesma forma que no sistema de alvenaria de tijolos cerâmicos, quebrando-se a camada de argamassa e realizando os reparos necessários (LUEBLE, 2004).

Após a montagem dos painéis, com alinhamento e prumo conferidos e toda a instalação hidráulica e elétrica ter sido realizada é executado o revestimento com argamassa.

O revestimento de argamassa pode ser aplicado por meio de processo manual ou através de dispositivo pneumático de projeção, com espessuras predeterminadas de acordo com o projeto. De acordo com Bertoldi (2007), o uso do equipamento pneumático confere maior produtividade, qualidade de compactação do revestimento e ocasiona baixa vibração aos painéis se comparado ao processo manual.

O revestimento é aplicado em duas camadas, a primeira tem a função de preencher a superfície do EPS até facear com a malha das telas de aço, como se observa na Figura 34. O revestimento deve ser feito sempre em ambas as faces do painel, para que não fique apenas uma das faces revestidas para a cura, evitando que o sistema apresente retração diferencial (MACHADO; PINTO, 2001).



Figura 34: Aplicação da primeira camada de revestimento
Fonte: LUEBLE apud LUEBKE, 2003.

Após a cura da primeira camada se procede a aplicação da segunda, seguindo os mesmos procedimentos da primeira, até que se atinja a espessura de projeto, a qual é desempenada para receber o acabamento. Os acabamentos são os mesmos que de uma alvenaria convencional, como azulejos, gesso ou massa corrida (MACHADO; PINTO, 2001).

De acordo com Bertoldi (2007) o revestimento de argamassa aplicado aos painéis deste sistema construtivo deve ter alta resistência, apresentar baixa retração e ter facilidade de aplicação, com fluidez e plasticidade adequadas. Conforme Lueble (2004) este revestimento possui uma espessura total de 3 cm, sendo 1,5 cm da primeira camada e os outros 1,5 cm da

segunda. Já conforme Bertoldi (2007) este revestimento é aplicado em camadas que variam de 1,5 a 2 cm. Estas divergências quanto à espessura da camada de revestimento se devem as variedades apresentadas por este sistema construtivo, que possui diferentes características de acordo com as empresas que o produzem.

Conforme Souza (2009) a argamassa utilizada para executar o revestimento não deve conter cal, devendo-se apenas adicionar aditivos colantes e plastificantes à mistura. Bertoldi (2007) no trabalho que desenvolveu, no qual executou protótipos de vedação em EPS, também não fez uso da cal como componente da argamassa de revestimento, à qual ficou sendo composta apenas por cimento, areia e aditivos. Diferente do que afirma Souza (2009) e Bertoldi (2007), Amianti (2005) apresenta o EPS como sendo resistente quimicamente a cal. Desta forma, não fica claro se o uso da cal no revestimento pode ou não prejudicar o EPS componente do painel de vedação.

A relação água/cimento utilizada é de 0,35 e a proporção entre cimento e areia pode variar de 1:3 até 1: 4,5, em peso, dependendo também da granulometria dos agregados utilizados e da resistência desejada para a argamassa (BERTOLDI, 2007).

Na argamassa de revestimento, são utilizados aditivos plastificantes e fibras de polipropileno. O uso de plastificante aumenta a trabalhabilidade das misturas, reduzindo o consumo de água. Este aditivo deve ser misturado à água antes de ser colocado na betoneira. As fibras formam uma malha anti-retração e ao mesmo tempo aumentam a tenacidade da argamassa. Estas fibras devem ser o último elemento do traço a ser adicionado, devendo-se deixar bater na betoneira até que se incorporem de forma homogênea aos demais elementos (BERTOLDI, 2007).

Outro traço encontrado na bibliografia está apresentado na Tabela 5, que conforme Souza (2009) é usualmente utilizado para a argamassa de revestimento deste sistema.

Tabela 5: Traço usual da argamassa de revestimento

INSUMO	CONSUMO POR DEMÃO	
	1°	2°
Cimento Portland	50 kg	50 kg
Areia média	100 kg	175 kg
Brita zero (pedrisco)	75 kg	-
Fibras de polipropileno	250 g	250 g
Aditivo plastificante	50 ml	50 ml
Água	17,5 l	17,5 l
Relação água/cimento	0,35	0,35

Fonte: Adaptado de Souza, 2009.

O reboco aplicado sob as telas metálicas irá conferir um resultado monolítico ao sistema de vedação, que minimiza e até mesmo exclui possíveis problemas de fissuração causados por esforços mecânicos e térmicos (BERTOLDI, 2007).

De acordo com Bertoldi (2007) a cura do revestimento é uma importante etapa do processo. Uma cura correta, evita a evaporação da água livre, permitindo a hidratação do cimento. Portanto, é importante manter a umidade superficial, irrigando as superfícies aplicadas por um período de 24 horas da sua aplicação. Este procedimento minimiza a formação de fissuras de retração.

Conforme Lueble (2004) neste sistema de vedação é necessário um tempo maior para que a resistência da argamassa seja atingida, para que posteriormente se execute o processo de acabamento do revestimento. Este fato deve-se as características do EPS, que possui baixa absorção de água, o que demanda um maior tempo para o início da pega da argamassa.

Outro ponto relatado por Lueble (2004) com relação a vedação em EPS diz respeito aos problemas de fissuração no revestimento devido à retração higrotérmica. Isto ocorre devido à secagem da argamassa, a qual se dá de forma diferenciada, ocorrendo da superfície externa para a interna devido à evaporação da água de amassamento da mistura. Desta forma, na parte interna há maior quantidade de água, pois a placa de EPS possui baixa absorção. Aliado a isto, o alisamento da superfície faz com que os poros superficiais se fechem, e o processo de hidratação do aglomerante não se proceda de forma correta.

É somente após a aplicação e cura da argamassa que o painel apresenta resistência e torna-se autoportante, podendo ser usado como um elemento de vedação ou também como um elemento estrutural de alta capacidade de carga. De acordo com Lueble (2004), da união das malhas de aço e da argamassa formam-se micropilares ao longo da parede, o que resulta em uma edificação monolítica que resiste a terremotos (eventos sísmicos) e a carregamentos verticais.

No sistema autoportante, conforme Lueble (2004) há uma economia no dimensionamento das fundações, pois o peso da estrutura é reduzido, principalmente por não fazer uso de pilares e vigas. No que se refere à carga do sistema de vedação, o peso é mais reduzido se comparado a uma alvenaria de tijolos cerâmicos e estruturas de concreto e aço.

2.3.3. Comportamento ao fogo

Para a aplicação deste sistema construtivo é importante que se conheça o comportamento do mesmo quando exposto ao fogo, para que a segurança da edificação da qual faz parte não seja comprometida em um eventual incêndio, e para que se estabeleçam os seus limites de uso no que se refere à sua exposição ao calor, pois o EPS é um material que apresenta perda de resistência e de massa quando exposto a altas temperaturas.

Conforme Bertoldi (2007), o EPS não é inflamado por faíscas ou resíduos em brasa, provenientes, por exemplo, de soldas elétricas ou pontas acesas de cigarro; somente chamas acesas aplicadas sobre o material podem inflamá-lo. Conforme apresentado no item 2.1.1 deste trabalho, o EPS se classifica em duas classes de extinção, a P e a F, sendo esta última a que se utiliza no sistema construtivo em estudo.

O tipo F se contrai de forma progressiva quando é aquecido a partir dos 100 a 120°C, sendo que somente a partir dos 230°C ele entra na fase líquida e libera gases, que não são inflamados se não houver a presença de chama externa que os inflamam. Para que estes gases se auto inflamem é necessário um calor externo de 450 a 500°C e uma quantidade suficiente de oxigênio disponível. Uma vez inflamado, o material entra em combustão até se consumir totalmente (BERTOLDI, 2007).

Porém, Bertoldi (2007) salienta que o ar contido na estrutura celular do EPS não dispõe de oxigênio suficiente para a combustão, sequer incompleta do material. Seria necessária uma quantidade de ar 130 vezes maior, em volume, do existente para que ocorra a combustão. Portanto, não pode haver combustão deste material, quando ele se encontra protegido por uma camada de reboco, a qual impede a chegada de oxigênio. O que ocorre é uma perda progressiva de resistência à compressão à medida que se eleva a temperatura a qual está exposto o material, sem que ocorra inflamação e combustão enquanto não houver uma quantidade suficiente de oxigênio.

Quanto à análise da segurança contra incêndio das construções, Bertoldi (2007) alerta para a importância de examinar o comportamento dos elementos construtivos vistos como um conjunto, e não apenas o comportamento dos materiais de forma isolada. Esta consideração é importante no que se refere à análise do EPS, conforme foi exposto acima.

Outro ponto a ser avaliado quanto ao comportamento do EPS quando exposto ao fogo se refere aos efeitos que a combustão causa no material. Bertoldi (2007) salienta que o

EPS tem de 1,5 a 2,5 % de seu volume composto por material (combustível), com um poder calorífico, em caso de incêndio, de 145 a 240 kcal/dm³, considerado baixo se comparado ao da madeira, que é de 2400 kcal/dm³. Conforme Bertoldi (2007) pode-se concluir que a contribuição energética do EPS em um eventual incêndio estaria bem abaixo do que apenas o mobiliário da edificação poderia oferecer. O problema do EPS frente a combustão está na liberação de gases tóxicos, como o gás carbônico (CO₂), o que pode afetar de forma direta as condições de evacuação de um edifício.

Frente à questão da toxicidade do EPS Bertoldi (2007) faz novamente uma análise comparativa. O gás componente da combustão do EPS que apresenta maior relevância do ponto de vista toxicológico é o mesmo que é liberado na combustão da madeira, o monóxido de carbono. As frações de monóxido de carbono contidas nos gases de combustão, a uma temperatura de 300°C, é de 50 ppm (partes por milhão) para o EPS tipo 'F' e 10 ppm para o tipo 'P' e de 400 ppm para a madeira. Se a temperatura dos gases atingirem 400°C, tem-se respectivamente, 200, 50 e 6000 ppm. Desta forma é possível verificar que maiores temperaturas provocam efeitos desfavoráveis sobre a toxicidade dos gases da combustão do EPS, porém a contribuição calorífica deste material ao balanço energético total, no caso de um incêndio em um edifício, é baixa.

2.4. NORMA DE DESEMPENHO NBR 15575 (2013)

Uma estrutura, como uma residência, por exemplo, é resultado de um sistema construtivo, o qual é formado pela combinação de subsistemas e componentes. O avanço tecnológico permitiu a criação de novos sistemas construtivos, que surgem com o objetivo de reduzir custos e impactos ambientais, e da necessidade da adaptação aos mais variados ambientes construtivos.

Diante desta realidade, também surgiu o questionamento de como se avaliar o desempenho destas soluções inovadoras. De acordo com Oliveira (1996) a avaliação de desempenho é fundamentada em requisitos, critérios e métodos de avaliação, que irão permitir comprovar se o edifício e seus componentes obedecem às exigências para eles estabelecidas.

Oliveira (1996) aponta a avaliação de desempenho como sendo uma prática que vem se consolidando na construção civil, e que “consiste em prever o comportamento potencial do

edifício, seus elementos e instalações, quando submetidos a condições normais de exposição, e avaliar se tal comportamento satisfaz as exigências do usuário”.

De acordo com Oliveira (1996), a metodologia de avaliação de desempenho de um sistema inovador pode ser resumida conforme o fluxograma da Figura 35, em que o edifício e suas partes são avaliados por meio de requisitos, de acordo com as exigências do usuário e das condições a que pode ser expostos.

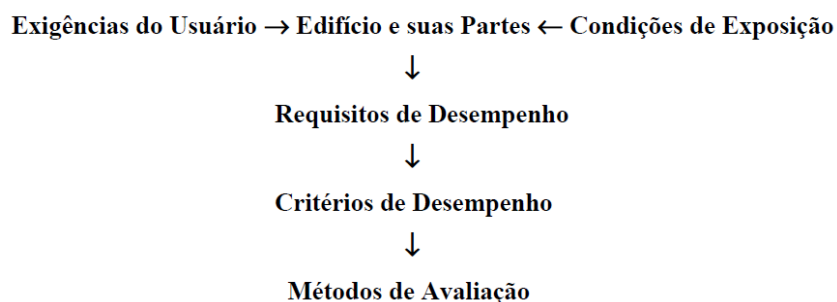


Figura 35: Cronograma de avaliação de desempenho
Fonte: OLIVEIRA, 1996.

Os requisitos e critérios de desempenho podem ser compreendidos como as condições qualitativas e quantitativas, respectivamente, às quais devem ser atendidas por um determinado produto quando este for submetido às condições de uso, a fim de que sejam satisfeitas as exigências do usuário (MITIDIERI FILHO; SOUZA, 1994).

Já os métodos de avaliação são as técnicas padronizadas que permitem verificar se certo produto atende aos requisitos e critérios de desempenho para ele prescritos (OLIVEIRA apud IPT, 1981). Dentre estas técnicas estão ensaios e medidas, cálculos, fixar o tradicional como referência e compará-lo aos novos produtos, classificando-os como satisfatórios ou não (OLIVEIRA, 1998).

Para garantir um padrão de qualidade e um nível de desempenho de sistemas construtivos foi elaborada a norma de desempenho de edificações habitacionais, a NBR 15575 de 2013. Esta norma determina os requisitos básicos a serem atendidos por um subsistema da edificação para que o seu desempenho seja considerado satisfatório.

Esta norma se divide em seis partes, sendo que cada uma delas, com exceção da parte 1, estabelece os requisitos e critérios de desempenho que se aplicam a subsistemas de edificações de até cinco pavimentos. A primeira parte trata dos requisitos e critérios de desempenho que se aplicam às edificações habitacionais como um todo integrado. A segunda

parte se aplica ao sistema estrutural; a terceira aos sistemas de pisos; a quarta aos sistemas de vedações verticais internas e externas; a quinta aos sistemas de cobertura e a sexta aos sistemas hidrossanitários.

Neste trabalho será abordado o que trata a quarta parte desta norma, que está subdividida em 17 itens, os quais avaliam diversos requisitos de desempenho a serem atendidos por sistemas de vedações para que possam ser considerados adequados ao uso em edificações. Estes itens estabelecem os requisitos, os critérios e os métodos para a avaliação do desempenho de sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE) no que se refere ao seu desempenho estrutural; sua segurança contra incêndio; condições de uso e ocupação; estanqueidade; desempenho térmico; desempenho acústico; desempenho lumínico; durabilidade e manutenibilidade; saúde; conforto antropodinâmico e adequação ambiental.

Neste trabalho foi avaliado, por meio de ensaio realizado em dois protótipos, o desempenho estrutural de um sistema de vedação em EPS no que se refere aos requisitos estabelecidos para solicitações de cargas provenientes de peças suspensas. Os protótipos a testados são partes componentes de uma edificação que está sendo construída na cidade de Coronel Vivida (PR), desta forma o ensaio a ser realizado foi definido com base nos danos que o mesmo poderia causar à vedação, sendo que o método de avaliação deste requisito de desempenho não causa danos aparentes e estruturais de grandes proporções à parede testada.

O item da norma NBR 15575-4 que avalia o desempenho estrutural de um sistema de vedação, seja ela externa ou interna, é o item 7, o qual está subdividido em subitens conforme o apresentado na Tabela 6, avaliando 8 diferentes requisitos, dentre elas a resistência à ação de peças suspensas.

Tabela 6: Requisitos de desempenho estrutural de um sistema de vedação conforme NBR 15575-4

SUBITEM	REQUISITO
7.1	Estabilidade e resistência estrutural
7.2	Deslocamentos, fissuração e ocorrência
7.3	Solicitações de cargas provenientes de peças suspensas
7.4	Impacto de corpo-mole (vedação com ou sem função estrutural)
7.5	Impacto de corpo-mole (vedação de casas térreas com ou sem função estrutural)
7.6	Ações transmitidas por portas
7.7	Impacto de corpo-duro
7.8	Cargas de ocupação incidentes em guarda-corpos e parapeito de janelas

Fonte: NBR 15575-4, 2013.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. ENSAIO DE UM SISTEMA DE VEDAÇÃO EM EPS QUANTO A SOLICITAÇÕES DE CARGAS PROVENIENTES DE PEÇAS SUSPENSAS

O ensaio realizado neste trabalho tem como objetivo analisar o desempenho de um sistema de vedação de EPS com base nos requisitos prescritos no subitem 7.3 da NBR 15575-4 para sistemas de vedação sujeitos a cargas suspensas. Para tal, foram desenvolvidos dois protótipos de sistema de vedação em EPS, iguais, e os resultados obtidos foram comparados com o prescrito pela NBR 15575-4 e referências bibliográficas. Inicialmente era objetivo deste trabalho avaliar o desempenho de três protótipos, no entanto, por questões de viabilidade econômica foram desenvolvidos apenas dois.

O sistema de vedação foi submetido a esforços fletores e de cisalhamento por meio de um dispositivo que pudesse simular as cargas suspensas, a fim de se determinar o seu nível de aceitação em relação aos requisitos de desempenho prescritos pela NBR 15575-4 (2013) e estabelecer as cargas de uso (serviço) a que pode ser submetido.

Conforme a NBR 15575-4 (2013), o método de avaliação do requisito de desempenho de cargas provenientes de peças suspensas em sistemas de vedação se dá por meio da realização de ensaio-tipo, em laboratório, ou protótipo. Quanto ao corpo-de-prova, o mesmo deve ser representativo do sistema de vedação, incluindo todos os seus dispositivos de fixação (situações de contorno).

A norma NBR 15575-4 não determina as dimensões do sistema de vedação a serem usadas para a execução do ensaio, portanto, para a realização deste trabalho, foi tomado como base o corpo de prova indicado na NBR 11678 (2016), utilizado na verificação do comportamento de divisórias leves internas moduladas quando submetidas à ação de cargas suspensas, como representado na Figura 36.

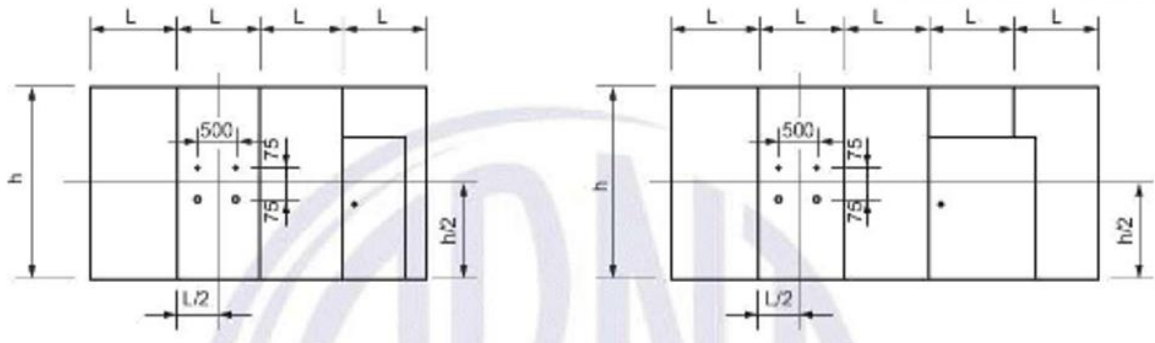


Figura 36: Corpo de prova
Fonte: NBR 11678, 2016.

Neste trabalho não foi possível testar um sistema de vedação com aberturas (portas, janelas, etc.) devido à dificuldade em se conseguir e instalar a porta prescrita pela norma. Portanto, este modelo recomendado pela NBR 11678 (2016) foi adaptado, desconsiderando-se a abertura correspondente à porta. Desta forma, o corpo de prova ensaiado ficou conforme o apresentado na Figura 37, sendo formado por três painéis modulares pré-fabricados, com uma largura total de $3L$ (sendo L a modulação do painel).

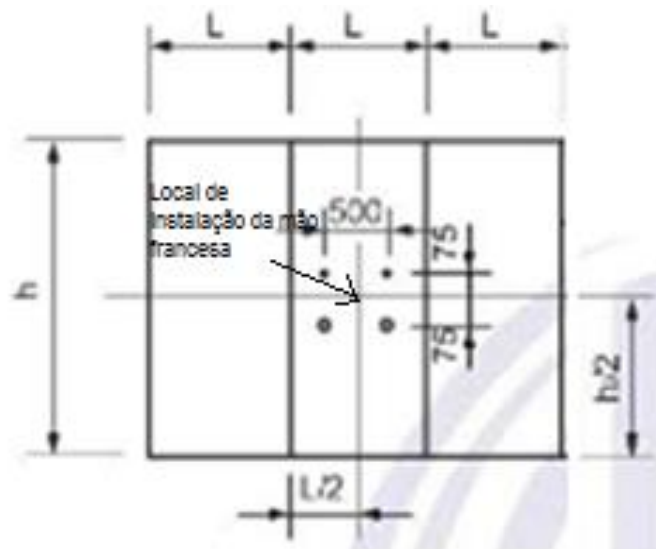


Figura 37: Corpo de prova
Fonte: Adaptado de NBR 11678, 2016.

A NBR 11678 estipula que a altura H do protótipo deve estar compreendida entre 2,45 e 2,55 m; porém os protótipos executados no trabalho eram parte componente de uma edificação tendo sido, desta forma, testados protótipos com uma altura de 2,70 m. Esta altura considerada aproxima-se de condições reais de aplicação, estando ainda em acordo com a

NBR 15575-4 que prescreve que a vedação deve ser representativa, ou seja, simular condições reais de uso.

Os dispositivos utilizados em um ensaio de cargas provenientes de peças suspensas são: mão-francesa, cantoneira em forma de L e arruela de aço para cargas aplicadas faceando a parede. Neste trabalho foi utilizado apenas o dispositivo de mão-francesa, que simula o uso de armários e prateleiras, que foi instalada no local indicado na Figura 37, exatamente no centro do protótipo de vedação.

3.1. SISTEMA DE APLICAÇÃO DAS CARGAS E MEDIÇÃO DOS DESLOCAMENTOS

Como foi exposto anteriormente, para a aplicação das cargas nos protótipos foi utilizado um sistema de mão-francesa como o ilustrado na Figura 38. As informações referentes ao seu detalhamento, bem como dos demais elementos necessários, estão apresentados na NBR 11678. Conforme esta norma, o suporte onde é aplicado a carga, é constituído por duas mãos francesas, interligadas, e constituídas por cantoneiras metálicas com as dimensões indicadas na figura abaixo, sendo que a massa do suporte não deve ser superior a 4 kg.

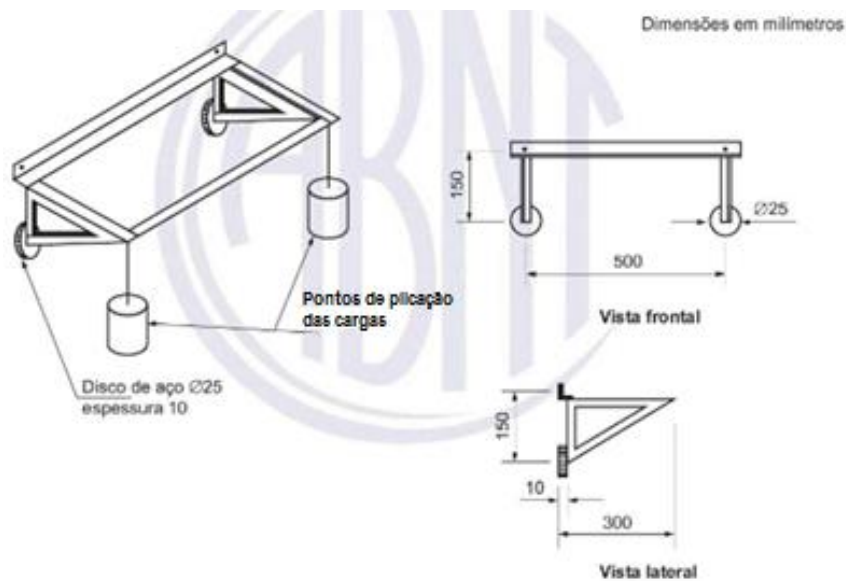


Figura 38: Mão-francesa padronizada
Fonte: Adaptado de NBR 11678, 2016.

Conforme a NBR 15575-4 (2013), no ensaio de peças suspensas suportadas por mão francesa, o carregamento deve ser elevado até a carga de serviço considerada, que pode ser de 0,8 kN, 1,0 kN ou de 1,2 kN, mantendo-a por um período de 24 h. Neste trabalho foi adotada a carga de serviço de 0,8 kN, para avaliar o desempenho do sistema de vedação de EPS.

A carga foi aplicada em cada ponto da mão francesa em patamares de 50 N, e a cada 3 minutos, até se atingir o total de 0,8 kN, sendo 0,4 kN em cada ponto, e mantida por um período de 24 h. Durante a colocação destas células de carga, foi tomado cuidado para que não se produzisse movimentos bruscos que pudessem provocar a oscilação dos dispositivos de ensaio e interferir nos resultados.

Para cada carga aplicada foram medidos o deslocamento horizontal d_h e o deslocamento horizontal residual d_{hr} . O deslocamento d_h é o deslocamento medido no instante da aplicação da carga e o deslocamento d_{hr} é o deslocamento medido depois de transcorrido os 3 minutos. Após a retirada da carga, depois das 24 h, também foram medidos os deslocamentos sofridos pelo sistema de vedação neste período.

Para medir estes deslocamentos foram utilizados três relógios comparadores, dispostos conforme a Figura 39, de modo a aferir a medida dos deslocamentos em três locais diferentes da parede, $H/4$ acima, $H/4$ abaixo e no ponto de aplicação da carga, sendo H a altura da parede, avaliando os deslocamentos sofridos próximos aos locais de engaste da vedação e na sua região central.

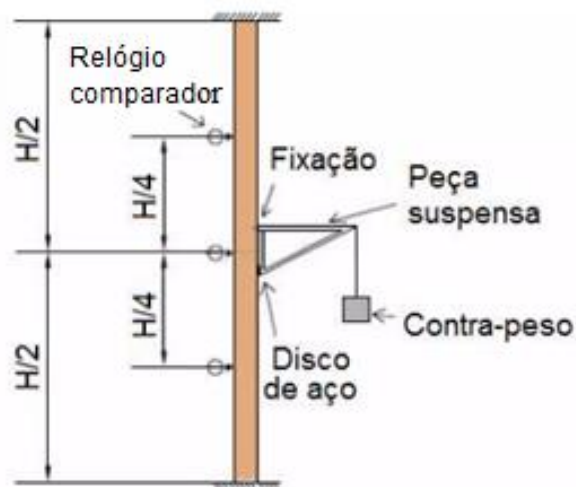


Figura 39: Disposição dos relógios comparadores
 Fonte: Adaptado de MELLO *et al.*, 2011.

Conforme o critério prescrito pela norma, o sistema de vedação sob a ação de cargas suspensas, não deve apresentar fissuras, deslocamentos horizontais instantâneos (d_h) ou deslocamentos horizontais residuais (d_{hr}) acima de valores predefinidos pela norma, lascamentos ou rupturas. Além disso, o dispositivo de fixação não deve ser arrancado ou esmagado. Os valores e critérios de desempenho a serem atingidos em função da carga de ensaio aplicada ao dispositivo de mão francesa estão apresentados na Figura 40 a seguir.

Carga de ensaio aplicada em cada ponto	Carga de ensaio aplicada em cada peça, considerando dois pontos	Critérios de desempenho
0,4 kN	0,8 kN	Não ocorrência de falhas que comprometam o estado limite de serviço Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/500$ $d_{hr} \leq h/2\ 500$
Onde: h é altura do elemento parede; d_h é o deslocamento horizontal instantâneo; d_{hr} é o deslocamento horizontal residual.		

Figura 40: Cargas de ensaio e critérios para peças suspensas fixadas por mão-francesa padrão
Fonte: NBR 15575-4, 2013.

A cada carga aplicada, o sistema de vedação, bem como o dispositivo de fixação foram inspecionados visualmente, registrando-se todas as falhas e fissuras ocorridas, relatando-se o seu comprimento e abertura.

Conforme a NBR 15575-4, a carga de ensaio estabelecida na Figura 40, de 0.8 kN, contempla um coeficiente de segurança da ordem de dois; desta forma, a carga de serviço ou de uso é a metade da carga adotada na realização do ensaio, 0.4 kN. No caso em que, durante a execução do ensaio, ocorra a ruptura do elemento ou a falência do sistema de fixação, a norma prescreve que se deve considerar, em relação à carga de ruptura, um coeficiente de segurança de 3 (três) para as cargas de uso ou de serviço do sistema.

De uma forma geral, a carga de uso ou de serviço deve ser considerada como sendo igual ao menor dos dois valores: 1/3 da carga de ruptura, ou a carga que provocar um deslocamento horizontal superior a $h/500$ (NBR 15575-4, 2013).

3.2. CONFIGURAÇÃO E EXECUÇÃO DO SISTEMA DE VEDAÇÃO

Neste trabalho foram desenvolvidos dois protótipos de sistema de vedação formados por painéis de EPS. O modelo dos painéis, a estrutura em que foram fixados e o revestimento de argamassa utilizada foram considerados com base em bibliografia, além de aspectos construtivos e da disponibilidade de materiais para a sua execução.

A parede da edificação destinada à execução deste trabalho possui uma extensão total de 6,50 m, fator que condicionou os protótipos a serem executados um ao lado do outro, divididos por um pilar, para que durante a realização do ensaio as solicitações impostas em uma parede não interferissem na outra.

3.2.1. Arranjo e dimensão dos painéis

Como se observa na Figura 41, cada protótipo possui dimensões de 3,00 m de comprimento por 2,70 m de altura, e estão dispostos lado a lado, o que facilitou a execução dos mesmos e acarretou em economia de material. Estes painéis foram fixados lateralmente a pilares e na parte inferior a uma viga baldrame.

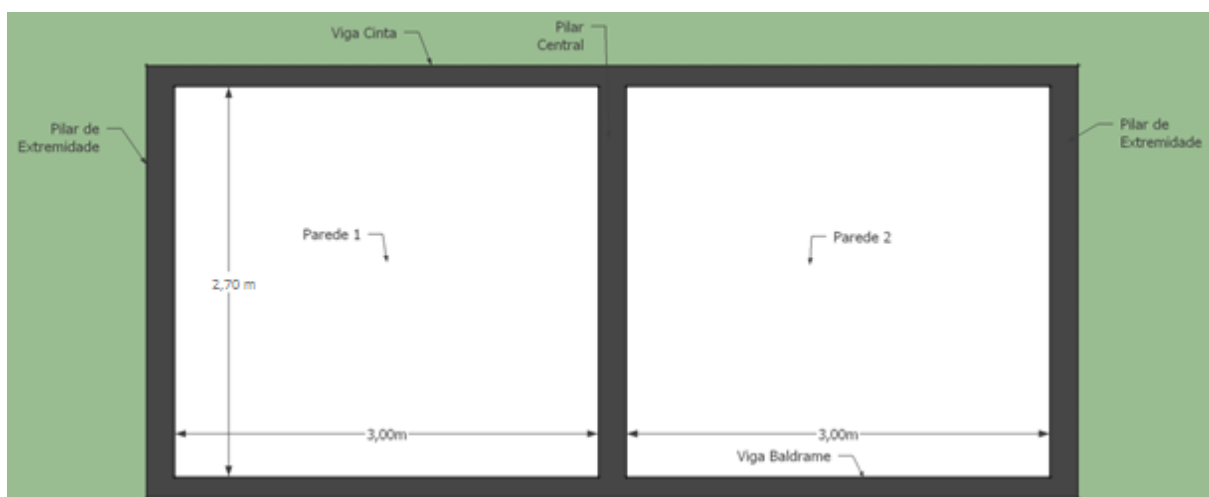


Figura 41: Configuração e dimensões dos protótipos
Fonte: O AUTOR, 2017.

Cada protótipo é formado pela junção de três painéis, cada qual com 1,00 m de largura, ligados por um sistema tipo macho e fêmea, conforme ilustra a Figura 42. Há dois

modelos de painéis: um central, sem sobra de telas nas laterais e outros dois de canto, com sobra de tela em uma das laterais, permitindo o encaixe dos mesmos. Este encaixe é feito pela sobreposição das sobras de tela dos painéis de extremidade à tela do painel central, as quais são unidas por arame recozido.



Figura 42: Painéis tipo macho e fêmea
Fonte: O AUTOR, 2017.

Em geral, a largura das telas ultrapassa em 15 cm a largura do EPS, permitindo a emenda entre painéis consecutivos Bertini (2002). No entanto, como a tela utilizada possui largura de 1,20 m e o painel de vedação tem 1,00 m, foi deixada uma sobra de 20 cm para que não fosse necessário cortá-la ao meio.

Para o corte do EPS que forma os painéis, nas dimensões especificadas, foi utilizado um pantógrafo, equipamento próprio para o recorte deste material (veja Figura 5). A execução dos painéis, apresentada na Figura 43, teve uma duração de 3 horas sendo necessárias duas pessoas para construir as duas paredes de 16,20 m². As pessoas que desenvolveram esta atividade nunca haviam trabalhado com este tipo de serviço anteriormente, porém realizaram a mesma com facilidade e de forma rápida.



Figura 43: Confeção dos painéis de vedação de EPS
Fonte: O AUTOR, 2017.

Com relação à forma com que a vedação (painéis) é fixada a sua estrutura de sustentação, foi tomado por base o trabalho de Bertoldi (2007). Segundo este autor, os painéis componentes deste sistema são fixados em sua parte inferior por arranques previamente deixados na viga baldrame. Estes arranques são barras de aço de 5 mm de diâmetro e com um comprimento de 30 cm acima da viga. No entanto, Bertoldi (2007) não cita o espaçamento entre estes arranques assim como o quanto estão ancorados no concreto da viga. Desta forma, foi adotado um engastamento de 10 cm e um comprimento de 50 cm acima da viga, superior aos 30 cm, para que possa haver uma maior fixação dos painéis ao baldrame, conferindo maior resistência à vedação a ser testada.

Os protótipos testados são partes componentes de uma edificação em fase de construção e irão compor uma das paredes da mesma; no local disponível para a construção dos protótipos, uma viga baldrame já havia sido previamente executada. Desta forma, foi necessário perfurar a viga baldrame com uma furadeira para que os arranques pudessem ser colocados. Estes arranques se mantiveram fixados a baldrame por prensagem, pois o buraco foi aberto com o mesmo diâmetro da bitola do aço, que necessitou ser cravado por meio de batidas de martelo, ficando prensado no concreto.

Conforme Bertoldi (2007), estas ancoragens podem ser feitas dispendo as esperas alinhadas, prendendo-as em apenas uma das faces do painel, ou podem estar dispostas de forma alternada, com a ancoragem sendo feita nas duas faces dos painéis. Para os protótipos executados, as esperas foram dispostas e fixadas em apenas uma das faces do painel e espaçadas entre si em 15 cm.

3.2.2. Fixação dos painéis nos pilares

Com relação à fixação lateral dos painéis nos pilares, as bibliografias consultadas, de forma geral, não fornecem dados técnicos e especificações de como ela é feita. Apenas foi possível verificar, no trabalho de Bertoldi (2007), duas possibilidades de se executar esta fixação: a de se concretar os painéis juntamente com os pilares ou de se concretar os pilares deixando-se os arranques (esperas), para posteriormente fixar os painéis.

Bertoldi (2007), nos projetos que desenvolveu utilizando este tipo de sistema de vedação, adotou a primeira possibilidade apresentada, conforme se verifica na Figura 44, em que a caixaria do pilar foi fechada com as sobras de tela das laterais dos painéis, sendo todo este conjunto concretado posteriormente.



Figura 44: Painéis concretados com os pilares
Fonte: BERTOLDI, 2007.

O outro modo de fixação se dá como o apresentado na Figura 45, onde são deixados arranques de barras de aço nos pilares, nos quais serão posteriormente fixados os painéis. No entanto, novamente se verifica a carência de dados quanto ao espaçamento e comprimento destas ancoragens, e nem mesmo a bitola de aço a ser utilizada. Isto pode ser atribuído ao fato de que, cada empresa, desenvolve e utiliza seu próprio modelo construtivo, não havendo um modelo padronizado a ser seguido.

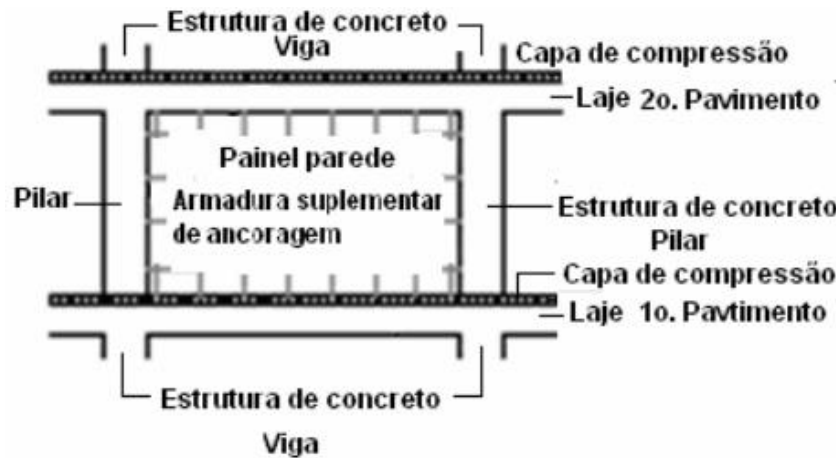


Figura 45: Pilares com arranques
Fonte: BERTOLDI apud FRIDULSA, 2006.

Para este trabalho, como sistema de fixação lateral dos painéis, foi adotado o segundo modelo apresentado. Esta escolha foi feita levando-se em consideração a dificuldade à qual se teria para manter o prumo do primeiro modelo, pois as paredes vão possuir um comprimento total de 6,50 m e contendo três pilares; o peso do concreto fresco destes pilares poderia facilmente comprometer a verticalidade do conjunto, vindo a exigir um maior escoramento e cuidado durante a sua execução. Somado a isto está o tipo de painel proposto, pois como será apresentado adiante, as telas de aço ficam 1,0 cm afastadas da placa de EPS, e desta forma a caixaria não ficaria totalmente vedada, acarretando em vazamento de concreto.

No modelo de fixação adotado, os pilares foram feitos conforme o apresentado na Figura 46, com arranques intercalados e dispostos em duas linhas, de modo a serem fixados nas duas faces do painel. Para estas esperas foram utilizadas barras de aço de diâmetro de 5 mm, engastadas 10 cm no pilar, e com uma sobra de 30 cm.

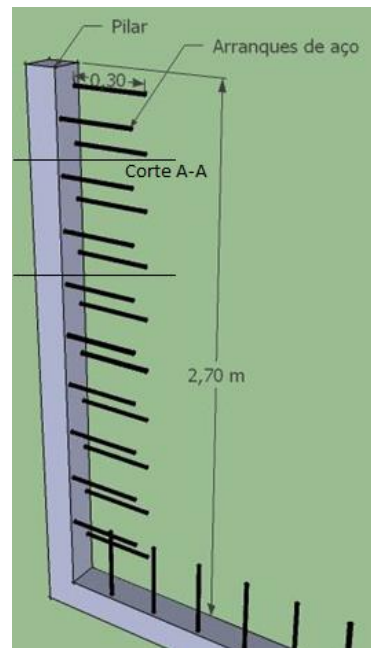


Figura 46: Esquema de engastamento vertical dos painéis
Fonte: O AUTOR, 2017.

Na Figura 47 está apresentado o detalhe dos espaçamentos, vertical e horizontal, entre estes arranques, correspondente ao Corte A-A indicado na Figura 46. Na horizontal, o afastamento é de 9,0 cm, o qual é a espessura do painel de EPS que foi encaixado entre estas esperas. Na vertical os arranques estão dispostos de forma alternada e espaçados em 30 cm.

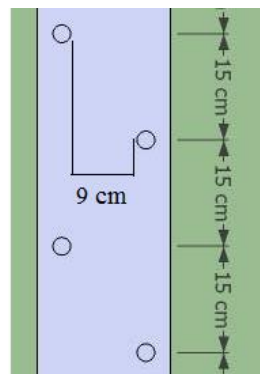


Figura 47: Detalhamento do espaçamento vertical entre as esperas do pilar
Fonte: O AUTOR, 2017.

3.2.3. Tela de aço e material do EPS

A malha padrão de tela de aço num sistema de vedação de EPS, conforme Bertoldi (2007) tem espessura de 3,4 mm, com um espaçamento médio entre fios de 73 por 130 mm.

No entanto, para este trabalho, foi utilizada uma tela de 2,3 mm, com uma malha de 5 x 15 cm, conforme apresentada na Figura 48. Esta escolha levou em consideração aspectos construtivos, pois a tela de 3,4 mm, por apresentar uma maior rigidez que a tela de 2,3 mm, dificultaria o encaixe dos painéis durante a montagem da parede. Além disso, a tela de 2,3 mm é mais barata que a de 3,4 mm, reduzindo os custos com material.

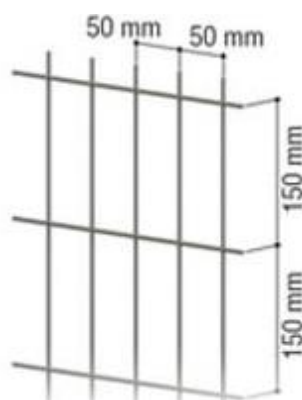


Figura 48: Dimensões da tela utilizada
Fonte: TECIAM, 2017.

Quanto ao EPS, foi utilizado um material com densidade de 12 kg/m^3 e pertencente à classe F, retardante à chama. Esta escolha se deu em função da disponibilidade deste material.

3.2.4. Conectores

Como apresentado anteriormente, os painéis são formados por um núcleo de EPS, com as suas duas faces revestidas por telas de aço. As telas foram adquiridas em rolos de 25 m de comprimento, sendo cortadas nas dimensões especificadas para os painéis.

As telas foram posicionadas sobre ambas as faces da placa de EPS e unidas entre si por conectores metálicos, mostrados na Figura 49, que atravessavam a placa. A função destes conectores é apenas de interligar as telas de aço das faces do EPS, oferecendo estabilidade geométrica durante o manuseio do mesmo (confeção, transporte, armazenamento, montagem).

Os conectores foram produzidos a partir das sobras dos recortes das malhas das telas utilizadas nas faces. Esta opção de utilizar a própria tela para construir os conectores diminuiu o desperdício de material e facilitou a execução dos painéis. Os conectores foram fixados em

um dos lados da tela por encaixe e no outro pela dobra de suas pontas (formando um gancho) como apresentado na Figura 50.

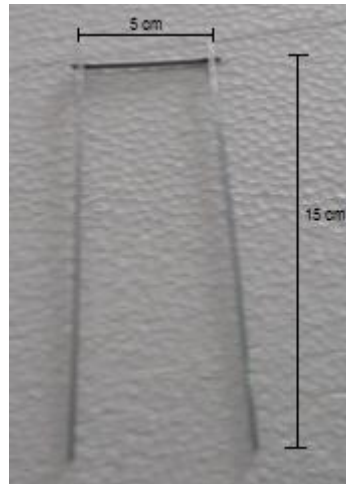


Figura 49: Conector
Fonte: O AUTOR, 2017.

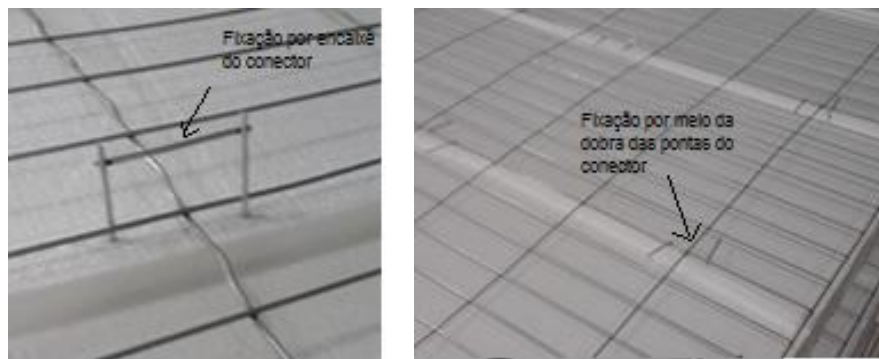


Figura 50: Fixação dos conectores às telas das faces do painel
Fonte: O AUTOR, 2017.

Quanto ao espaçamento entre os conectores, Bertini apud PCI (1997) recomenda que este seja de cerca de 60 cm e de, no mínimo, $2/m^2$ de área do painel. Porém o painel utilizado neste trabalho possui uma largura de 100 cm, o que acarretaria em uma quantidade de conectores insuficiente para garantir a sua estabilidade geométrica. Desta forma, a distribuição foi definida conforme o apresentado na Figura 51 e detalhado na Figura 52, onde os círculos em preto indicam os pontos onde foram colocados estes conectores. A quantidade de conectores ficou em cerca de $9/m^2$, superior ao mínimo de $2/m^2$ recomendado por Bertini (2002).

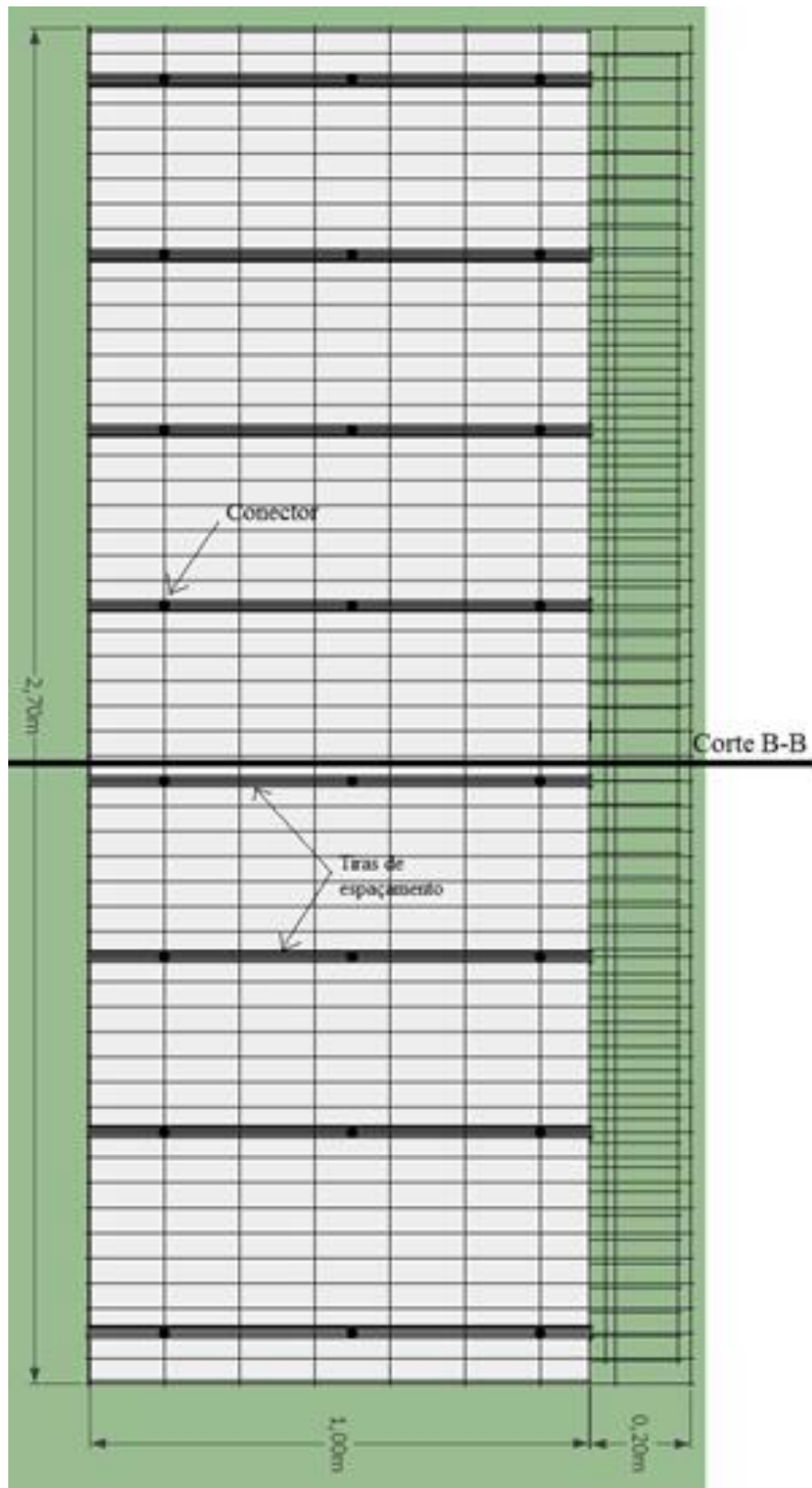


Figura 51: Disposição dos conectores e das tiras de espaçamento
Fonte: O AUTOR, 2017.

Corte B-B

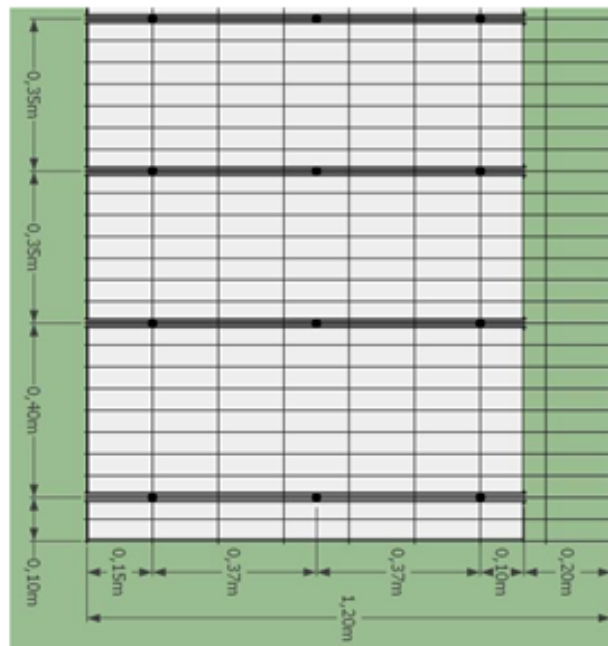


Figura 52: Detalhamento do espaçamento entre os conectores
Fonte: O AUTOR, 2017.

3.2.5. Execução da camada de revestimento do sistema

Para garantir o posicionamento (afastamento) adequado da tela de aço em relação à placa de EPS foram dispostas tiras de EPS na horizontal, como apresentado na Figura 53. Desta forma, a tela ficou 1 cm afastada do EPS em ambas as faces, que somado à espessura de 7 cm da placa, totalizaram os 9 cm do painel de vedação. As tiras de EPS entre as faces da placa de EPS e as telas de aço estão distribuídas como mostrado na Figura 52.

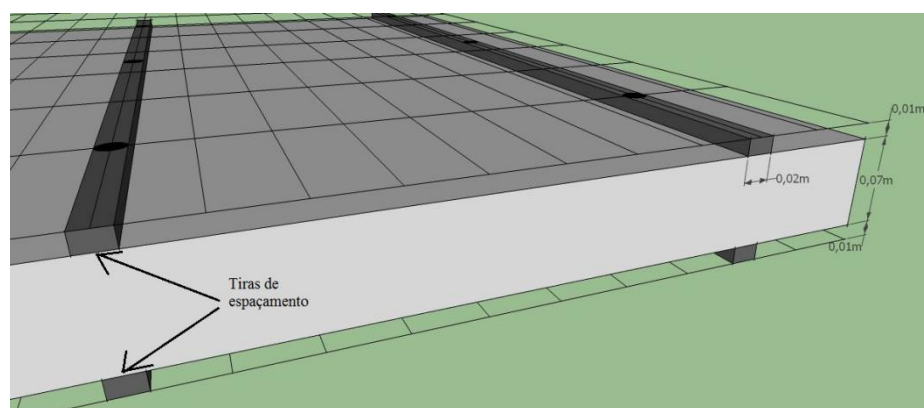


Figura 53: Detalhe das tiras de espaçamento e da espessura do painel
Fonte: O AUTOR, 2017.

O revestimento de argamassa foi realizado em duas etapas. Na primeira etapa foi executada uma camada de 1cm de espessura, até facear as telas, destinada a promover a aderência do revestimento com o EPS. Na segunda etapa foi executada a camada de regularização da vedação, com espessura de 2 cm.

A escolha do traço utilizado na confecção desta argamassa foi considerado como proposto por Bertoldi (2007). Segundo este autor, a relação cimento / areia utilizada pode variar de 1:3 à 1:4,5, em peso, sendo utilizados aditivos plastificantes e fibras de polipropileno para aumentar, respectivamente, a trabalhabilidade da mistura e a tenacidade da argamassa.

Na primeira camada de argamassa foi utilizada a proporção de 1:3, porém, em volume, pois não se dispunha de balança no canteiro de obras para determinar a proporção em peso. Nesta primeira mistura foi feito uso de aditivo adesivo, próprio para promover a aderência da argamassa ao EPS, sendo colocado em cada traço 350 ml de aditivo, conforme indicação do fabricante do produto. A relação água cimento utilizada foi de 0,35, conforme recomendado por Bertoldi (2007) e Souza (2009).

Na segunda camada de revestimento, destinada à regularização da superfície, foi utilizada a proporção de 1:5, também em volume. Nesta mistura foi utilizado aditivo plastificante, sendo 200 ml por traço, conforme indicação do fabricante do produto. Conforme Souza (2009) e Bertoldi (2007), a relação água cimento a ser utilizada é de 0,35. No entanto, esta proporção não confere a trabalhabilidade necessária à argamassa sendo, portanto, utilizada uma relação de 0,45.

Em nenhum dos traços foi utilizado fibras de polipropileno, pois não se dispunha deste material e a sua aquisição acarretaria em uma considerável elevação dos custos de realização deste trabalho devido ao alto valor das mesmas.

4. ANÁLISES: EXECUÇÃO DOS PROTÓTIPOS, COMPARATIVO DE CUSTOS E DE ISOLAMENTO TÉRMICO

4.1. EXECUÇÃO DOS PROTÓTIPOS

Os painéis que compõem os protótipos foram executados nas dependências de uma empresa localizada na cidade de Coronel Vivida, PR. O transporte destes até o local onde seriam construídos os protótipos foi feito com facilidade, pois o EPS apresenta um baixo peso, o que facilita o seu manuseio.

Para a montagem dos painéis, inicialmente, foram executados os pilares, deixando-se as esperas de aço na qual seriam fixados. Com relação à instalação, foram primeiramente colocados os painéis das extremidades, encaixados entre as esperas dos pilares e, posteriormente, o painel central.

Durante a execução desta etapa, de manuseio e encaixe dos painéis, alguns conectores se soltaram e precisaram ser novamente presos as telas. Tal fato permitiu observar que é mais vantajoso utilizar pontos de solda na união entre conector e tela ao invés do sistema de fixação adotado, o que além de evitar o retrabalho tornaria o painel mais rígido.

Na Figura 54 estão apresentados os dois protótipos construídos com os três painéis em cada. As telas das faces do painel foram amarradas por arame recozido nas esperas laterais dos pilares e da parte inferior da viga, como se observa no detalhe apresentado na Figura 55, travando os painéis; esta amarração também se deu entre as telas sobrepostas dos painéis de extremidade com o painel central.



Figura 54: Painéis instalados
Fonte: O AUTOR, 2017.

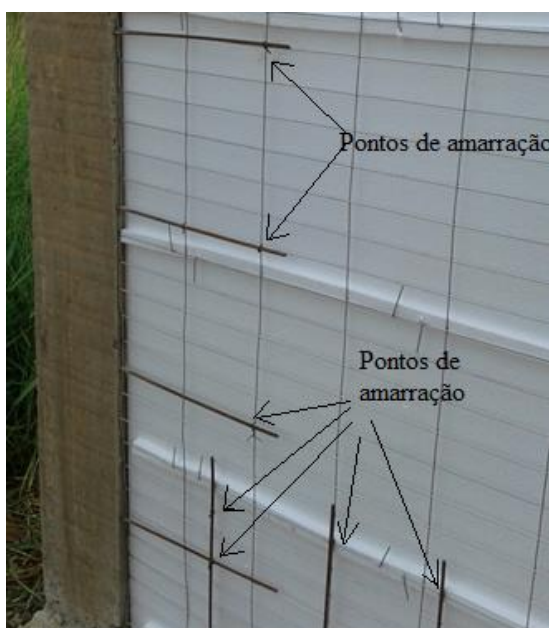


Figura 55: Detalhe da amarração das telas dos painéis aos arranques
Fonte: O AUTOR, 2017.

A execução da etapa de instalação dos painéis necessitou de duas pessoas e levou 4 horas para ser concluída. Esta etapa foi desenvolvida com facilidade necessitando apenas de uma furadeira, uma torquês e arame recozido. Pôde-se verificar que, para instalar estes painéis, é necessário o uso de luvas anti-corte, pois as pontas das telas podem ferir as mãos durante o seu manuseio.

Conforme se observa na Figura 54, os arranques colocados na viga baldrame não ficaram com espaçamentos exatamente iguais entre si, pois em alguns pontos a furadeira não conseguiu perfurar o concreto, sendo necessário adotar um espaçamento diferente do especificado. O mesmo aconteceu com relação ao comprimento destes arranques, que deveria ser de 50 cm acima da viga baldrame, pois em certos pontos a furadeira não conseguiu perfurar exatamente os 10 cm definidos para a ancoragem dos mesmos, acarretando em comprimentos variáveis ao longo da parede.

Após a instalação dos painéis foi realizada a execução do revestimento de argamassa, em duas etapas. Na primeira etapa foi realizada a execução da primeira camada, destinada a promover a aderência do revestimento ao EPS. Esta camada ficou ‘faceando’ as telas dos painéis, com espessura de 1 cm, como se observa na Figura 56. As duas faces dos protótipos foram revestidos no mesmo dia, para que a cura pudesse ocorrer de forma homogênea, e necessitou de um dia de serviço de um pedreiro e um servente para ser executada.

O traço desta camada, inicialmente definido em 0,35: 1: 3 (água: cimento: areia), foi alterado durante a execução. Esta medida foi adotada para que a argamassa pudesse atingir a trabalhabilidade adequada para ser projetada na parede, pois a relação água/cimento apresentada por Bertoldi (2007) e Souza (2009) de 0,35 não era suficiente, deixando a mistura seca e pouco coesa, que ao ser projetada no EPS não aderiria ao mesmo. Desta forma, foram adicionadas pequenas quantidades de água até se atingir a trabalhabilidade e coesão adequada, chegando a uma relação água/ cimento de 0,45. A proporção de cimento/ areia e de aditivo adesivo foram mantidas, sendo utilizados 350 ml de aditivo para cada 50 kg de cimento.



Figura 56: Primeira camada de revestimento
Fonte: O AUTOR, 2017.

A segunda camada de revestimento foi executada 7 dias após a primeira, e se deu conforme o método comumente utilizado na alvenaria de blocos cerâmicos, na seguinte ordem de atividades: taqueamento da parede; projeção da argamassa; execução das mestras; sarrafeamento e desempenamento. Nesta segunda camada novamente o traço da argamassa foi modificado, sendo alterada a relação água cimento de 0,35 para 0,50, a proporção de cimento e areia, de 1: 5, e a quantidade de 200 ml de aditivo plastificante foram mantidos.

Esta alteração foi feita com a adição de pequenas quantidades de água, para que a argamassa pudesse atingir um grau de trabalhabilidade adequado e que permitisse a sua projeção e posterior sarrafeamento e desempenamento, chegando-se à relação água / cimento

de 0,50.

Não foi possível obter o teor de umidade da areia durante a execução do revestimento de argamassa, desta forma os traços da primeira e da segunda camada também são função da quantidade de água contida na areia.

A parede concluída, composta pelos dois protótipos, está apresentada na Figura 57. Na parte superior pode-se observar arranques de aço que seriam destinados a promover a ligação entre a parede e a viga cinto. Esta viga, que seria responsável por conferir maior rigidez ao sistema, não foi executada devido ao cronograma estipulado para a realização dos testes, que teve seus prazos excedidos em função da indisponibilidade de mão de obra para executá-la.

Os arranques na parte superior dos protótipos foram colocados durante a execução da segunda camada de revestimento estando, portanto, ancorados entre as camadas e aderidos à segunda, com um espaçamento de 1 cm em relação à placa de EPS e de 2,0 cm em relação à face acabada da parede.



Figura 57: Parede com o revestimento de argamassa finalizado
Fonte: O AUTOR, 2017.

Com relação à cura da camada de revestimento, não foi executado nenhum processo de molhagem, pois choveu (no período da noite) em ambos os dias em que foram executadas ambas as camadas. Pôde-se observar que a camada de argamassa permaneceu úmida por cerca de 3 a 4 dias após terem sido feitas, o que permitiu uma boa cura da mesma. Este fato, da

camada não perder umidade, pode ser atribuído à baixa absorção do EPS, que não retira a água da camada de revestimento, permitindo uma melhor cura e menor incidência de fissuras e trincas.

Outro ponto observado com relação ao revestimento destes protótipos diz respeito ao cuidado a ser tomado com o prumo durante a instalação dos painéis. Como os três painéis depois de instalados ficaram rígidos e não apresentavam movimentação, durante a execução da camada de revestimento não foram colocadas escoras horizontais para firmá-los. Foi observado durante o taqueamento das paredes, após a primeira camada estar seca, que em alguns pontos a vedação estava fora do prumo. Desta forma, em alguns pontos das paredes a camada de reboco ficou com espessuras maiores ou menores que os 3,0 cm especificados. Este aspecto evidencia o cuidado que se deve ter com a verticalidade deste sistema construtivo ao executá-lo, pois se em grandes proporções pode acarretar em uma elevação no consumo de materiais e conseqüentemente dos custos.

Além da facilidade de execução, outro ponto positivo observado durante a execução deste sistema de vedação se refere à quantidade de resíduos gerados, pois não houve qualquer perda de material, fato que evidencia a otimização no uso de recursos, evitando desperdícios e a produção de entulhos. Com relação à estocagem de materiais, como foram gastas 4 horas para instalação dos 6 painéis, não foi necessário um local destinado ao armazenamento dos mesmos, o que não seria possível se fosse feito uso da alvenaria de blocos cerâmicos. Tal fato também reduziu a movimentação de materiais no canteiro de obras.

4.2. ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE UM SISTEMA DE VEDAÇÃO EM EPS E O SISTEMA DE ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS

Um importante ponto a ser considerado quando se introduz novos produtos ou sistemas construtivos na indústria da construção civil, e que substituem outros com uso já consolidado, está relacionado com as vantagens econômicas que os mesmos podem trazer. Desta forma será apresentada a seguir uma análise comparativa de custos entre o sistema de vedação em EPS e a vedação em blocos cerâmicos, a vedação mais utilizada, para que se possa estabelecer um parâmetro de quanto o uso de vedação em EPS pode ou não trazer ganhos econômicos.

Para o levantamento de dados comparativos quanto ao custo do sistema de vedação

em EPS e a tradicional alvenaria de blocos cerâmicos, pode-se citar a pesquisa realizada por Souza (2009), feita em Recife (PB), que analisou os custos de um protótipo de edificação de uso residencial de 42,30m² considerando seis tipologias construtivas diferentes, apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7: Tipologias construtivas de uma residência

Tipologia construtiva	Abreviação
Blocos de Vedação de Concreto	BVCON
Bloco Estrutural de Concreto	BECON
Bloco de Vedação Cerâmico	BVCER
Bloco Estrutural Cerâmico	BECER
Bloco de Gesso	BGES
Sistema Monolite com EPS	EPS

Fonte: Adaptado de SOUZA, 2009.

Para a análise dos custos envolvidos na construção de cada sistema, Souza (2009) utilizou as Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO) da Editora PINI, para o ano de 2009. Desta planilha orçamentária foram extraídos todos os itens de serviços necessários ao levantamento de custos do protótipo em estudo, para cada sistema de vedação, considerando suas composições unitárias, com todos os insumos de materiais, mão de obra e equipamentos.

Como a tabela TCPO não disponibilizava a composição de custos para um sistema em EPS, Souza (2009) desenvolveu uma composição própria deste sistema de vedação para fundamentar a sua análise dos custos de construção. Para isto, baseou-se na sua experiência em canteiros de obras e em trabalhos técnicos.

No painel de vedação em EPS desenvolvido por Souza (2009) foram utilizados os seguintes materiais:

- Núcleo de EPS com dimensões de 5 x 100 x 260 cm e densidade de 13 Kg/m³;
- Telas de aço fio 3,4 mm, malha 75 x 150 mm;
- Conectores de aço de 3,4 mm, sendo 4 unidades por m².

Para o revestimento de argamassa este autor considerou a execução de duas camadas, sendo a primeira composta por:

- 50 kg de Cimento Portland CPV – ARI;
- 100 kg de areia Média;
- 75 kg de brita zero (pedrisco);
- 250 g de fibras de polipropileno;

- 50 ml de aditivo plastificante;
- 17,5 l de água;
- Relação água cimento 0,35.

Na execução da segunda camada a quantidade de cimento, fibras, aditivo e água foram mantidas, sendo alterada apenas a quantidade de areia média, que foi de 175 kg, não sendo utilizada brita zero neste traço.

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados das análises de Souza (2009) em relação à produtividade da mão de obra além de um indicador de produtividade, dado em h/m². Este indicador corresponde ao total da mão de obra utilizada para executar as vedações, dividido pela área total de construção da edificação (42,30m²) para cada tipologia construtiva considerada. Nesta análise foram considerados apenas os custos da mão de obra de pedreiro e servente, por serem estas as que se diferem em cada sistema considerado. Souza (2009), portanto, desconsiderou os custos de mão de obra das atividades que se repetem para todos os sistemas construtivos (infraestrutura, cobertura, esquadrias, instalações, etc.).

Tabela 8: Consumo de mão de obra para cada sistema construtivo

Profissional	Quantidade de horas trabalhadas					
	BVCON	BVCER	BECON	BECER	EPS	BGES
Pedreiro	251,83	304,91	257,89	267,71	203,04	231,17
Servente	451,41	519,33	455,29	474,84	361,20	412,72
TOTAL	703,24	824,24	713,18	742,55	564,24	643,89
h/m ²	16,63	19,49	16,86	17,55	13,34	15,22

Fonte: Adaptado de Souza, 2009.

Da tabela acima se pode concluir que o sistema monolítico em EPS apresenta o menor consumo de mão de obra na sua execução dentre todos os seis sistemas considerados, enquanto o sistema construtivo em blocos cerâmicos, o mais usado na construção civil atualmente, foi aquele que apresentou o maior consumo, levando cerca de 46 % mais tempo para ser executado que o sistema em EPS. Este dado evidencia o ganho de produtividade do sistema de vedação em estudo neste trabalho, produtividade esta que se reflete em economia de tempo, mão de obra e de recursos.

Quanto à análise dos custos dos sistemas estudados, conforme se verifica na Tabela 9, o sistema em EPS foi o que apresentou o maior custo total e conseqüentemente o maior custo por metro quadrado, sendo cerca de 4,2 % mais caro que a vedação em blocos cerâmicos. Isto se deve aos materiais de que é composto, pois faz uso do EPS e do aço, que o

torna mais caro que uma vedação que faz uso apenas de blocos cerâmicos, que tem como matéria prima a argila.

Tabela 9: Custos diretos dos sistemas construtivos

Sistema Construtivo	BVCON	BVCER	BECON	BECER	EPS	BGES
Material (R\$)	17.764,64	17.136,06	18.572,16	17.518,19	19.918,40	19.379,28
Mão de obra (R\$)	9.825,93	10.552,03	9.808,25	9.979,07	8.933,15	9.426,94
Custo total (R\$)	27.572,57	27.688,09	28.380,41	27.497,27	28.851,55	28.806,22
Custo (R\$)/m ²	651,83	654,56	670,93	650,05	682,07	681,00

Fonte: Adaptado de SOUZA, 2009.

Ainda dentro da análise comparativa de custos, pode-se citar que o uso de sistemas em EPS ocasiona uma diminuição das cargas impostas à estrutura por parte das vedações, pois os painéis de EPS possuem um baixo peso quando comparados à alvenaria de blocos cerâmicos, refletindo em uma economia de materiais no dimensionamento estrutural de um edifício, principalmente em suas fundações, é o que demonstra o estudo feito por Viana e Slves (2012).

Viana e Alves (2012) realizaram uma análise comparativa de custos entre o sistema de vedação de bloco cerâmico e o sistema em EPS associado ao drywall. Nesta análise os autores modelaram estruturalmente três edifícios com diferentes arquiteturas e números de pavimentos. Estes edifícios possuíam 10, 15 e 23 pavimentos, e estão apresentados na Figura 58. Neste estudo foram considerados como sistemas de vedação a alvenaria convencional de bloco cerâmico e o sistema monolítico em EPS, utilizado como vedação externa, associado ao drywall na compartimentação e vedação interna. O objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade econômica destes sistemas de vedação, levando-se em consideração o custo dos materiais e do projeto estrutural.

Neste estudo comparativo o sistema em EPS não foi analisado de forma isolada, mas associado ao drywall. Porém esta análise ainda é válida, pois demonstra o quanto o uso de vedações mais leves, dentre elas as paredes em EPS, interfere em uma edificação em termos estruturais, diminuindo a carga aplicada à estrutura se comparado a paredes que fazem uso de blocos cerâmicos.

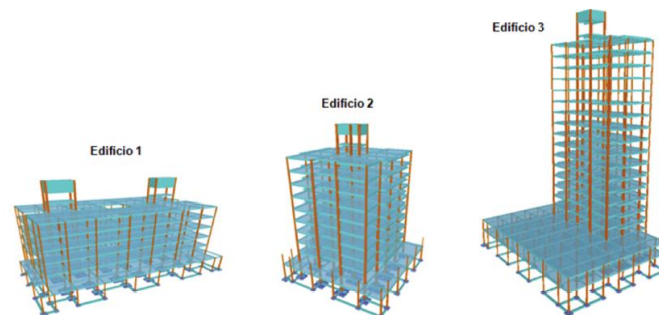


Figura 58: Edifícios modelo
Fonte: VIANA; ALVES, 2012.

Para a realização deste estudo Viana e Alves (2012) inicialmente fizeram a composição das cargas utilizadas para o cálculo, conforme a NBR 6120: 1980 e catálogos de fabricantes dos materiais. As cargas dos materiais de fechamento utilizadas estão apresentadas na Figura 59, onde fica evidenciado o baixo peso por m^2 do painel de EPS se comparado à alvenaria de bloco cerâmico, chegando a ser cerca de 44 % mais leve.

Valores das cargas adotadas para cada material de fechamento	
Material	Carga (kN/m^2)
*Alv. Externa Bloco Cerâmico	2,12
*Alv. Interna Bloco Cerâmico	1,93
*Alv. Painel Monolite EPS	1,2
Parede Drywall Separativa	0,44
Parede Drywall Corta-fogo	0,44
Parede Drywall Simples	0,22

**Já é considerada a carga da argamassa*

Figura 59: Cargas dos materiais de fechamento
Fonte: VIANA; ALVES, 2012.

Viana e Alves (2012) analisaram a viabilidade econômica de utilização dos sistemas de drywall associado a paredes de painéis monolíticos em EPS em substituição à tradicional alvenaria de blocos cerâmicos para cada edifício estudado. Na Figura 60 estão apresentados os dados obtidos por estes autores, em termos percentuais, da redução de cargas no sistema de vedação para cada edifício e a elevação dos custos que há ao se fazer uso de vedação em EPS e drywall se comparados à alvenaria de blocos cerâmicos.

	EDIFÍCIO 1		EDIFÍCIO 2		EDIFÍCIO 3	
SISTEMAS DE VEDAÇÃO						
	Alv. Convencional	Parede Drywall + EPS	Alv. Convencional	Parede Drywall + EPS	Alv. Convencional	Parede Drywall + EPS
Carga (tons)	1.536,813	420,770	1.641,732	426,944	2.030,216	436,565
Redução de carga (R\$)	1.116,043		1.214,788		1.593,651	
Redução de carga (%)	72,62%		73,99%		78,50%	
Custo (R\$)	663.431,10	801.010,79	709.318,95	873.181,93	876.911,72	1.015.072,29
Elevação do custo (R\$)	137.579,69		163.862,98		138.160,57	
Elevação do custo (%)	20,74%		23,10%		15,76%	

Figura 60: Comparação entre cargas e custos de vedação em alvenaria e EPS associado ao drywall
Fonte: VIANA; ALVES, 2012.

Uma redução significativa de carga, entre 70 e 80 %, é observada utilizando-se o sistema em EPS associado ao drywall em relação à alvenaria convencional de blocos cerâmicos. Viana e Alves (2012) não fornecem os dados de quanto desta redução diz respeito ao uso da vedação em EPS, no entanto, conforme apresentado anteriormente na Figura 59, este sistema de vedação é responsável por uma parcela significativa deste valor, sendo, no entanto, de menor importância que a redução causada pela vedação em drywall. Porém este dado pode ser usado para demonstrar os ganhos, em termos estruturais, do uso da vedação em EPS.

A elevação dos custos de um sistema em EPS e drywall em até 23 %, se comparado a um sistema em blocos cerâmicos, evidencia que a implantação deste sistema requer um investimento inicial maior. Conforme os dados apresentados por Viana e Alves (2012) a execução de uma parede formada por painéis de EPS tem um custo de 119,52 por m², enquanto que uma parede executada em alvenaria de blocos cerâmicos tem um custo de 89,40 por m², ou seja, é 33,70 % mais cara, fato que justifica este aumento de custo. Contrapondo-se a este aspecto negativo da elevação dos custos iniciais, a expressiva redução de cargas que os sistemas de vedação impõem a estrutura ao se fazer uso de sistemas mais leves irá refletir em uma economia no dimensionamento da estrutura.

Na Figura 61 é apresentado um comparativo realizado por Viana e Alves (2012) do levantamento quantitativo de cargas que cada edifício aplica sobre a fundação. Observa-se uma redução de 20 a aproximadamente 25 % no valor das cargas aplicadas sobre as fundações com a utilização do sistema em EPS + drywall para os três casos. Conforme estes autores, esta redução pode até mesmo mudar a decisão do tipo de fundação a ser usada, podendo-se substituir uma fundação indireta, que exige um processo mais caro e complicado a ser

executado, por uma fundação direta, um método mais simples e barato.

CARGA DE LOCAÇÃO						
EDIFÍCIO 1		EDIFÍCIO 2		EDIFÍCIO 3		
	Alv. Convencional	Parede Drywall + EPS	Alv. Convencional	Parede Drywall + EPS	Alv. Convencional	Parede Drywall + EPS
Carga (tons)	4.677,22	3.550,39	5.439,51	4.065,29	8.706,10	6.947,30
Redução de carga (tons)	1.126,83		1.374,22		1.758,80	
Redução de carga (%)	24,09%		25,26%		20,20%	

Figura 61: Comparativo do valor das cargas atuantes sobre a fundação
Fonte: VIANA; ALVES, 2012.

Outro fator analisado por Viana e Alves (2012) refere-se à economia de concreto e aço para os três edifícios ao se fazer uso do EPS e drywall, conforme apresentado na Tabela 10. Atribui-se este valor a um menor consumo de materiais devido ao dimensionamento estrutural em consequência da redução de cargas dos dois sistemas de vedação (EPS e drywall), que ocasionou em elementos, como vigas e pilares, com seções menores, refletindo em economia de aço e de concreto.

Tabela 10: Economia percentual de concreto e aço

	EDIFÍCIO 1	EDIFÍCIO 2	EDIFÍCIO 3
Concreto			
Economia (%)	8,88	8,98	8,23
Aço			
Economia (%)	43,35	21,90	17,16

Fonte: Adaptado de VIANA; ALVES, 2012.

A análise feita por Viana e Alves (2012), com relação à elevação dos custos comparados com a economia no dimensionamento estrutural pode ser vista de forma mais clara na Figura 62, por meio de um comparativo de quanto se gastou para investir nestes sistemas (EPS + drywall), que são mais leves que o sistema tradicional em blocos cerâmicos, com o quanto foi possível economizar na estrutura de cada edifício.

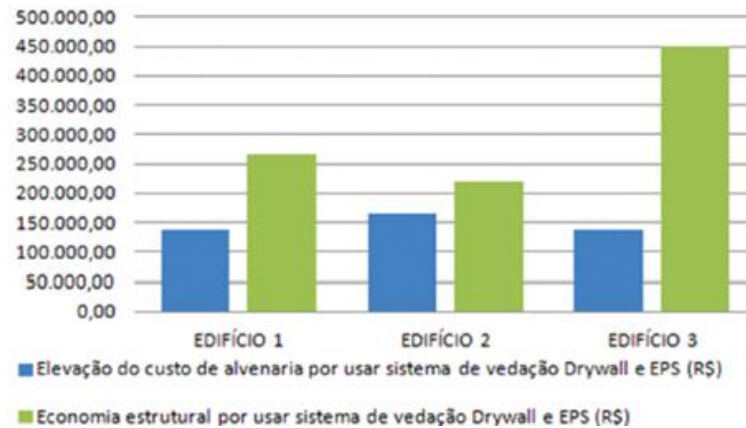


Figura 62: Análise de viabilidade

Fonte: VIANA; ALVES, 2012.

Como se observa neste gráfico, para os três edifícios, o investimento inicial foi maior por se fazer uso da vedação em EPS e drywall, porém o quanto se economizou com a estrutura supera este valor, garantindo uma economia no custo total. Para o edifício 1 este saldo foi de 49 %, para o edifício 2 de 26 % e para o edifício 3 cerca de 70 %. Desta forma, Viana e Alves (2012) concluíram que a economia estrutural viabiliza a utilização destes novos sistemas de vedação, que são mais caros que a alvenaria de blocos cerâmicos, e que reduzem os custos finais da obra.

Com base nestes dois estudos apresentados, de Souza (2009) e Viana e Alves (2012), fica evidenciado que o uso de um sistema de vedação em EPS eleva os custos totais de execução das vedações de um edifício se comparado ao sistema em blocos cerâmicos, pois possui um maior custo por m². Porém, estes são minorados quando se analisa o ganho de produtividade que o mesmo apresenta, consumindo menos tempo e mão de obra para ser executado; além do ganho em termos estruturais, pois é mais leve que a alvenaria de blocos cerâmicos, o que acarreta em uma economia de concreto e aço, o que o torna, em um aspecto total, mais vantajoso economicamente que o sistema tradicional quando utilizado em obras de maior porte, como em edifícios.

Para avaliar os custos do sistema de vedação em EPS proposto e testado neste trabalho, foi realizada uma análise comparativa dos custos que se teve para construir os protótipos testados com um sistema de vedação em blocos cerâmicos com as mesmas dimensões.

Inicialmente, foi realizado o levantamento dos custos com materiais e mão de obra para executar o protótipo. Nesta análise, foram avaliados apenas os custos para construir a

vedação em si, desconsiderando os gastos com elementos estruturais, como pilares e vigas. Ambos os protótipos possuem uma área de vedação total de 16,20 m², valor utilizado como base para a análise comparativa entre os dois sistemas. Para o levantamento do quantitativo do revestimento de argamassa a área corresponde a duas vezes este valor, ou seja, 32,40 m², pois foram revestidas as duas faces da vedação.

Para o levantamento dos custos do sistema de vedação em blocos cerâmicos, a ser comparado com a vedação em EPS, foi adotada a Tabela de Composições de Preços para Orçamentos, TCPO da Editora PINI de 2010 (EDITORA PINI, 2010). Desta planilha orçamentária padrão foram considerados os itens de serviço e suas composições, permitindo o levantamento do quantitativo dos insumos necessários para a realização da atividade em estudo.

Os custos referentes aos insumos de materiais, tanto da vedação em EPS quanto da vedação em blocos cerâmicos, foram analisados com base no valor de mercado da cidade de Coronel Vivida, PR, na qual foram construídos os dois protótipos de vedação em EPS e onde foram adquiridos os materiais necessários à sua execução. Os custos referentes aos insumos de mão de obra foram obtidos da Convenção Coletiva de Trabalho estabelecida pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado do Paraná para o período de 2016 a 2018, que estabelece os pisos salariais do servente em R\$ 5,64/hora e do pedreiro em R\$ 7,96/hora.

Na Tabela 11 estão apresentados os custos referentes aos insumos, materiais e mão de obra, utilizados para a construção do protótipo do sistema de EPS. Nesta tabela constam os custos para construção e instalação dos painéis, e execução do revestimento. No sistema de vedação em EPS, a execução e instalação dos painéis equivalem ao levantamento da alvenaria na vedação de blocos cerâmicos.

Tabela 11: Levantamento dos custos do sistema de vedação em EPS

ATIVIDADE	INSUMOS	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	QUANT.	TOTAL
Construção dos painéis	EPS	180,00 / m ³	1,13 m ³	203,40
	Telas	15,00 / m ²	38,88 m ²	583,20
	Pedreiro	7,96 / h	3 h	23,88
	Servente	5,64 / h	3 h	16,92
Total = 827,40				
Instalação dos painéis	Barras de aço de 5 mm	0,93 / m	45 m	41,85
	Pedreiro	7,96 / h	4 h	31,84
	Servente	5,64 / h	4 h	22,56
Total = 96,25				
Execução do revestimento	Cimento (sacos de 50 kg)	34,79 / saco	10 sacos	347,90
	Areia	147,00 / m ³	1 m ³	147,00
	Aditivo adesivo	21,00 / l	1,4 l	29,40
	Pedreiro	7,96 / h	24 h	191,04
	Servente	5,64 / h	24 h	135,36
Total = 850,70				
Custo Total da Vedação = 1774,35		Custo por m² = 109,53		

Fonte: O AUTOR, 2017.

Na Tabela 12 está apresentado o levantamento de todas as atividades necessárias para a execução da vedação com blocos cerâmicos com base nas composições da TCPO (EDITORA PINI, 2010). Os valores apresentados de consumo correspondem ao necessário para a execução de 1 m² de vedação. Desta forma, para se determinar o valor total do levantamento da alvenaria, o custo unitário foi multiplicado por 16,20 m², área correspondente a ambos os protótipos de EPS. Para o chapisco, emboço e reboco, os custos foram multiplicados por 32,40 m². Em ambas as tabelas, 11 e 12, não foram considerados os custos relacionados às ferramentas utilizadas, energia elétrica e consumo de água pois tais aspectos, além da dificuldade de aferição, não interferem de forma significativa no custo total.

Tabela 12: Levantamento dos custos do sistema de vedação em blocos cerâmicos

ATIVIDADE	INSUMOS	UN.	CONSUMO (para 1 m ²)	CONSUMO TOTAL	CUSTO UNITÁRIO (R\$)	CUSTO TOTAL
Levantamento da alvenaria (16,20 m ²)	Blocos cerâmicos	un	25,70	417	0,56	233,52
	Areia média	m ³	0,01647	0,267	147,00	39,25
	Cal	kg	2,457	39,80	0,62	24,68
	Cimento	kg	2,457	39,80	0,70	27,86
	Pedreiro	h	1,00	16,20	7,96	128,95
	Servente	h	1,135 h	18,39	5,64	103,72
Total = 557,98						
Execução do chapisco (5 mm) (32,40 m ²)	Cimento	kg	2,43	78,73	0,70	55,11
	Areia média	m ³	0,0061	0,20	147,00	29,40
	Pedreiro	h	0,10	3,24	7,96	25,79
	Servente	h	0,15	4,86	5,64	27,41
Total = 137,71						
Execução do emboço (20 mm) (32,40 m ²)	Cimento	kg	5,84	189,22	0,70	132,45
	Areia média	m ³	0,0244	0,79	147,00	116,13
	Pedreiro	h	0,60	19,44	7,96	154,74
	Servente	h	0,80	25,92	5,64	146,19
Total = 549,51						
Execução do reboco (5 mm) (32,40 m ²)	Cal hidratada CH III	kg	0,81	26,24	0,62	16,27
	Areia média	m ³	0,004675	0,151	147,00	22,20
	Pedreiro	h	0,50	16,20	7,96	128,95
	Servente	h	0,524	16,98	5,64	95,77
Total = 263,19						
Custo Total da Vedação = 1508,39				Custo por m² = 93,11		

Fonte: O AUTOR, 2017.

Nos dados apresentados nas Tabelas 11 e 12 fica evidenciado que a alvenaria em blocos cerâmicos, sem a execução do revestimento, possui um valor cerca de 40 % menor que a vedação em EPS. Esta significativa diferença deve-se ao custo das telas de aço utilizadas no sistema em EPS que correspondem a 70 % do valor referente à construção e instalação dos painéis.

Observa-se, portanto, um maior custo com materiais na execução de um sistema de vedação de EPS se comparado ao de blocos cerâmicos conforme concluído por Souza (2009) e Viana e Alves (2012), que afirmam que este sistema construtivo requer um investimento inicial maior.

Um ponto positivo observado diz respeito ao tempo de execução quando se compara a vedação em EPS com a vedação em blocos cerâmicos. Enquanto a construção e instalação da vedação em EPS demandou de 7 h para ser realizada, o levantamento da alvenaria na vedação em blocos cerâmicos necessitaria de cerca de 17 h, ou seja, mais do que o dobro de

tempo. Desta forma, fica evidenciado o ganho de produtividade que se tem ao fazer uso de painéis de EPS para realizar a vedação de uma edificação, que reflete em economia de tempo, que pode ser ainda maior se a execução dos mesmos for feita por meio mecânico, sem a necessidade de mão de obra de um pedreiro e um servente.

Com relação à execução do revestimento, a vedação em EPS apresentou uma economia de custos de cerca de 10 % em relação à vedação em blocos cerâmicos, fato que pode ser atribuído ao menor consumo de mão de obra, de aproximadamente 40 %.

Esta economia poderia ser ainda maior, pois a argamassa do revestimento da vedação em EPS não utilizou cal, componente que poderia diminuir o consumo de cimento, pois confere maior rendimento à mistura. No entanto, conforme visto no item 3.1.5 deste trabalho, há divergências quanto ao uso da cal em revestimentos de elementos que contenham EPS, sendo necessários maiores estudos para que se possa determinar o uso ou não deste componente na argamassa.

Com relação ao valor por metro quadrado, a vedação em EPS apresentou um custo de R\$ 109,53, enquanto a em blocos cerâmicos foi de R\$ 93,11, ou seja, usar o sistema em EPS eleva em 18 % os custos que se teria ao fazer uso da alvenaria tradicional. Apesar de apresentar um valor por metro quadrado maior, este sistema em EPS se mostra competitivo quando se avalia os demais fatores relacionados à execução de uma vedação, como por exemplo, o ganho de tempo, que possibilita executar obras em um prazo menor.

Para tornar este sistema ainda mais competitivo, caberia uma maior pesquisa com relação à espessura da tela a ser utilizada, que neste trabalho foi de 2,3 mm, testando outras de menor bitola, as quais teriam um menor custo, desde que as mesmas possam conferir uma adequada resistência ao sistema de vedação. Outro ponto a ser analisado diz respeito ao uso da cal na argamassa de revestimento, que ainda não está apresentado de forma clara pela bibliografia o porquê de não utilizá-la, pois o seu uso acarretaria na diminuição de consumo de cimento, elemento que representa uma parcela considerável do valor total da mistura.

Outro aspecto relevante a ser considerado diz respeito a otimização do espaço no canteiro de obras, pois o uso de blocos cerâmicos demanda um local para ser estocado, devendo ainda ser transportado até o seu local de uso, atividade que aumenta a circulação de pessoas. Porém, quando se faz uso de um sistema em que são utilizados painéis modulares leves o transporte se dá de um modo mais fácil, pois os mesmos podem ser levados para a obra somente no momento em que forem ser instalados, sendo que o tempo que necessitam

ficar estocados, se comparado ao tempo em que os blocos cerâmicos necessitariam, é muito menor.

Outro aspecto diz respeito à quantidade de resíduos gerados, pois a vedação em EPS executada apresentou um desperdício de material praticamente nulo, enquanto a execução de uma alvenaria de blocos cerâmicos gera considerável entulho em uma obra, perdas estas que ocorrem durante o manuseio e transporte dos blocos, que são materiais frágeis e sensíveis a impactos.

4.3. ISOLAMENTO TÉRMICO DO SISTEMA DE VEDAÇÃO EM EPS COM BASE EM REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

Uma comparação direta de custos de implantação não deve ser o único ponto a ser considerado quando se avalia a vantagem competitiva entre sistemas construtivos, pois conforme Souza (2009), o sistema construtivo ideal é aquele que, para determinados condicionantes, irá se adequar da melhor forma.

Critérios de desempenho também são um importante instrumento a ser analisado quando se avalia um sistema construtivo. De acordo com Souza (2009) uma edificação e suas partes são produtos que devem satisfazer as exigências do usuário quando submetidos a condições de uso. Estas exigências são satisfeitas quando requisitos de desempenho são atendidos, levando-se em consideração diversos aspectos, dentre eles: durabilidade, desempenho térmico e acústico, segurança estrutural, dentre outros.

Uma das vantagens mais citadas pela bibliografia, referente ao uso do sistema construtivo em EPS, está relacionada ao isolamento térmico que o mesmo proporciona, pois conforme Novais *et al.* apud FROTA; SCHIFFER (1995) todos os elementos de uma estrutura são responsáveis pelo conforto térmico da edificação, porém depois da cobertura, a parede é o principal elemento responsável pela absorção de calor existente no interior da edificação.

Este poder de isolamento se deve ao EPS, material componente desta vedação, que possui baixa condutividade térmica devido à sua estrutura de células fechadas, as quais estão cheias de ar, e que dificultam a passagem do calor, conferindo-lhe poder isolante (LUEBLE apud ACEPE, 2004). Conforme Lueble apud Jahnke; Sevegnani (2002), este isolamento térmico se traduz em economia de energia e conforto ao usuário da edificação, pois reduz o uso de sistemas de refrigeração, como o ar condicionado.

De acordo com Machado e Pinto (2001) este isolamento térmico é tanto para o frio quanto para o calor: as temperaturas externas e internas de uma residência tornam-se independentes, o que possibilita ao usuário uma economia em sistemas de aquecimento ou refrigeração do ambiente.

Novais et al. (2013) fizeram um estudo de caso no qual compararam o desempenho térmico de sistemas de vedação em EPS e a alvenaria de blocos cerâmicos. A pesquisa foi feita em uma residência localizada na cidade de Cuiabá (MT), região considerada de clima quente, com temperatura média anual de 29°C.

Nesta pesquisa foi utilizado como parâmetro de análise a temperatura superficial das vedações. Como se observa na Figura 63 foram analisadas as temperaturas internas de dois cômodos pertencentes a uma mesma residência, sendo um composto por vedação em EPS e outro por vedação em blocos cerâmicos. Ambos os sistemas foram expostos às mesmas condições micro meteorológicas, de sombreamento e ventilação, estando voltados para a mesma direção.

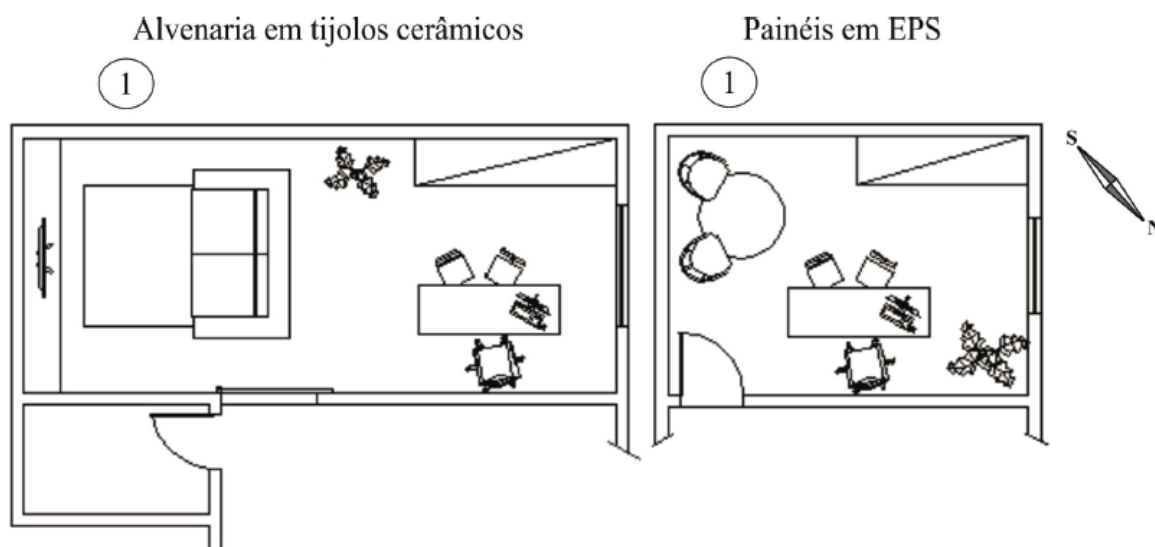


Figura 63: Ponto de análise das temperaturas de superfície
Fonte: Adaptado de NOVAIS et al., 2013.

Novais et al. (2013) mediram as temperaturas superficiais das paredes internas por meio de um termômetro de infravermelho nas alturas de 0,8 m, 1,4 m e 2,2 m. Estas medidas foram feitas em três dias consecutivos e em três diferentes horários, às 8:00, 14:00 e 18:00 hrs. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 64 abaixo.

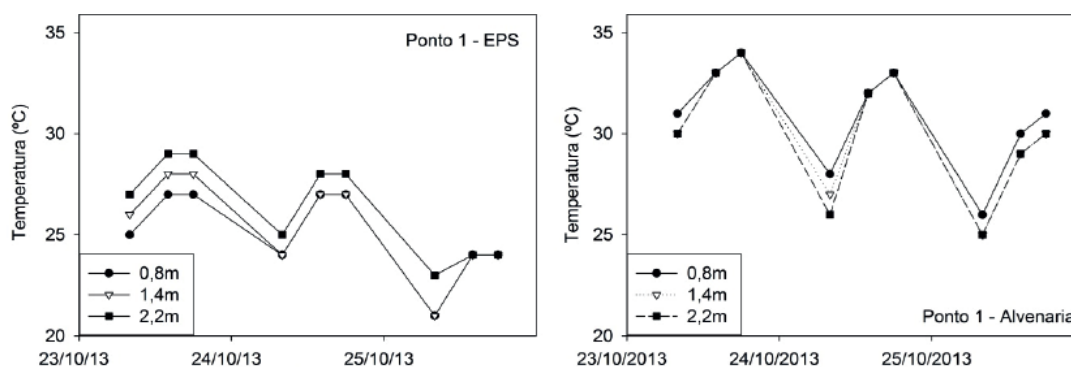


Figura 64: Temperatura interna de paredes com painéis de EPS e alvenaria
Fonte: NOVAIS *et al.*, 2013.

Nesta figura é possível verificar que as temperaturas internas, para ambos os sistemas, aumentaram no decorrer do dia, com maior pico às 18 hrs, no entanto, a temperatura de pico média do EPS ficou entorno de 29° C e a da vedação em EPS em cerca de 34° C. De forma geral as temperaturas medidas no sistema de vedação em tijolos cerâmicos é consideravelmente maior do que as temperaturas medidas na vedação em EPS, para todos os dias e horários considerados. Desta análise fica evidenciado que o sistema de vedação de painéis em EPS se mostrou mais eficiente no isolamento térmico em paredes externas, reduzindo os movimentos decorrentes do diferencial de temperatura na estrutura (ambiente interno e externo), que aliado à inércia térmica do material, manteve a temperatura interna da estrutura.

Deste estudo, Novais *et al.* (2013) concluíram que o uso de painéis em EPS diminuiu, em média, em 5° C a temperatura interna de uma edificação, sendo que em horários de maior temperatura interior (18 h), a diferença chegou a 7° C. Estes autores atribuem esta resistência de transferência de calor entre o ambiente interno e externo ao fato que o EPS é formado por 97 % de ar, sendo portanto um isolante térmico natural (NOVAIS *et al.* apud INCROPERA, 1998).

Para Novais *et al.* (2013), com este estudo ficou demonstrada a importância de um engenheiro civil ter o conhecimento de estratégias e suas aplicações para minimizar o calor no interior de uma residência. E fica demonstrado também o quanto o uso de painéis em EPS contribui para o conforto térmico no interior de uma edificação.

A norma que trata do Desempenho Térmico de Edificações é a NBR 15520 (2003), que divide o Brasil em oito zonas bioclimáticas, estabelecendo diretrizes construtivas e estratégias a serem seguidas para que se estabeleça o desempenho térmico de uma edificação.

Para a formulação destas diretrizes construtivas são considerados como parâmetros e condições de contorno o tamanho das aberturas para ventilação, a proteção das aberturas, estratégias de condicionamento térmico passivo e as vedações externas no que se refere ao tipo de parede externa e de cobertura.

Esta norma diferencia as vedações externas em leve, leve refletora e pesada, e traz recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local através de valores admissíveis de transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar a serem atendidos por estas vedações, conforme o apresentado na Figura 65.

Vedações externas		Transmitância térmica - U W/m ² .K	Atraso térmico - Δ Horas	Fator solar - FS _o %
Paredes	Leve	U * 3,00	Δ * 4,3	FS _o * 5,0
	Leve refletora	U * 3,60	Δ * 4,3	FS _o * 4,0
	Pesada	U * 2,20	Δ * 6,5	FS _o * 3,5

Figura 65: Transmitância térmica, atraso térmico e fator solar admissíveis para paredes externas
Fonte: Adaptado de NBR 15520, 2003.

A transmitância térmica, também conhecida como coeficiente de transmissão térmica, é o parâmetro que caracteriza os elementos construtivos quanto a sua capacidade de transmitir calor, ou seja, o seu grau de isolamento. Um coeficiente baixo indica um isolamento térmico elevado. O fator solar é a relação entre o fluxo de calor que é transmitido por um elemento de vedação, devido à radiação solar, e a radiação solar incidente (BERTOLDI, 2007). O atraso térmico é o tempo transcorrido, em horas, para que uma variação térmica ocorrida em um meio se manifeste na superfície oposta de um componente construtivo (NBR 15520, 2003), ou seja, é o tempo que leva para que uma defasagem de amplitude de temperatura externa se manifeste na parte interna de uma edificação, e vice versa.

Bertoldi (2007) faz um comparativo entre a vedação em EPS e bloco cerâmico para que um valor de 1,266 W/m²K de transmitância térmica seja atendida. Uma parede de alvenaria de tijolos cerâmicos necessitaria ter uma espessura de 280 mm para atender este valor de transmitância, enquanto um painel argamassado contendo em seu núcleo uma chapa de EPS de 25 mm e uma espessura de 80 mm atenderia a este valor, ou seja, apenas 1/3 da espessura da alvenaria convencional. Além disso, o uso deste sistema em EPS resulta em um ganho de área nos ambientes, pois ocupa menos espaço para um mesmo nível de desempenho

da alvenaria convencional.

Bertoldi (2007) compara as espessuras necessárias para que um sistema de vedação executado com blocos cerâmicos atinja a mesma transmitância térmica de vedações verticais executadas com painéis de EPS, conforme o apresentado na Figura 66. Por meio desta figura fica evidenciado o quanto o sistema em EPS oferece maior isolamento térmico se comparado à alvenaria convencional: a espessura de um painel em EPS chega a ser 87 % menor que a de uma parede em alvenaria para se atingir a mesma transmitância térmica.

Descrição	Espessura EPS (mm)	Densidade EPS (kg/m ³)	Espessura Painel Argamassado (mm)	Espessura equivalente Alvenaria cerâmica (mm)	Transmitância Térmica (W/m ² °C)
Painel Parede Ondulado-25	25	10	80	280	1,26633
Painel Parede Ondulado-50	50	10	110	550	0,720
Painel Parede Ondulado-90	90	10	150	980	0,430
Painel Parede Ondulado-140	140	10	200	1510	0,289
Painel Piso Nervurado-100	100-40	15	150	-	0,470

Figura 66: Comparativo entre espessuras de paredes de blocos cerâmicos e painéis de EPS para uma mesma transmitância térmica
Fonte: BERTOLDI apud MONOPLAC, 2007.

Os estudos feitos por Bertoldi (2007) e Novais *et al.* (2013) evidenciam a eficácia da vedação em EPS no que se refere ao isolamento térmico de uma edificação, apresentando vantagem em relação a vedação em blocos cerâmicos. Baixos valores de transmitância térmica indicam um bom isolamento térmico, e como se observa da Figura 65, para que um mesmo valor de transmitância seja atendido por uma vedação em blocos cerâmicos é necessário uma espessura que chega, em certos casos, a ser 7,5 vezes maior que a vedação em EPS. No que se refere aos critérios de desempenho prescritos por norma, o sistema de vedação em EPS atende com certa folga os valores de transmitância térmica admissível (ver Figura 65) para os três tipos de paredes: leves, leves refletoras e pesadas, podendo ser empregado nas 8 diferentes zonas bioclimáticas do Brasil.

5. CONFIGURAÇÃO DOS TESTES E RESULTADOS

Os ensaios foram realizados 28 dias após a execução dos protótipos, de modo a permitir o tempo de cura para a argamassa do revestimento. Para a realização dos ensaios foi instalado o dispositivo de mão francesa, descrito no item 3.2, para aplicação das cargas suspensas. Para tal, a vedação foi perfurada com uma furadeira com broca de 10 mm, onde foram colocadas as buchas, e posteriormente fixados os parafusos responsáveis por prender o dispositivo de teste à parede. Foi utilizada uma bucha do tipo expansão, que de acordo com Kruger (2000) é indicada para fixar peças suspensas em paredes de gesso acartonado, que são ocas e possuem uma camada resistente de pequena espessura, como se observa na Figura 67. Esta escolha foi feita com base na semelhança entre a vedação de EPS e a vedação de drywall, pois na vedação de EPS a camada de argamassa é o elemento resistente, de pequena espessura, no qual são fixadas peças suspensas.



Figura 67: bucha de expansão fixada em drywall
Fonte: DRYWALL E GESSO, 2017.

Foi utilizado um parafuso Philips 6 x 80 mm, compatível com a bucha adotada. O tipo de parafuso e bucha utilizados, bem como a sua fixação na parede do protótipo, estão apresentados na Figura 68. Foi necessário utilizar uma arruela de aço para que o parafuso pudesse firmar a mão francesa, sem escapar pelo buraco deixado na peça.



Figura 68: Instalação das buchas e fixação dos parafusos
Fonte: O AUTOR, 2017.

Na Figura 69 está apresentada a mão francesa já instalada, com os dois suportes destinados à colocação das células de cargas do ensaio.



Figura 69: Dispositivo de aplicação dos carregamentos
Fonte: O AUTOR, 2017.

Na face oposta, foram colocados três relógios comparadores para medição local dos deslocamentos horizontais sofridos pela vedação em função do carregamento aplicado, conforme o apresentado na Figura 70. Os relógios foram colocados encostados na face da parede para que qualquer movimentação sofrida por ela fosse aferida por estes equipamentos.

Além disso, os relógios foram posicionados na região central da vedação, situação esta mais desfavorável, pois se encontra mais afastada dos locais de engasta da vedação, onde os maiores valores de deslocamentos são esperados (veja Figuras 71 e 72).



Figura 70: Distribuição dos três relógios comparadores
Fonte: O AUTOR, 2017.



Figura 71: Configuração do ensaio 1
Fonte: O AUTOR, 2017.

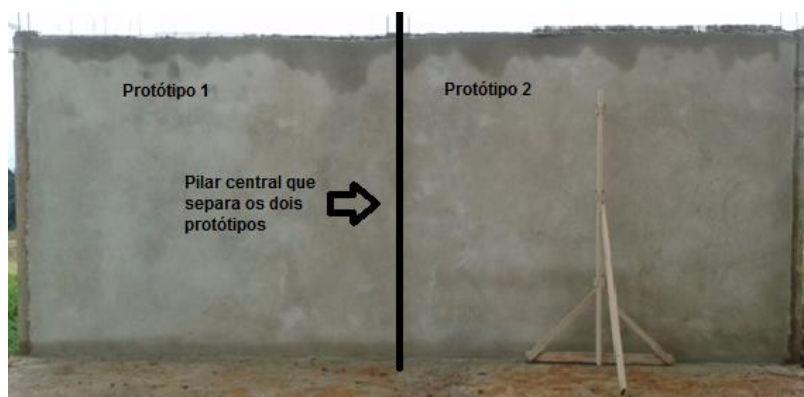


Figura 72: Configuração do ensaio 2
Fonte: O AUTOR, 2017.

Para cada protótipo ensaiado foi realizado o mesmo procedimento de instalação dos dispositivos descritos anteriormente.

Para a realização dos ensaios, a NBR 15575-4 (2013) regulamenta que as cargas devem ser aplicadas a cada 50 N e em cada ponto da mão francesa, até se atingir o total de 800 N. No entanto, no ensaio realizado neste trabalho, as cargas em cada ponto foram aplicadas conforme apresentado na Tabela 13 e 14, sendo acrescidos os seguintes carregamentos: 100 N; 50 N; 100 N; 50 N; 50 N e 50 N, em cada ponto da mão francesa. Esta alteração foi necessária, com relação ao que dispõe a NBR 15575-4, pois não se dispunha de número suficiente de células de carga de 50 N. Na Figura 73 está apresentado o dispositivo de mão francesa já com todo o carregamento aplicado, o qual permaneceu por um período de 24 horas conforme explicado no item 3.2.

Para cada carga aplicada foram aferidos os deslocamentos horizontais (d_h) nos três diferentes pontos em que estavam os relógios comparadores, e também o deslocamento horizontal residual (d_{hr}), ou seja, se houve alguma alteração do deslocamento no intervalo de tempo de 3 min entre as aplicações de cargas. Além da medição dos deslocamentos foi analisada a presença de trincas para cada carregamento aplicado.



Figura 73: Mão francesa com todo o carregamento aplicado
Fonte: O AUTOR, 2017.

5.1. RESULTADOS DOS ENSAIOS

Os resultados dos ensaios estão apresentados nas Tabelas 13 e 143.

Tabela 13: Dados do ensaio do Protótipo 1

PROTÓTIPO 1					
Carga aplicada em cada ponto (N)	Carga total (N)	PONTOS	d_h (mm) Relativo	d_h (mm) Acumulado	Fissuração
100	200	1	0,00	0,00	Não ocorrência
		2	0,14	0,14	
		3	0,06	0,06	
150	300	1	0,00	0,00	Não ocorrência
		2	0,02	0,16	
		3	0,05	0,11	
250	500	1	0,00	0,00	Não ocorrência
		2	0,14	0,30	
		3	0,01	0,12	
300	600	1	0,00	0,00	Não ocorrência
		2	0,01	0,31	
		3	0,03	0,15	
350	700	1	0,00	0,00	Não ocorrência
		2	0,01	0,32	
		3	0,02	0,17	
400	800	1	0,01	0,01	Não ocorrência
		2	0,02	0,34	
		3	0,03	0,20	
Deslocamento acumulado		1		0,01	
		2		0,34	
		3		0,20	

Fonte: O AUTOR, 2017.

Tabela 14: Dados do ensaio do Protótipo 2

PROTÓTIPO 2					
Carga aplicada em cada ponto (N)	Carga total (N)	PONTOS	d_h (mm) Relativo	d_h (mm) Acumulado	Fissuração
100	200	1	0,00	0,00	Não ocorrência
		2	0,01	0,01	
		3	0,11	0,11	
150	300	1	0,00	0,00	Não ocorrência
		2	0,02	0,03	
		3	0,03	0,14	
250	500	1	0,00	0,00	Não ocorrência
		2	0,03	0,06	
		3	0,06	0,20	
300	600	1	0,00	0,00	Não ocorrência
		2	0,01	0,07	
		3	0,01	0,21	
350	700	1	0,00	0,00	Não ocorrência
		2	0,01	0,08	
		3	0,03	0,24	
400	800	1	0,00	0,00	Ocorrência
		2	0,01	0,09	
		3	0,00	0,24	
Deslocamento acumulado		1	0,00		
		2	0,09		
		3	0,24		

Fonte: O AUTOR, 2017.

A NBR 15575-4 (2013) limita os deslocamentos horizontais em $d_h \leq H/500$, onde h é a altura do elemento parede. Para este trabalho, onde o protótipo possui 2,70 m de altura, d_h é igual a 5,4 mm (2700 mm / 500).

Como se observa no deslocamento acumulado apresentado nas Tabelas 13 e 14, o deslocamento máximo sofrido pelo Protótipo 1 foi de 0,34 mm, no ponto central da parede; e o deslocamento máximo sofrido pelo Protótipo 2 foi de 0,24 mm, no ponto situado a 3H/4 do chão. Esses valores de deslocamento estão dentro do limite de 5,4 mm estabelecido pela NBR 15575-4, representando cerca de 7 % e 5 % deste valor, para os protótipos 1 e 2 respectivamente. Não foram verificados deslocamentos residuais em nenhum dos dois protótipos.

No ponto 1, situado a H/4 do chão, o deslocamento medido foi nulo para o Protótipo 1 e de 0,01 mm para o protótipo 2, valor praticamente desprezível. Isto se deve ao fato de que nesta região da parede estão localizados as barras de aço que foram responsáveis por fixar a vedação à viga baldrame, sendo, portanto a região que apresenta maior rigidez.

Nos pontos 2 e 3, situados a $H/2$ e $3H/4$ do chão, respectivamente, os deslocamentos não-nulos poderiam ter sido reduzidos, ou até mesmo anulados caso a viga cinta tivesse sido executada; esta viga seria responsável por conferir maior rigidez à vedação.

A carga de 800 N permaneceu aplicada nos dois protótipos por 24 h. Ao final deste período os deslocamentos foram novamente medidos e, conforme se observa na Tabela 15, apresentaram valores desprezíveis. Estes carregamentos foram retirados, e novamente foram aferidos os deslocamentos sofridos pela vedação, no entanto, desta vez os deslocamentos foram positivos, ou seja, a parede apresentou tendência a voltar ao seu estado original.

No protótipo 1, o ponto 2 foi o que apresentou um maior deslocamento acumulado após as 24 h de realização de ensaio, de 0,34 mm. Depois de retirado o carregamento este ponto retornou 0,15 mm à posição original, restando, portanto, um deslocamento permanente de 0,19 mm. No protótipo 2, o ponto 3 foi o que apresentou o maior deslocamento acumulado, de 0,26 mm, sendo que após retirado o carregamento retornou 0,11 mm à posição original, apresentando um deslocamento permanente de 0,15 mm.

Tabela 15: Deslocamentos ocorridos após 24 h

	PONTOS	d_h (mm)	FISSURAÇÃO
Protótipo 1			
Após 24 h	1	0,00	Não ocorrência
	2	0,02	
	3	0,01	
Após retirar o carregamento	1	+ 0,01	Não ocorrência
	2	+ 0,15	
	3	+ 0,15	
Protótipo 2			
Após 24 h	1	0,00	Não ocorrência
	2	0,01	
	3	0,02	
Após retirar o carregamento	1	+ 0,00	Não ocorrência
	2	+ 0,05	
	3	+ 0,11	

Fonte: O AUTOR, 2017.

Para os dois protótipos testados era esperado um maior deslocamento horizontal na região central da parede (ponto 2), pois é a região em que foram aplicados os carregamentos e o local mais distante dos apoios, vigas e pilares. No Protótipo 1, o maior deslocamento se deu no ponto 2, no entanto, no Protótipo 2 o maior deslocamento ocorreu no ponto 3. Esta variação nos resultados pode ser atribuída ao fato, já citado no item 4.1, da variação da espessura da camada de revestimento em alguns pontos da parede devido ao desaprumo da

mesma; pois na região central do Protótipo 2 foi um dos locais em que foi necessário realizar um preenchimento com argamassa, resultando em uma camada de maior espessura e consequentemente de maior resistência. No entanto, se verifica que o deslocamento sofrido no ponto 3 para ambos os protótipos apresentam valores semelhantes.

Além disso, verificou-se que as duas faces resistentes trabalharam em conjunto, onde a aderência da argamassa à placa de EPS e os conectores flexíveis que interligaram as telas das duas faces resistentes foram capazes de transmitir os esforços, que uma face estava sendo sujeita, à outra face. Não foi verificado qualquer empenamento ou descolamento da face em que foi fixada a mão francesa.

Com relação à análise da fissuração da vedação durante a realização dos ensaios, não foram verificadas ocorrências de fissuras nos elementos de vinculação, entre pilares/painéis e painéis/viga baldrame. Também não surgiram fissuras no interior da vedação.

A única ocorrência de fissura verificada está apresentada na Figura 74. Esta fissura se deu no protótipo 2 em decorrência da má fixação das buchas dos parafusos; quando perfurada a abertura destinada à fixação da bucha do ponto de fixação 1 (ver Figura 75), a furadeira acabou perfurando uma abertura maior que a necessária, e quando um carregamento de 700 N foi aplicado à mão francesa, a bucha deste ponto de fixação começou a se desprender e a se afastar da parede. O desprendimento da bucha no ponto 1 ocasionou uma sobrecarga no ponto de fixação 2. Quando a carga de 800 N foi aplicada ao sistema, uma fissura propagou-se como apresentado na Figura 75.



Figura 74: Ocorrência de fissura
Fonte: O AUTOR, 2017.



Figura 75: Desprendimento da bucha do ponto 1 e fissuração do ponto 2
Fonte: O AUTOR, 2017.

Dos deslocamentos medidos e das fissuras analisadas, conclui-se que a vedação proposta e testada neste trabalho atende às prescrições da NBR 15575-4 no que se refere ao requisito de resistência à ação de peças suspensas, atendendo as condições de serviço estabelecidas, com deslocamentos horizontais muito inferiores aos limites estabelecidos. Além disso, a fissura presente, decorrente da má fixação das buchas dos parafusos, não comprometeu a estrutura da vedação.

5.1.1. Comparação dos resultados obtidos com referências bibliográficas

Apesar da norma NBR 15575-4 ser o parâmetro de avaliação para o desempenho do sistema de vedação em estudo neste trabalho, comparar os resultados obtidos nos ensaios com valores encontrados na literatura, para outros sistemas de vedação, é um forma de avaliar se o desempenho alcançado está de acordo com os demais sistemas utilizados pela construção civil.

Para esta análise comparativa pode-se citar o trabalho de Oliveira (1996), que fez um estudo de caso no qual avaliou diferentes sistemas construtivos, empregados na construção da Vila Tecnológica de Ribeirão Preto, com base no seu desempenho quanto à segurança estrutural, sendo a resistência a peças suspensas um dos requisitos avaliados. Os sistemas construtivos avaliados por Oliveira (1996) estão descritos na Tabela 16 a seguir:

Tabela 16: Sistemas construtivos avaliados

Sistema Construtivo	Descrição
Padrão COHAB	Casa de alvenaria de tijolo cerâmico com 6 furos revestido e sem forro
B	Painéis estruturais pré-fabricados em concreto
C	Painéis autoportantes, tipo sanduíche, estrutura interna de madeira tratada e recoberta por chapa tipo "Hard Board", revestida com argamassa epóxica
D	Alvenaria de tijolos de solo - cimento vazados intertravados
E	Painéis pré-fabricados em concreto armado com núcleo de bloco cerâmico
F	Blocos cerâmicos, com encaixe macho-fêmea, permitindo a superposição e o intertravamento, dispensando o uso da argamassa
G	Painéis pré-fabricados de poliestireno expandido e tela de aço, revestidos com argamassa jateada
H	Painéis em madeira de lei industrializada
I	Painéis pré-fabricados tipo sanduíche de concreto e núcleo de Poliestireno
J	Blocos de concreto com sistema de auto-encaixe e auto-travamento, executado com massa especial
K	Colunas pré-moldadas espaçadas com placas pré-fabricadas em concreto imitando tijolo à vista

Fonte: OLIVEIRA, 1996.

Para a realização destes ensaios Oliveira (1996) adotou uma carga total de 1000 N, e utilizou a mesma configuração de ensaio apresentada neste trabalho. No entanto, cada protótipo testado possuía uma altura diferente; desta forma, o $d_{hm\acute{a}x}$ permitido é diferente para cada sistema.

Conforme se verifica na Figura 76, o sistema construtivo de vedação em EPS testada por Oliveira (1996) apresentou um deslocamento de 0,70 mm para um carregamento de 1000 N. Desta forma, é possível constatar que a vedação testada neste trabalho, que apresentou um deslocamento máximo de 0,36 mm após 24 h de aplicação, com um carregamento de 800 N, apresenta valores compatíveis com o encontrado por Oliveira (1996).

Sistemas Construtivos	dh (mm)	dh _{máx} (h/500) (mm)
COHAB	0.14	5.70
C	0.33	5.46
D	0.53	5.00
E	0.21	5.00
F	0.03	5.42
G	0.70	5.76
H	3.43	6.00
I	1.01	5.00
J	0.03	5.60
K	0.10	5.40

Figura 76: Resultados - ensaios de cargas suspensas
Fonte: Adaptado de OLIVEIRA, 1996.

A vedação em EPS (sistema G) apresentou valores maiores de deslocamento que a maioria dos sistemas analisados, dentre eles a alvenaria de tijolos cerâmicos. Porém, apesar deste deslocamento ter sido maior que o sofrido pelos demais, ainda ficou aproximadamente 90 % abaixo do valor limite permitido pela norma.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por objetivo comparar os custos entre um sistema de vedação em EPS e o sistema convencional de blocos cerâmicos, sendo também comparado o desempenho térmico de ambos os sistemas. Outro ponto avaliado diz respeito ao desempenho estrutural da vedação de EPS quando submetida à ação de cargas suspensas, que foi realizado por meio de ensaios em protótipos, buscando comparar os valores obtidos com a norma de desempenho NBR 15575(2013) e com dados presentes na literatura.

Com relação aos custos, o sistema de vedação em EPS apresentou um maior valor por metro quadrado que a vedação de blocos cerâmicos, tanto na bibliografia analisada, (Souza, 2009), quanto nos protótipos testados neste trabalho. Este maior custo se deve aos seus materiais componentes, com maior destaque para as telas de aço, que representam uma considerável parcela deste valor.

Contrapondo-se aos maiores custos com materiais, o sistema de EPS apresentou uma economia com a mão de obra quando se compara o tempo gasto para executar uma mesma vedação em alvenaria. Este menor consumo se dá principalmente em decorrência do menor tempo gasto para executar o fechamento da vedação (sem a camada de revestimento), pois economiza as etapas de transporte e assentamento de blocos cerâmicos, diminuindo também o consumo de argamassa. Tal fato evidencia que o seu uso confere maior produtividade na execução de uma obra, possibilitando executar edificações em um menor prazo do que aquele que se levaria para executá-la usando o sistema convencional, porém com um custo adicional.

Uma economia financeira, em construções que fazem uso da vedação em EPS, pode ser obtida em obras de maior porte, como em edifícios, pois, há um saldo positivo quando se analisa o quanto se investiu para fazer uso deste sistema com o quanto se economizou com a estrutura. Isto se deve ao baixo peso do EPS quando comparado aos blocos cerâmicos da vedação em alvenaria, resultando em uma diminuição nos carregamentos impostos à estrutura, ocasionando uma economia no dimensionamento estrutural, reduzindo o consumo de aço e de concreto.

Apesar de seu maior custo, a vedação em EPS apresenta um ganho quando se analisa o seu isolamento térmico se comparado à vedação de blocos cerâmicos. O EPS é um material que apresenta baixa condutividade térmica, fato que dificulta as trocas de calor entre os ambientes externos e internos da edificação, que além de gerar maior conforto de seus

habitantes, acarreta em economia no consumo de energia elétrica com equipamentos que condicionam a temperatura.

Uma vedação em blocos cerâmicos, para atingir o mesmo isolamento térmico de uma vedação em EPS necessitaria ser construída com uma espessura bem superior à em EPS, fato que além de consumir maior quantidade de material, sobrecarregada à estrutura da edificação a qual faz parte. O isolamento atingido por esta vedação também atende com ampla margem os valores definidos pela norma que trata do Desempenho Térmico de Edificações no Brasil, a NBR 15520 (2003).

Além de seu desempenho térmico, a vedação em EPS também apresenta um adequado desempenho estrutural quando submetida à ação de cargas suspensas, atendendo com ampla margem os requisitos prescritos pela NBR 15575-4, já que os deslocamentos medidos nos protótipos testados são muito inferiores aos permitidos; podendo, portanto ser utilizada em edificações que tenham armários, pias, prateleiras e demais peças suspensas. Estes valores de deslocamento também estão de acordo com os apresentados pela literatura.

Conclui-se que a vedação em EPS, apesar de possui um maior custo que a vedação em blocos cerâmicos, apresenta um melhor desempenho térmico e de produtividade no canteiro de obras se comparada ao sistema convencional, diminuindo ainda a quantidade de resíduos sólidos gerados, fatores estes, que tornam o seu uso viável em substituição ao sistema convencional em obras que buscam maior desempenho e menores prazos.

REFERÊNCIAS

ABRAPEX. Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. São Paulo 2006.

ABRAPEX. Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. **Aplicações do EPS na construção civil.** São Paulo, 2016. Disponível em: < <http://www.abrapex.com.br/31Constru.html>>. Acesso em: nov. 2016.

ABRAPEX. Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. **Características.** São Paulo, 2016. Disponível em: < <http://www.abrapex.com.br/02Caracter.html>>. Acesso em: nov. 2016.

ABRAPEX. Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. **O que é EPS.** São Paulo, 2016. Disponível em: < <http://www.abrapex.com.br/01OqueeEPS.html>>. Acesso em: nov. 2016.

ABRAPEX. **Manual de utilização do EPS na construção civil.** 1 ed. São Paulo: PINI, 2006.

ACEPE. ASSOCIAÇÃO INDUSTRIAL DO POLIESTIRENO EXPANDIDO. **Fabrico do EPS.** Lisboa, 2005.

ALVES, Élcio C.; VIANA, Saulo A. O. Análise de custo e viabilidade dentre os sistemas de vedação de bloco cerâmico e drywall associado ao painel monolite EPS. **Revista Engenharia Estudo e Pesquisa - ABPE**, v. 13, nº1, p. 03-11, jan/jun 2013. Disponível em: < http://www.revistaeep.com/imagens/volume13_01/cap01.pdf>. Acesso em: out. de 2016.

AMIANTI, Marcelo. **Uso e aplicação do poliestireno expandido (EPS) reciclado para impermeabilização por impregnação de superfícies de concreto pré-fabricado.** 122 p. Dissertação. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2005.

ARAÚJO, Robinson de C. **Estudo comparativo entre painéis verticais compostos por EPS e tijolo cerâmico de oito furos como isolantes térmicos para a região de Cuiabá - MT.** 75 p. Dissertação. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7481: Tela de Aço Soldada – Armadura para o Concreto.** Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15520: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2003.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edifícios habitacionais – Desempenho.** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11678: Divisórias leves internas moduladas – Verificação do comportamento sob ação de cargas provenientes de peças suspensas**. Rio de Janeiro, 2016.

BASF. **Guidelines for use of EPS board products in building construction**. Technical Bulletin E-I, Parsippany, N J, USA, 1990.

BASF. **Styropor® - Construction: Highway Construction/Ground insulation**. Technical Information TI 1 – 800e, BASF. Ludwigshafen, Germany, 1991.

BATALHA, Gilmar F. **Processos de fabricação: junção, soldagem e brasagem**. Material auxiliar ao livro: Kalpakjian, S. & Schmid, S. Manufacturing Engineering and Technology, 4ed. Ed. Prentice Hall, 2001.

BERNARDES, Ricardo G. S.; MIRANDA, Gilberto W. A.; SOUZA, Marcelo M. **Fabricação de telas soldadas – critérios para escolha entre as diversas opções de equipamentos**. 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Caxias do Sul, RS, 2011.

BERTINI, Alexandre Araújo. **Estruturas tipo sanduíche com placas de argamassa projetada**. 209 p. Tese. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 2002.

BERTOLDI, Renato H. **Caracterização de sistema construtivo com vedações constituídas por argamassa projetada revestindo núcleo composto de poliestireno expandido e telas de aço: dois estudos de caso em Florianópolis**. 127 p. Dissertação. UFSC, Florianópolis, SC, 2007.

DUSKOV, M. **Materials research on EPS20 and EPS15 under representative conditions in pavement structures. Geotextiles and Geomembranes**. n. 15, p. 147 – 181, 1997.

ECOKIT CASAS. Produtos. Disponível em: < <https://www.ecokitcasas.com/> > . Acesso: out. 2016.

EDITORA PINI. TCPO – **Tabelas de Composição de Preço para Orçamentos**. 13 ed. São Paulo, 2010.

FONSECA, F.J.C. **Projeto de painéis sanduíche de concreto pré-moldado**. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, SP, 1994.

FRIDULSA. **La construcción con FRIDULSA**. Montevideo, Uruguay, 2006. Disponível em: <www.fridulsa.com.uy>.

FROTA, Anésia F.; SCHIFFER, Sueli R. Manual de conforto térmico. São Paulo: Studio Nobel, 1995.

GLOBO EPS. Produtos. Disponível em: < <http://www.globoeps.com.br/blocos.html>>. Acesso: out. 2016.

HANAI, J. B.; TAKEYA, T. **Estudo do comportamento estrutural de painéis MONOLITE CABRINI na flexão simples**. Relatório Laboratório de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 1994.

HORVATH, John S. (1994). **Expanded Polystyrene (EPS) Geofom: An Introduction to Material Behavior. Geotextiles and Geomembranes**. n. 13, p. 263 – 280.

IBTS - INSTITUTO BRASILEIRO DE TELAS SOLDADAS. Área Técnica. 2016. Disponível em: < http://www.ibts.org.br/telas_apresent.asp>. Acesso: jan. 2017.

IBTS. Manual Telas Soldadas Galvanizadas. Disponível em: < <http://www.ibts.org.br/pdfs/manual%20telas%20galvanizadas.pdf>>. Acesso: out. 2016.

IBTS. TELAS SOLDADAS – Informações Técnicas. Como projetar e construir estrutura de concreto com qualidade e produtividade. Disponível em: < <http://www.ibts.org.br/pdfs/IT.pdf>>. Acesso: out. 2016.

INCROPERA, F.P.; WITT, D.P. **Fundamentos da transferência de calor**. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares: segurança estrutural. São Paulo, IPT. Documento Preliminar, anexo do relatório 16277. 107p. São Paulo, 1981.

INTECO – Advanced Building System. Indústria e tecnologias de Construção. Produtos. Disponível em: < <http://www.stefaninagroup.com/inteco/paineis.asp>>. Acesso: dez. 2017.

JAHNKE, K. A.; SEVEGNANI, J. T. **Investigação e análise do processo construtivo do poliestireno expandido (isopor) e fibras de vidro**. 2001. II Congresso de Iniciação Científica UNERJ, Centro Universitário de Jaraguá do Sul, SC, 2001.

JAHNKE, K. A.; SEVEGNANI, J. T. **Desenvolvimento e acompanhamento da construção de uma edificação em poliestireno expandido (isopor) e fibras**. III Congresso de Iniciação Científica - I Seminário de Extensão - UNERJ, Centro Universitário de Jaraguá do Sul, SC, 2002.

KRUGER, Paulo G. V. Análise de painéis de vedação nas edificações em estrutura metálica. 167 pg. Dissertação. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2000.

LUEBKE, A. R. C. P. **Casa de EPS**. 2003.

LUEBLE, Ana R. C. P. **Construção de habitações com painéis de eps e argamassa armada.** I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo, SP, 2004.

MACHADO, Rosane M. A; PINTO, Taisa S. **Inovação tecnológica na construção civil: o caso dos painéis de EPS.** 27 pg. Monografia (Especialização) – CEFET – PR. Curso de Pós Graduação em Gerenciamento de Obras, VI. Curitiba, 2001.

MITIDIARI FILHO, C.V.; SOUSA, R. Avaliação de desempenho de sistemas construtivos destinados à habitação popular: aplicação prática - 1ª parte. IPT, São Paulo, 1994.

MONOFORTE. O Sistema Monoforte. Disponível em: <<http://www.sistemamonoforte.com.br/home>>. Acesso: out. 2016.

MONOPLAC. **Sistema Constructivo Monoplac.** Chile, 2006. Disponível em: <www.monoplac.cl>.

MONTENEGRO, Ricardo S. P.; SERFANY Moysés E. **Aspectos gerais do poliestireno.** Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Brasília, DF, 2003. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set1606.pdf>. Acesso: mai. 2017.

NETO, José O. A. **Caracterização do comportamento geotécnico do EPS através de ensaios mecânicos e hidráulicos.** 227 p. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 2008.

NOVAIS, Jonathan W. Z. *et al.* Comparação do desempenho térmico de painéis em EPS como alternativa aos tijolos cerâmicos no conforto térmico de residências em Cuiabá-MT. **Revista UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 13, n. 1, p. 39-43, nov. 2014. Disponível em: <<http://www.pgsskroton.com.br/seer/index.php/exatas/article/view/339>>. Acesso: jan. de 2017.

OLIVEIRA, Fabiana, L. **Avaliação do desempenho estrutural de sistemas construtivos inovadores: estudo de caso.** 108 p. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 1996.

PCI COMMITTEE REPORT. **State-of-the-art of precast/prestressed sandwich wall panels.** PCI Journal, p.32-49, May-June, 1997.

PCI COMMITTEE REPORT. **State-of-the-art of precast/prestressed sandwich wall panels.** PCI Journal, p. 92-134. Mar.-Abr., 1997.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático.** 8 ed. Rio de Janeiro, RJ: Grupo Gen-LTC, 2000.

PINATT, Jessica M.; ALMEIDA, Nicolas G. C. de; MORI, Luci M. de. **CONSTRUÇÃO CIVIL: Coletânea de inovações tecnológicas.** In: III Seminário de Engenharia Civil. Maringá, PR, 2013.

PORTOMAQ – Indústria de Máquinas Ltda. Disponível em: <<https://www.portomaq.ind.br/>>. Acesso: out. 2016.

SANTOS, Altair. **Parede de EPS recoberta por concreto: tecnologia evolui**. Massa Cinzenta. Área Técnica, 2015. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/parede-de-eps-recoberta-por-concreto/>>. Acesso em: Novembro de 2016.

SOUZA, Angela A. G. **Análise comparativa de custos de alternativas tecnológicas para construção de habitações populares**. 180 p. Dissertação. Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2009.

STARK, T. D.; ARELLANO, D.; HORVATH, J. S.; LSHCHINSKY, D. (2004). **Geofam Applications in the Design and Construction of Highway Embankments**. NCHRP Web Document 65 (Project 24 – 11). TRB of the National Academies.

TELAMARK. Sistema Construtivo EPS. Disponível em: <<http://www.telamarck.com.br/produtos/sistema-construtivo-eps/eps>>. Acesso: out. 2016.

YEO, S. S.; HSUAN, Y. G. **The Compressive Creep Behavior of an Expanded Polystyrene Geofam**. 8º Congresso Internacional de Geossintéticos. Yokohama, Japão, 2006.