



UNIVERSIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS NATURAIS E TECNOLOGIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL

MARCELLE ABRÃO DE CARVALHO

APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)
NO DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS E TELHAS DE CONCRETO NA
CONSTRUÇÃO CIVIL VISANDO APLICAÇÃO EM OBRAS DE
INTERESSE SOCIAL

Ribeirão Preto
2019

Marcelle Abrão de Carvalho

APLICAÇÃO DE RESÍDUOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)
NO DESENVOLVIMENTO DE BLOCOS E TELHAS DE CONCRETO NA
CONSTRUÇÃO CIVIL VISANDO APLICAÇÃO EM OBRAS DE
INTERESSE SOCIAL

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutora em Tecnologia Ambiental.

Orientador:
Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes

Ribeirão Preto
2019

Ficha catalográfica preparada pelo Centro de Processamento Técnico da Biblioteca
Central da UNAERP

- Universidade de Ribeirão Preto –

Carvalho, Marcelle Abrão de, 1978-
C331a Aplicação de resíduos de poliestireno expandido (EPS) no desenvolvimento de blocos e telhas de concreto na construção civil visando aplicação em obras de interesse social / Marcelle Abrão de Carvalho. – Ribeirão Preto, 2019.
207 f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes.

Tese (doutorado) - Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP, Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2019.

1. Resíduos de poliestireno expandido. 2. EPS. 3. Isopor®.
4. Construção civil.

I. Título.

CDD 628

MARCELLE ABRÃO DE CARVALHO

“Aplicação de resíduos de poliestireno expandido (EPS) no desenvolvimento de blocos e telhas de concreto na construção civil visando aplicação em obras de interesse social”.

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora pelo programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnologias da Universidade de Ribeirão Preto.

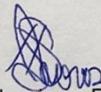
Orientador: Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

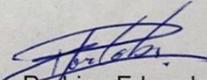
Data de defesa: 02 de setembro de 2019

Resultado: APROVADO

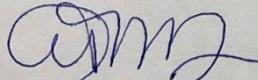
BANCA EXAMINADORA



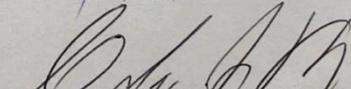
Prof. Dr. Luciano Farias de Novaes
Presidente/UNAERP



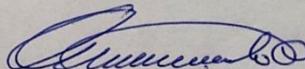
Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Córdoba
UFSCAR



Profa. Dra. Luciana Rezende Alves de
Oliveira
UNAERP



Prof. Dr. Celso Luiz Franzotti
FATEC



Prof. Dr. Valdir Schalch
UNAERP

RIBEIRÃO PRETO
2019

À minha família, parte mais importante
da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e pela oportunidade de ter me conduzido até a realização desse Doutorado.

Ao meu orientador, Professor Dr. **Luciano Farias de Novaes**, pela sabedoria, dedicação, companheirismo, paciência e amizade. Ter o seu apoio, foi fundamental mais uma vez para a conclusão desse trabalho. A “você”, meu eterno respeito e gratidão pelos ensinamentos e pela dedicação, sempre abrindo meus olhos, transformando assim minha maneira de ver o mundo.

A Professora Dra. **Luciana Rezende Alves de Oliveira**, coordenadora do curso.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental em especial ao Professor Dr. **Valdir Schalch**.

À minha Família, meu porto seguro, de onde sempre recebo incentivo e reconhecimento pelos trabalhos que realizo.

Ao meu pai, **Marcelo de Carvalho Ribeiro**, meu exemplo de vida, de amor, de trabalho e de humildade. Você é meu braço esquerdo, aquele mais próximo do coração.

À minha Mãe, **Zaina Abrão de Carvalho**, companheira de toda essa trajetória, exemplo de força, de conquista, perseverança, de atitude, meu outro braço: agora o direito.

À minha irmã, **Michelle Abrão M. Queiroz**, minha amiga, minha inspiração, minha confidente e mãe dos meus dois amores, **Victor Abrão M. Queiroz** e **Pedro Abrão M. Queiroz**.

Ao meu irmão, **Marco Túlio Abrão de Carvalho**, meu menino, hoje um homem, minha paixão, meu amigo, meu parceiro, sem palavras para expressar tanta admiração.

Ao meu cunhado **Marcelo Queiroz**, parte integrante da família há muitos anos, hoje um irmão: pelos conselhos, pelo carinho, pelo exemplo de pessoa, um ser do bem.

A todos os meus amigos que, de diversas formas, me incentivaram a seguir em frente, a chegar aonde cheguei e a não querer mais parar...

Obrigada a todos vocês!

RESUMO

A questão da produção de resíduos sólidos, suas causas e consequências, vêm ganhando cada vez mais espaço nas discussões sobre políticas sociais e econômicas no mundo. O presente trabalho visou analisar a viabilidade do aproveitamento dos resíduos de poliestireno expandido (EPS), também conhecido como Isopor®, para a produção de materiais para serem utilizados na construção civil. Para desenvolver o trabalho foram produzidos blocos e telhas de concreto visando avaliar a possibilidade de substituir parte dos agregados adotados na produção convencional por resíduos de EPS. Inicialmente foram coletados e selecionados os resíduos de EPS. Em seguida foi realizada a produção dos materiais para construção civil com aproveitamento de resíduos de EPS e na sequência foi realizada uma avaliação técnico-econômica dos materiais gerados. Na realização do procedimento para a produção de blocos e telhas de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS, foram realizadas 06 amostragens para cada material em quantidades diferentes de materiais. De acordo com os resultados obtidos na avaliação técnica dos blocos de concreto aplicando resíduos de EPS foram encontrados 4 kg de diferença entre o peso do bloco de concreto convencional quando comparado ao bloco de concreto da Amostra 06. Houve redução de temperatura de 1,4° entre o bloco de concreto convencional e o bloco de concreto da Amostra 06. Com os testes de resistência dos blocos de concreto foi apresentada uma redução de 0,77t na resistência do bloco de concreto da Amostra 06 quando comparado com o bloco de concreto convencional. De acordo com os resultados obtidos na avaliação técnica das telhas de concreto aplicando resíduos de EPS, foram encontrados 2,2 kg de diferença entre o peso da telha de concreto convencional quando comparada a telha de concreto da Amostra 06. Houve redução de temperatura de 3° a 6,5° entre a telha de concreto convencional e a telha de concreto da Amostra 06. Com os testes de resistência foi apresentada uma redução de 0,44t na resistência da telha de concreto da Amostra 06 quando comparada com a telha de concreto convencional. Economicamente, os resultados comprovam que o uso de resíduos de EPS na produção de blocos e telhas de concreto reduz o custo dos materiais gerando uma economia de 31,6% e 46,64%, respectivamente no preço final.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Resíduos de poliestireno expandido. EPS. Isopor®. Construção civil.

ABSTRACT

The issue of solid waste production, its causes and consequences, is increasingly gaining ground in discussions about social and economic policies in the world. The present work aimed to analyze the feasibility of using expanded polystyrene (EPS) waste, also known as Isopô®[®], for the production of materials for use in construction. To develop the work, concrete blocks and tiles were produced to evaluate the possibility of replacing part of the aggregates adopted in conventional production with EPS residues. Initially, the EPS residues were collected and selected. Subsequently, the construction materials were produced using EPS residues, and a technical-economic evaluation of the generated materials was performed. In the procedure for the production of concrete blocks and tiles using EPS residues, six samples were taken for each material in different quantities of materials. According to the results obtained in the technical evaluation of concrete blocks applying EPS residues, 4 kg difference was found between the weight of the conventional concrete block when compared to the concrete block of Sample 06. There was a temperature reduction of 1.4° between the conventional concrete block and the concrete block of Sample 06. With the concrete block strength tests a reduction of 0.77t in the strength of the concrete block of Sample 06 was presented when compared to the conventional concrete block. According to the results obtained in the technical evaluation of concrete tiles applying EPS residues, a difference of 2.2 kg between the weight of the conventional concrete tile was found when compared to the concrete tile of Sample 06. There was a temperature reduction of 3° at 6.5 ° between the conventional concrete tile and the Sample 06 concrete tile. With the strength tests a reduction of 0.44t in the strength of the Sample 06 concrete tile was presented when compared to the conventional concrete tile. Economically, the results show that the use of EPS waste in the production of concrete blocks and tiles reduces the cost of materials, resulting in savings of 31.6% and 46.64%, respectively, in the final price.

Keywords: Solid waste. Expanded polystyrene waste. EPS. Styro®. Construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 01 – | Geração de resíduos sólidos no Brasil em 2015 e 2016..... | 38 |
| Figura 02 – | Composição Gravimétrica dos RSU no Brasil..... | 39 |
| Figura 03 – | Distribuição dos municípios com iniciativas de coleta seletiva..... | 40 |
| Figura 04 – | Disposição final de resíduos sólidos no Brasil por tipo de destinação (t/dia)..... | 41 |
| Figura 05 – | Disposição final de resíduos sólidos coletados no Brasil (t/ano).... | 42 |
| Figura 06 – | Relação entre a sucata recuperada e o consumo interno de alumínio do Brasil e de países selecionados (2015)..... | 43 |
| Figura 07 – | Reciclagem em números (t x mil)..... | 44 |
| Figura 08 – | Reciclagem de PET no Brasil (t x mil)..... | 46 |
| Figura 09 – | Fragmento de poliestireno expandido (EPS)..... | 47 |
| Figura 10 – | Estrutura do poliestireno expandido (EPS)..... | 48 |
| Figura 11 – | Produção mundial de EPS..... | 51 |
| Figura 12 – | Distribuição do EPS por segmento no mundo durante o ano de 2000..... | 51 |
| Figura 13 – | Transformação de EPS no Brasil em 2000 e seus principais municípios..... | 52 |
| Figura 14 – | Caixa térmica e embalagens térmicas para acondicionamento de alimentos em EPS..... | 53 |
| Figura 15 – | Bandejas para mudas em EPS desenvolvidas para cada tipo de cultura..... | 56 |
| Figura 16 – | Resistência à compressão do EPS com densidades de 13 a 35 kg/cm ³ | 57 |
| Figura 17 – | Detalhe de nivelamento com placas de EPS em lajes com diferenças de níveis..... | 59 |
| Figura 18 – | Exemplo de nivelamento com placas de EPS em lajes com diferenças de níveis..... | 59 |
| Figura 19 – | Fachada do edifício da Petrobrás no Rio de Janeiro/RJ - Detalhes recortados no concreto..... | 60 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 20 – Detalhe de preenchimento de EPS em fôrmas para concreto..... | 61 |
| Figura 21 – Elemento de enchimento em laje nervurada pré-fabricada..... | 62 |
| Figura 22 – Laje nervurada bidirecional com EPS..... | 63 |
| Figura 23 – Seções transversais de pilares com emprego de EPS..... | 64 |
| Figura 24 – Isolamento térmico sobre a impermeabilização..... | 65 |
| Figura 25 – Isolamento térmico sob a impermeabilização..... | 66 |
| Figura 26 – Isolamento térmico de telhados com telhas de fibrocimento..... | 67 |
| Figura 27 – Isolamento térmico de telhados com telhas cerâmicas, telhas ou ardósia..... | 68 |
| Figura 28 – Detalhe da tela que recebe o revestimento de argamassa sobre as placas de isolante de EPS..... | 69 |
| Figura 29 – Detalhe da vedação das juntas através de asfalto frio..... | 70 |
| Figura 30 – Detalhe da instalação de isolamento térmico em câmaras frias ou frigoríficas..... | 71 |
| Figura 31 – Detalhe da instalação do piso flutuante..... | 73 |
| Figura 32 – Detalhe da instalação de painéis divisórios..... | 73 |
| Figura 33 – Detalhe da instalação do sistema metálico com as placas de EPS..... | 75 |
| Figura 34 – Painel auto-portante com malha de aço e EPS..... | 75 |
| Figura 35 – Detalhe das juntas de dilatação com o uso de EPS..... | 77 |
| Figura 36 – Detalhe das fundações para estradas com blocos de EPS..... | 78 |
| Figura 37 – Exemplo do uso dos blocos de EPS no aterro de um viaduto em Jundiaí..... | 78 |
| Figura 38 – Detalhe do encaixe de blocos vazados de EPS..... | 80 |
| Figura 39 – Detalhe do recorte de blocos vazados de EPS..... | 81 |
| Figura 40 – Detalhe do recorte de blocos vazados de EPS..... | 83 |
| Figura 41 – Cobertura do Panteão de Roma, Itália..... | 86 |
| Figura 42 – Paredes do Coliseu de Roma, Itália..... | 87 |
| Figura 43 – Blocos de concreto para vedação..... | 92 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|-------------|--|-----|
| Figura 44 – | Telha de concreto..... | 94 |
| Figura 45 – | Etapas desenvolvidas no presente trabalho..... | 96 |
| Figura 46 – | Material coletado em frente a edifício na cidade de Patos de Minas..... | 97 |
| Figura 47 – | Material coletado em frente ao Centro Universitário de Patos de Minas..... | 97 |
| Figura 48 – | Material coletado e selecionado para a pesquisa..... | 98 |
| Figura 49 – | Liquidificador industrial utilizado para triturar os resíduos de EPS. | 99 |
| Figura 50 – | Becker utilizado para medir os resíduos de EPS e a água..... | 99 |
| Figura 51 – | Copo do liquidificador com o limite de resíduos de EPS e água.... | 100 |
| Figura 52 – | Água sendo adicionada aos resíduos de EPS no liquidificador..... | 100 |
| Figura 53 – | Resíduos de EPS sendo triturados em liquidificador industrial..... | 101 |
| Figura 54 – | Resíduos de EPS após trituração em liquidificador industrial..... | 102 |
| Figura 55 – | Peneira com abertura de 2,00 mm utilizada para escoamento do EPS..... | 102 |
| Figura 56 – | Resíduos de EPS na peneira com abertura de 2,00 mm para escoamento do EPS..... | 103 |
| Figura 57 – | Resíduos de EPS triturados e prontos para o desenvolvimento do trabalho..... | 103 |
| Figura 58 – | Cimento separado para o desenvolvimento das Amostras dos blocos de concreto..... | 106 |
| Figura 59 – | Areia separada para o desenvolvimento das Amostras dos blocos de concreto..... | 109 |
| Figura 60 – | Cimento sendo misturado com a areia para o desenvolvimento das Amostras dos blocos de concreto..... | 107 |
| Figura 61 – | Resíduos de EPS sendo acrescentados ao cimento e a areia para o desenvolvimento das Amostras dos blocos de concreto..... | 108 |
| Figura 62 – | Materiais secos misturados para o desenvolvimento das Amostras dos blocos de concreto..... | 109 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figura 63 – | Material pronto sendo retirado da betoneira para as Amostras dos blocos de concreto..... | 109 |
| Figura 64 – | Material pronto antes de ir para o maquinário realizar as Amostras dos blocos de concreto..... | 110 |
| Figura 65 – | Material sendo colocado na máquina de blocos de concreto para realizar as Amostras dos blocos de concreto..... | 111 |
| Figura 66 – | Maquinário utilizado para a realização das Amostras dos blocos de concreto..... | 111 |
| Figura 67 – | Máquina de blocos de concreto finalizando o processo das Amostras dos blocos de concreto..... | 112 |
| Figura 68 – | Modelo de telha tradicional de cerâmica..... | 113 |
| Figura 69 – | Cimento, areia e EPS antes de serem misturados para o desenvolvimento das Amostras das telhas de concreto..... | 117 |
| Figura 70 – | Materiais secos sendo misturados para continuar o desenvolvimento da das Amostras das telhas de concreto | 117 |
| Figura 71 – | Massa final pronta para o desenvolvimento das Amostras das telhas de concreto..... | 117 |
| Figura 72 – | Fôrma utilizada para realizar as Amostras das telhas de concreto | 118 |
| Figura 73 – | Telha de concreto moldada na fôrma de chapa metálica..... | 118 |
| Figura 74 – | Balança eletrônica usada para pesagem dos blocos de concreto.. | 119 |
| Figura 75 – | Pesagem realizada nos blocos de concreto..... | 120 |
| Figura 76 – | Balança eletrônica para pesagem das telhas de concreto..... | 121 |
| Figura 77 – | Caixas de “isopô” adaptadas para o desenvolvimento dos testes de temperatura dos blocos de concreto..... | 122 |
| Figura 78 – | Aparelho Termo-Higro-Anemômetro-Luxímetro digital portátil utilizado para o desenvolvimento dos testes de temperatura dos blocos de concreto..... | 123 |
| Figura 79 – | Caixas de “isopô” adaptadas para o desenvolvimento dos testes de temperatura das telhas de concreto..... | 119 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|-------------|--|-----|
| Figura 80 – | Maquinário utilizado para realização do teste de resistência dos blocos de concreto em estudo..... | 125 |
| Figura 81 – | Funcionamento do equipamento com duas estruturas de reação utilizado para realização do ensaio de compressão dos blocos de concreto em estudo..... | 126 |
| Figura 82 – | Início dos testes de resistência nos blocos de concreto..... | 127 |
| Figura 83 – | Bloco de concreto dentro do maquinário e início do teste de resistência..... | 127 |
| Figura 84 – | Compressão do aparelho atingindo a ruptura no bloco de concreto para realização do teste de resistência..... | 128 |
| Figura 85 – | Início dos testes de resistência nas telhas de concreto..... | 129 |
| Figura 86 – | Telha de concreto dentro do maquinário e compressão do aparelho atingindo a ruptura para realização do teste de resistência..... | 130 |
| Figura 87 – | Resultado final das 06 amostragens de blocos de concreto com resíduos de EPS..... | 132 |
| Figura 88 – | Amostras dos blocos de concreto com resíduos de EPS..... | 133 |
| Figura 89 – | Bloco de concreto convencional com areia e brita..... | 134 |
| Figura 90 – | Bloco de concreto convencional somente com areia..... | 134 |
| Figura 91 – | Bloco de concreto da Amostra 01..... | 135 |
| Figura 92 – | Bloco de concreto da Amostra 02..... | 135 |
| Figura 93 – | Bloco de concreto da Amostra 03..... | 136 |
| Figura 94 – | Bloco de concreto da Amostra 04..... | 136 |
| Figura 95 – | Bloco de concreto da Amostra 05..... | 137 |
| Figura 96 – | Bloco de concreto da Amostra 06..... | 137 |
| Figura 97 – | Comparativo entre as 06 amostras de blocos de concreto com resíduos de EPS..... | 138 |
| Figura 98 – | Telhas de concreto das amostras após o processo de cura..... | 139 |
| Figura 99 – | Telha de concreto convencional com areia..... | 140 |
| Figura 100– | Telha de concreto da Amostra 01..... | 140 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|-----|
| Figura 101 – Telha de concreto da Amostra 02..... | 141 |
| Figura 102 – Telha de concreto da Amostra 03..... | 141 |
| Figura 103 – Telha de concreto da Amostra 04..... | 142 |
| Figura 104 – Telha de concreto da Amostra 05..... | 142 |
| Figura 105 – Telha de concreto da Amostra 06..... | 143 |
| Figura 106 – Parte interna da telha de concreto da Amostra 06..... | 148 |
| Figura 107 – Comparativo entre as 06 amostras de telhas de concreto com resíduos de EPS..... | 144 |
| Figura 108 – Comparativo entre o peso dos 08 blocos de concreto em estudo/valores em Kg..... | 146 |
| Figura 109 – Resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto convencional composto com o agregado areia e brita..... | 147 |
| Figura 110 – Resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto convencional composto apenas pelo agregado areia..... | 147 |
| Figura 111 – Resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto da Amostra 01..... | 148 |
| Figura 112 – Resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto da Amostra 02..... | 149 |
| Figura 113 – Resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto da Amostra 03..... | 149 |
| Figura 114 – Resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto da Amostra 04..... | 150 |
| Figura 115 – Resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto da Amostra 05..... | 150 |
| Figura 116 – Resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto da Amostra 06..... | 151 |
| Figura 117 – Comparativo entre os resultados dos testes térmicos nos blocos de concreto em °C..... | 151 |
| Figura 118 – Teste de resistência no bloco de concreto convencional apenas com areia de agregado..... | 152 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|-----|
| Figura 119 – Momento da ruptura no teste de resistência do bloco de concreto convencional..... | 153 |
| Figura 120 – Bloco de concreto convencional após o teste de resistência..... | 154 |
| Figura 121 – Teste de resistência no bloco de concreto convencional apenas com areia de agregado..... | 154 |
| Figura 122 – Momento da ruptura no teste de resistência do bloco de concreto com redução de 10% do agregado (areia)..... | 155 |
| Figura 123 – Bloco de concreto com redução de 10% do agregado (areia) após o teste de resistência..... | 155 |
| Figura 124 – Teste de resistência no bloco de concreto com redução de 20% do agregado (areia)..... | 156 |
| Figura 125 – Momento da ruptura no teste de resistência do bloco de concreto com redução de 20% do agregado (areia)..... | 157 |
| Figura 126 – Bloco de concreto com redução de 20% do agregado (areia) após o teste de resistência..... | 157 |
| Figura 127 – Teste de resistência no bloco de concreto com redução de 30% do agregado (areia)..... | 158 |
| Figura 128 – Momento da ruptura no teste de resistência do bloco de concreto com redução de 30% do agregado (areia)..... | 158 |
| Figura 129 – Bloco de concreto com redução de 30% do agregado (areia) após o teste de resistência..... | 160 |
| Figura 130 – Teste de resistência no bloco de concreto com redução de 40% do agregado (areia)..... | 160 |
| Figura 131 – Momento da ruptura no teste de resistência do bloco de concreto com redução de 40% do agregado (areia)..... | 160 |
| Figura 132 – Bloco de concreto com redução de 40% do agregado (areia) após o teste de resistência..... | 161 |
| Figura 133 – Teste de resistência no bloco de concreto com redução de 50% do agregado (areia)..... | 161 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|-----|
| Figura 134 – Momento da ruptura no teste de resistência do bloco de concreto com redução de 50% do agregado (areia)..... | 162 |
| Figura 135 – Bloco de concreto com redução de 50% do agregado (areia) após o teste de resistência..... | 162 |
| Figura 136 – Teste de resistência no bloco de concreto com redução de 60% do agregado (areia)..... | 163 |
| Figura 137 – Momento da ruptura no teste de resistência do bloco de concreto com redução de 60% do agregado (areia)..... | 164 |
| Figura 138 – Bloco de concreto com redução de 60% do agregado (areia) após o teste de resistência..... | 164 |
| Figura 139 – Gráfico com os resultados finais dos testes de resistência nos blocos de concreto..... | 165 |
| Figura 140 – Comparativo entre os resultados finais dos custos com os valores dos milheiros dos blocos de concreto estudados na pesquisa, na cidade de Patrocínio/MG..... | 173 |
| Figura 141 – Comparativo entre o peso das 07 telhas de concreto em estudo/valores em Kg..... | 174 |
| Figura 142 – Resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto convencional composta pelo agregado areia..... | 175 |
| Figura 143 – Resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto da Amostra 01..... | 175 |
| Figura 144 – Resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto da Amostra 02..... | 176 |
| Figura 145 – Resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto da Amostra 03..... | 177 |
| Figura 146 – Resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto da Amostra 04..... | 177 |
| Figura 147 – Resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto da Amostra 05..... | 178 |
| Figura 148 – Resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto da Amostra 06..... | 178 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|-----|
| Figura 149 – Comparativo entre os resultados dos testes térmicos nas telhas de concreto em °C / Medição dentro da caixa de “isopor” | 180 |
| Figura 150 – Comparativo entre os resultados dos testes térmicos em todas as telhas de concreto em °C / Medição abaixo da telha..... | 180 |
| Figura 151 – Teste de resistência na telha de concreto convencional apenas com areia de agregado..... | 181 |
| Figura 152 – Telha de concreto convencional após o teste de resistência..... | 182 |
| Figura 153 – Teste de resistência na telha de concreto com redução de 10% do agregado (areia)..... | 182 |
| Figura 154 – Telha de concreto com redução de 10% do agregado (areia) após o teste de resistência..... | 183 |
| Figura 155 – Teste de resistência na telha de concreto com redução de 20% do agregado (areia)..... | 184 |
| Figura 156 – Telha de concreto com redução de 20% do agregado (areia) após o teste de resistência..... | 184 |
| Figura 157 – Teste de resistência na telha de concreto com redução de 30% do agregado (areia)..... | 185 |
| Figura 158 – Teste de resistência na telha de concreto com redução de 30% do agregado (areia)..... | 185 |
| Figura 159 – Telha de concreto com redução de 30% do agregado (areia) após o teste de resistência..... | 186 |
| Figura 160 – Telha de concreto com redução de 40% do agregado (areia) após o teste de resistência..... | 186 |
| Figura 161 – Teste de resistência na telha de concreto com redução de 50% do agregado (areia)..... | 187 |
| Figura 162 – Telha de concreto com redução de 50% do agregado (areia) após o teste de resistência..... | 188 |
| Figura 163 – Teste de resistência na telha de concreto com redução de 60% do agregado (areia)..... | 188 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|-----|
| Figura 164 – Telha de concreto com redução de 60% do agregado (areia) após o teste de resistência..... | 189 |
| Figura 165 – Gráfico com os resultados finais dos testes de resistência nas telhas de concreto com a Ruptura Final em t..... | 190 |
| Figura 166 – Comparativo entre os resultados finais dos custos, valores dos milheiros e valores individuais de todas as telhas de concreto estudadas na pesquisa, na cidade de Patrocínio/MG..... | 197 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------|--|-----|
| Tabela 01 – | Quantidade de resíduos sólidos urbanos por regiões e no Brasil. | 39 |
| Tabela 02 – | Quantidade de municípios com iniciativas de coleta seletiva..... | 40 |
| Tabela 03 – | Quantidade de municípios por tipo de disposição final adotada.... | 41 |
| Tabela 04 – | Características exigíveis para o EPS na NBR 11752:2016..... | 50 |
| Tabela 05 – | Dimensões reais dos blocos de concreto simples segundo a ABNT NBR 6136:2007..... | 98 |
| Tabela 06 – | Resultados dos testes térmicos em todos os blocos de concreto... | 151 |
| Tabela 07 – | Resultados finais dos testes de resistência nos blocos de concreto incluindo a 1ª Ruptura e Ruptura Final em t e Mpa..... | 165 |
| Tabela 08 – | Valores e quantidades individuais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento dos blocos de concreto em | |
| Tabela 09 – | Patrocínio/MG..... | 166 |
| | Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro dos blocos de concreto | |
| Tabela 10 – | convencional em Patrocínio/MG..... | 167 |
| | Custos / Valor final do milheiro e Valor individual dos blocos de concreto em Patrocínio/MG..... | 167 |
| Tabela 11 – | Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de blocos de concreto em | |
| Tabela 12 – | Patrocínio/MG com redução de 10% do agregado (areia)..... | 168 |
| | Custos / Valor final do milheiro e Valor individual dos blocos de concreto com redução de 10% do agregado (areia) em | |
| Tabela 13 – | Patrocínio/MG..... | 168 |
| | Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de blocos de concreto em | |
| Tabela 14 – | Patrocínio/MG com redução de 20% do agregado (areia)..... | 168 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 15 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual dos blocos de concreto com redução de 20% do agregado (areia) em Patrocínio/MG..... | 169 |
| Tabela 16 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 30% do agregado (areia)..... | 169 |
| Tabela 17 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual dos blocos de concreto com redução de 30% do agregado (areia) em Patrocínio/MG..... | 169 |
| Tabela 18 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 40% do agregado (areia)..... | 170 |
| Tabela 19 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual dos blocos de concreto com redução de 40% do agregado (areia) em Patrocínio/MG..... | 170 |
| Tabela 20 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 50% do agregado (areia)..... | 171 |
| Tabela 21 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 50% do agregado (areia)..... | 171 |
| Tabela 22 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 60% do agregado (areia)..... | 171 |
| Tabela 23 – Resultados finais dos custos, valores finais dos milheiros e valores individuais dos blocos de concreto estudados na pesquisa, na cidade de Patrocínio/MG..... | 172 |
| Tabela 24 – Resultados dos testes térmicos das telhas de concreto em estudo | 179 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 25 – Resultados finais dos testes de resistência nas telhas de concreto com a Ruptura Final em t e Mpa..... | 189 |
| Tabela 26 – Valores e quantidades individuais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento das telhas de concreto convencional em Patrocínio/MG..... | 191 |
| Tabela 27 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro das telhas de concreto em Patrocínio/MG..... | 191 |
| Tabela 28 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual das telhas de concreto em Patrocínio/MG..... | 191 |
| Tabela 29 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 10% do agregado (areia)..... | 192 |
| Tabela 30 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual das telhas de concreto com redução de 10% do agregado (areia) em Patrocínio/MG..... | 192 |
| Tabela 31 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 20% do agregado (areia)..... | 193 |
| Tabela 32 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual das telhas de concreto com redução de 20% do agregado (areia) em Patrocínio/MG..... | 193 |
| Tabela 33 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 30% do agregado (areia)..... | 193 |
| Tabela 34 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual das telhas de concreto com redução de 30% do agregado (areia) em Patrocínio/MG..... | 194 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------|---|-----|
| Tabela 35 – | Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 40% do agregado (areia)..... | 194 |
| Tabela 36 – | Custos / Valor final do milheiro e Valor individual das telhas de concreto com redução de 40% do agregado (areia) em Patrocínio/MG..... | 195 |
| Tabela 37 – | Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 50% do agregado (areia)..... | 195 |
| Tabela 38 – | Custos / Valor final do milheiro e Valor individual dos blocos de concreto com redução de 50% do agregado (areia) em Patrocínio/MG..... | 195 |
| Tabela 39 – | Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 60% do agregado (areia)..... | 196 |
| Tabela 40 – | Custos / Valor final do milheiro e Valor individual das telhas de concreto com redução de 60% do agregado (areia) em Patrocínio/MG..... | 196 |
| Tabela 41 – | Resultados finais dos custos, valores finais dos milheiros e valores individuais de todos as telhas de concreto estudadas na pesquisa, na cidade de Patrocínio/MG..... | 197 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|-----|
| Quadro 01 - Principais categorias de resíduos sólidos urbanos e exemplificações..... | 37 |
| Quadro 02 - Referências Normativas para o uso do EPS na Construção Civil..... | 58 |
| Quadro 03 - Diferenciação das quantidades dos materiais nas 06 amostragens realizadas para a produção de blocos de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS | 106 |
| Quadro 04 - Diferenciação dos traços nas 06 amostragens realizadas para a produção de blocos de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS..... | 105 |
| Quadro 05 - Diferenciação das quantidades dos materiais nas 06 amostragens realizadas para a produção de blocos de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS | 114 |
| Quadro 06 - Diferenciação dos traços nas 06 amostragens realizadas para a produção de blocos de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS..... | 115 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-----------------|---|
| ABCP | Associação Brasileira de Cimento Portland |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ABIPET | Associação Brasileira da Indústria do PET |
| ABRELPE | Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais |
| ABRAPEX | Associação Brasileira de Poliestireno Expandido |
| ACEPE | Associação Industrial de Poliestireno |
| ANAP | Associação Nacional dos Aparistas de Papel |
| ANBIO | Associação Nacional de Biossegurança |
| ASTM | Sociedade Americana de Testes e Materiais |
| BASF | Fábrica de Anilina e Soda de Baden |
| BR | Brasil |
| C | Celsius |
| CEMPRE | Compromisso Empresarial para Reciclagem |
| CREA | Conselho Regional de Engenharia e Agronomia |
| CFC | Clorofluorocarboneto |
| cm ³ | Centímetro cúbico |
| CO | Centro Oeste |
| EPS | Poliestireno Expandido |
| HAB | Habitantes |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IPT | Instituto de Pesquisas Tecnológicas |
| k | Kelvin |
| kg | Quilogramas |
| kgf | Quilograma-força |
| kn | Quilonewton |
| kpa | Quilopascal |
| m | Metro |
| m ³ | Metros Cúbicos |
| mil | Milhões |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------|---|
| Mm | Milímetro |
| MPa | Mega Pascal |
| N | Norte |
| NE | Nordeste |
| NBR | Norma Brasileira Registrada |
| PET | Politereftalato de Etileno |
| PLASTIVIDA | Instituto Sócio Ambiental dos Plásticos |
| PNRS | Política Nacional de Resíduos Sólidos |
| PNSB | Pesquisa Nacional de Saneamento Básico |
| PVA | Acetato de Polivinilo |
| RCC | Resíduos da Construção Civil |
| RSS | Resíduos de Serviços de Saúde |
| RSU | Resíduos Sólidos Urbanos |
| S | Sul |
| SE | Sudeste |
| SINIR | Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos |
| SISNAMA | Sistema Nacional do Meio Ambiente |
| SNVS | Sistema Nacional de Vigilância Sanitária |
| SUASA | Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária |
| t | Tonelada |
| XPS | Poliestireno Extrudado |
| W | Watt |

LISTA DE SÍMBOLOS

®

Marca Registrada

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| RESUMO..... | |
| ABSTRACT | |
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES. | |
| LISTA DE TABELAS. | |
| LISTA DE QUADROS. | |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS..... | |
| LISTA DE SÍMBOLOS..... | |
| 1 INTRODUÇÃO | 30 |
| 2 OBJETIVOS..... | 33 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL..... | 33 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS. | 33 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 34 |
| 3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E EPS. | 34 |
| 3.1.2 A Situação dos Resíduos Sólidos no Brasil..... | 37 |
| 3.2 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS). | 47 |
| 3.2.1 Produção Mundial e Uso do EPS. | 50 |
| 3.2.2 Produção Brasileira e Uso do EPS..... | 54 |
| 3.2.3 Características Físico-Químicas do EPS..... | 56 |
| 3.3 O POLIESTIRENO EXPANDIDO NA CONSTRUÇÃO CIVIL | 56 |
| 3.3.1 Nivelamento de Lajes e Fôrmas para Concreto. | 58 |
| 3.3.2 Lajes Nervuradas e Industrializadas..... | 62 |
| 3.3.3 Enchimento de Elementos Estruturais..... | 64 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.3.4 | Isolamento Térmico de Lajes Impermeabilizadas..... | 65 |
| 3.3.5 | Isolamento Térmico de Telhados e Paredes. | 69 |
| 3.3.6 | Isolamento Térmico de Dutos de Ar Condicionado. | 70 |
| 3.3.7 | Isolamento Térmico em Câmaras Frias ou Frigoríficas. | 71 |
| 3.3.8 | Isolamento Acústico – Piso Flutuante..... | 72 |
| 3.3.9 | Isolamento Acústico – Painéis Divisórios. | 73 |
| 3.3.10 | Forros Isolantes e Decorativos. | 74 |
| 3.3.11 | Painéis Auto-Portantes..... | 75 |
| 3.3.12 | Juntas de Dilatação..... | 76 |
| 3.3.13 | Fundações para Estradas..... | 77 |
| 3.3.14 | Sistemas de Blocos Vazados de EPS..... | 79 |
| 3.3.15 | Drenagem..... | 82 |
| 3.3.16 | Concreto Leve com EPS. | 83 |
| 3.4 | TÉCNICAS DE APROVEITAMENTO DO EPS..... | 88 |
| 3.4.1 | Reciclagem Direta ou Mecânica..... | 88 |
| 3.4.2 | Reciclagem Indireta ou Química..... | 89 |
| 3.4.3 | Engenharia Reversa..... | 90 |
| 3.4.4 | Impermeabilizantes. | 91 |
| 3.5 | MATÉRIA PRIMA DA CONSTRUÇÃO CIVIL | 91 |
| 3.5.1 | Blocos de Concreto. | 91 |
| 3.5.2 | Telhas de Concreto. | 93 |
| 4 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 96 |
| 4.1 | COLETA E SELEÇÃO DOS RESÍDUOS DE EPS..... | 96 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 4.1.1 | Trituração de Resíduos de EPS. | 98 |
| 4.2 | REALIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL COM APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE EPS..... | 104 |
| 4.2.1 | Desenvolvimento do Procedimento para a Produção de Blocos de Concreto com Aproveitamento de Resíduos de EPS..... | 104 |
| 4.2.1.2 | Blocos de Concreto com Aproveitamento de Resíduos de EPS | 105 |
| 4.2.2 | Desenvolvimento do Procedimento para a Produção de Telhas de Concreto com Aproveitamento de Resíduos de EPS..... | 113 |
| 4.2.2.1 | Telhas de Concreto com Aproveitamento de Resíduos de EPS..... | 114 |
| 4.3 | REALIZAÇÃO DE UMA AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DOS MATERIAIS GERADOS COM APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE EPS..... | 119 |
| 4.3.1 | Estudo de Viabilidade Técnico. | 119 |
| 4.3.1.1 | Testes de Pesagem. | 119 |
| 4.3.1.1.1 | Blocos de Concreto..... | 119 |
| 4.3.1.1.2 | Telhas de Concreto..... | 120 |
| 4.3.1.2 | Testes de Temperatura. | 121 |
| 4.3.1.2.1 | Blocos de Concreto..... | 121 |
| 4.3.1.2.2 | Telhas de Concreto..... | 123 |
| 4.3.1.3 | Testes de Resistência. | 124 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 4.3.1.3.1 | Blocos de Concreto..... | 124 |
| 4.3.1.3.2 | Telhas de Concreto..... | 128 |
| 4.3.2 | Estudo de Viabilidade Econômica. | 130 |
| 4.3.2.1 | Blocos de Concreto..... | 131 |
| 4.3.2.2 | Telhas de Concreto..... | 131 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 132 |
| 5.1 | PRODUÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA DA CONSTRUÇÃO CIVIL COM APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE EPS..... | 132 |
| 5.1.1 | Blocos de Concreto Produzidos. | 132 |
| 5.1.2 | Telhas de Concreto Produzidos. | 139 |
| 5.2 | AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONOMICA DOS MATERIAIS GERADOS COM APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE EPS.... | 145 |
| 5.2.1 | Blocos de Concreto Produzidos..... | 145 |
| 5.2.1.1 | Avaliação Técnica..... | 145 |
| 5.2.1.2 | Avaliação Econômica | 166 |
| 5.2.2 | Telhas de Concreto Produzidos | 173 |
| 5.2.2.1 | Avaliação Técnica..... | 173 |
| 5.2.2.2 | Avaliação Econômica | 190 |
| 6 | CONCLUSÕES..... | 198 |
| 7 | SUGESTÕES PESQUISAS FUTURAS..... | 201 |
| | REFERÊNCIAS..... | 203 |

1 INTRODUÇÃO

A questão da produção de resíduos sólidos, suas causas e consequências, ganharam cada vez mais espaço nas discussões sobre políticas sociais e econômicas no mundo inteiro. A gestão sustentável e integrada dos resíduos sólidos municipais foi imprescindível para obter e manter uma boa qualidade de vida de uma comunidade, principalmente nas áreas urbanas, onde a concentração populacional segue aumentando. A problemática dos resíduos foi analisada de uma maneira mais abrangente que uma mera solução tecnológica (BARROS, 2012).

De acordo com Braga (2002), a engenharia é o caminho para se minimizar ou controlar a poluição e a degradação ambiental até que sejam compatíveis com o nível de desenvolvimento pretendido pela sociedade.

Profissionais de diversas áreas foram desafiados na busca pelo desenvolvimento de tecnologias ambientalmente eficientes e seguras, fazendo o uso da reciclagem de resíduos, resultando em produtos com desempenho técnicos adequados e economicamente competitivos.

O poliestireno expandido (EPS) é uma espuma termoplástica formada a partir de derivados de petróleo (estireno – C_8H_8), composto basicamente de 2% de poliestireno e 98% de ar, com densidade de 18 kg/m³. Para a sua produção, a matéria prima, ou seja, grânulos de poliestireno passam por um processo de transformação física, constituída de pré-expansão, armazenamento intermediário e moldagem (COSTA, 2007).

Nas bandejas de alimentos, embalagens térmicas, na proteção de artigos que vão de fogões a computadores, o EPS também conhecido popularmente como “Isopor®”, está presente em uma infinidade de produtos e pode continuar presente por mais tempo através de sua reciclagem pós-consumo (CEMPRE, 2019).

De acordo com a Associação Brasileira de Poliestireno Expandido, ABRAPEX (2006), foram produzidos no mundo, no ano de 2000, 2,95 milhões de toneladas de EPS. A Europa foi responsável por produzir a maior quantidade de EPS, abrangendo 40% da produção total.

Conforme dados do Instituto Sócio Ambiental dos Plásticos, PLASTIVIDA (2019) foram produzidos no Brasil em 2012, 62,9 mil toneladas de EPS. Desse total, estima-se que retornaram ao processo produtivo, com destino à reciclagem, 34,5%

do EPS produzido. Em 2008, o Brasil reciclava 13,9% do que era descartado e em 2000, apenas 8,4% de tudo o que foi produzido.

De acordo com o Compromisso Empresarial para Reciclagem, CEMPRE (2019), a reciclagem do EPS pós-consumo cresceu em um ritmo de 25,3% ao ano, um resultado muito positivo e comparável aos de países desenvolvidos. Até o ano de 2012 foram registradas 22 recicladoras de EPS no Brasil com faturamento anual de R\$ 85,6 milhões. A região Sudeste respondeu por 41,9% do EPS reciclado, seguida pela região Sul, com 37,1%.

A construção civil é o maior mercado para o EPS reciclado, com cerca de 80% do volume, misturado em argamassa, concreto leve, lajotas, telhas termoacústicas, rodapés e decks de piscinas. Ele também é usado na fabricação de calçados, móveis e utilidades domésticas. Para que a reciclagem do EPS continue crescendo, a adesão da população e das cooperativas foi essencial. Os principais entraves foram a falta de informação sobre a possibilidade de reciclagem do material e, portanto, seu descarte incorreto. Além disso, o baixo peso e o grande volume do poliestireno expandido costumam desestimular seu recolhimento por parte das cooperativas (CEMPRE, 2019).

De acordo com Schicoski (2008), o EPS leva mais de 150 anos para decompor e ocupa grandes espaços nos aterros sanitários, o que contribui para a diminuição da vida útil dos mesmos e o aumento dos gastos públicos com a construção de novos aterros.

A norma ABNT NBR 11.752:2016 estabelece os requisitos para o uso de materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial.

O desenvolvimento de impermeabilizantes baseados na dissolvência de resíduos de EPS apresentou um grande potencial mercadológico, pelo valor agregado, porém alguns aspectos relativos à sua aplicabilidade necessitariam de uma análise mais específica do produto.

A utilização de resíduos de EPS triturados para a produção de concreto leve foi a tecnologia que apresentou o maior potencial mercadológico e econômico, já que sua aplicação é feita em volume, com redução considerável dos custos da construção civil, apresentando simplicidade tecnológica em uma larga gama de aplicações.

As técnicas de aproveitamento dos resíduos de EPS são muito dependentes de um programa de logística de recolhimento do resíduo para a sua aplicação.

O presente trabalho visou apresentar e avaliar algumas destas técnicas de aproveitamento dos resíduos de EPS, tendo em vista as recomendações estabelecidas na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituído pela Lei nº 12.305/2010 e regulamentada pelo Decreto nº 7.404/2010.

Sendo assim, o estudo propôs uma pesquisa de viabilidade dos resíduos de EPS para o desenvolvimento de blocos e telhas de concreto visando à aplicação em obras de interesse social.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral da pesquisa foi analisar a viabilidade do aproveitamento dos resíduos de poliestireno expandido (EPS) na produção de telhas e blocos para serem utilizados na construção civil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a produção de materiais para construção civil com aproveitamento de resíduos de EPS;
- Realizar uma avaliação técnico-econômica dos materiais gerados com aproveitamento de resíduos de EPS.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E EPS

Resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (Lei Nº 12305, 2010).

Segundo a NBR 12305/10, artigo 13, ítem II, os resíduos têm as seguintes classificações quanto à periculosidade:

a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea "a".

A Lei Nº 12305/2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, PNRS, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

A PNRS tem como objetivo elevar os resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis à categoria de bens econômicos e de valor social, propícios à geração de trabalho e renda, além de incentivar o correto manejo de produtos usados com alto potencial de contaminação, reduzindo, assim, o impacto ambiental dos rejeitos produzidos por toda a sociedade.

Os resíduos sólidos urbanos possuem características diferenciadas de onde são gerados, variando em função de uma série de fatores como quantidade de habitantes, seus costumes, nível educacional e poder aquisitivo; estações do ano e presença de festividades locais, dentre outros.

É possível constatar que há ainda dezenas de milhares de pessoas coletando informalmente nas ruas e nos “lixões” do Brasil, sem imaginar o que os leva para esses locais. Não se pode mais desconsiderar os altos custos e os graves impactos ambientais, de curto, médio e longo prazos, derivados da aceleração do consumo, do inelutável aumento da produção de resíduos sólidos e da inexorável necessidade de lhes dar uma destinação ambientalmente correta (BARROS, 2012).

A problemática dos resíduos sólidos foge da consideração meramente técnica, de engenharia, e exige um tratamento multidisciplinar e interdisciplinar devido às interfaces que tem as injunções econômicas de uma sociedade de consumo, as quais geram por sua vez estilos de comportamento inconsequente e a necessidade de reconhecimento e de apoio político, de planejamento e de profissionalização.

O reaproveitamento de materiais como papel, vidro, plástico, metais e matérias orgânicas ou de energia evidentemente é louvável e deve ser estimulado, posto que poupe recursos naturais, diminui as quantidades de resíduos que vão para os aterros e contribui para a melhoria das condições ambientais.

Na verdade, o que se percebe, no Brasil e em outros países é a desinformação, o descaso, a negligência e a ignorância, tanto das comunidades quando de seus dirigentes, existe uma enorme incompetência na administração dos resíduos sólidos. Esta gestão precisa de, simultaneamente, considerar variáveis econômicas, culturais e sociais, já contempladas numa Política específica que atenda aos anseios da sociedade. E, é claro, deve estar integrada a um contexto em que sejam compatibilizadas outras políticas locais, pensando na sua sustentabilidade social, econômica e ambiental (BARROS, 2012).

Constatada a precariedade da situação dos resíduos sólidos, onde se destaca sua disposição final como um dos principais problemas ambientais do mundo, sobretudo nos países subdesenvolvidos, alternativas se impõe visando a melhor gestão, aumentando sua eficiência, diminuindo seus custos e colaborando para a preservação do meio ambiente.

Mais do que meras operações unitárias, desarticuladas e ineficientes, a busca de uma atitude mais responsável e profissional para estas atividades tem trazido resultados positivos e estimulantes, ainda que o tempo de maturação seja relativamente longo.

A gestão sustentável e integrada dos resíduos sólidos municipais é imprescindível para obter e manter uma boa qualidade de vida de uma comunidade, principalmente nas áreas urbanas, onde a concentração populacional segue aumentando. A problemática dos resíduos tem que ser analisada de uma maneira mais abrangente que uma mera solução tecnológica (BARROS, 2012).

A existência de leis, regulamentos e eventuais tratamentos domiciliares são fatores importantes para a eficiência da coleta.

Observa-se no Brasil, semelhante ao que ocorre nos países mais avançados, uma clara tendência de que os próprios consumidores se ocupam de etapas da gestão dos resíduos que geram, visando facilitar a parte que cabe ao poder público, inclusive a do tratamento.

Como exemplo a separação dos resíduos em casa, antes que sejam misturados no caminhão de coleta, diminuindo a necessidade de realização de um serviço complicado e bem mais caro para separá-los posteriormente.

Atualmente, um dos maiores desafios da humanidade são a prevenção e o controle da poluição ambiental. Dentre as diversas formas de poluição, uma das mais preocupantes é a representada pelos resíduos sólidos, em especial o resíduo plástico, classe esta, cujo EPS faz parte, pois sua degradação espontânea demanda muito tempo e ocupa muito espaço nos locais de destinação final.

O Quadro 01 apresenta as principais categorias de resíduos sólidos urbanos e exemplificações.

O EPS é um dos constituintes encontrados nos resíduos sólidos urbanos e representam 0,1% do resíduo total, segundo dados da Associação Brasileira de Poliestireno Expandido (ABRAPEX, 2006).

Quadro 01 - Principais categorias de resíduos sólidos urbanos e exemplificações

| CATEGORIA | EXEMPLO |
|-----------------------------|---|
| Matéria Orgânica | Restos alimentares, podas de árvores, entre outros. |
| Plástico | Sacos, sacolas, embalagens pets, água e leite, recipientes de produtos de limpeza e higiene, esponjas, isopor, utensílios de cozinha, látex, copos descartáveis, brinquedos, entre outros. |
| Papel e papelão | Caixas, revistas, jornais, cartões, papéis, cadernos, livros, pastas, cartolinas, papéis de embalagens entre outros. |
| Vidro | Copos, garrafas de bebidas, pratos, espelhos, embalagens de produtos de limpeza, de beleza e alimentícios entre outros. |
| Metal ferroso e não ferroso | Embalagens de produtos alimentícios, latas de bebida, restos de cobre e de chumbo, fiação elétrica entre outros. |
| Madeira | Caixas, tábuas, palitos de fósforo, palitos de picolé, tampas, móveis entre outros. |
| Panos, couro e borracha | Roupas, panos de limpeza, pedaços de tecido, bolsas, mochilas, sapatos, tapetes, luvas, cintos, balões entre outros. |
| Contaminante químico | Pilhas, medicamentos, lâmpadas, inseticidas, raticidas, colas em geral, cosméticos, vidro de esmaltes, embalagens de produtos químicos, latas de óleo de motor, latas com tintas, embalagens pressurizadas, canetas com carga, papel carbono, filme fotográfico, equipamentos eletroeletrônicos entre outros. |
| Contaminante biológico | Papel higiênico, cotonetes, algodão, curativos, gazes e panos com sangue, fraldas descartáveis, absorventes higiênicos, seringas, lâminas de barbear, cabelos, cera de depilação, embalagens de anestésicos, luvas entre outros. |
| Pedra, terra e cerâmica | Vasos de flores, pratos, restos de construção, terra, tijolos, cascalho, pedras decorativas entre outros. |
| Diversos | Velas de cera, restos de sabão e sabonete, carvão, giz, pontas de cigarro, rolhas, cartões de crédito, embalagens metalizadas, sacos, óleo de cozinha entre outros. |

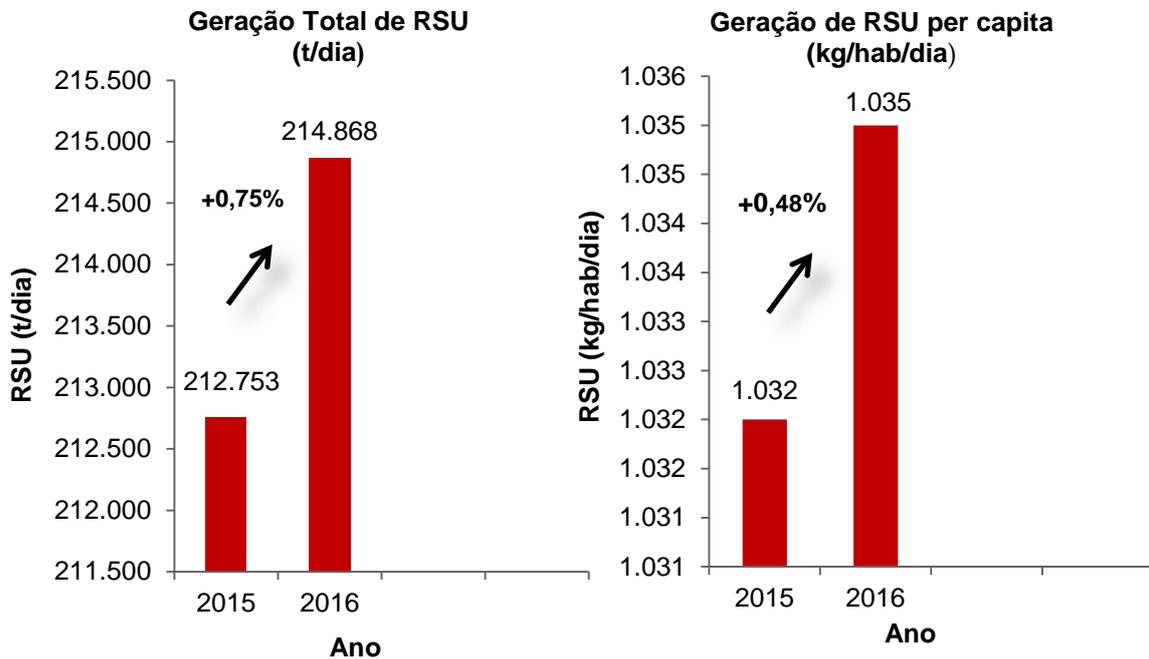
Fonte: PESSIN; DE CONTO; QUISSINI, 2002.

3.1.2 A Situação dos Resíduos Sólidos no Brasil

De acordo com dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2018), os números referentes à geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil em 2016 revelaram um total anual de quase 78,4 milhões de toneladas no país, o que demonstra uma retomada no aumento em cerca de 1% em relação a 2015. O montante coletado em 2015 foi de 71,6 milhões de toneladas, registrando um índice de cobertura de coleta de 91,2% para o país, o que evidencia que 6,9 milhões de toneladas de resíduos não foram objeto de coleta e, conseqüentemente, tiveram destino impróprio.

A Figura 01 apresenta a geração de resíduos sólidos no Brasil em 2015 e 2016. A população brasileira apresentou um crescimento de 0,75% entre 2015 e 2016, enquanto a geração per capita de RSU apresentou aumento de 0,48%. A geração total de resíduos aumentou 1% no mesmo período, atingindo um total de 214.868 toneladas diárias de RSU no país (ABRELPE, 2018).

Figura 01 - Geração de resíduos sólidos no Brasil



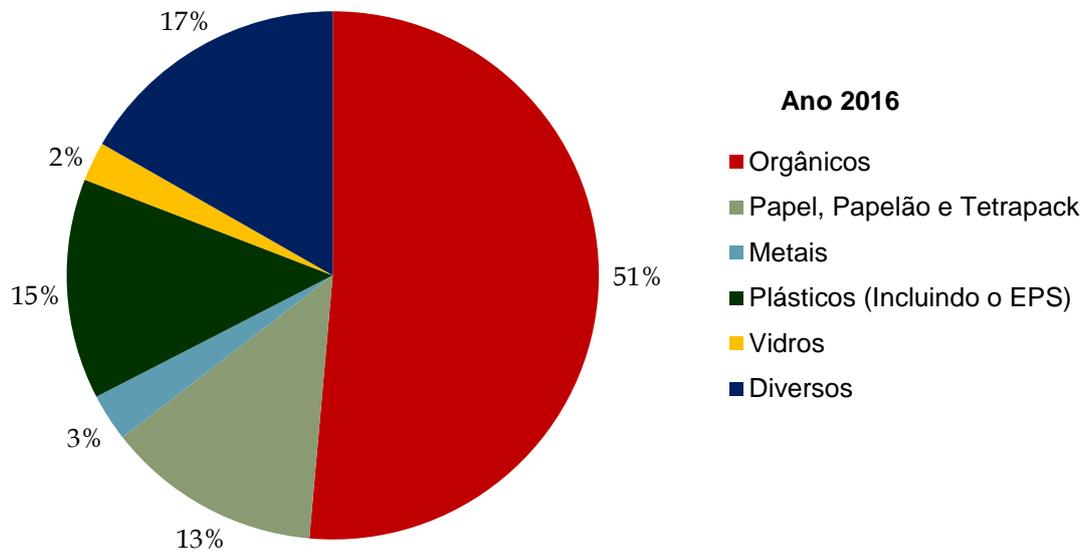
Fonte: ABRELPE, 2018.

Na literatura são apresentados diferentes métodos para determinar a composição gravimétrica dos resíduos sólidos, a maior parte com base no quarteamento da amostra, conforme a NBR10007/2004.

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos apresenta as porcentagens dos diferentes tipologias e características dos materiais constituintes dos RSU que são compostos por: papel, papelão, plástico rígido, plástico filme, metais ferrosos, metais não ferrosos, vidros, borrachas, madeira, couros, trapos, cerâmicas, ossos, madeiras e matéria orgânica. A gravimetria expressa o percentual de cada componente presente nesses resíduos em relação ao peso total da amostra estudada (PEREIRA NETO, 2007).

O conhecimento da composição gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é uma ferramenta primordial para tomadas de decisão quanto ao planejamento e gerenciamento dos resíduos sólidos, fazendo com que se conheça em números, os resíduos sólidos em um determinado local. É a partir dele que se têm informações concretas para o planejamento de aterros sanitários para determinados locais e ainda tomada de decisão quanto ao gerenciamento dos resíduos. A Figura 02 apresenta a Composição Gravimétrica dos RSU no Brasil.

Figura 02 - Composição Gravimétrica dos RSU no Brasil



Fonte: ABRELPE, 2018.

A Tabela 01 apresenta a quantidade de resíduos sólidos urbanos por regiões brasileiras.

Tabela 01 – Quantidade de resíduos sólidos urbanos por regiões e no Brasil

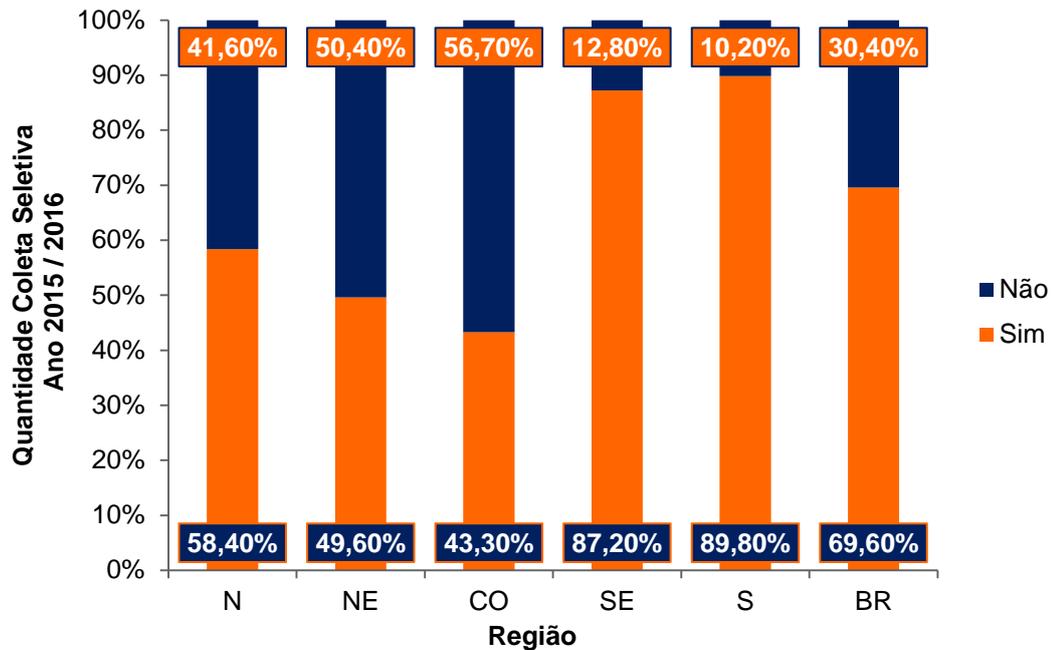
| REGIÃO | RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS | |
|---------------|--------------------------|----------------|
| | 2016 (t/dia) | 2015 (t/dia) |
| NORTE | 12.692 | 12.500 |
| NORDESTE | 43.894 | 43.355 |
| CENTRO-OESTE | 16.217 | 15.990 |
| SUDESTE | 104.631 | 102.620 |
| SUL | 21.316 | 20.987 |
| BRASIL | 198.750 | 195.452 |

Fonte: ABRELPE, 2018.

Conforme informações da ABRELPE (2018), a geração de empregos diretos no setor de limpeza pública também apresentou queda de 5,7% em relação ao ano de 2015 e perdeu cerca de 17.700 postos formais de trabalho no setor. O mercado de limpeza urbana no país seguiu a mesma tendência de recessão econômica e movimentou R\$27,3 bilhões, uma queda de 0,6% em comparação a 2016.

Os dados detalhados da distribuição e da quantidade de municípios com iniciativas de coleta seletiva no Brasil são apresentados respectivamente na Figura 03 e na Tabela 02.

Figura 03 - Distribuição dos municípios com iniciativas de coleta seletiva



Fonte: ABRELPE, 2018.

Tabela 02 – Quantidade de municípios com iniciativas de coleta seletiva

| Re-gião | Norte | | Nordeste | | Centro-Oeste | | Sudeste | | Sul | | Brasil | |
|---------|-------|------|----------|------|--------------|------|---------|------|------|------|--------|------|
| | 2015 | 2016 | 2015 | 2016 | 2015 | 2016 | 2015 | 2016 | 2015 | 2016 | 2015 | 2016 |
| Sim | 258 | 263 | 884 | 889 | 200 | 202 | 1450 | 1454 | 1067 | 1070 | 3859 | 3878 |
| Não | 192 | 187 | 910 | 905 | 267 | 265 | 218 | 214 | 124 | 121 | 1711 | 1692 |

Fonte: ABRELPE, 2018.

De acordo com dados da ABRELPE (2018), os índices de disposição final de resíduos sólidos urbanos no ano de 2016, apresentaram retrocesso no encaminhamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos urbanos coletados, passando a 58,4% do montante anual disposto em aterros sanitários. A Tabela 03 apresenta a quantidade de municípios por tipo de disposição final adotada.

Tabela 03 – Quantidade de municípios por tipo de disposição final adotada

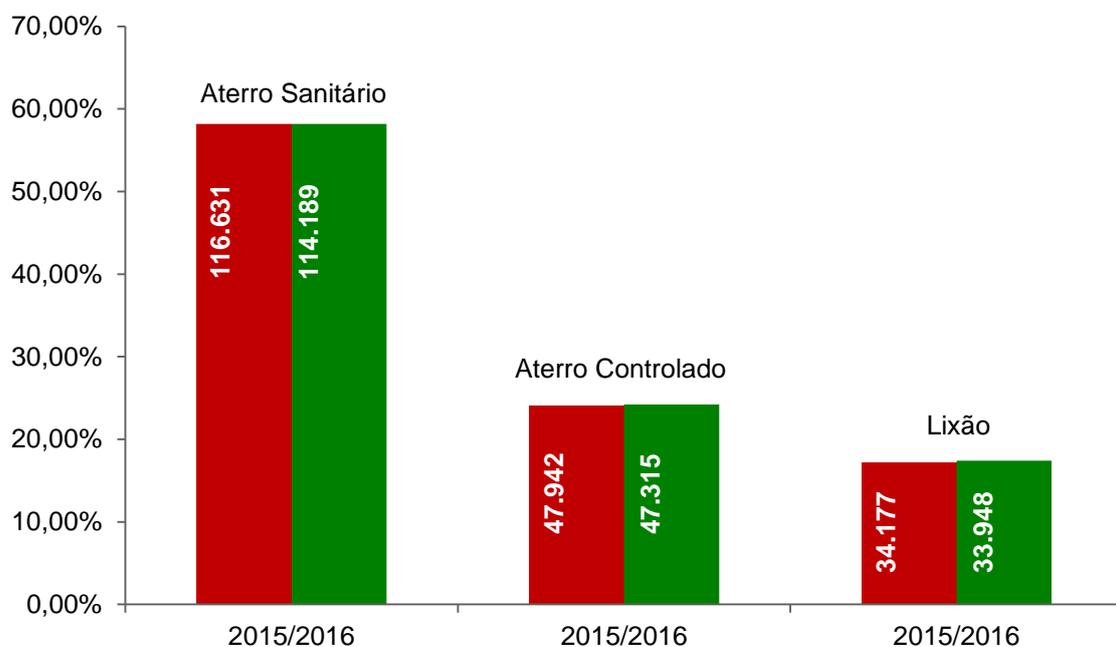
| Disposição Final | Brasil 2015 | 2016 – Regiões e Brasil | | | | | |
|-------------------|-------------|-------------------------|----------|--------------|---------|------|--------|
| | | Norte | Nordeste | Centro-Oeste | Sudeste | Sul | Brasil |
| Aterro Sanitário | 2244 | 92 | 458 | 161 | 822 | 706 | 2239 |
| Aterro Controlado | 1744 | 112 | 500 | 148 | 644 | 368 | 1772 |
| Lixão | 1552 | 246 | 836 | 158 | 202 | 117 | 1559 |
| Brasil | 5570 | 450 | 1794 | 467 | 1668 | 1191 | 5570 |

Fonte: ABRELPE, 2018.

A disposição em aterros sanitários constitui-se na melhor alternativa para os resíduos que não possuem valores a recuperar, ou seja, não podem ser reciclados e nem incinerados. A reciclagem e a incineração, nesta ordem de hierarquia, contribuem para a redução do volume de resíduos a ser disposto e o aumento da vida útil dos aterros (VALLE, 1995).

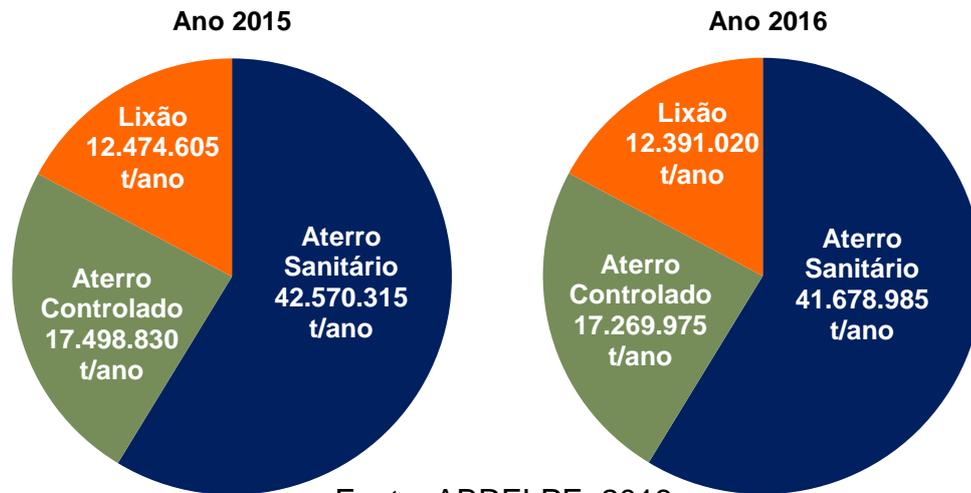
A Figura 04 apresenta os dados detalhados da disposição final de resíduos sólidos no Brasil por tipo de destinação (t/dia) e a Figura 05 apresenta os dados da disposição final de resíduos sólidos coletados no Brasil (t/ano).

Figura 04 - Disposição final de resíduos sólidos no Brasil por tipo de destinação (t/dia)



Fonte: ABRELPE, 2018.

Figura 05 - Disposição final de resíduos sólidos coletados no Brasil (t/ano)



Fonte: ABRELPE, 2018.

De acordo com o Artigo 33 da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei Nº 12305/2010, são obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de:

I - agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA), ou em normas técnicas;

II - pilhas e baterias;

III - pneus;

IV - óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;

V - lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;

VI - produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

Nos últimos anos, a reciclagem tem ganhado muita importância como método de tratamento dos resíduos sólidos, surgindo então como uma alternativa que permite reciclar os resíduos e transformá-los em matéria-prima, reincorporando-os ao processo produtivo, reduzindo o seu impacto ambiental.

A “estação” de triagem para a reciclagem é a instalação apropriada para a separação e a recuperação de materiais usados e descartados presentes no “lixo”, e

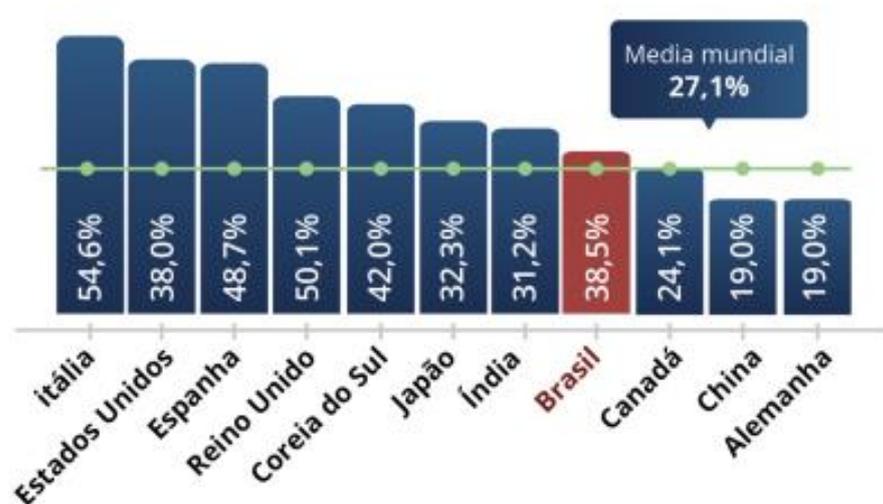
que podem ser transformados e reutilizados. Quando o município realiza a coleta seletiva o material que nela chega é mais limpo e seco, facilitando a triagem pelos trabalhadores, tornando a separação mais rápida e eficiente. Na ausência de estações de triagem, a separação dos resíduos pode ser efetuada nos próprios “lixões”, nas associações ou cooperativas de catadores, etc.

Foram obtidas informações junto às associações representativas dos setores de alumínio, papel e plástico, segmentos que possuem considerável participação nas atividades de reciclagem no país. A partir da organização dos dados disponibilizados por tais associações, foi possível compor um quadro da reciclagem de tais materiais. Cabe esclarecer que, pela ausência de dados atualizados da cadeia do vidro, optou-se por não incluir os respectivos números (ABRELPE, 2016).

Conforme informações da ABRELPE (2016), o Brasil vem mantendo a liderança mundial nas atividades de reciclagem do segmento de latas de alumínio para envase de bebidas; em 2015, atingiu o índice de 97,9%, que corresponde a 292,5 mil toneladas recicladas, seguido pelo Japão com 77,1% e Estados Unidos com 64,3%.

A Figura 06 apresenta a relação entre a sucata recuperada e o consumo interno de alumínio do Brasil e de países selecionados em 2015. Em eficiência no ciclo de reciclagem de alumínio a média mundial em 2014 foi de 27,1% e, em 2015, o Brasil reciclou 602 mil toneladas de alumínio.

Figura 06 - Relação entre a sucata recuperada e o consumo interno de alumínio do Brasil e de países selecionados (2015)



Fonte: ABRELPE, 2016.

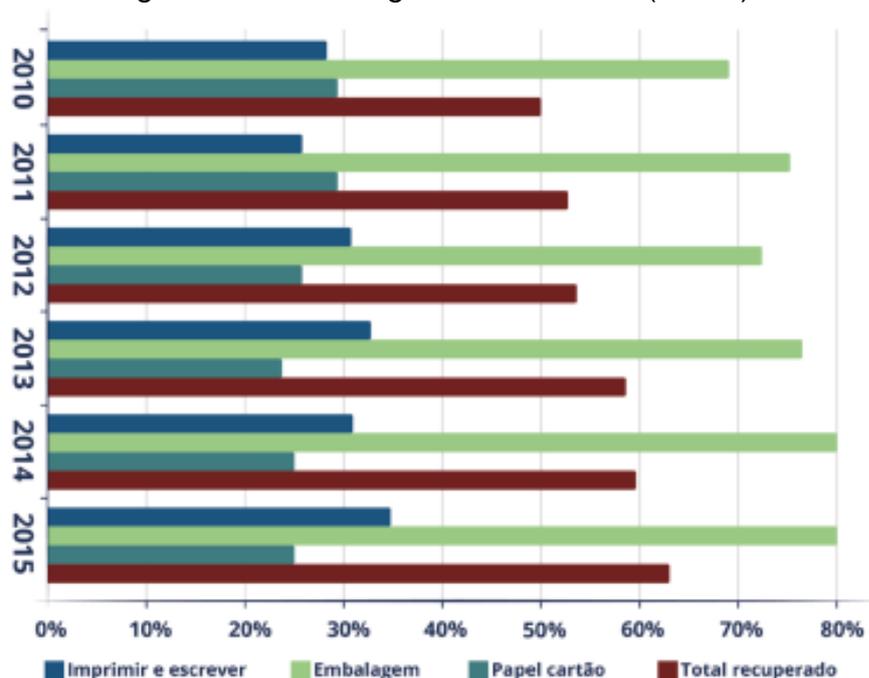
Conforme informações da ABRELPE (2016), o Brasil vem mantendo a liderança mundial nas atividades de reciclagem do segmento de latas de alumínio para envase de bebidas; em 2015, atingiu o índice de 97,9%, que corresponde a 292,5 mil toneladas recicladas, seguido pelo Japão com 77,1% e Estados Unidos com 64,3%.

A reciclagem anual de papéis é obtida pela divisão da taxa de recuperação de papéis com potencial de reciclagem pela quantidade total de papéis recicláveis consumidos no mesmo período. Em 2015, o Brasil registrou uma taxa de recuperação de 63,4%, com crescimento de aproximadamente 4% em relação ao ano anterior (ABRELPE, 2016).

Os dados disponíveis sobre a reciclagem de plásticos no Brasil provêm da indústria de reciclagem mecânica dos plásticos, que converte os materiais plásticos descartados pós-consumo em grânulos passíveis de serem utilizados na produção de novos artefatos plásticos (ABRELPE, 2016).

A Figura 07 apresenta os números da reciclagem no Brasil de 2010 a 2015 conforme dados da Associação Nacional dos Aparistas de Papel (ANAP). Os tipos de papéis analisados foram papéis para escrever e imprimir, papel cartão e embalagens diversas.

Figura 07 – Reciclagem em números (t x mil)



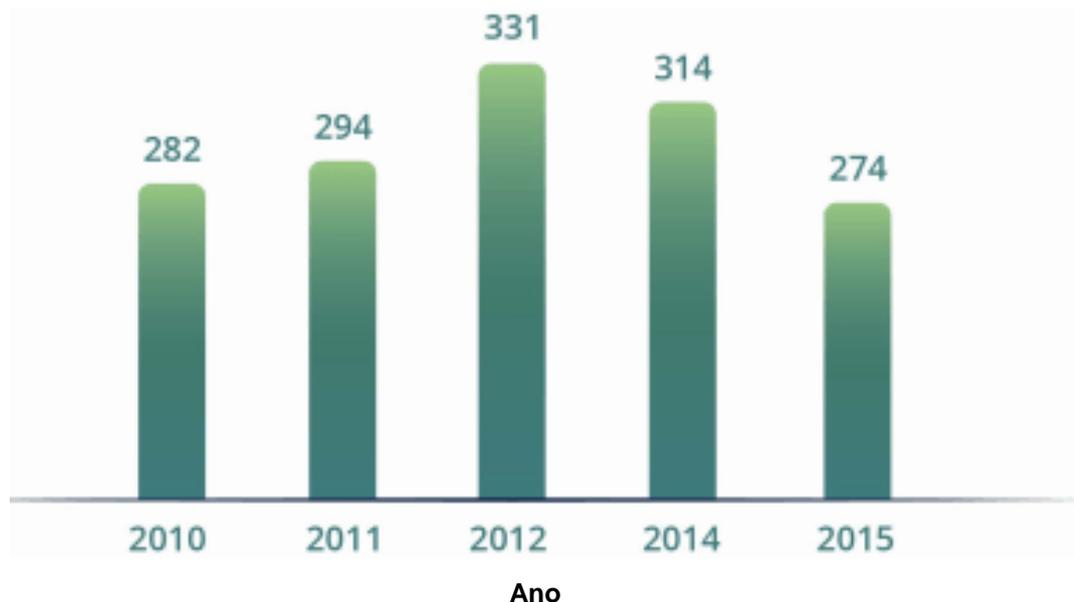
Fonte: ANAP, 2016.

A reciclagem e a compostagem estão entre as técnicas e concepções de tratamento mais atraentes, na gestão de resíduos sólidos, devido ao alcance que têm em termos de preservação do meio ambiente. Algumas iniciativas mal concebidas ou mal mantidas por comprometer a credibilidade destas técnicas, que são muito boas e bastante indicadas. Acompanhando a evolução da situação dos países mais avançados, pode-se inferir que é somente uma questão de tempo e de adaptações pertinentes para aplicar-se aqui o que já é feito fora. Em primeiro lugar, minimizar, e, depois, valorizar. Incentiva-se bastante o reaproveitamento, inclusive da energia contida nos resíduos, e a reciclagem, através de medidas econômicas, reforçando a educação ambiental e a coleta seletiva (SILVA, 2009).

Dentre os diversos tipos de plásticos utilizados, os dados disponíveis indicam que a reciclagem de PET, um polímero termoplástico, diminuiu em 2015 com um índice de 51% (ABRELPE, 2016).

A Figura 08 apresenta a evolução da reciclagem de politereftalato de etileno, PET, no Brasil de 2010 a 2015.

Figura 08 – Reciclagem de Politereftalato de Etileno, PET, no Brasil (t x mil)



Fonte: ABIPET, 2016.

A ABNT define a incineração sendo a destruição térmica de orgânicos através da combustão, ou seja, a oxidação a altas temperaturas. No âmbito do gerenciamento de resíduos sólidos, a incineração pode ser definida como um

tratamento térmico efetuado em resíduos, no qual ocorre redução mássica e volumétrica.

Portanto em termos de geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil, os dados mostraram que houve um crescimento de 1% no de 2016 em relação ao ano de 2015. A cobertura dos serviços de coleta de resíduos sólidos urbanos passou de 90,8% para 91,2% do volume gerado, no entanto a coleta seletiva não avançou na mesma proporção e os últimos dados só possuem iniciativas registradas em 69,6% das cidades. A consequência direta disso são os índices de reciclagem que se mostram estagnados há alguns anos.

Pela ausência de iniciativas consolidadas para aproveitamento e recuperação da fração orgânica, há uma sobrecarga nos sistemas de destinação final, que recebem aproximadamente 71,34 milhões de toneladas por ano, das quais 12,4 milhões de toneladas ainda são depositadas em “lixões”, a pior forma de destinação possível e fonte diária de poluição ambiental, causadora de diversos problemas de saúde.

Além da coleta e destinação de resíduos sólidos urbanos, os municípios ainda são responsáveis por gerenciar um grande volume de Resíduos da Construção e de Resíduos de Serviços de Saúde, os quais legalmente deveriam estar sob a responsabilidade dos respectivos geradores, conforme dispõe a legislação vigente.

Em termos de quantidades, no ano de 2016, as cidades brasileiras tiveram que dar conta de pouco mais de 45 milhões de toneladas de Resíduos da Construção e de 256 mil toneladas de Resíduos de Serviços de Saúde, perfazendo quase 117 milhões de toneladas de resíduos sob responsabilidade municipal durante o ano, pois a esses deve também ser adicionado o total de resíduos sólidos urbanos coletados. Dar conta de todo esse volume de resíduos e também executar as demais atividades atinentes aos serviços de limpeza urbana traz um custo considerável para os orçamentos municipais, cujos recursos são limitados (ABRELPE, 2018).

Os dados referentes ao ano de 2016 mostraram que, em média, as cidades brasileiras aplicaram R\$ 9,92 por pessoa por mês para executar todos os serviços de limpeza urbana, a saber, coleta porta-a-porta, varrição de ruas, destino final, limpeza de feiras, manutenção de parques, praças e jardins, dentre outras atividades correlatas (ABRELPE, 2018).

3.2 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)

O poliestireno expandido tem como sigla internacional EPS, padronizada pela Norma DIN ISO 1043:1978.

Em 1949, os químicos Fritz Stastny e Karl Buchhoz descobriram o poliestireno expandido (EPS), conhecido popularmente como “Isopor®”, marca registrada da empresa Knauf Isopor Ltda. A descoberta foi feita nos laboratórios da empresa química alemã BASF, Fábrica de Anilina e Soda de Baden. A Figura 09 apresenta o fragmento de poliestireno expandido (EPS).

Figura 09. Fragmento de poliestireno expandido (EPS)



Fonte: BANJAR, 2018.

O EPS é uma espuma termoplástica formada a partir de derivados de petróleo (estireno – C_8H_8), composto basicamente de 2% de poliestireno e 98% de ar. Para a sua produção, a matéria prima, ou seja, grânulos de poliestireno passam por um processo de transformação física, constituída de pré-expansão, armazenamento intermediário e moldagem (COSTA, 2007).

O plástico celular rígido, EPS, é o resultado da polimerização do estireno em água. O seu processo não utiliza e nunca utilizou o gás clorofluorcarbono, CFC ou qualquer um de seus substitutos. Como agente expensor para a transformação do EPS, emprega-se o pentano, um hidrocarboneto que se deteriora rapidamente pela reação fotoquímica gerada pelos raios solares, o que não compromete o meio ambiente (ABRAPEX, 2006).

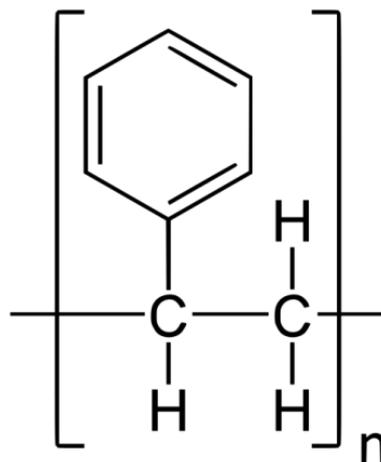
O produto final são pérolas de até 3 milímetros de diâmetro, que se destinam a expansão. Segundo Stocco, Rodrigues e Castro (2009), essas pequenas pérolas de EPS, quando submetidas à expansão, podem ter seu tamanho alterado em 50 (cinquenta) vezes do tamanho inicial, através de vapor, fundindo-se e moldando-se em formas diversas.

Durante o processo produtivo do EPS, ocorre inicialmente essa expansão do poliestireno pelo pré-expansor através do aquecimento por contato com o vapor da água e o resultado são as partículas de EPS compostas por células fechadas armazenadas para estabilização. Ao longo deste processo, o espaço dentro das células é preenchido pelo ar circundante. Além do poliestireno expandido existem outros tipos de poliestireno, como por exemplo, o poliestireno extrudido, conhecido como XPS, sendo que este é também uma espuma rígida de poliestireno, porém diferencia-se do EPS por ser obtida através de um processo de extrusão em contínuo, além de empregar outros gases expansores como é o caso do gás clorofluorcarbono, CFC, sendo este um dos maiores agressores da camada de ozônio. O EPS possui dois padrões, sendo o primeiro designado da Classe P, não retardante à chama na cor azul e o segundo Classe F, retardante à chama na cor vermelha. (ABRAPEX, 2006).

Dentre os materiais recicláveis, o plástico representa um resíduo de grande aceitação para ser submetido ao processo de reciclagem (ROLIM, 2000).

A Figura 10 apresenta a estrutura do poliestireno expandido (EPS).

Figura 10. Estrutura do poliestireno expandido (EPS)



Fonte: ABRAPEX, 2006.

De acordo com informações da ABRAPEX (2006), em 1m³ de EPS existem cerca de 3 a 6 bilhões de células fechadas e cheias de ar. O material possui uma cor branca, é inodoro, 100% reciclável e reaproveitável podendo voltar a condição de matéria-prima; não poluente, ou seja, não contamina o solo, água e ar; e é fisicamente estável.

Conforme a ABRAPEX (2006), o EPS apresenta muitas vantagens e as principais características são destacadas a seguir:

- Baixa condutibilidade térmica: A estrutura de células fechadas, cheias de ar, dificulta a passagem de calor, o que confere ao EPS um excelente poder isolante;
- Exposição a temperaturas extremas: O EPS não tem limite à exposição a baixas temperaturas, sendo que a temperatura mínima de utilização corresponde à de liquefação dos gases do ar contido nas células. Porém, como todos os plásticos, o EPS tem um limite de exposição a altas temperaturas, sendo que a temperatura máxima do EPS não poderá ultrapassar os 100°C em exposições curtas e 80°C em exposições prolongadas;
- Baixo peso específico: Entre 9 kg/m³ a 40 kg/m³;
- Resistência mecânica: Possui alta resistência à compressão variando de 7.000 kgf/m² até 14.000 kgf/m²;
- Baixa absorção de água: Quando imerso em água ele absorve apenas pequenas quantidades da mesma, garantindo que o EPS mantenha suas características térmicas e mecânicas mesmo sob a ação da umidade;
- Difusão do vapor de água: O EPS é permeável ao vapor de água;
- Resistente ao envelhecimento: As propriedades do EPS não sofrem alterações ao longo da vida do material. Estima-se, na natureza, que o EPS tenha vida útil de 150 anos.

A Tabela 04 especifica as características exigíveis para o EPS na ABNT NBR 11752:2016, a norma estabelece os requisitos para o uso de materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial.

Tabela 04 – Características exigíveis para o EPS na ABNT NBR 11752:2016

| Propriedades | Método de Ensaio | Unidade | Classe P | | | Classe F | | |
|--|------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------|----------|-------|-------|
| | | | I | II | III | I | II | III |
| Tipo de material | | | I | II | III | I | II | III |
| Massa específica aparente | NBR 11949 | Kg/m ² | 13-16 | 16- 20 | 20-25 | 13-16 | 16-20 | 20-25 |
| Resistência à compressão com 10% de deformação | NBR 8082 | kPa | ≥60 | ≥70 | ≥100 | ≥60 | ≥70 | ≥100 |
| Resistência à flexão | ASTM C-203 | kPa | ≥150 | ≥190 | ≥240 | ≥150 | ≥190 | ≥240 |
| Absorção de água | NBR 7973 | g/cm ³ x 100 | ≤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 condutividade 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 a chama | Material retardante a chama | | | | |

Fonte: ABRAPEX, 2006.

O descarte incorreto do EPS é um problema enfrentado por diversas cidades, bem como as capitais, que já encontram muitos problemas com esse tipo de material que vem saturando os aterros sanitários. O EPS sozinho não polui nem contamina o solo, mas como leva centenas de anos para se decompor, acaba ocupando muito espaço físico diminuindo a área útil dos aterros.

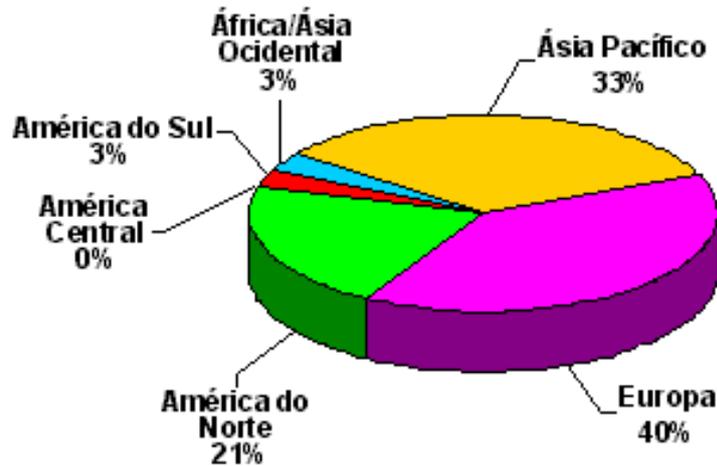
3.2.1 Produção Mundial e Uso do EPS

De acordo com ABRAPEX (2006), foram produzidos no mundo, no ano de 2000, 2,95 milhões de toneladas de EPS. A Figura 11 apresenta a subdivisão da produção mundial em seus respectivos continentes.

A Europa foi responsável por produzir a maior quantidade de EPS, abrangendo 40% da produção total. Em seguida aparece a Ásia Pacífico, incluindo parte da Ásia Oriental, Sul da Ásia, Sudeste da Ásia e Oceania finalizando com 33% da produção geral. Na sequência está a América do Norte ocupando o total de 21% de toda a produção. Depois se encontram com valores iguais a 3% a América do

Sul, a África e a Ásia Ocidental. E por último, é apresentado um resultado de 0% para a América Central.

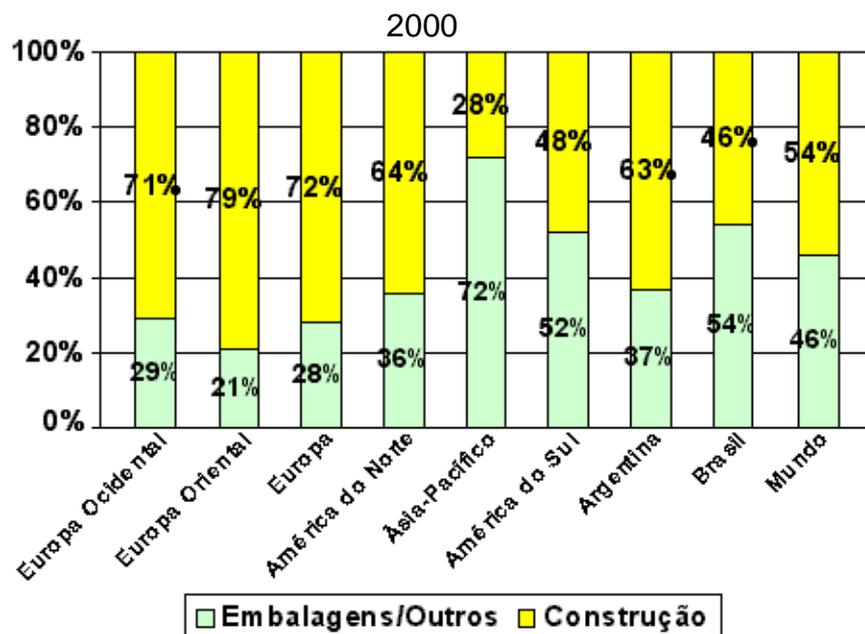
Figura 11 – Produção mundial de EPS



Fonte: ABRAPEX, 2006.

A Figura 12 apresenta a distribuição do EPS por segmento no mundo durante o ano de 2000.

Figura 12 - Distribuição do EPS por segmento no mundo durante o ano de

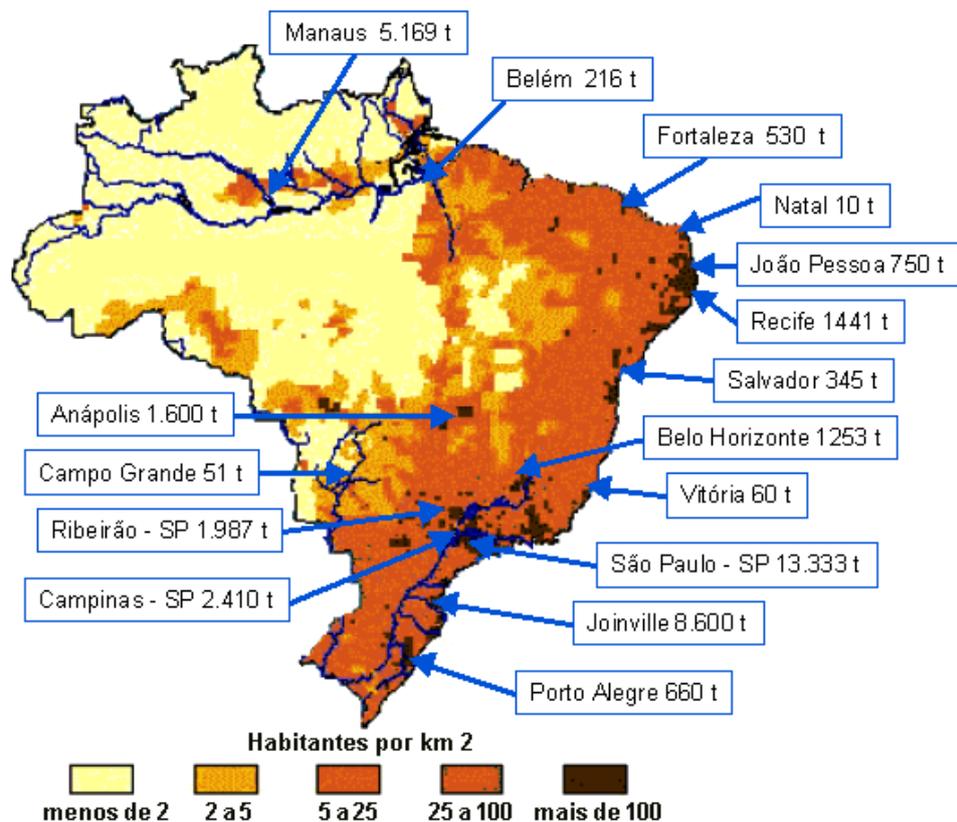


Fonte: ABRAPEX, 2006.

O continente que distribuiu a menor quantidade de EPS no mundo no segmento da construção civil foi a Europa Ocidental com o resultado de 21% e o responsável pela maior quantidade de EPS para embalagens e outros foram consequentemente o mesmo continente, com 72% do total. No final do gráfico aparece o Brasil apresentando o resultado de 46% para o segmento da construção civil e 54% para embalagens e outros.

A Figura 13 apresenta a transformação de EPS no Brasil em 2000, especificando os principais municípios brasileiros. Através do mapa do Brasil é possível identificar que o município de São Paulo, capital do estado homônimo e principal centro financeiro, corporativo e mercantil da América do Sul é o responsável pela maior quantidade de transformação de EPS no Brasil totalizando em 13.333 toneladas, enquanto o município de Natal, capital do estado do Rio Grande do Norte, na Região Nordeste do país, abrange apenas 10 toneladas de EPS.

Figura 13. Transformação de EPS no Brasil e seus principais municípios



Fonte: ABRAPEX, 2006.

toneladas de plástico, referentes a 42% do volume consumido no continente, foram destinados a este segmento.

O EPS participa do mercado brasileiro com aproximadamente 18 mil toneladas ao ano (ABRAPEX, 2006).

A utilização de embalagens de EPS apresenta muitas vantagens, além de reduzir custos e ganhar em produtividade. Elas são produzidas a partir de projetos específicos, de acordo com as necessidades de cada cliente e de cada produto, garantindo assim, uma proteção eficiente durante o transporte, manuseio, armazenamento e distribuição das mercadorias.

No Brasil, no ano de 2000, foram produzidas 55 mil toneladas de EPS e outras 2 mil toneladas foram importadas com equipamentos eletrônicos e diferentes bens trazidos do exterior (PLASTIVIDA, 2018).

Conforme dados do Instituto Sócio Ambiental dos Plásticos (2008) foram produzidos no Brasil 62,9 mil toneladas de EPS e aproximadamente 20 mil toneladas de XPS, poliestireno extrudido, totalizando em 82,9 mil toneladas de EPS e XPS. Desse total, estima-se que retornaram ao processo produtivo com destino à reciclagem cerca de 7 mil toneladas, ou seja, apenas 8,4% de tudo o que foi produzido.

Do total de EPS produzido no Brasil, cerca de 4.000 toneladas são destinadas ao segmento de Artigos de Consumo. Por ser um produto prático e versátil, aliado ao fato de ser um excelente isolante térmico e, ao baixo custo, o EPS é muito utilizado na confecção de peças de consumo (PLASTIVIDA, 2018).

As caixas térmicas de EPS são estanques, isto é, não vazam. Por isso, elas são a melhor opção para o acondicionamento de bebidas e alimentos. Sua capacidade térmica conserva os produtos frescos e na temperatura ideal, sendo esta quente ou fria, de acordo com as características de cada produto.

As caixas de EPS são muito utilizadas ainda na pesca amadora e profissional e na conservação e comercialização de gelados e congelados.

No mundo, são produzidos anualmente cerca de 2,95 milhões de toneladas de EPS, das quais 50% se destinaram à construção civil. Anualmente, o Brasil gera cerca de 15 mil toneladas de resíduos de EPS, que têm como destino final, na maioria das vezes, “lixões” ou aterros sanitários, gerando grandes volumes e

reduzindo a vida útil destes, por se tratar de um material inerte, ou seja, sofre poucas alterações ao longo do tempo (ANBIO, 2008).

O EPS é também utilizado na área agrícola, em diferentes funções, como aeração de solo, drenagem e produção de mudas. O consumo pode ser grande, quando implantado. Em solos argilosos há menos permeabilidade e a tendência é do solo, ao secar, ficar endurecido. Assim, a penetração da água e o enraizamento ficam dificultados, e os adubos são facilmente carregados para fora da área de plantio pelas enxurradas, com prejuízo no desenvolvimento da vegetação.

3.2.3 Características Físico-Químicas do EPS

O EPS não é higroscópico. Quando imerso em água ele absorve apenas pequenas quantidades desta, devido a sua estrutura de células fechadas. Portanto volta a secar facilmente sem perder qualquer uma das suas propriedades. Verifica-se uma Redução do Coeficiente de Condutibilidade Térmica de 3 a 4%, para cada 1% de volume de água absorvido. A propriedade mais importante do EPS é a sua capacidade de resistência ao calor. Tal fator se deve a sua estrutura celular constituída por milhões de células fechadas com diâmetros de alguns décimos de milímetros e paredes de 1mm, mantendo assim, uma grande quantidade de ar, quase imóvel, dentro das suas células (ABRAPEX, 2006).

De acordo com Schicoski (2008), o EPS leva mais de 150 anos para decompor, ocupam grandes espaços nos aterros sanitários o que contribui para a diminuição da vida útil dos mesmos e aumento dos gastos públicos com a construção de novos aterros.

Suas características inodoras e não contaminantes possibilitam seu reaproveitamento. A combustão do EPS, por ser um simples hidrocarboneto, não provoca emissão de gases tóxicos, como acontece com outros plásticos, não contendo e não produzindo gás CFC ou qualquer outro gás agressivo à camada de ozônio (ABRAPEX, 2006).

Conforme informações da ABRAPEX (2006), o uso do EPS como condicionador de solos, incorporado às argilas, muda suas características físicas, invertendo as condições descritas. A água passa a penetrar no solo facilmente,

raízes se desenvolvem aeradas, os adubos eventuais permanecem e penetram no solo, levados pela água e a vegetação tem um crescimento maior.

O EPS pode ser usado a 75% em granulação graúda, juntamente com pedra britada na cultura de orquídeas de algumas espécies como Vanda e Cymbidium. A granulação miúda deve ser misturada a solo fértil na proporção de 25% para Aphelandra, Asparagus plumosus, Azalea, Cineraria, Cyclamen, Euphorbia pucherrina, Ficus, Fuchsia, Gerbera, Geoxinia, Prímulas, entre outras espécies. Na proporção de 50%, para Anthurium, Bromeliáceas e Cyripédiums.

No caso de gramados, inclusive em campos de esporte, a mistura com o solo em até 50% deixa a aeração das raízes muito eficaz, assim como a drenagem das águas pluviais. Em campos de esporte, a drenagem é composta com os drenos convencionais ou com placas de EPS drenante especial.

As bandejas para mudas em EPS, conforme exemplo na Figura 15, são desenvolvidas para cada tipo de cultura, oferecendo grandes vantagens para o produtor, agilizando o plantio e obtendo mudas mais fortes e saudáveis, aumentando, com isso, a produtividade.

Figura 15 - Bandejas para mudas em EPS desenvolvidas para cada tipo de cultura



Fonte: Tecnocell EPS, 2018.

3.3 O POLIESTIRENO EXPANDIDO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

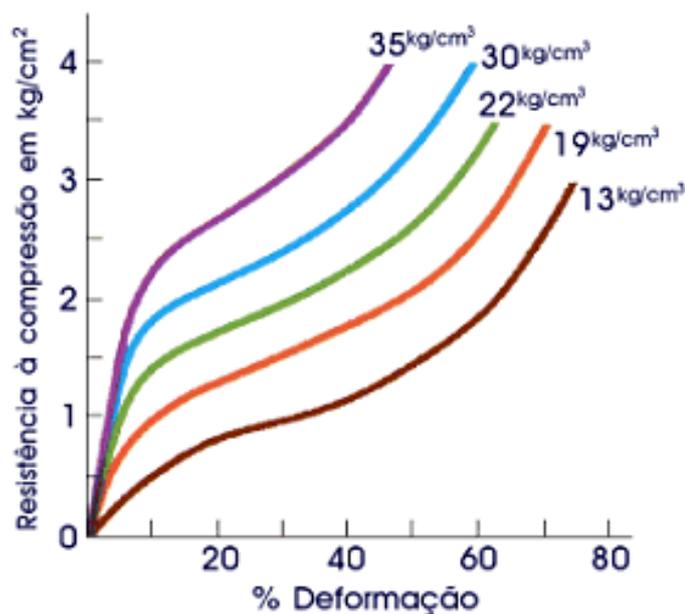
Atualmente existe uma realidade de transformação quando se diz respeito a materiais na construção civil, gerando desafios e criando a necessidade de utilização de materiais alternativos.

De acordo com SANTOS (2008), esses materiais podem representar uma boa alternativa no custo final das construções, em função da matéria-prima em parte reaproveitada no processo. O Brasil recicla apenas 10% do EPS, pós consumo, uma grande ineficiência em termos ambientais e mercadológicos. Além disso, o uso do EPS reciclado para a construção civil torna o custo da obra mais barata e colabora para o tratamento ambiental do resíduo. Os sistemas construtivos em EPS propiciam uma economia significativa nos projetos estruturais das obras, na logística, além de redução de desperdício. O EPS, reciclado, agregando-se a outros materiais, pode ser transformado em tijolo leve poroso, argamassa e concreto leve, aproveitável em qualquer parte da construção convencional que não exija materiais de alta resistência.

O EPS é comprovadamente um material isolante térmico e que ganhou nos últimos 35 anos uma posição estável na construção civil, não apenas por suas características isolantes, mas também pela sua leveza, resistência, baixa massa específica (0,15 a 0,35kN/m³), facilidade de manuseio e baixo custo. Para atender as necessidades de isolamento térmico na construção civil, o EPS deve ser utilizado segundo a norma ABNT NBR 11752:2016 (ABRAPEX, 2006).

A Figura 16 apresenta a resistência à compressão do EPS com densidades de 13 a 35 kg/cm³ e sua respectiva deformação.

Figura 16 - Resistência à compressão do EPS com densidades de 13 a 35 kg/cm³



Fonte: ABRAPEX, 2006.

Atualmente pesquisadores vêm testando e desenvolvendo diversas aplicações para o EPS descartado na natureza. O EPS, triturado, em flocos, vem sendo pesquisado e utilizado como agregado graúdo, em substituição à brita, na confecção do concreto leve com resultados positivos.

O Quadro 02 apresenta as Referências Normativas para o uso do EPS na Construção Civil.

Quadro 02 – Referências Normativas para o uso do EPS na Construção Civil

| NORMATIVA | ESPECIFICAÇÃO |
|------------------|---|
| NBR 11752 | Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e câmaras frigoríficas. |
| NBR 7973 | Determinação de absorção d'água – Método de ensaio. |
| NBR 8081 | Permeabilidade ao vapor d'água – Método de ensaio. |
| NBR 8082 | Resistência a compressão – Método de ensaio. |
| NBR 10411 | Inspeção e amostragem de isolantes térmicos – Procedimento. |
| NBR 11948 | Ensaio de flamabilidade – Método de ensaio. |
| NBR 11949 | Determinação da massa específica aparente – Método de ensaio. |
| NBR 12094 | Determinação da condutividade térmica – Método de ensaio. |
| ASTM C-203 | Test method for breaking load and flexural properties of block-type thermal insulation. |

Fonte: ABRAPEX, 2006.

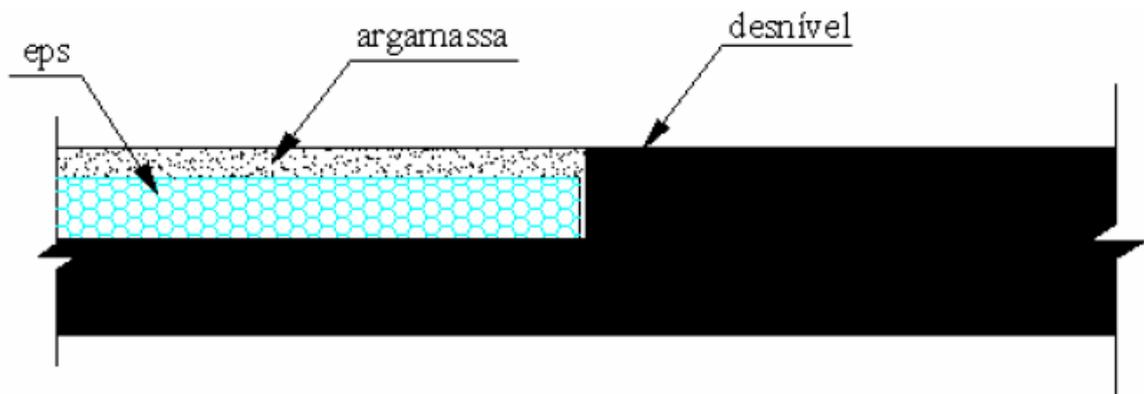
Segundo a ABRAPEX (2006) o EPS é um material resistente, fácil de recortar, leve e durável, sendo indicado para preenchimento de rebaixamentos ou vazios necessários a vários processos construtivos, principalmente lajes e painéis pré-fabricados ou semi-industrializados. Pelas mesmas qualidades, o mesmo pode ser a solução para aterros estáveis sobre solos frágeis. Para que se faça o melhor uso do EPS como isolante térmico, recomenda-se verificar se o material adquirido é tecnicamente o mais adequado para a utilização a que se destina e se o produto entregue tem a densidade e a espessura combinadas.

3.3.1 Nivelamento de Lajes e Fôrmas para Concreto

De acordo com a ABNT NBR 11752:2007 - classificação PI, o EPS apresenta condições favoráveis para utilização no nivelamento de lajes devido suas características de baixo peso específico, podendo ser usado até 10 kg/m³. Oferece até 50 Kpa e a absorção de água é menor que 5% nos materiais produzidos permitindo que a cura do concreto seja bem melhor e mais rápida.

Para casos de nivelamentos em lajes, pode-se utilizar tanto o EPS em placas quanto em flocos, em matéria-prima virgem ou reciclada. Todas as lajes que necessitam, por questões técnicas ou de estética, que o nível seja elevado, podem adotar a opção de enchimento conjugado com EPS, conforme o detalhe na Figura 17 e o exemplo na Figura 18.

Figura 17. Detalhe de nivelamento com placas de EPS em lajes com diferenças de níveis



Fonte: ABRAPEX, 2006.

Figura 18. Exemplo de nivelamento com placas de EPS em lajes com diferenças de níveis



Fonte: Polisopor, 2018.

Em obras existentes, cujo projeto arquitetônico contemple diferenças de níveis entre ambientes, quando da realização de reformas com necessidade de nivelamento dos mesmos, a solução conjugada em argamassa e EPS é uma alternativa segura e econômica. Além de não comprometer a estrutura em função do alívio no peso do enchimento, proporciona uma economia na substituição de parte da argamassa pelo EPS.

De acordo com a ABRAPEX, (2006), o EPS pode ser usado em lajes nervuradas como fôrma em uma só direção ou em grelha, permitindo o acabamento num único plano inferior, com grande economia de cimbramento, mão-de-obra e tempo. Como fôrma simples, pode ser usado sempre que as condições da obra dificultam a retirada da fôrma convencional após a cura. É usado como revestimento da madeira da fôrma e pela sua qualidade semi-elástica, permite a retirada da fôrma facilmente e sem perdas significativas.

Também no caso de detalhes complexos em relevos ou recortes no concreto, o EPS pode ser recortado e aplicado dentro das fôrmas de madeira, de tal modo que, ao retirá-las, se obtêm os relevos ou recortes desejados no concreto acabado. Um bom exemplo desse uso é a fachada do edifício da Petrobrás no Rio de Janeiro, conforme detalhes na Figura 19.

Figura 19. Fachada do edifício da Petrobrás no Rio de Janeiro/RJ - Detalhes recortados no concreto



Fonte: Arqguia, 2018.

A sede da estatal responsável pela exploração de petróleo no Brasil possui um projeto com princípios básicos do Movimento Moderno como térreo em pilotis, terraços-jardim e planta-fachada livre. Como resultado, o aspecto inovador do projeto se mantém até os dias atuais, mesmo após 50 anos de sua concepção.

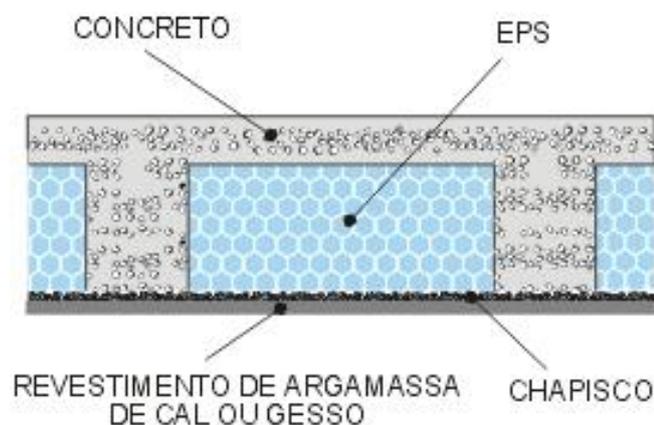
Alguns projetos arquitetônicos necessitam construir lajes com caixões perdidos. Na maioria dos casos, eles são executados de modo fechado e oco, e depois impermeabilizados na sua parte superior. Como o ar fica confinado nos vazios, esses caixões apresentam saturação de umidade residual no seu interior e, como não está impermeabilizada na sua parte inferior, a umidade passa a ser confundida com possíveis vazamentos no sistema impermeabilizante. A solução ideal é a de utilizar caixões perdidos sem vazios, por exemplo, utilizando o EPS (YAZIGI, 2002).

As dimensões fabricadas são blocos de 2 a 6 metros de comprimento, com seção de 0,50 x 1,00 m a 1,20 x 1,20 m. De acordo com o projeto, pode ser facilmente cortado em blocos menores ou fornecido já no tamanho necessário, com perfeição dimensional difícil de ser obtida com outros materiais. O peso próprio das lajes com enchimento de EPS é bastante aliviado. É importante, nesse caso, que o cálculo contemple o uso do EPS, reduzindo-se todo o dimensionamento da estrutura e fundações (ABRAPEX, 2006).

Existem empresas que produzem o bloco de EPS revestido para reutilização.

Competitivo em preço, o EPS é um material que oferece rapidez de montagem sem quebras ou perdas, conforme o detalhe da Figura 20.

Figura 20. Detalhe de preenchimento de EPS em fôrmas para concreto



Fonte: ABRAPEX, 2006.

3.3.2 Lajes Nervuradas e Industrializadas

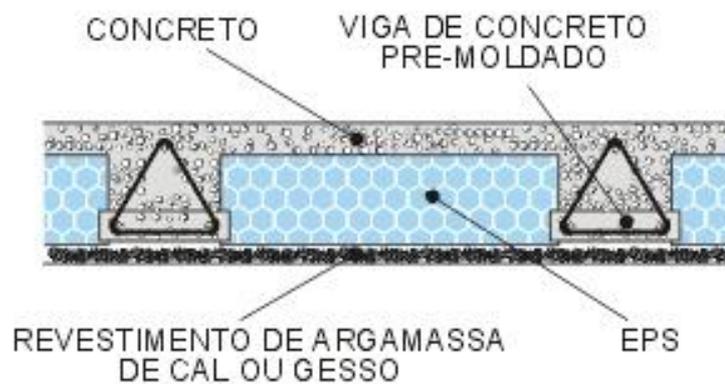
Em edificações de vários pavimentos, as lajes possuem significativa participação no consumo do concreto, principalmente quando a laje é maciça. Portanto torna-se oportuno o estudo e conhecimento de soluções técnicas e economicamente otimizadas para a escolha dos tipos de laje.

O emprego de lajes nervuradas e de lajes industrializadas constituiu-se em uma evolução natural da laje maciça, proporcionando um alívio do peso próprio da estrutura e um aproveitamento mais eficiente do aço e do concreto. As lajes industrializadas, não deixam de ser lajes nervuradas, porém pré-fabricadas.

Existem dois tipos de lajes nervuradas industrializadas: laje nervurada pré-fabricada unidirecional e laje nervurada bidirecional.

De acordo com a ABRAPEX (2006), a laje nervurada pré-fabricada unidirecional utiliza, tradicionalmente, tijolos cerâmicos ou blocos de concreto como elementos de preenchimento de vãos entre nervuras. Esses materiais têm participação significativa no peso próprio da laje e geram perdas, por quebra de elementos e vazamento de concreto. O uso do EPS, como substituto desses materiais, elimina esse risco e reduz a mão-de-obra e os resíduos da construção na montagem dessas lajes conforme o detalhe da Figura 21.

Figura 21. Elemento de enchimento em laje nervurada pré-fabricada



Fonte: ABRAPEX, 2006.

Este tipo de laje possui nervuras principais dispostas em uma única direção, sendo formada por vigotas pré-fabricadas, complementadas por concreto moldado

no local. Quando submetidas a cargas concentradas devem possuir nervuras secundárias transversais perpendiculares às nervuras principais. O mesmo é necessário para as lajes cujo vão é superior a 4 metros, exigindo-se duas nervuras no mínimo, caso esse vão seja superior a 6 metros (FRANCA E FUSCO, 2001).

A laje nervurada bidirecional, apresentada na Figura 22, é uma concepção recente, que usa o EPS como elemento de preenchimento entre as nervuras.

Figura 22. Laje nervurada bidirecional com EPS



Fonte: Isoares, 2018.

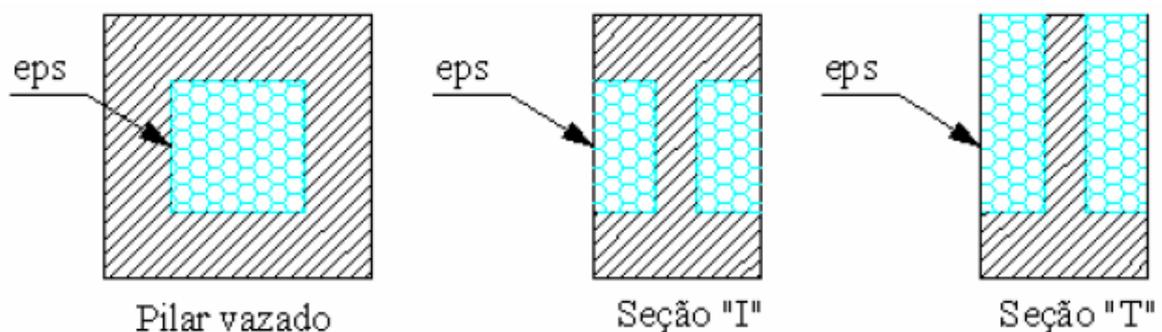
A solução permite vencer grandes vãos com lajes delgadas, econômicas e bem resolvidas estruturalmente. O alívio de peso próprio das lajes permite a redução de dimensionamento de toda a estrutura, o que se traduz em economia. O EPS pode ser fornecido como peça pronta, geralmente no comprimento de 1 metro e com seção necessária à laje a ser montada. Seu corte é fácil e os pedaços restantes servem para o uso na mesma laje, com perdas quase nulas. O assentamento se faz do mesmo modo que os blocos cerâmicos, mas com muito menos esforço e com o transporte interno na obra bem mais rápido, o que permite também uma economia de mão-de-obra de quase 50%. Na concretagem, não há quebra de blocos e as juntas são tão justas que a nata de cimento não vasa. Com isso, a superfície inferior da laje fica limpa e bem plana, permitindo um revestimento com menor consumo de argamassa. É recomendável, porém, um chapisco prévio aditivado com emulsões à base de acrílico ou PVA (ABRAPEX, 2006).

3.3.3 Enchimento de Elementos Estruturais

Nos dias atuais é possível projetar elementos estruturais de várias formas, atendendo tanto aos requisitos técnicos, econômicos e de estética, quanto de transporte e manuseio, no caso de peças pré-fabricadas. Estas formas podem ser facilmente obtidas através da utilização de EPS, nos formatos e tamanhos adequados para cada elemento específico.

De acordo com o Manual de Utilização EPS na Construção Civil (2006), a mão de obra necessária para a execução de fôrmas destinadas a pilares de seção vazada, seção I ou T invertido, torna-se trabalhosa, sendo conveniente nestes casos a utilização de EPS no interior das fôrmas a fim de se obter as geometrias necessárias para seguir rigorosamente as dimensões de elementos pré-estabelecidas em projeto arquitetônico, conforme detalhe na Figura 23.

Figura 23. Seções transversais de pilares com emprego de EPS



Fonte: ABRAPEX, 2006.

Em função da carga atuante nos elementos estruturais o engenheiro poderá otimizar o seu dimensionamento através da utilização de enchimento com EPS, uma vez que não possui flexibilidade para alterar as dimensões previamente estabelecidas. No caso de vigas estruturais sujeitas à passagem de tubulações, podem-se prever furos com a utilização de blocos de EPS no interior das fôrmas nos pontos pré-definidos. Após a concretagem do elemento e durante a desforma, os blocos de EPS poderão ser facilmente removidos (ABRAPEX, 2006).

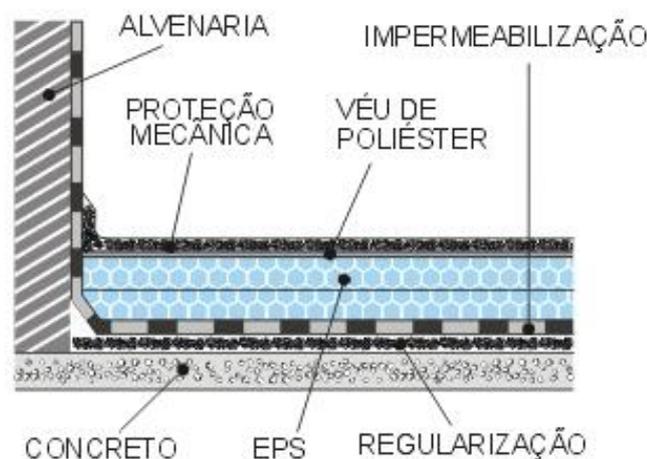
3.3.4 Isolamento Térmico de Lajes Impermeabilizadas

Dentre os produtos atualmente verificados no mercado nacional, para isolamento térmico de lajes impermeabilizadas, o EPS é um dos mais eficientes e possui o menor custo no mercado. Sua fixação é fácil e se obtém o isolamento desejado com espessuras bem delgadas. Há soluções de isolamento com vários materiais, mas se levarmos em consideração a relação custo/benefício, sem dúvida a melhor solução é usar placas de EPS. Para os climas do Brasil, 30 mm de espessura são suficientes para isolar com eficiência essas lajes (ABRAPEX, 2006).

De acordo com a ABRAPEX (2006), existem duas opções para isolar lajes impermeabilizadas:

A) O isolamento térmico sobre a impermeabilização: Após a aplicação da impermeabilização, as placas de EPS são fixadas geralmente com o próprio material de fixação do impermeabilizante, até com asfalto de baixo ponto de fusão. Só não se utiliza esse processo quando o fixador contém solventes orgânicos que destroem o EPS. Sobre as placas coloca-se um véu de poliéster e sobre este a proteção mecânica de argamassa desempenada. Em lajes de terraço transitável aplica-se o contrapiso para fixação do piso de acabamento. Se for para trânsito de veículos o contrapiso deve ser armado. Caso haja necessidade de juntas de dilatação, as mesmas devem seguir as recomendações inerentes ao projeto específico, devendo ser deixadas desde o contrapiso, conforme detalhe na Figura 24.

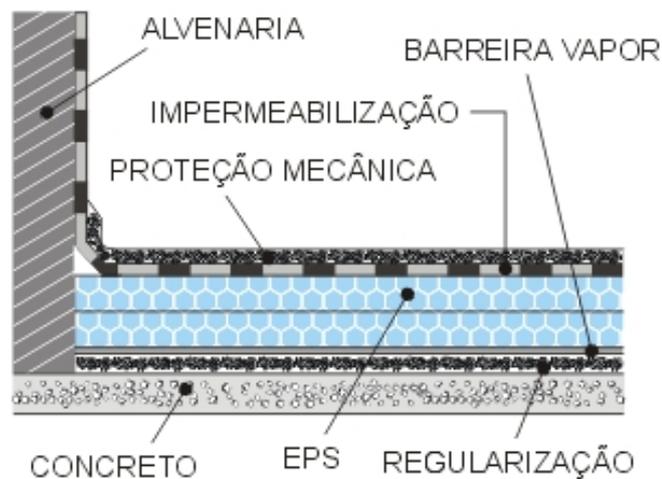
Figura 24. Isolamento térmico sobre a impermeabilização



Fonte: ABRAPEX, 2006.

B) O isolamento térmico sob a impermeabilização: Neste caso sobre regularização da laje aplica-se uma pintura impermeável ao vapor d'água. Colam-se as placas de EPS com as mesmas especificações do isolamento térmico sobre a impermeabilização. A impermeabilização definitiva é aplicada sobre o EPS, seguindo-se as especificações do fabricante. Sobre a impermeabilização aplica-se a mesma proteção mecânica ou o contra piso indicados no isolamento térmico, para posterior acabamento, conforme detalhe na Figura 25.

Figura 25. Isolamento térmico sob a impermeabilização



Fonte: ABRAPEX, 2006.

Em lajes de terraços transitáveis, recomenda-se o EPS tipo P2, com densidade aparente de 17 a 20kg/m³. Pode-se usar o EPS em pérola ou moído, como agregado na argamassa de regularização e enchimento, criando declividades necessárias ao bom escoamento de água (ABRAPEX, 2006).

3.3.5 Isolamento Térmico de Telhados e Paredes

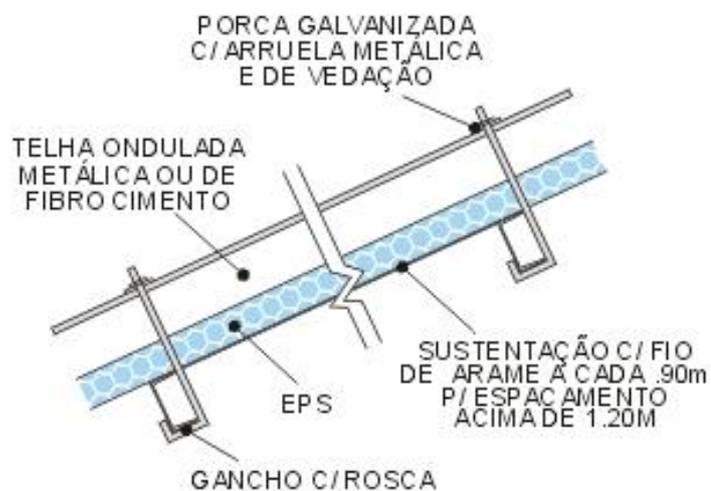
Um país com a extensão territorial do Brasil tem diferenças climáticas muito grandes. Frios intensos na região sul por ocasião do inverno e calor excessivo no verão tropical. Em ambos os casos há a necessidade de proteção da edificação através do isolamento térmico de paredes e telhados, seja por conforto ou por economia de energia.

Nos casos de edificações térreas a superfície de exposição ao calor ou frio tem 70% da troca de calor através do telhado. Em sobrados, a média dessa troca de calor reduz para 50%. Portanto, a cobertura é o maior responsável pelas perdas ou ganhos de calor nos edifícios de 1 ou 2 pavimentos. Para que a construção obtenha resultados confortáveis e de manutenção econômica é necessário pensar no isolamento térmico da cobertura. Em climas de variações muito grandes em relação às temperaturas de conforto o mesmo cuidado deve ser tomado com as paredes (ABRAPEX, 2006).

O EPS pode ser fornecido em placas nas espessuras adequadas a um bom isolamento térmico. O isolamento térmico de telhados pode ser feito diretamente sob as telhas. Neste caso há diferentes posições de acordo com o processo construtivo usado ou tipo de telha.

Para os telhados compostos por telhas de fibrocimento, as placas de EPS são colocadas juntamente com as telhas, sobre as terças ou entre elas, nas dimensões previamente estabelecidas, visando uma otimização do corte para o máximo aproveitamento das mesmas. Usa-se como apoio fios de arame esticados transversalmente as terças e fixados nelas, conforme detalhe na Figura 26.

Figura 26. Isolamento térmico de telhados com telhas de fibrocimento



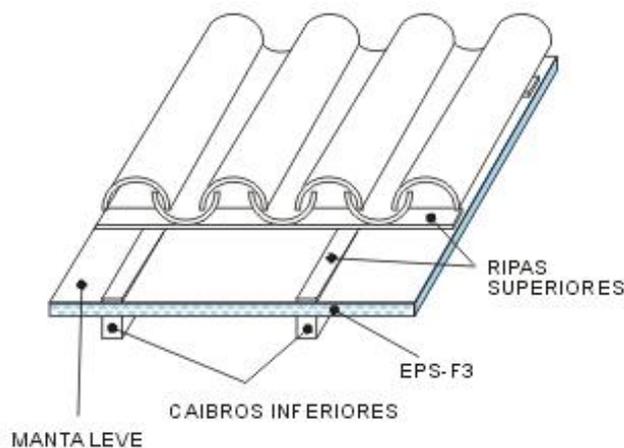
Fonte: ABRAPEX, 2006.

De acordo com a ABRAPEX (2006), o EPS possui características físicas e de alta resistência mecânica relacionada com baixo coeficiente de condutividade

térmica (0,030 a 0,034 w/m°C) e baixo índice de absorção de água, tornando-o o material mais indicado para o isolamento térmico de coberturas planas ou telhado.

Para telhados com telhas cerâmicas, telhas ou ardósia colocam-se as placas de EPS com juntas verticais sobre os caibros, se possível com encaixes na horizontal que impeçam a penetração eventual de água. Sobre os caibros pregam-se ripas como mata-juntas e sobre elas as ripas de apoio das telhas, conforme detalhe na Figura 27.

Figura 27. Isolamento térmico de telhados com telhas cerâmicas, telhas ou ardósia



Fonte: ABRAPEX, 2006.

Na Europa, onde as telhas são padronizadas, há placas com relevos já próprios para o apoio das telhas, dispensando as ripas.

De acordo com a ABRAPEX (2006), é aconselhado o uso de material de Classe P1 para coberturas sem trânsito, Classe P2 para coberturas e terraços com trânsito de pedestres e Classe P3 para coberturas e estacionamentos com trânsito de veículos.

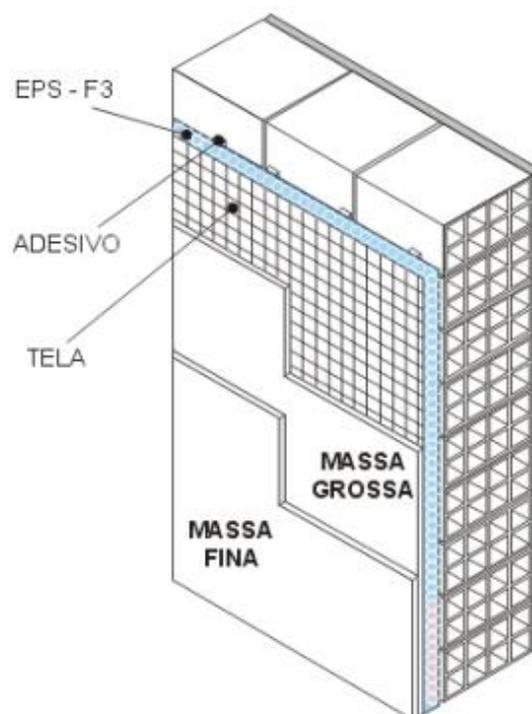
Em telhados já executados o isolamento térmico com EPS também pode ser adotado seguindo-se recomendações específicas.

Sempre que a estrutura e o espaço interno permitirem devem-se aplicar as placas sob as telhas, fixando-as sob os caibros pregando-se ripas como mata-juntas. Não havendo condições de fazê-lo pode-se sempre isolar sobre o forro, seja ele de laje, madeira ou gesso. Sua fixação pode ser feita com adesivos a base de água ou álcool. Este uso exige material da série F, ou seja, material retardante à chama (ABRAPEX, 2006).

Existem casos em que a irradiação do sol poente chega a aquecer as paredes voltadas para oeste, transformando-as numa bateria que acumula calor. Ao anoitecer, elas irradiam o calor para dentro de casa. Em locais de inverno muito frio acontece o contrário, as paredes se resfriam à noite e roubam o calor do interior das casas. Para ambos os casos, a solução é isolar externamente as paredes afetadas. No primeiro caso as paredes poderiam ser apenas bem sombreadas, o que parece mais fácil, mas nem sempre econômico. Já no caso de invernos rigorosos todas as paredes externas devem ser isoladas, o que se pode fazer facilmente com EPS.

O isolamento pela face externa das paredes é o mais eficiente porque suprime pontos térmicos, reduz os movimentos decorrentes do diferencial de temperatura na estrutura e acrescenta a inércia térmica na manutenção da temperatura interna da casa. O sistema mais comum de isolamento é com revestimento de argamassa sobre as placas isolantes e o melhor material para esse sistema é o EPS. Usa-se o tipo F II, de 16 a 20kg/m³, em placas que são fixadas sobre o emboço externo das paredes. Sobre elas é aplicada uma tela que recebe o revestimento de argamassa de acabamento conforme detalhe na Figura 28.

Figura 28. Detalhe da tela que recebe o revestimento de argamassa sobre as placas de isolante de EPS



Fonte: ABRAPEX, 2006.

A argamassa de acabamento deve ser pintada com tintas resistentes à água para impedir a infiltração da chuva e de cor clara para reduzir a absorção de calor, pois ambas prejudicam o revestimento do isolamento. (ABRAPEX, 2006).

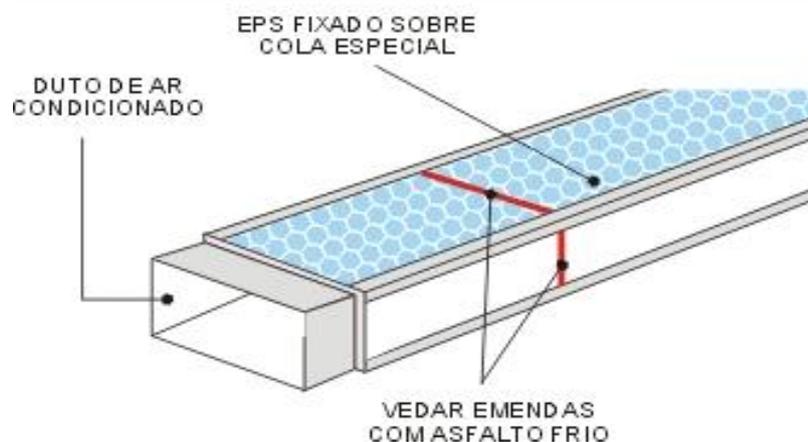
3.3.6 Isolamento Térmico de Dutos de Ar Condicionado

Os dutos em chapa galvanizada para condução de ar condicionado são isolados termicamente para manter a temperatura do ar até sair dos difusores, chegando aos ambientes com temperatura e umidade adequadas. Além disso, o isolamento evita a condensação de água nas faces externas dos dutos, pelo diferencial de temperatura ali existente (ABRAPEX, 2006).

O material de isolamento deve ser escolhido por suas qualidades e pelo seu custo final. Sob esse aspecto o EPS é um dos materiais mais consumidos para essa finalidade. Possui estrutura resistente e impermeável, manipulação e corte fáceis, além de baixo coeficiente de condutividade térmica.

Conforme informações da ABRAPEX (2006), para o isolamento térmico de dutos de ar condicionado é utilizado o EPS classe F I com espessuras que variam de 13 mm a 50 mm, dependendo da posição dos dutos em relação ao edifício. Todos os casos devem ser calculados, a colocação deve ser bem ajustada sobre os dutos sem ressaltos ou vazios e as juntas vedadas com asfalto frio conforme detalhe na Figura 29.

Figura 29. Detalhe da vedação das juntas através de asfalto frio



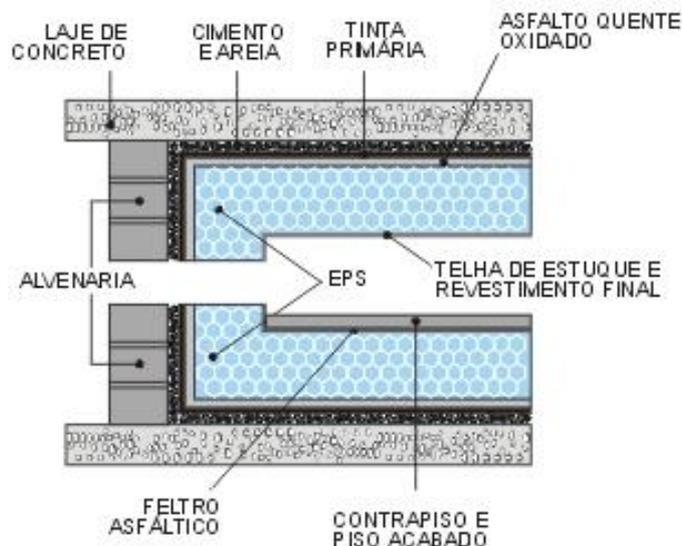
Fonte: ABRAPEX, 2006.

3.3.7 Isolamento Térmico em Câmaras Frias ou Frigoríficas

O abastecimento dos grandes centros depende cada vez mais das câmaras frias ou frigoríficas, seja pelo mercado interno, seja pelas exportações. Para que se tenha uma câmara eficiente, durável, de baixo custo de construção e de manutenção, são necessários cuidados com o isolamento térmico. Uma câmara com isolamento e impermeabilização corretos, dentro das normas, garantem temperatura adequada e constante, além de custos menores no consumo de energia.

O EPS tem se mostrado um excelente material para isolamento, tanto em câmaras construídas com alvenaria como pré-fabricadas em painéis revestidos de chapa galvanizada e pintada. O primeiro cuidado que se deve tomar é quanto à especificação do EPS dentro da ABNT/NBR 11752:2016. No caso das câmaras construídas, o cuidado maior deve ser com a impermeabilização, que precisa ser através da barreira de vapor d'água e executada com perfeição. O isolamento térmico deve ser feito por duas camadas com juntas desencontradas. As espessuras devem variar de acordo com a temperatura de uso e classificação do material. A ABRAPEX (2018) recomenda o uso de F III, por ser o mais eficiente isolamento de temperaturas abaixo de zero. A Figura 30 apresenta o detalhe da instalação de isolamento térmico em câmaras frias ou frigoríficas.

Figura 30. Detalhe da instalação de isolamento térmico em câmaras frias ou frigoríficas



Fonte: ABRAPEX, 2006.

A câmara fria ou frigorífica construída deve ser cuidadosamente verificada ao ser impermeabilizada para não haver infiltração de vapor d'água, que prejudicará o isolamento térmico, qualquer que seja o isolante.

De acordo com a ABRAPEX (2018), a montagem de câmaras em painéis pré-fabricados em EPS é considerada isolamento de terceira geração. Os painéis são geralmente revestidos com chapas metálicas. A montagem é mais rápida e as barreiras de vapor mais eficientes, além de paredes delgadas que ocupam menos espaço para mesmos volumes de câmaras.

O núcleo de EPS e o revestimento são unidos por colagem e prensagem, formando um elemento rígido e de resistência mecânica com resultados positivos. O fechamento do teto com painéis suspensos dispensa lajes e permite grandes vãos sem colunas dentro da câmara.

3.3.8 Isolamento Acústico – Piso Flutuante

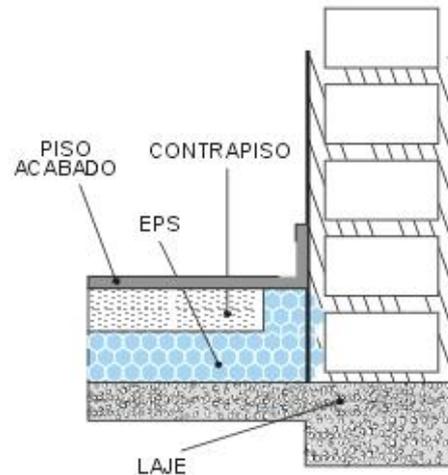
Com a proliferação de edifícios de apartamentos e escritórios, surgem novos problemas que exigem novas soluções construtivas. Um deles é o ruído provocado geralmente por impacto nos pisos, que se transmite pela laje para o ambiente nos andares superiores. Este tipo de problema é muito comum e pode ser resolvido com uma solução construtiva de baixo custo denominada piso flutuante.

Aplica-se um revestimento sobre a laje regularizada com placas de EPS de 20 mm de espessura classificação P I preparadas para essa finalidade. Cobrem-se as placas com um filme leve de polietileno para em seguida aplicar-se o contra piso. Este receberá o piso de acabamento conforme detalhe na Figura 31.

É necessário tomar cuidado para que o EPS torne o piso e contrapiso totalmente isolado. Sendo assim, todo ruído ou impacto que atingir o piso é atenuado pelo EPS, não chegando à laje de modo audível no andar inferior (ABRAPEX, 2006).

Da mesma maneira que o piso flutuante, paredes entre apartamentos ou casas contíguas que recebem esse tipo de EPS, aplicado entre duas alvenarias delgadas ou até entre uma alvenaria e um revestimento rígido, têm os ruídos atenuados.

Figura 31. Detalhe da instalação do piso flutuante

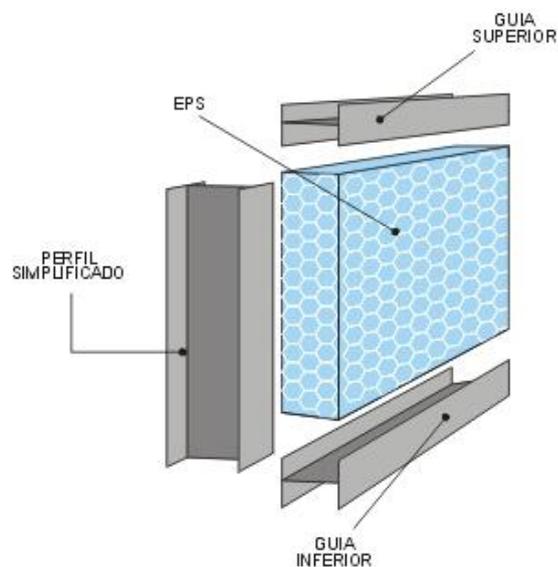


Fonte: ABRAPEX, 2006.

3.3.9 Isolamento Acústico – Painéis Divisórios

A vida moderna levou à flexibilidade de espaços utilizados no trabalho. O uso de divisórias leves permitem adaptações internas rápidas através de divisórias desmontáveis. Os painéis leves são fáceis de produzir usando o EPS como preenchimento interno e diversos materiais como revestimento, conforme detalhe na Figura 32.

Figura 32. Detalhe da instalação de painéis divisórios



Fonte: ABRAPEX, 2006.

Conforme estudos da ABRAPEX (2006), apenas as portas divisórias em EPS necessitam de requadro de madeira. A espessura do painel mais usado é de 35 mm. A modulação da maioria dos painéis é de 1,20 m, o que se adapta perfeitamente aos blocos de EPS produzidos, racionalizando o corte com um máximo de utilização. Os adesivos são diversificados e dependem do material de revestimento, evitando aqueles que contenham solventes derivados de petróleo, pois os mesmos atacam o EPS.

Nas diversas formas de aplicação do EPS nesses painéis, as vantagens são consideráveis quanto à redução de peso, isolamento térmica e acústica, além da economia com a mão-de-obra.

3.3.10 Forros Isolantes e Decorativos

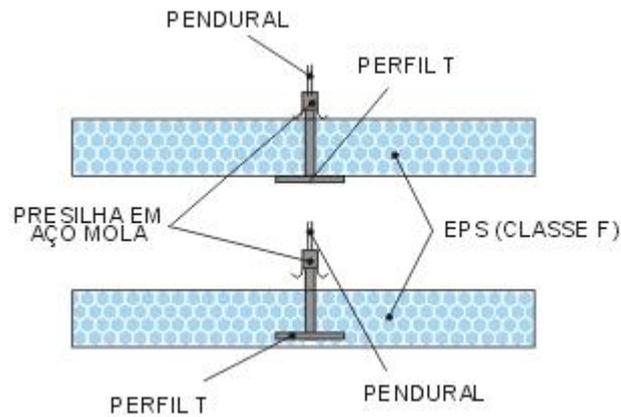
Existem várias soluções arquitetônicas que demandam forros sob telhados ou sob lajes estruturais que suportam instalações e tubulações que devem ser forradas. Bem como também existem várias soluções para forros, entre elas os forros de EPS.

De acordo com a ABRAPEX (2006), o forro de placas de EPS sustentadas por perfilados metálicos é um dos materiais mais práticos, baratos e isolam termicamente os ambientes forrados.

O sistema de sustentação pode ser simples perfilados de chapa galvanizada pintada suspensos por tirantes. As placas de EPS são autoportantes, isolantes, impermeáveis, permitem relevos decorativos e podem ser pintadas com tintas à base de PVA e acrílico. São de manuseio fácil, antialérgicas e não são atacadas por cupins. A instalação do sistema metálico se inicia pregando uma cantoneira nas paredes determinando o nível do forro. Em seguida os tirantes são fixados na estrutura superior, seja ela de madeira, aço ou concreto, dando suporte ao forro a cada metro. Após essa etapa, os perfis inteiros são colocados na menor largura do ambiente e os perfis menores são fixados nos perfis inteiros formando retângulos, geralmente de 0,50 x 1,00 m que receberão as placas de EPS presas aos perfis por presilhas de mola (ABRAPEX, 2006).

A Figura 33 apresenta um detalhe da instalação do sistema metálico com as placas de EPS.

Figura 33. Detalhe da instalação do sistema metálico com as placas de EPS



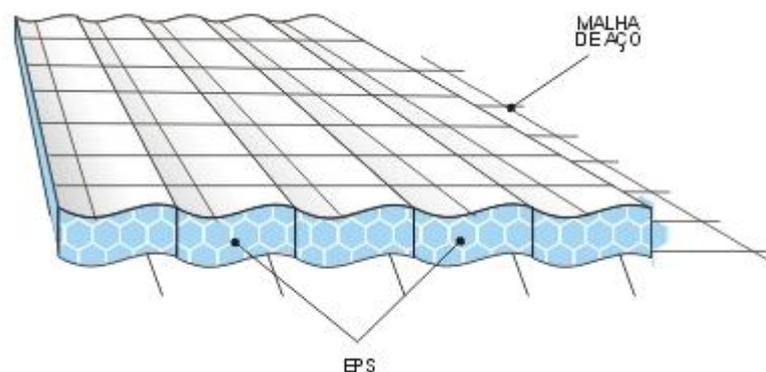
Fonte: ABRAPEX, 2006.

O aspecto final de forros isolantes e decorativos fica muito agradável e a possibilidade de pintura representa mais um leque de variações na decoração dos ambientes.

3.3.11 Painéis Auto-Portantes

Com o desenvolvimento da argamassa armada pode-se obter peças estruturais bem delgadas. A junção desse sistema com o interior de EPS desenvolveu-se um painel que montado antes da aplicação de argamassa torna-se monolítico depois de pronto, criando uma edificação à prova de abalos sísmicos, leve, além de muito confortável, conforme detalhe na Figura 34.

Figura 34. Painel auto-portante com malha de aço e EPS



Fonte: ABRAPEX, 2006.

De acordo com a ABRAPEX (2006), foram realizados testes feitos no Instituto de Pesquisas Tecnológicas no Estado de São Paulo, o IPT, e os mesmos demonstraram uma grande resistência ao fogo e um positivo resultado em relação ao conforto térmico no interior de casas feitas com painéis auto-portantes, resultado este bem superior a casas construídas por processos convencionais.

Pela sua resistência, esses painéis são usados também como lajes de cobertura e até piso. Sendo assim é possível obter um processo construtivo sem perdas e com grande economia de escala. Por não absorver água o EPS forma paredes impermeáveis.

A seqüência de montagem de painéis na construção de casas é simples, após concretar as fundações calculadas para suportar apenas 100 kg/m² de paredes e tetos, e deixando nelas pontas de ferro para amarração dos painéis, estes são montados no prumo e amarrados entre si por grampos ou arame recozido. As tubulações de água e eletrodutos são facilmente inseridos nos painéis, após abrir seu espaço com calor. Faz-se a primeira projeção de argamassa em ambas as faces dos painéis de EPS. Após fixar os caixilhos e esquadrias, repete-se a projeção de argamassa, dando-se ao mesmo tempo o acabamento com desempenadeira e feltro. Nas áreas molhadas, colam-se azulejos com argamassa aditivada. Após concluída, a casa fica com aspecto de casa de alvenaria, porém com paredes mais delgadas, muito mais leves e muito mais confortáveis (ABRAPEX, 2006).

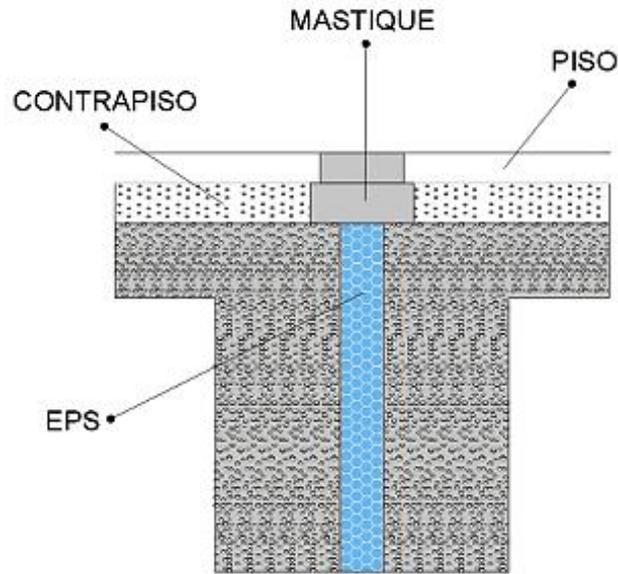
3.3.12 Juntas de Dilatação

Toda estrutura de concreto com mais de 35 metros de extensão deve ter juntas de dilatação. A execução dessas juntas, conforme detalhe na Figura 35, torna-se mais fácil se o material que se usar for durável e elástico para poder permanecer no local após a concretagem.

Conforme informações da ABRAPEX (2006), nada se aplica melhor para isso que o EPS. Elástico, porém resistente, durável, não absorve água e de baixo custo, é o material ideal para essa finalidade.

Ao se concretar uma estrutura com junta de dilatação, o primeiro lance a ser concretado utiliza formas convencionais. Ao se concretar o segundo lance, usam-se placas de EPS como forma entre as partes.

Figura 35. Detalhe das juntas de dilatação com o uso de EPS



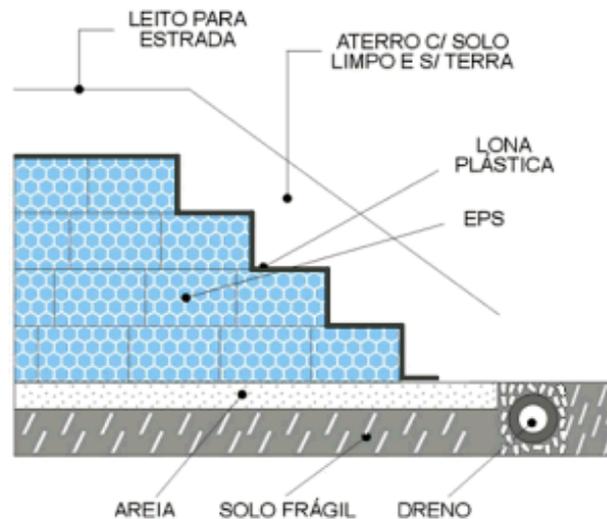
Fonte: ABRAPEX, 2006.

3.3.13 Fundações para Estradas

Áreas com solos de baixa capacidade de carga são comuns, trazendo problemas de fundação nas construções principalmente para estradas e outras infra-estruturas. Pelo alto custo na substituição e compactação de solo ou nas fundações profundas, criou-se na Europa e hoje já está difundido no mundo, inclusive no Brasil, o processo de aterro com EPS. Para a fundação nas estradas é colocado sobre o solo limpo uma camada de areia nivelada para receber os blocos de EPS que são colocados inteiros e com juntas desencontradas. Depois é colocada outra camada sobre a primeira e assim sucessivamente, formando um tronco de pirâmide para distribuir a carga da estrada em uma área compatível com a resistência mecânica do solo conforme detalhe na Figura 36.

Os blocos são finalmente cobertos com um filme de polietileno para protegê-los de eventual derramamento de solventes que possam atacá-los. A base da pavimentação já pode ser preparada e nas laterais coloca-se terra para plantio das encostas. Concluída a pavimentação obtêm-se estradas de baixo custo de manutenção. Em locais alagadiços, devem-se fazer drenos no pé do aterro para evitar a ação do empuxo nos blocos (ABRAPEX, 2006).

Figura 36. Detalhe das fundações para estradas com blocos de EPS



Fonte: ABRAPEX, 2006.

Nas cabeceiras de pontes o EPS substitui com vantagens os aterros convencionais. Em primeiro lugar, porque não cria esforços horizontais no tabuleiro da ponte, facilitando o cálculo e reduzindo o dimensionamento da estrutura. Em segundo lugar, porque não cede com o tempo, mantendo sempre o nível do aterro de acesso inalterado, evitando degraus tão frequentes nas estradas. A Figura 37 apresenta um exemplo de aterro realizado em estradas com blocos de EPS. O método utilizou blocos de EPS no aterro de um viaduto em Jundiaí, interior de São Paulo.

Figura 37. Exemplo do uso dos blocos de EPS no aterro de um viaduto em Jundiaí



Fonte: Piniweb, 2013.

3.3.14 Sistemas de Blocos Vazados de EPS

As unidades de alvenaria são disponíveis na forma de tijolos e blocos, produzidas com argila, concreto ou silicato de cálcio. As unidades de concreto são as mais utilizadas no Brasil, seguidas pelas unidades de cerâmicas e as de silico-calcárias. Os tijolos de blocos são produzidos em diversas dimensões e formas podendo ser sólidos, perfurados ou vazados.

De acordo com Hendry (2001), os tijolos são tipicamente de 102 x 65 x 215 mm (largura x altura x comprimento), enquanto os blocos são fabricados em dimensões de 60 x 150 x 400 mm e 250 x 300 x 600 mm (largura x altura x comprimento).

Medeiros (1993) sugere que as dimensões dos blocos de concretos sejam superiores a 120 x 55 x 250 mm (largura x altura x comprimento), constituídos pela mistura homogênea e adequadamente proporcionada, de cimento Portland, agregado miúdo e graúdo, conformada por vibração e prensagem.

A Associação Brasileira de Cimento Portland, ABCP (2018) relata que foi nos Estados Unidos foi no final do século XIV que surgiram os blocos de concretos vazados. Em seguida houve um crescimento para o uso da alvenaria em blocos de concreto na Europa, particularmente na França, Inglaterra e Alemanha.

No Brasil, a chegada da primeira máquina para produção dos blocos de concreto, importada pelos Estados Unidos na década de 1950, marcando o início da história desses componentes.

A ABNT NBR 7217:1987 estabelece os limites granulométricos para as areias e devem possuir utilizados na confecção do concreto. Prescreve que os grãos das areias devem possuir diâmetro entre 0,15 mm e 6,3 mm, enquanto os pedriscos, grãos entre 2,4 mm e 9,5 mm. As areias naturais usadas para a produção de blocos devem possuir grãos duros, compactos, duráveis e limpos, não contendo substancias que possam afetar a hidratação e endurecimento do cimento. Esses agregados necessitam ser lavados para a retirada dos excessos de material fino e da matéria orgânica.

Os agregados graúdos empregados na produção de blocos de concreto devem ser, de acordo com a ABNT NBR 7211 (1983), originados da britagem de

rochas duras, como por exemplo, calcários dolomíticos e rochas basálticas e graníticas.

Medeiros (1993) define que os principais insumos empregados na fabricação dos blocos de concreto são:

- Para a fração grossa: pedra britada de graduação zero, ou seja, pedrisco e pedregulho natural;
- Para a fração fina: areia natural e areia artificial;
- Aglomerante: cimento Portland;
- Aditivos: redutores de água e plastificantes;
- Água.

Os sistemas de blocos vazados de EPS consistem na substituição de porcentagens de agregado miúdo e graúdo do concreto convencional por pérolas de poliestireno expandido (EPS), sendo caracterizado pelo reduzido peso específico e elevada capacidade de isolamento térmico e acústico.

Este sistema de alvenaria é uma composição de blocos de EPS de alta densidade que permite a colocação rápida, por sistema de encaixe, dos blocos armados e concretados nos vazios, tornando a alvenaria monolítica, como apresenta a Figura 38.

Figura 38. Detalhe do encaixe de blocos vazados de EPS



Fonte: Tecdream, 2018.

O sistema reduz a mão-de-obra, o desperdício e o tempo de construção. Oferece maior controle das dimensões, velocidade e alinhamento de paredes, além

de promover um isolamento térmico e acústico não obtido nos sistemas convencionais de construção. Nos climas frios, reduz sensivelmente a necessidade de calefação; nos climas quentes, diminui drasticamente o uso do ar condicionado ou ventilação, ambos com grande economia de energia. Os blocos têm paredes com 40 mm de EPS em ambas às faces e são fornecidos nas dimensões de 1200 x 300 x 140 mm (largura x altura x comprimento), podendo ser facilmente recortados quando necessário, de acordo com o projeto. O pé-direito bruto deve ser múltiplo de 0,30 m para permitir o uso de blocos inteiros nas alturas (ABRAPEX, 2006).

A cada fiada de blocos coloca-se uma barra de aço fina, amarrada intermitentemente nas barras verticais. A operação é repetida até a altura da laje, que também é pré-fabricada com vigotas de concreto e elementos de enchimento de EPS. Após a conclusão da etapa anterior, o EPS é recortado facilmente e as tubulações elétricas e hidráulicas são encaixadas nos recortes, e fixadas com argamassa mista, conforme está apresentado na Figura 39. Concluída as instalações, os revestimentos são executados respeitando-se os vãos das portas e janelas, que serão instaladas. Revestimentos especiais, como azulejos e pedras são feitos no final, após a fixação dos caixilhos das esquadrias. Os forros e pisos devem seguir a instalação convencional (ABRAPEX, 2006).

Figura 39. Detalhe do recorte de blocos vazados de EPS



Fonte: Tecdream, 2018.

Conforme a ABRAPEX (2006) as fundações irão receber a carga distribuída em toda a extensão e para a execução devem ser deixadas pontas de aço de construção, no eixo das paredes, com mais ou menos 60 cm, respeitando a modulação da perfuração dos blocos. Em seguida, deve ser aplicada a impermeabilização, que impedirá a subida de umidade. Após essa etapa inicia-se a montagem dos blocos, a continuidade das barras de aço e das eventuais tubulações de esgoto. Os vazios dos blocos são preenchidos com concreto, com o traço especificado de acordo com o tipo de edificação.

3.3.15 Drenagem

Na Europa, as pesquisas com EPS levaram à criação de placas de poliestireno com qualidades drenantes. No processo de fabricação, quando as pérolas de EPS pré-expandidas são transformadas em blocos impermeáveis pela soldagem integral destas, usa-se um artifício para obter uma soldagem parcial, homogênea e controlada. É assim que se obtêm blocos com microcanais que funcionam como dreno de grande eficiência (ABRAPEX, 2006).

Para a identificação de tais blocos, é utilizado um banho de emulsão asfáltica que lhes proporciona uma coloração escurecida. De acordo com o Manual de Utilização EPS na Construção Civil (2006) esse material é poroso, rígido, leve, permite cortes com facilidade e amplia as possibilidades de drenagem, simplificando o trabalho e reduzindo os custos.

Existem três tipos de drenagens, sendo elas:

A) Drenagem em muros de arrimo: As placas são aplicadas sobre a impermeabilização, diretamente na face interna do muro, tendo na base um tubo drenante para esgotamento da água. Nesse caso, o aterro pode ser feito em contato direto com as placas. O EPS, além de dreno, é uma proteção mecânica para a impermeabilização, conforme detalhe na Figura 40.

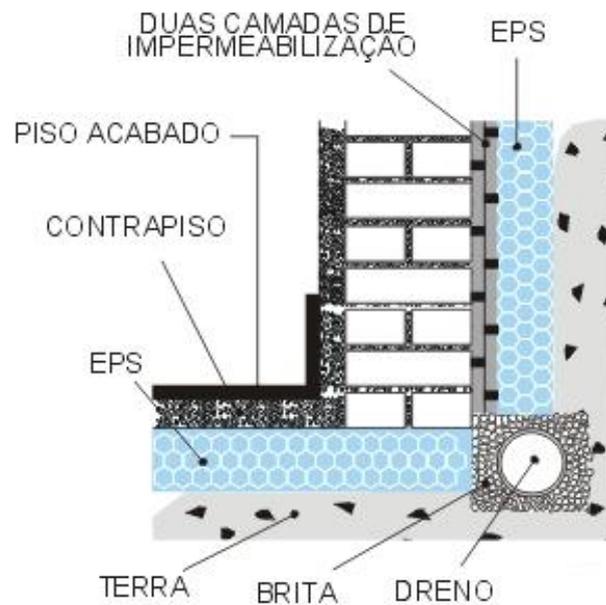
A aplicação de EPS deve ter cerca de 50 mm para muros expostos e 35 mm para muros de porões. Devem ser usadas, de preferência, placas do tipo P1, drenante.

B) Drenagem de quadra esportiva: As placas são colocadas de pé nas valas preparadas para isso, e vão conduzir a água para tubos de esgotamento. Neste

caso usa-se também o EPS em flocos ou pérolas misturado ao solo em até 50%, melhorando sensivelmente o escoamento das águas para as placas de drenagem.

C) Drenagem de pisos internos: Quando o lençol freático se encontra muito próximo do nível do piso de uma edificação, colocam-se sobre a terra placas de EPS drenante na horizontal sobre tubulação de esgotamento. Cobrem-se as placas com um filme leve de polietileno para sobre ele aplicar o concreto do contrapiso.

Figura 40. Detalhe do recorte de blocos vazados de EPS



Fonte: ABRAPEX, 2006.

3.3.16 Concreto Leve com EPS

O concreto de cimento Portland é o material de construção mais utilizado em todo o mundo. Isso se deve, ao menos em parte, ao fato de seus componentes serem produzidos, de modo relativamente fácil, a partir do emprego de matérias-primas locais, bem como pelo fato de o concreto ter uma aplicação versátil, adaptando-se facilmente às condições existentes (ROSSIGNOLO, 2009).

Desde a invenção do concreto moderno, com a patente do cimento Portland obtida por Joseph Aspdin, até o início da década de 1970, o concreto continuou sendo "simplesmente" uma mistura de agregados, cimento e água, sem ser alvo de

grandes inovações que alterassem significativamente o desempenho de suas propriedades.

Nas quatro últimas décadas, porém, houve uma grande evolução na tecnologia desse material, devido, essencialmente, ao aprimoramento de técnicas e equipamentos para o estudo do concreto, assim como ao uso de novos materiais. Dentre esses novos materiais destacam-se os aditivos redutores de água e as adições minerais pozolânicas, que possibilitaram melhorias significativas no desempenho das propriedades dos concretos relacionadas à resistência mecânica e à durabilidade. Dentre as novas técnicas de estudo dos concretos, destacam-se as técnicas de estudos micro estruturais, que permite o conhecimento aprofundado da microestrutura da matriz de cimento e da zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento.

Essas inovações na tecnologia dos concretos resultaram em um incremento da utilização dos concretos especiais, como os concretos leves.

De acordo com Rossignolo (2009), o peso das estruturas em concreto é elevado quando comparado às cargas aplicadas, especialmente em estruturas de grandes vãos, como as pontes e os edifícios de múltiplos pavimentos. Nesses casos, melhorias consideráveis no desempenho da estrutura em concreto armado podem ser geradas com a redução do peso total, por exemplo, com o uso de agregados leves.

O concreto com agregados leve, apresenta-se como um material de construção consagrado em todo o mundo, com aplicação em diversas áreas da construção civil, como edificações pré-fabricadas, pontes e plataformas marítimas. A ampla utilização desse material é particularmente atribuída aos benefícios promovidos pela diminuição da massa específica do concreto, como a redução de esforços na estrutura das edificações, a economia com formas e cimbramento, bem como a diminuição dos custos com transporte e montagem de construções pré-fabricadas.

De acordo com Spitzner (1994) e Armelin et al. (1994), é considerado concreto leve de alto desempenho um concreto com fator de eficiência acima de 25 MPa.dm³/kg. Esse valor limite foi obtido tendo como referência um concreto com agregados convencionais, com resistência à compressão de 60 MPa e massa específica de 2400 kg/m³, classificado por Spitzner (1994) como de alta resistência.

Assim, considera-se concreto leve de alto desempenho, por exemplo, um concreto com resistência à compressão de 30 MPa, desde que sua massa específica seja inferior a 1200 kg/m³.

Além da redução da massa específica, a substituição dos agregados convencionais por agregados leves pode ocasionar alterações significativas em outras importantes propriedades do concreto, com destaque para trabalhabilidade, resistência mecânica, módulo de deformação, durabilidade, estabilidade dimensional, condutividade térmica, resistência a altas temperaturas e espessura da zona da transição entre o agregado e a pasta de cimento. O conhecimento dessas modificações é fundamental para a correta aplicação desse material (ROSSIGNOLO, 2009).

Um aspecto importante a se considerar refere-se ao fato de os concretos leves apresentarem um aumento do consumo de energia para sua produção em relação aos concretos convencionais, para a mesma tensão de trabalho, em função da produção dos agregados leves em fornos rotativos.

Deve-se ressaltar, porém, que a energia adicional utilizada na produção dos agregados pode ser facilmente compensada pela redução da massa específica do concreto, que, em casos particulares, favorece a redução da armadura, do volume total de concreto e da energia utilizada no transporte e no processo construtivo.

Além disso, quando comparado ao concreto convencional, o concreto leve promove a redução do consumo de energia no condicionamento térmico das edificações quando utilizado nas vedações.

A primeira indicação conhecida da aplicação dos concretos com agregados leves data de aproximadamente 1100 a.C., quando construtores pré-colombianos, originários da região da atual cidade de El Tajin, localizada no México, utilizaram uma mistura de pedra-pomes com um ligante à base de cinzas vulcânicas e cal para a construção de elementos estruturais.

A despeito desses registros, as aplicações históricas mais conhecidas dos concretos com agregados leves foram construídas pelos romanos, durante a República Romana, o Império Romano e o Império Bizantino, destacando-se, na Itália, a cobertura do Panteão e o Coliseu de Roma.

Os romanos, com a intenção de reduzir as cargas nas estruturas, utilizaram concretos que combinavam aglomerante à base de cal e rochas vulcânicas (Rossignolo, 2009).

A cobertura do Panteão de Roma é uma cúpula abobadada com 44 m de diâmetro. Após ter sido destruída por um incêndio, o imperador Adriano decidiu, em 125 d.C., por sua reconstrução utilizando concreto com pedra-pomes.

Visando melhorar seu desempenho estrutural, o projeto da nova cúpula apresentava algumas inovações, como valores variáveis de espessura e de massa específica do concreto (maiores na base e menores no topo), conforme apresenta a Figura 41.

Figura 41. Cobertura do Panteão de Roma, Itália



Fonte: Autora, 2019.

A cúpula ainda hoje se encontra em perfeito estado de conservação.

No Coliseu de Roma, anfiteatro para 50 mil espectadores construído entre os anos 75 e 80 a.C., também foi utilizado concreto com agregados leves, mais especificamente, na estrutura de fundação e em diversas paredes conforme apresenta a Figura 42.

Os agregados leves podem ser classificados em naturais ou artificiais. Os agregados leves naturais são obtidos por meio da extração direta em jazidas, seguida de classificação granulométrica. Esse tipo de agregado leve tem pouca

aplicação em concretos estruturais em função da grande variabilidade de suas propriedades e da localização e disponibilidade das jazidas. Como exemplo pode-se citar a pedra-pomes e o tufo vulcânico.

Figura 42. Paredes do Coliseu de Roma, Itália



Fonte: Autora, 2019.

Os agregados leves artificiais são obtidos em processos industriais e, normalmente, são classificados com base na matéria-prima utilizada e no processo de fabricação, como por exemplo, a argila expandida, a escória sinterizada e o EPS.

O concreto leve com EPS é um concreto do tipo cimento-areia que, em vez de utilizar pedra britada, usa EPS em pérolas pré-expandidas ou flocos reciclados. Quando a mistura se solidifica, envolve as pérolas de EPS, resultando em um concreto de baixa densidade aparente. Pode ser utilizado em estruturas que não exijam grandes esforços na construção civil. Por conta de sua leveza e propriedades tais como resistência, isolamento térmico e baixa densidade, o uso do EPS na mistura de concreto agrega economia, dimensionamento estrutural adequado e facilidade de manuseio na obra. A mistura do concreto leve tem que ser feita em betoneira. Como o EPS é muito leve e sua absorção de água é pequena, as pérolas tendem a flutuar na água durante a mistura. Para evitar o problema, é preciso aplicar um aditivo, que pode ser cola branca de madeira ou papel para aumentar a massa do EPS.

A produção e aplicação de concreto leve encontram-se regulamentada pela norma ABNT NBR 12.644:2014, não podendo ser utilizado em aplicações estruturais. É composto basicamente de cimento, areia, água e tendo como agregado, vermiculita, ou EPS triturado, ou argila expandida, ou mistura destes, em substituição de parte da areia e da brita, ou exclusão desta última. Com grande quantidade de EPS, necessita da adição de adesivo solúvel em água, como por exemplo, a cola branca.

O concreto leve pode ser aplicado nos seguintes locais:

- Preenchimento de lajes;
- Blocos;
- Envelopamento de tubulações;
- Contra-pisos;
- Elementos de vedação interna (paredes);
- Revestimento de fachadas.

O concreto leve possui as seguintes características:

- Baixa densidade (400 a 1.600 kg/m³);
- Melhor isolamento termo-acústico;
- Melhor impermeabilização;
- Redução do custo da obra (20 a 30%);
- Menor consumo de água e areia;
- Excelente plasticidade.

3.4 TÉCNICAS DE APROVEITAMENTO DO EPS

3.4.1 Reciclagem Direta ou Mecânica

O EPS, material em estudo, que antes era descartado, tem 100% de possibilidade de reaproveitamento, sendo, inclusive, apontado pela PNRS como material reciclável.

O EPS pode ser reciclado de três formas: reciclagem mecânica, que transforma o produto em matéria prima para a fabricação de novos produtos; reciclagem energética, que usa o EPS para a recuperação de energia em função do

seu alto poder calorífico; e reciclagem química, que reutiliza o plástico para a fabricação de óleos e gases.

A reciclagem dos resíduos de poliestireno expandido (EPS) pode ser feita de forma direta ou indireta.

A reciclagem direta ou mecânica compreende na etapa de desintegração do EPS, seguida de extrusão convencional, ou seja, calor e compressão. Na reciclagem mecânica, o material coletado é empregado juntamente com o EPS virgem para compor os produtos acabados sem que ocorra o comprometimento da qualidade e das propriedades mecânicas.

As principais vantagens da reciclagem direta são:

- Simplicidade de processamento;
- Custo relativo baixo;
- Não altera as características do polímero;
- Baixo custo dos equipamentos.

As principais desvantagens da reciclagem direta são:

- Logística de obtenção do resíduo;
- Extrusora exclusiva;
- Baixo rendimento de processo em massa.

3.4.2 Reciclagem Indireta ou Química

A reciclagem indireta ou química do EPS é conduzida em reatores que operam em regime de batelada. A tecnologia consolida um teor de 20% de substituição de estireno virgem por EPS pós uso, sem que haja perda nas propriedades do material.

Na reciclagem indireta, ou química, o resíduo é adicionado a um recipiente contendo um dissolvente a uma taxa superior a 100% em massa. Após a dissolução, é adicionado um anti-dissolvente para a precipitação do polímero, que é então retirado do meio líquido, lavado, seco e triturado, estando apto a ser extrusado com a matéria prima nova.

O dissolvente e o anti-dissolvente, que deverão ter um ponto de ebulição diferente, são separados por destilação, sendo então reutilizados em nova batelada.

As principais vantagens da reciclagem indireta são:

- Não necessita desintegração do EPS;
- Rapidez do processo;
- Reutilização do dissolvente;
- Reutilização do anti-dissolvente;
- Pode processar grande volume de EPS.

As principais desvantagens da reciclagem indireta são:

- Custo maior que o do processo direto;
- Logística de obtenção do resíduo;
- Possível degradação do polímero;
- Baixo preço de venda do reciclado;
- Geração de efluente (água);
- Alto custo dos equipamentos;
- Baixo rendimento em massa.

3.4.3 Engenharia Reversa

Os resíduos de EPS podem ser utilizados na produção de outros produtos; dentre estes podemos destacar os impermeabilizantes.

Em Portugal tem sido utilizado, após desintegração, como agente de descompactação, aeração e permeabilização de água em solos degradados, tornando-os agricultáveis (ACEPE, 2014).

A logística reversa pode ser definida como o processo de planejar, implementar e controlar de modo eficiente e eficaz o fluxo de matéria-prima, embalagens, estoque, bens acabados e suas respectivas informações do ponto de consumo para o ponto de origem, com o objetivo de agregar valor a esse material ou então dispor dele da forma correta (ROGERS, 1998).

Os principais objetivos para a implantação da logística reversa, independente da área, são:

- Econômico: ganho financeiro;
- Legais: atender as legislações vigentes;
- Mercadológico: diferenciação de produtos e serviços prestados;
- Ganho de imagem corporativa: diferenciação da imagem por realizar atividades que busquem não agredir o meio ambiente.

No ramo da logística reversa existem duas vertentes, a logística pós-venda e a logística pós-consumo. Segundo Fonseca e Souza (2009), a primeira classificação refere-se ao fluxo de retorno de produtos que foram entregues com algum tipo de problema, produtos que necessitam reparos e, produtos que o produtor assume a responsabilidade sobre o mesmo, após sua vida útil; já a segunda frente aborda o fluxo de retorno de produtos que se destinarão basicamente a venda ou reciclagem, produtos que tenham sido originários do comércio, indústria ou residências.

3.4.4 Impermeabilizantes

O processo de produção consiste na dissolução do EPS e posterior adição de um diluente para a redução da viscosidade, adequando o produto final aos equipamentos de aplicação.

Podem ser utilizados na impermeabilização de madeira, telhas cerâmicas e de fibrocimento, solos, paredes e como retardador de secagem de concreto.

As principais vantagens da reciclagem indireta para a produção de impermeabilizantes são:

- Baixo custo de processo, agregação de valores e baixo custo de investimento inicial.

As principais desvantagens da reciclagem indireta para a produção de impermeabilizantes são:

- Logística de obtenção do resíduo, é necessário a comprovação de resultados e lavagem dos equipamentos com diluente após o uso.

3.5 MATÉRIA PRIMA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

3.5.1 Blocos de Concreto

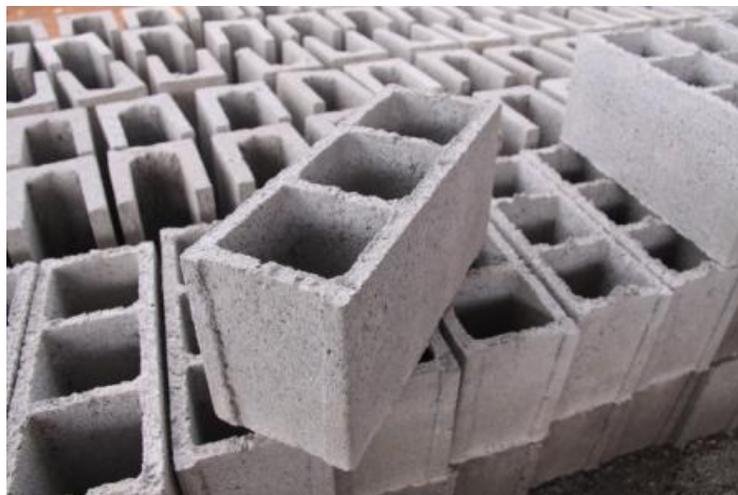
Os blocos de concreto podem ser destinados a fechamento de vãos - bloco de vedação ou à sustentação das construções tendo função estrutural - blocos estruturais.

Os blocos de vedação e estruturais feitos de concreto são fisicamente semelhantes e a forma de produção é a mesma. Entretanto, os blocos estruturais possuem paredes mais espessas e maior resistência à compressão.

Um fator importante que deve ser levantado é o potencial da utilização do bloco de concreto e a análise do benefício do uso desse material em substituição de outro elemento de alvenaria.

A Figura 43 apresenta um bloco de concreto para vedação, sendo este tipo o que será estudado no trabalho.

Figura 43. Blocos de concreto para vedação



Fonte: Brazbel Concretos, 2018.

De acordo com Fernandes (2012), dentre as vantagens e desvantagens de se utilizar o bloco de concreto para fechamento comparado a outros elementos de alvenaria.

As principais vantagens do bloco de concreto para fechamento são:

- Medidas mais uniformes;
- Economia de material, já que a parede com blocos de concreto é mais plana que a do bloco cerâmico;
- Dispensa o chapisco e o revestimento de argamassa em alguns casos;
- Possibilidade de se pintar diretamente sobre o bloco ou deixá-lo aparente;
- Redução de tempo da obra e economia de 15 a 20% do valor da obra;
- Utiliza-se menos blocos por m^2 , cerca de 12,5 blocos por m^2 ante 25 tijolos.

As principais desvantagens do bloco de concreto para fechamento são:

- Menor conforto térmico;
- Necessita de mão-de-obra especializada;
- Contribui com o aumento do peso da estrutura e maior absorção de água.

Os blocos vazados de concreto simples para alvenaria devem cumprir as disposições da norma ABNT NBR 6136:2007, Blocos vazados de concreto simples para alvenaria, Requisitos. As dimensões reais dos blocos vazados de concreto devem corresponder às dimensões constantes conforme apresenta a Tabela 05.

Tabela 05 – Dimensões reais dos blocos de concreto simples segundo a ABNT NBR 6136:2007

| Famílias de Blocos | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-------------|---------|---------|---------|----------|---------|
| Designação | Nominal | 20 | | 15 | | 12,5 | | | 10 | | | 7,5 |
| | Módulo | M - 20 | | M - 15 | | M - 12,5 | | | M - 10 | | | M - 7,5 |
| | Amarração | ½ | ½ | ½ | ½ | ½ | ⅓ | ½ | ½ | ⅓ | ½ | |
| | Linha | 20 X 40 | 15 X 40 | 15 X 30 | 12,5 X 40 | 12,5 X 25 | 12,5 X 37,5 | 10 X 40 | 10 X 30 | 10 X 30 | 7,5 X 40 | |
| Largura (mm) | | 190 | 140 | 140 | 115 | 115 | 115 | 90 | 90 | 90 | 65 | |
| Altura (mm) | | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | |
| Comprimento (mm) | Inteiro | 390 | 390 | 290 | 390 | 240 | 365 | 390 | 190 | 290 | 390 | |
| | Meio | 190 | 190 | 140 | 190 | 115 | - | 190 | 90 | - | 190 | |
| | ⅔ | - | - | - | - | - | 240 | - | - | 190 | - | |
| | ⅓ | - | - | - | - | - | 115 | - | - | 90 | - | |
| | Amarração L | - | 340 | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| | Amarração T | - | 540 | 440 | - | 365 | 365 | - | 290 | 290 | - | |
| | Compensador A | 90 | 90 | - | 90 | - | - | 90 | - | - | 90 | |
| | Compensador B | 40 | 40 | - | 40 | - | - | 40 | - | - | 40 | |

Fonte: ABNT NBR 6136, 2007.

3.5.2 Telhas de Concreto

As telhas de concreto são componentes para cobertura com forma essencialmente retangular e perfil geralmente ondulado. Elas são compostas na sua maioria de cimento, agregado, água e aditivos, e podem ser fornecidas na cor natural ou coloridas pela adição de pigmentos, segundo ABNT NBR 13858-2. A telha de concreto é usada na confecção de telhados principalmente residencial, podendo ser produzidas em várias tonalidades de cores, conforme apresenta a Figura 44.

A primeira fábrica de telhas de concreto iniciou sua produção por volta de 1976 em São Paulo. Na atualidade existem inúmeras fábricas espalhadas pelo Brasil (FERNANDES, 2012).

Figura 44. Telha de concreto



Fonte: Piniweb, 2018.

Dentro de algumas características, podem-se usar como índices de comparação com a telha cerâmica tradicional o consumo e o peso por metro quadrado. Em geral os consumidores consideram que a telha de concreto é mais pesada do que a telha cerâmica tradicional, mas isso é um equívoco. O peso da telha deve ser calculado com ela molhada, e a telha de concreto apresenta um peso de 5 % a mais se comparada com seu peso seco. Já a de telha cerâmica apresenta um aumento de peso de cerca de 16% (FERNANDES, 2012).

De acordo com Fernandes (2012), no consumo por metro quadrado, a telha cerâmica utiliza em torno de 10,4 telhas por metro quadrado, enquanto a telha de concreto de 7,5 telhas por metro quadrado.

A ABNT NBR 13858-2:2009 define telha de concreto como componente para cobertura com forma essencialmente retangular e perfil geralmente ondulado, composto de cimento, agregado e água, aditivos ou adições.

A norma vigente no Brasil que estabelece as características técnicas das telhas de concreto é a ABNT NBR 13858-2:2009.

No Brasil a produção de telhas de concreto começou em 1976, em São Paulo, com a implantação da fábrica da Eternit. Atualmente a qualidade das telhas de concreto fabricadas no Brasil e certificadas segue o mesmo padrão das importadas.

Seu processo não é mais prensado, mas sim extrudado, que permite maior velocidade na produção por ser um processo contínuo. Em algumas fábricas o processo é bastante rigoroso, seu controle vai da matéria-prima (areia e cimento) até a pós-produção (FERNANDES, 2012).

Segundo a ABNT NBR 13858-2:200 a fabricação das telhas de concreto exige a utilização dos seguintes materiais:

- Cimento Portland;
- Agregados;
- Pigmentos;
- Aditivos ou Adições;
- Água.

A ABNT NBR 13858-2:2009 ainda especifica todas as características físicas das telhas de concreto, tais como:

- Dimensões;
- Geometria;
- Classe;
- Detalhes funcionais.

A produção da telha de concreto começa pelo armazenamento da areia que podem passar por peneiramento para garantir a uniformidade da classificação granulométrica. A mistura de areia, cimento e eventualmente pigmento, e levada ao misturador e deste a extrusora. Na extrusora a mistura passa por um sistema de prensagem e extrusão (FERNANDES, 2012).

Em seguida cada telha é moldada em uma forma que passa em uma esteira por baixo da extrusora, após a extrusão, as telhas são cortadas exatamente na dimensão da forma (que tem o formato da telha). Já cortada, as telhas seguem na esteira e podem receber a aplicação superficial de um verniz, ainda com as formas, são colocadas em gaiolas (estantes metálicas) e estas gaiolas entram na câmara de cura onde permanecem por em media 24 horas. Posteriormente as telhas são retiradas das gaiolas e desformadas, as formas são limpas e recebem uma camada de desmoldante e voltam para o ciclo de produção. As telhas recebem a aplicação de hidrofugante e em seguida são paletizadas e colocadas no estoque, estando prontas para a entrega (FERNANDES, 2012).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Na Figura 45 são apresentadas as etapas desenvolvidas no presente trabalho.

Figura 45. Etapas desenvolvidas no presente trabalho



Fonte: Autora, 2018.

4.1 COLETA E SELEÇÃO DOS RESÍDUOS DE EPS

Para o desenvolvimento do estudo foi realizado um procedimento para a produção de blocos e telhas de concreto leve, onde foram substituídos parte do agregado miúdo por resíduos de EPS.

Iniciou-se a pesquisa coletando resíduos de EPS na cidade de Patos de Minas - MG.

As Figuras 46 e 47 apresentam os resíduos de EPS descartados e recolhidos em diferentes locais na cidade.

Após a coleta dos materiais, os mesmos foram transportados ao Laboratório de Química do Centro Universitário de Patos de Minas, e foi iniciada a trituração dos resíduos.

Figura 46. Material coletado em frente a edifício na cidade de Patos de Minas



Fonte: Autora, 2018.

Figura 47. Material coletado em frente ao Centro Universitário de Patos de Minas



Fonte: Autora, 2018.

4.1.1 Trituração de resíduos de EPS

Depois de realizada a coleta “seletiva” dos resíduos de EPS, onde se utilizou os materiais que apresentavam tais características: limpeza, ausência de resíduos de alimentos e cor branca; o material foi quebrado manualmente como apresenta a Figura 48.

Figura 48. Material coletado e selecionado para a pesquisa



Fonte: Autora, 2018.

Em seguida, foram triturados os resíduos de EPS no liquidificador industrial do Laboratório de Química do Centro Universitário de Patos de Minas, conforme apresenta a Figura 49.

Para iniciar o procedimento de trituração dos resíduos de EPS, foi utilizado um becker de plástico de 1000 ml, da empresa J PROLAB, Indústria e Comércio de Produtos para Laboratório Ltda, conforme apresenta a Figura 50.

O traço selecionado foi de 1:10L, ou seja a cada 1L ou 1000 ml de água, foram adicionados 10L ou 10000 ml de EPS , sendo este o volume limite possível para cada copo do liquidificador industrial usado na pesquisa conforme apresenta a Figura 51.

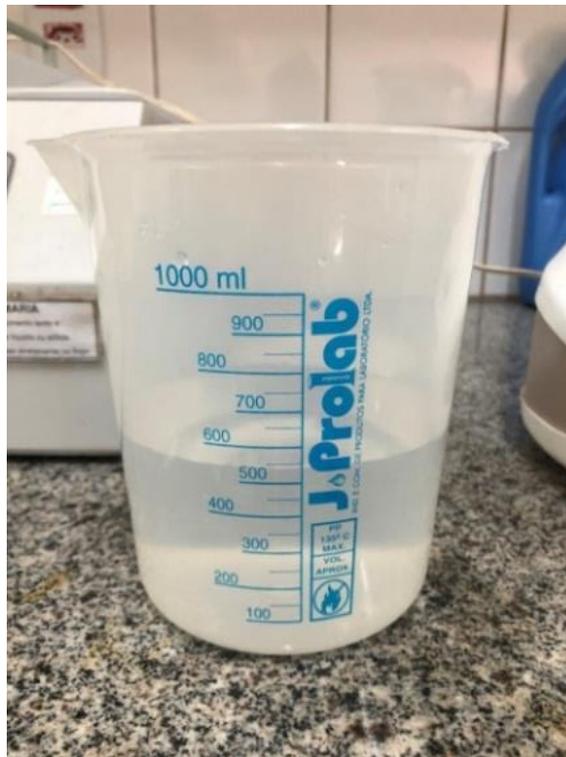
A Figura 52 apresenta a água sendo adicionada aos resíduos de EPS no liquidificador.

Figura 49. Liquidificador industrial utilizado para triturar os resíduos de EPS



Fonte: Autora, 2018.

Figura 50. Becker utilizado para medir os resíduos de EPS e a água



Fonte: Autora, 2018.

Figura 51. Copo do liquidificador com o limite de resíduos de EPS e água



Fonte: Autora, 2018.

Figura 52. Água sendo adicionada aos resíduos de EPS no liquidificador



Fonte: Autora, 2018.

Com o copo do liquidificador devidamente tampado (Figura 53), iniciou-se a trituração dos resíduos de EPS onde foram necessários entre 2 a 3 minutos para o procedimento se concluir obtendo assim o EPS triturado (Figura 54).

Figura 53. Resíduos de EPS sendo triturados em liquidificador industrial



Fonte: Autora, 2018.

Para realizar o escoamento da água e assim segregar apenas o EPS triturado, foi utilizada uma peneira em aço inox para análise granulométrica, abertura de 2,00 mm, ASTM 10 polegadas, MESH TYLER, ou seja malha, número 9, da empresa BERTEL Indústria Metalúrgica Ltda., conforme Figura 55. Foram testadas outras peneiras e esta foi escolhida porque foi o melhor tamanho de malha para que o EPS não escorresse juntamente com a água.

Após o escoamento, o resíduo permaneceu úmido e após 2 a 3 dias para encontrar-se 100% seco (Figura 56). O processo para triturar os resíduos de EPS, foi realizado durante o período de 20 dias no Laboratório de Química do Centro Universitário de Patos de Minas, nos períodos da manhã e tarde. Foram triturados aproximadamente 2.000L de resíduos de EPS (Figura 57).

Figura 54. Resíduos de EPS após trituração em liquidificador industrial



Fonte: Autora, 2018.

Figura 55. Peneira com abertura de 2,00 mm utilizada para escoamento do EPS



Fonte: Autora, 2018.

Figura 56. Resíduos de EPS na peneira com abertura de 2,00 mm para escoamento do EPS



Fonte: Autora, 2018.

Figura 57. Resíduos de EPS triturados e prontos para o desenvolvimento do trabalho



Fonte: Autora, 2018.

4.2 REALIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL COM APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE EPS

4.2.1 Desenvolvimento do Procedimento para a Produção de Blocos de Concreto com Aproveitamento de Resíduos de EPS

Para a produção de blocos de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS, foi escolhido o bloco de concreto tamanho 15, possuindo 3 furos, fundo para vedação e dimensão de 14 x 19 x 39 cm. Foi realizada uma pesquisa através de visitas técnicas em fábricas de blocos de concreto para que fossem analisadas as etapas da produção do bloco bem como o traço adotado para a execução dos mesmos.

O traço adotado para o bloco de concreto convencional é de 1:6:6 utilizando cimento, areia e brita. Outra opção para o traço do bloco de concreto 15 convencional é retirando a brita, e adotando o traço de 1:8 utilizando cimento e areia. Ambos os traços são utilizados para o desenvolvimento do bloco de concreto 15 convencional, porém prevalece em números a primeira opção onde se inclui a brita. A água é adicionada aos poucos em dosagens variadas até que a massa atinja o ponto ideal.

Para dar início ao procedimento foram adotadas as seguintes quantidades de materiais para o bloco de concreto convencional utilizando apenas areia como agregado:

- 4L de cimento, 36L de areia e 3L de água.

No desenvolvimento do concreto leve, é necessário substituir parte do agregado, ou seja, parte da areia e/ou brita e acrescentar o EPS. No estudo prevaleceu-se o uso somente da areia como agregado.

Na realização do procedimento para a produção de blocos de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS, foram realizadas 06 amostragens em quantidades diferentes de materiais conforme apresenta o Quadro 03.

Quadro 03 – Diferenciação das quantidades dos materiais nas 06 amostragens realizadas para a produção de blocos de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS

| AMOSTRA | EXEMPLO |
|------------|--|
| Amostra 0 | Convencional - Substituição de 0% do agregado, ou seja, da areia, por resíduos de EPS triturados |
| Amostra 01 | Substituição de 10% do agregado, ou seja, da areia, por resíduos de EPS triturados |
| Amostra 02 | Substituição de 20% do agregado, ou seja, da areia, por resíduos de EPS triturados |
| Amostra 03 | Substituição de 30% do agregado, ou seja, da areia, por resíduos de EPS triturados |
| Amostra 04 | Substituição de 40% do agregado, ou seja, da areia, por resíduos de EPS triturados |
| Amostra 05 | Substituição de 50% do agregado, ou seja, da areia, por resíduos de EPS triturados |
| Amostra 06 | Substituição de 60% do agregado, ou seja, da areia, por resíduos de EPS triturados |

Fonte: Autora, 2018.

4.2.1.2 Blocos de Concreto com Aproveitamento de Resíduos de EPS

Nas Amostras dos blocos de concreto de 01 a 06, foram substituídos 10% a 60% do agregado, ou seja, da areia, por resíduos de EPS triturados. Para dar início ao procedimento foram adotados os seguintes traços conforme apresenta o Quadro 04.

Quadro 04 – Diferenciação dos traços nas 06 amostragens realizadas para a produção de blocos de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS

| AMOSTRA | EXEMPLO |
|------------|--|
| Amostra 0 | Convencional - 4L de cimento, 36L de areia e 3L de água |
| Amostra 01 | 4L de cimento; 36L de areia – 10% (3,6L de areia) = 32,4L de areia; 4L de EPS e 3L de água |
| Amostra 02 | 4L de cimento; 36L de areia – 20% (7,2L de areia) = 28,8L de areia; 7,2L de EPS e 3L de água |
| Amostra 03 | 4L de cimento; 36L de areia – 30% (10,8L de areia) = 25,2L de areia; 10,8L de EPS e 3L de água |
| Amostra 04 | 4L de cimento; 36L de areia – 40% (14,4L de areia) = 21,6L de areia; 14,4L de EPS e 3L de água |
| Amostra 05 | 4L de cimento; 36L de areia – 50% (18L de areia) = 18L de areia; 18L de EPS e 3L de água. |
| Amostra 06 | 4L de cimento; 36L de areia – 60% (21,6L de areia) = 14,4L de areia; 21,6L de EPS e 3L de água |

Fonte: Autora, 2018.

Inicialmente foi medida a quantidade de cimento necessária para as amostragens dos blocos de concreto. Foram utilizados 4L de cimento para cada amostragem, quantidade esta mantida em todas as Amostras conforme apresenta a Figura 58.

Figura 58. Cimento separado para o desenvolvimento das Amostras dos blocos de concreto



Fonte: Autora, 2018.

A unidade de medida litro foi padronizada para a realização das Amostras dos blocos de concreto, sendo utilizado um recipiente de 1 litro para todos os procedimentos, a quantidade em kg, referente a 4 litros de cimento são 5,50 kg de cimento.

Em seguida foi medida a quantidade de areia necessária para as amostragens dos blocos de concreto, conforme apresenta a Figura 59. Foram usados 36L de areia para a Amostra 0 ou bloco de concreto convencional. A partir da Amostra 01, foram subtraídos 10% da areia ou agregado, usados na Amostra 0 e na sequencia, foram subtraídos respectivamente da Amostra 02 a Amostra 06, as quantidades de 20% a 60% da areia.

Figura 59. Areia separada para o desenvolvimento das Amostras dos blocos de concreto



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 60 apresenta o cimento sendo misturado com a areia para o desenvolvimento das Amostras dos blocos de concreto.

Em seguida foi medida a quantidade de resíduos de EPS necessários para as amostragens dos blocos de concreto, conforme apresenta a Figura 61.

Como foram subtraídos 10% da areia a partir da Amostra 01, e na sequência, foram subtraídos respectivamente da Amostra 02 a Amostra 06, as quantidades de 20% a 60% da areia, tais valores subtraídos foram substituídos pelas mesmas quantidades de resíduos de EPS. Portanto ao subtrair 10% de areia, foram acrescentados 10% de resíduos de EPS; e assim respectivamente e proporcionalmente para as demais amostras realizadas.

A Figura 62 apresenta os materiais secos, ou seja, cimento, areia e EPS, após serem misturados e antes de serem transferidos para a betoneira para continuar a sequência do procedimento das Amostras dos blocos de concreto.

Na Figura 63, misturou-se o material seco com 3L de água potável na betoneira, quantidade esta mantida em todas as amostragens, apresentando assim o material final para o desenvolvimento das Amostras dos blocos de concreto.

Figura 60. Cimento sendo misturado com a areia para o desenvolvimento das Amostras dos blocos de concreto



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 64 apresenta o material das Amostras dos blocos de concreto pronto antes de ir para o maquinário.

Após a mistura das massas prontas, as mesmas foram transferidas para o procedimento na máquina de blocos conforme mostra a Figura 65.

O maquinário utilizado foi uma máquina de alta pressão para blocos e fôrmas metálicas para concreto, da empresa PREMOL Equipamentos Industriais Ltda. A máquina, conforme mostra a Figura 66, produz 03 blocos de 03 furos em cada processo e o período no maquinário para o desenvolvimento destes leva 40 segundos e são necessários 02 funcionários.

Figura 61. Resíduos de EPS sendo acrescentados ao cimento e a areia para o desenvolvimento das Amostras dos blocos de concreto



Fonte: Autora, 2018.

Figura 62. Materiais secos misturados para o desenvolvimento das Amostras dos blocos de concreto



Fonte: Autora, 2018.

Figura 63. Material pronto sendo retirado da betoneira para as Amostras dos blocos de concreto



Fonte: Autora, 2018.

Finalizando o processo realizado para as Amostras dos blocos de concreto, foram retirados do maquinário os blocos executados e separados para aguardar o processo de cura do concreto conforme mostra a Figura 67.

No processo de cura, os blocos devem aguardar um tempo suficiente para que possam ser manuseados e empilhados. No caso das amostras do estudo, foram aguardados 07 dias para a cura do concreto e assim, prosseguir a pesquisa.

Na realização do procedimento para a produção dos blocos de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS, foram realizadas 06 amostragens em quantidades diferentes de materiais substituindo 10%, 20%, 30%, 40%, 50% e 60% do agregado.

Não foi possível realizar amostras a partir da substituição de 70% do agregado, pois na tentativa da mesma, a massa não adquiriu liga para ser levada ao maquinário e esta se quebrou.

Figura 64. Material pronto antes de ir para o maquinário realizar as Amostras dos blocos de concreto



Fonte: Autora, 2018.

Figura 65. Material sendo colocado na máquina de blocos de concreto para realizar as Amostras dos blocos de concreto



Fonte: Autora, 2018.

Figura 66. Maquinário utilizado para a realização das Amostras dos blocos de concreto



Fonte: Autora, 2018.

Figura 67. Máquina de blocos de concreto finalizando o processo das Amostras dos blocos de concreto



Fonte: Autora, 2018.

4.2.2 Desenvolvimento do Procedimento para a Produção de Telhas de Concreto com Aproveitamento de Resíduos de EPS

Para a produção de telhas de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS, foi escolhida a telha no modelo colonial, sendo este o tipo de cobertura mais simples e popular na construção.

A telha colonial é desenvolvida em cerâmica ou PVC, porém nesse estudo será elaborado em concreto, material este inovador para o modelo escolhido. O acréscimo de resíduos de EPS à telha colonial com o uso do concreto é considerado ímpar nas referencias bibliográficas e indústrias existentes. A Figura 68 apresenta o modelo de telha tradicional de cerâmica.

Figura 68. Modelo de telha tradicional de cerâmica



Fonte: Real Telhas, 2018.

Foi realizada uma pesquisa através de visitas técnicas em fábricas de telhas de concreto para que fossem analisadas as etapas da produção da telha bem como o traço adotado para a execução da mesma.

O traço adotado para telha de concreto convencional é de 1:3 utilizando cimento e areia. A água é adicionada aos poucos em dosagens variadas até que a massa atinja o ponto ideal.

Para dar início ao procedimento foram adotadas as seguintes quantidades de materiais para a telha de concreto convencional utilizando apenas areia como agregado:

1. 1L de cimento; 3L de areia e 0,5L de água.

No desenvolvimento do concreto leve, é necessário substituir parte do agregado, ou seja, parte da areia e/ou brita e acrescentar o EPS. No estudo prevaleceu-se o uso somente da areia como agregado.

Na realização do procedimento para a produção de telhas de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS, foram realizadas 06 amostragens em quantidades diferentes de materiais conforme apresenta o Quadro 05.

Quadro 05 – Diferenciação das quantidades dos materiais nas 06 amostragens realizadas para a produção de telhas de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS

| AMOSTRA | EXEMPLO |
|----------------|--|
| Amostra 0 | Convencional - Substituição de 0% do agregado, ou seja, da areia, por resíduos de EPS triturados |
| Amostra 01 | Substituição de 10% do agregado, ou seja, da areia, por resíduos de EPS triturados |
| Amostra 02 | Substituição de 20% do agregado, ou seja, da areia, por resíduos de EPS triturados |
| Amostra 03 | Substituição de 30% do agregado, ou seja, da areia, por resíduos de EPS triturados |
| Amostra 04 | Substituição de 40% do agregado, ou seja, da areia, por resíduos de EPS triturados |
| Amostra 05 | Substituição de 50% do agregado, ou seja, da areia, por resíduos de EPS triturados |
| Amostra 06 | Substituição de 60% do agregado, ou seja, da areia, por resíduos de EPS triturados |

Fonte: Autora, 2018.

4.2.1.2 Telhas de Concreto com Aproveitamento de Resíduos de EPS

Nas Amostras das telhas de concreto de 01 a 06, foram substituídos 10% a 60% do agregado, ou seja, da areia, por resíduos de EPS triturados. Para dar início ao procedimento foram adotados os seguintes traços conforme apresenta o Quadro 06.

Quadro 06 – Diferenciação dos traços nas 06 amostragens realizadas para a produção de telhas de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS

| AMOSTRA | EXEMPLO |
|------------|--|
| Amostra 0 | Convencional - 1L de cimento; 3L de areia e 0,5L de água |
| Amostra 01 | 1L de cimento; 3L de areia – 10% = 2,7L de areia; 0,3L de EPS e 0,5L de água |
| Amostra 02 | 1L de cimento; 3L de areia – 20% = 2,4L de areia; 0,6L de EPS e 0,5L de água |
| Amostra 03 | 1L de cimento; 3L de areia – 30% = 2,1L de areia; 0,9L de EPS e 0,5L de água |
| Amostra 04 | 1L de cimento; 3L de areia – 40% = 1,8L de areia; 1,2L de EPS e 0,5L de água |
| Amostra 05 | 1L de cimento; 3L de areia – 50% = 1,5L de areia; 1,5L de EPS e 0,5L de água |
| Amostra 06 | 1L de cimento; 3L de areia – 60% = 1,2L de areia; 1,8L de EPS e 0,5L de água |

Fonte: Autora, 2018.

Inicialmente foi medida a quantidade de cimento necessária para as amostragens das telhas de concreto. Foi utilizado 1L de cimento para cada amostragem, quantidade esta mantida em todas as Amostras.

A unidade de medida litro foi padronizada para a realização das Amostras, sendo utilizado um recipiente de 1 litro para todos os procedimentos, a quantidade em kg, referente a 1 litro de cimento são 1,375 kg de cimento.

Em seguida foi medida a quantidade de areia necessária para as amostragens das telhas de concreto. Foram usados 3L de areia para a Amostra 0 ou telha de concreto convencional. A partir da Amostra 01, foram subtraídos 10% da areia ou agregado, usados na Amostra 0 e na sequencia, foram subtraídos respectivamente da Amostra 02 a Amostra 06, as quantidades de 20% a 60% da areia.

Em seguida foi medida a quantidade de resíduos de EPS necessários para as amostragens das telhas de concreto.

Como foram subtraídos 10% da areia a partir da Amostra 01, e na sequencia, foram subtraídos respectivamente da Amostra 02 a Amostra 06, as quantidades de 20% a 60% da areia, tais valores subtraídos foram substituídos pelas mesmas quantidades de resíduos de EPS. Portanto ao subtrair 10% de areia, foram acrescentados 10% de resíduos de EPS; e assim respectivamente e proporcionalmente para as demais amostras realizadas.

A Figura 69 apresenta os materiais secos, ou seja, cimento, areia e EPS, antes de serem misturados para continuar a sequencia do procedimento das Amostras das telhas de concreto.

Figura 69. Cimento, areia e EPS antes de serem misturados para o desenvolvimento das Amostras das telhas de concreto



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 70 apresenta os materiais secos, ou seja, cimento, areia e EPS, sendo misturados para continuar a realização do procedimento das Amostras das telhas de concreto.

Figura 70. Materiais secos sendo misturados para continuar o desenvolvimento das Amostras das telhas de concreto



Fonte: Autora, 2018.

Na Figura 71, misturou-se manualmente o material seco com 0,5L de água potável, quantidade esta mantida em todas as amostragens, apresentando assim o material final para o desenvolvimento das Amostras das telhas de concreto.

A fôrma de chapa metálica, apresentada na Figura 72, foi desenvolvida pela autora para ser utilizada no desenvolvimento das Amostras das telhas de concreto.

Após a mistura das massas prontas, as mesmas foram despejadas na fôrma e moldadas para aguardar o processo de secagem conforme apresenta a Figura 73.

Finalizando o processo realizado para as Amostras das telhas de concreto, estas foram separadas para aguardar o processo de cura do concreto. No processo de cura, as telhas devem aguardar um tempo suficiente para que possam ser desenformadas. No caso das amostras do estudo, foram aguardados 07 dias para a cura do concreto e assim, prosseguir a pesquisa.

Figura 71. Massa final pronta para o desenvolvimento das Amostras das telhas de concreto



Fonte: Autora, 2018.

Na realização do procedimento para a produção das telhas de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS, foram realizadas 06 amostragens em quantidades diferentes de materiais substituindo 10%, 20%, 30%, 40%, 50% e 60% do agregado. Não foi possível realizar amostras a partir da substituição de 70% do

agregado, pois na tentativa da mesma, a massa não adquiriu liga para ser desenhada e esta se quebrou.

Figura 72. Fôrma utilizada para realizar as Amostras das telhas de concreto



Fonte: Autora, 2018.

Figura 73. Telha de concreto moldada na fôrma de chapa metálica



Fonte: Autora, 2018.

4.3 REALIZAÇÃO DE UMA AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DOS MATERIAIS GERADOS COM APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE EPS

A metodologia proposta e utilizada para realizar a avaliação técnico-econômica constituiu-se das etapas discriminadas na sequencia.

4.3.1. Estudo de Viabilidade Técnico

4.3.1.1 Testes de Pesagem

4.3.1.1.1 Blocos de Concreto

Os testes de pesagem dos blocos de concreto foram realizados através de uma balança eletrônica de pesagem modelo W910, marca Wiso, conforme apresenta a Figura 74.

Os testes de pesagem foram realizados separadamente em cada bloco de concreto, conforme apresenta a Figura 75.

Figura 74. Balança eletrônica usada para pesagem dos blocos de concreto



Fonte: Autora, 2018.

Figura 75. Pesagem realizada nos blocos de concreto



Fonte: Autora, 2018.

Após os testes de pesagem realizados, foram detectados os resultados para os blocos de concreto em estudo e foi elaborado uma tabela e um gráfico comparativo na etapa dos Resultados desse Trabalho.

4.3.1.1.2 Telhas de Concreto

Os testes de pesagem das telhas de concreto foram realizados através de uma balança eletrônica semianalítica de pesagem para bancada modelo BK4000, marca GEHAKA, conforme apresenta a Figura 76.

Os testes de pesagem foram realizados separadamente em cada telha de concreto.

Após os testes de pesagem realizados, foram detectados os resultados para as telhas de concreto em estudo e foi elaborado uma tabela e um gráfico comparativo na etapa dos Resultados desse Trabalho.

Figura 76. Balança eletrônica para pesagem das telhas de concreto



Fonte: Autora, 2018.

4.3.1.2 Testes de Temperatura

4.3.1.2.1 Blocos de Concreto

Os testes de temperatura dos blocos de concreto foram realizados através das etapas descritas na sequência.

Foram adaptadas 02 caixas de “isopôr”, modelo caixa térmica de 18 litros, para o desenvolvimento da pesquisa térmica conforme apresenta a figura 77.

Em 01 das caixas, foi inserida uma lâmpada incandescente amarela com 100W de potência, lâmpada esta que atualmente não é mais comercializada no Brasil.

Prosseguindo o teste, foi utilizado o aparelho Termo-Higro-Anemômetro-Luxímetro digital portátil da INSTRUTHERM, modelo THAL-300, conforme apresenta a Figura 78, para medir a temperatura atingida após o tempo de 1 hora.

Figura 77. Caixas de “isopôr” adaptadas para o desenvolvimento dos testes de temperatura dos blocos de concreto



Fonte: Autora, 2018.

O teste foi realizado em todos os blocos em estudo, mantendo o mesmo tempo de 1 hora, resultando assim uma tabela comparativa nos Resultados desse Trabalho.

Após os testes de temperatura realizados, foram detectados os resultados para os blocos de concreto em estudo e foi elaborado uma tabela e um gráfico comparativo na etapa dos Resultados desse Trabalho.

Figura 78. Aparelho Termo-Higro-Anemômetro-Luxímetro digital portátil utilizado para o desenvolvimento dos testes de temperatura dos blocos de concreto



Fonte: Autora, 2018.

4.3.1.2.2 Telhas de Concreto

Os testes de temperatura das telhas de concreto foram realizados através das etapas descritas na sequência.

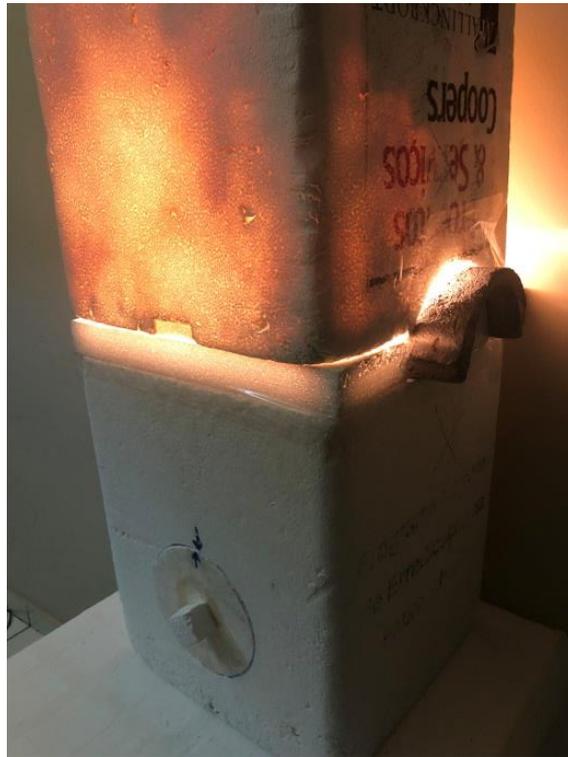
Foram adaptadas 02 caixas de “isopôr”, modelo caixa térmica de 18 litros, para o desenvolvimento da pesquisa térmica conforme apresenta a figura 79.

Em 01 das caixas, foi inserida uma lâmpada incandescente amarela com 100W de potência, lâmpada esta que já deixou de ser comercializada no Brasil.

Prosseguindo o teste, foi utilizado o aparelho Termo-Higro-Anemômetro-Luxímetro digital portátil da INSTRUTHERM, modelo THAL-300, apresentado anteriormente no Trabalho, para medir a temperatura atingida após o tempo de 1 hora.

Após os testes de temperatura realizados, foram detectados os resultados para as telhas de concreto em estudo e foi elaborado uma tabela e um gráfico comparativo na etapa dos Resultados desse Trabalho.

Figura 79. Caixas de “isopôr” adaptadas para o desenvolvimento dos testes de temperatura das telhas de concreto



Fonte: Autora, 2018.

4.3.1.3 Testes de Resistência

4.3.1.3.1 Blocos de Concreto

Inicialmente foram realizados testes de resistência nos blocos de concreto convencionais contendo os agregados, areia e brita e, somente contendo areia. Na sequência da pesquisa, foram feitos os testes de resistência nos blocos de concreto com resíduos de EPS onde foram substituídos 10%, 20%, 30%, 40%, 50% e 60% do agregado pelos resíduos.

Os testes de resistência foram realizados na Usina de Concreto Gigamix na cidade de Patrocínio - MG. Para a realização do teste de resistência dos blocos de concreto foi utilizado o maquinário modelo DL20000, marca EMIC, conforme Figura 80.

Figura 80. Maquinário utilizado para realização do teste de resistência dos blocos de concreto em estudo



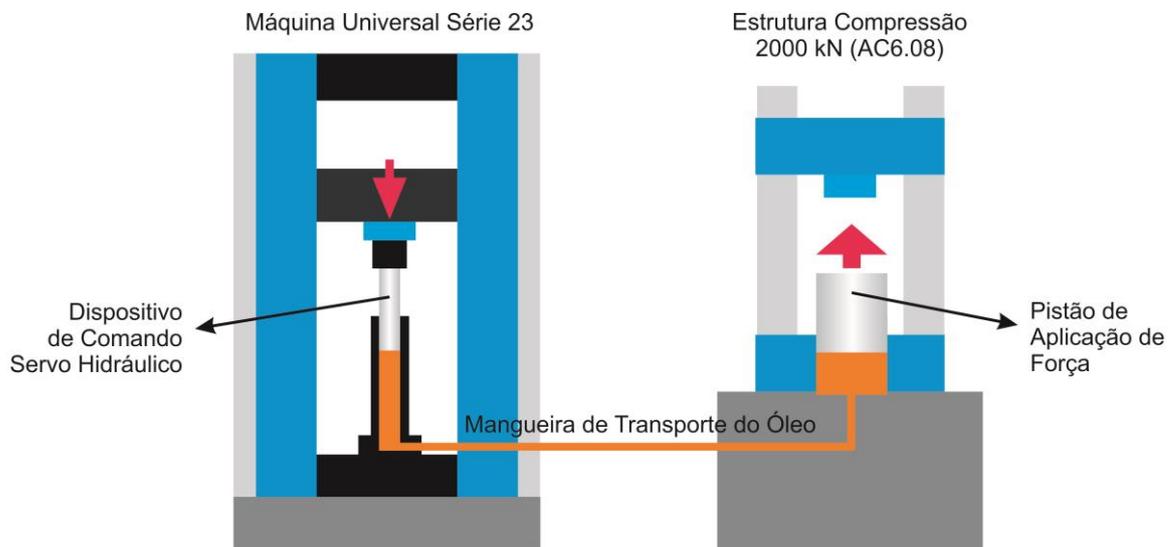
Fonte: Autora, 2018.

O equipamento utilizado para realização do ensaio de compressão dos blocos de concreto em estudo funciona com duas estruturas de reação conforme apresenta a Figura 81.

O conjunto é controlado pelo software Bluehill da INSTRON, sendo que a estrutura de compressão necessita de um detalhe a mais: o dispositivo de comando servo hidráulico que através da “Teoria de Pascal” e dos “Vasos Comunicantes” possibilita que o Bluehill possa controlar a movimentação do pistão da estrutura e controlar a força aplicada.

O maquinário com a estrutura de compressão de 2.000kN, permite a realização de testes de resistência em concretos sejam compressão simples, módulo de elasticidade, blocos estruturais ou de revestimento, pavers, flexão em vigas, compressão diametral, prismas, etc. (EMIC, 2018).

Figura 81. Funcionamento do equipamento com duas estruturas de reação utilizadas para realização do ensaio de compressão dos blocos de concreto em estudo



Fonte: EMIC, 2018.

A máquina de ensaio de compressão é equipada com dois pratos de aço, sendo o superior articulado, mais dois pratos auxiliares, sendo estes circulares com diâmetro de $90 \pm 0,5$ mm. Estes auxiliares são acoplados à prensa de maneira que seus eixos verticais fiquem perfeitamente alinhados.

A Figura 82 apresenta o início do teste de resistência que foi realizado em todos os blocos de concreto.

O bloco de concreto em estudo foi colocado entre os dois pratos de aço, superior e inferior, que se encontram acoplados à prensa, conforme apresenta a Figura 83.

Os dois pratos de aço realizam uma compressão até que o bloco de concreto atinja a sua ruptura e assim realize o teste de resistência conforme apresenta a Figura 84.

Figura 82. Início dos testes de resistência nos blocos de concreto



Fonte: Autora, 2018.

Figura 83. Bloco de concreto dentro do maquinário e início do teste de resistência



Fonte: Autora, 2018.

Figura 84. Compressão do aparelho atingindo a ruptura no bloco de concreto para realização do teste de resistência



Fonte: Autora, 2018.

Após os testes de resistência realizados, foram detectados os resultados para os blocos de concreto em estudo e foi elaborado uma tabela e um gráfico comparativo na etapa dos Resultados desse Trabalho.

4.3.1.3.2 Telhas de Concreto

Foram realizados testes de resistência nas telhas de concreto convencionais contendo os agregados, areia e brita e, somente contendo areia. Na sequência da pesquisa, foram feitos os testes de resistência nas telhas de concreto com resíduos de EPS onde foram substituídos 10%, 20%, 30%, 40%, 50% e 60% do agregado pelos resíduos.

Para a realização do teste de resistência das telhas de concreto foi utilizado o maquinário modelo DL20000, marca EMIC, apresentado anteriormente no Trabalho referente ao bloco de concreto.

A Figura 85 mostra o início do teste de resistência que foi realizado em todas as telhas de concreto.

Figura 85. Início dos testes de resistência nas telhas de concreto



Fonte: Autora, 2018.

A telha de concreto em estudo foi colocada entre os dois pratos de aço, superior e inferior, que se encontram acoplados à prensa.

Os dois pratos de aço realizam uma compressão até que a telha de concreto atinja a sua ruptura e assim realize o teste de resistência conforme apresenta a Figura 86.

Após os testes de resistência realizados, foram detectados os resultados para as telhas de concreto em estudo e foi elaborado uma tabela e um gráfico comparativo na etapa dos Resultados desse Trabalho.

Figura 86. Telha de concreto dentro do maquinário e compressão do aparelho atingindo a ruptura para realização do teste de resistência



Fonte: Autora, 2018.

4.3.2. Estudo de Viabilidade Econômica

Para avaliar o potencial financeiro das matérias-primas da construção civil foram pesquisadas referências disponíveis em arquivos digitais e também foram contatadas algumas empresas locais na cidade de Patrocínio-MG.

Após a identificação dos valores obtidos para as matérias primas da construção civil foi realizado um resultado comparativo entre estes e as matérias primas com aproveitamento de resíduos de EPS.

Para obtenção dos valores de mercado para matéria-prima da construção civil com aproveitamento de resíduos de EPS foram contatadas as seguintes empresas: Manfort Telhas de Concreto, Pré-moldados Trevisan e cotações realizadas pessoalmente em empresas diversas.

Na sequencia são apresentados os procedimentos adotados para avaliação econômica no presente trabalho para os blocos e telhas produzidos a partir de resíduos de EPS.

4.3.2.1 Blocos de Concreto

Inicialmente foi feito um levantamento do material necessário para se produzir um bloco de concreto tamanho 15.

Através das pesquisas em arquivos digitais concluiu-se que para produzir blocos de concreto é necessário que se misture os seguintes materiais: cimento, areia e/ou agregados e água.

Com o levantamento dos materiais em mãos, foi dado início as cotações de preços na cidade de Patrocínio – MG.

De posse dos valores foram elaboradas planilhas de custos e foram anexados os valores atualizados do cimento, da areia e da mão de obra considerando a diária do serviço de um ajudante de construção civil.

Em seguida foram desenvolvidas composições para estimar preços unitários e para milheiros dos blocos de concreto através de planilhas com quantidades totais dos materiais e serviços compostas com valores de custos e sugestões de valores finais para venda.

4.3.2.2 Telhas de Concreto

Inicialmente foi feito um levantamento do material necessário para se produzir uma telha de concreto.

Através das pesquisas em arquivos digitais concluiu-se que para produzir telhas de concreto é necessário que se misture os seguintes materiais: cimento, areia e/ou agregados e água.

Com o levantamento dos materiais em mãos, foi dado início as cotações de preços na cidade de Patrocínio – MG.

De posse dos valores foram elaboradas planilhas de custos e foram anexados os valores atualizados do cimento, da areia e da mão de obra considerando a diária do serviço de um ajudante de construção civil.

De posse dos valores foram elaboradas planilhas de custos e foram anexados os valores atualizados do cimento, da areia e da mão de obra considerando a diária do serviço de um ajudante de construção civil.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

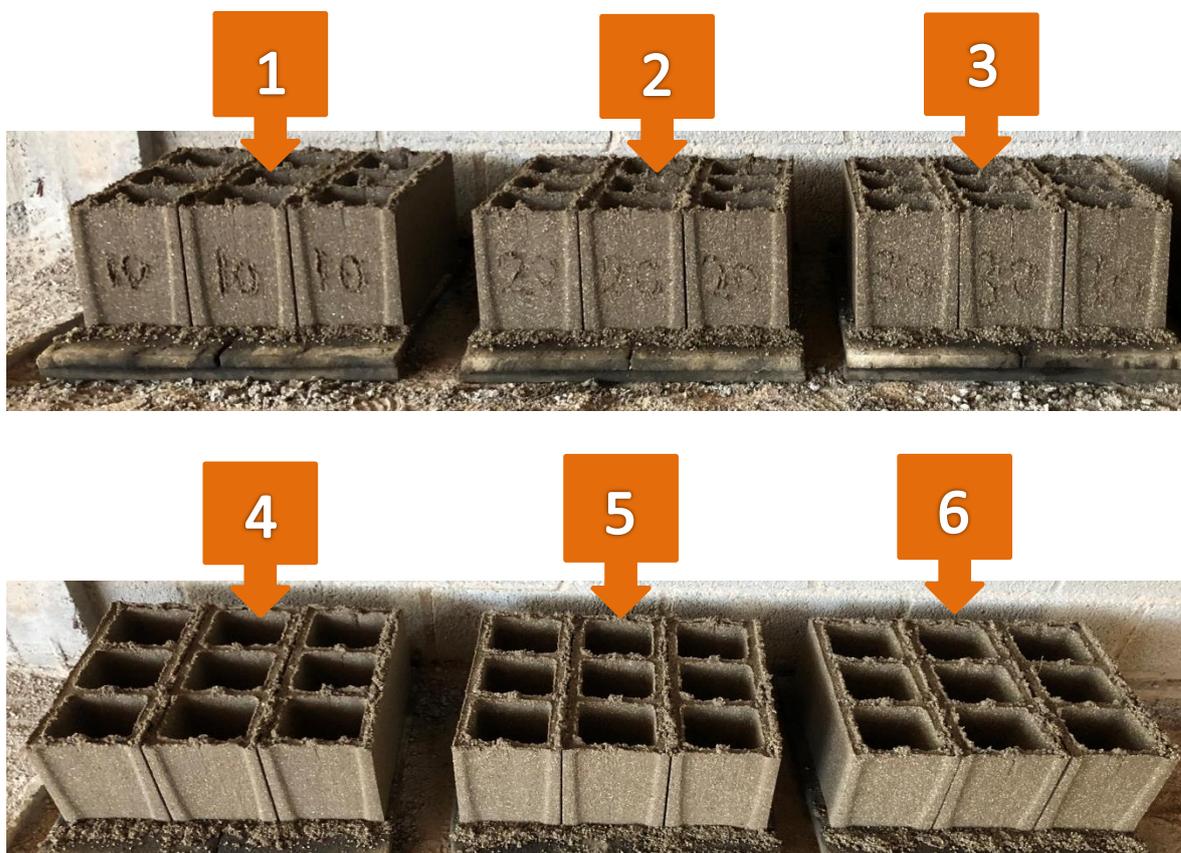
5.1. PRODUÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA DA CONSTRUÇÃO CIVIL COM APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE EPS

5.1.1. Blocos de Concreto Produzidos

Na sequência serão apresentados os resultados e discussão para os processos de produção realizados nas 06 amostras de blocos de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS.

A Figura 87 apresenta o resultado final das amostragens de blocos de concreto com resíduos de EPS triturados.

Figura 87. Resultado final das 06 amostragens de blocos de concreto com resíduos de EPS



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 88 apresenta as Amostras dos blocos de concreto com resíduos de EPS aguardando a cura do concreto.

Figura 88. Amostras dos blocos de concreto com resíduos de EPS



Fonte: Autora, 2018.

Na realização do procedimento para a produção de blocos de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS, foram realizadas 06 amostragens em quantidades diferentes de materiais substituindo 10%, 20%, 30%, 40%, 50% e 60% do agregado.

Na sequência serão apresentados os pesos finais de cada bloco de concreto pesquisado.

A Figura 89 mostra o bloco de concreto convencional, composto pelo agregado areia e brita, tendo como pesagem final o valor de 11,6 kg.

Figura 89. Bloco de concreto convencional com areia e brita



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 90 mostra o bloco de concreto convencional, composto apenas pelo agregado areia, tendo como pesagem final o valor de 11,6 kg.

O bloco de concreto da Amostra 01 substituiu 10% do agregado por resíduos de EPS triturados como apresenta a Figura 91. O bloco teve como pesagem final o valor de 10,2 kg.

Figura 90. Bloco de concreto convencional somente com areia



Fonte: Autora, 2018.

Figura 91. Bloco de concreto da Amostra 01



Fonte: Autora, 2018.

O bloco de concreto da Amostra 02 substituiu 20% do agregado por resíduos de EPS triturados como apresenta a Figura 92. O bloco teve como pesagem final o valor de 9,5 kg.

Figura 92. Bloco de concreto da Amostra 02



Fonte: Autora, 2018.

O bloco de concreto da Amostra 03 substituiu 30% do agregado por resíduos de EPS triturados como apresenta a Figura 93. O bloco teve como pesagem final o valor de 9 kg.

Figura 93. Bloco de concreto da Amostra 03



Fonte: Autora, 2018.

O bloco de concreto da Amostra 04 substituiu 40% do agregado por resíduos de EPS triturados como apresenta a Figura 94. O bloco teve como pesagem final o valor de 8,2 kg.

Figura 94. Bloco de concreto da Amostra 04



Fonte: Autora, 2018.

O bloco de concreto da Amostra 05 substituiu 50% do agregado por resíduos de EPS triturados como apresenta a Figura 95. O bloco teve como pesagem final o valor de 7,5 kg.

Figura 95. Bloco de concreto da Amostra 05



Fonte: Autora, 2018.

O bloco de concreto da Amostra 06 substituiu 60% do agregado por resíduos de EPS triturados como apresenta a Figura 96. O bloco teve como pesagem final o valor de 7 kg.

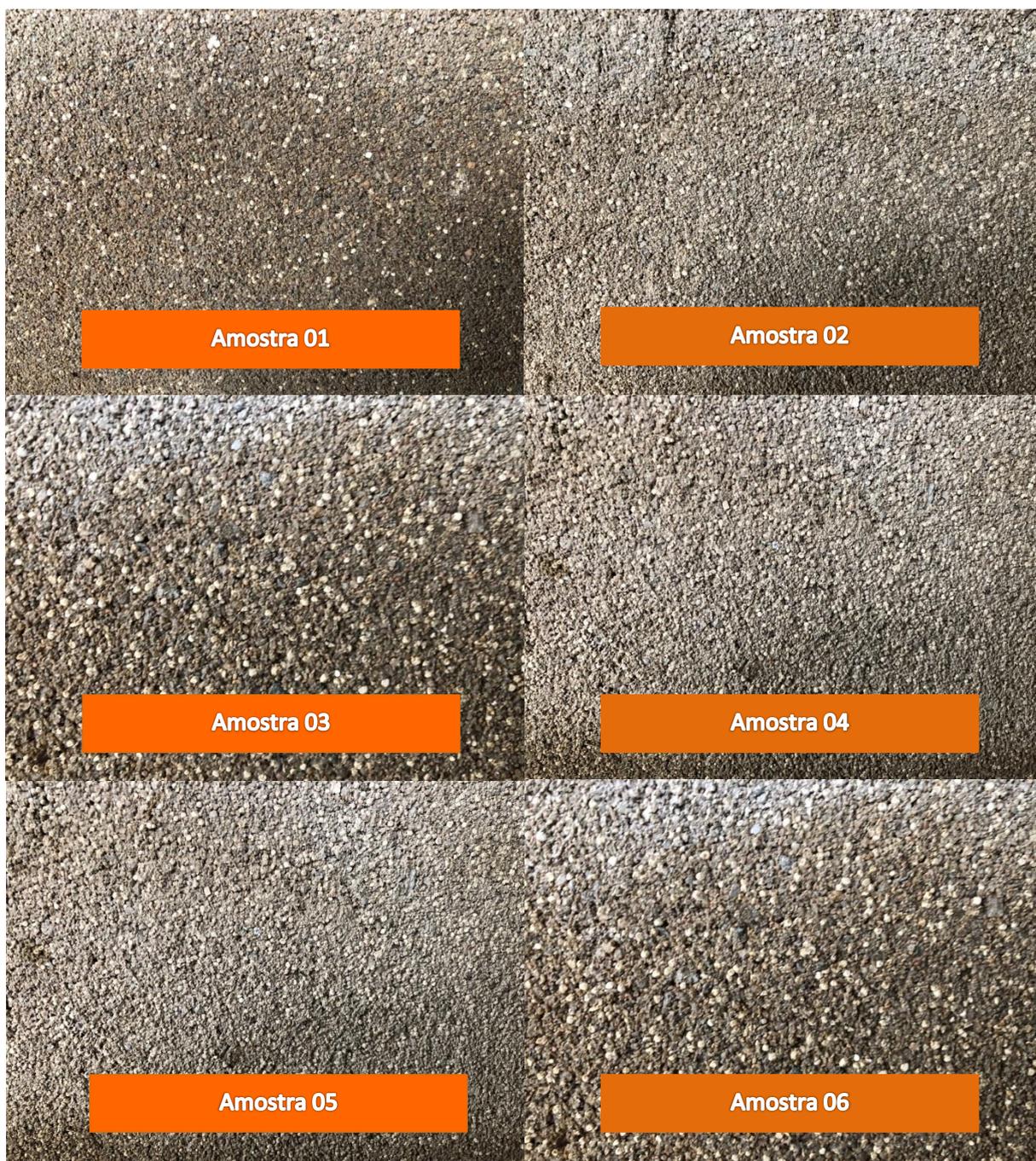
Figura 96. Bloco de concreto da Amostra 06



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 97 apresenta um comparativo entre as 06 amostras realizadas com os blocos de concreto onde foram substituídos parte dos agregados percentualmente por resíduos de EPS.

Figura 97. Comparativo entre as 06 amostras de blocos de concreto com resíduos de EPS



Fonte: Autora, 2018.

5.1.2. Telhas de concreto produzidos

A partir desta etapa, serão apresentados os resultados e as discussões para os processos de produção realizados nas 06 amostras de telhas de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS.

Após o processo de cura, as telhas ficaram intactas, num ambiente saturado de umidade, durante um período de 48 horas. Após esse processo foi possível manusear e empilhar as telhas de concreto. A Figura 98 representa as telhas de concreto das amostras após o processo de cura.

Figura 98. Telhas de concreto das amostras após o processo de cura



Fonte: Autora, 2018.

Na realização do procedimento para a produção das telhas de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS, foram realizadas 06 amostragens em quantidades diferentes de materiais substituindo 10% (1), 20% (2), 30% (3), 40% (4), 50% (5) e 60% (6) do agregado.

Na sequência serão apresentados os pesos finais de cada telha de concreto pesquisada.

A Figura 99 mostra a telha de concreto convencional (0), composta pelo agregado areia, tendo como pesagem final o valor de 4.5 kg.

Figura 99. Telha de concreto convencional com areia



Fonte: Autora, 2018.

A telha de concreto da Amostra 01 substituiu 10% do agregado por resíduos de EPS triturados como apresenta a Figura 100. A telha teve como pesagem final o valor de 4 kg.

Figura 100. Telha de concreto da Amostra 01



Fonte: Autora, 2018.

A telha de concreto da Amostra 02 substituiu 20% do agregado por resíduos de EPS triturados como apresenta a Figura 101. A telha teve como pesagem final o valor de 3,5 kg.

Figura 101. Telha de concreto da Amostra 02



Fonte: Autora, 2018.

A telha de concreto da Amostra 03 substituiu 30% do agregado por resíduos de EPS triturados como apresenta a Figura 102. O bloco teve como pesagem final o valor de 3,2 kg.

Figura 102. Telha de concreto da Amostra 03



Fonte: Autora, 2018.

A telha de concreto da Amostra 04 substituiu 40% do agregado por resíduos de EPS triturados como apresenta a Figura 103. A telha teve como pesagem final o valor de 2,9 kg.

Figura 103. Telha de concreto da Amostra 04



Fonte: Autora, 2018.

A telha de concreto da Amostra 05 substituiu 50% do agregado por resíduos de EPS triturados como apresenta a Figura 104. A telha teve como pesagem final o valor de 2,7 kg.

Figura 104. Telha de concreto da Amostra 05



Fonte: Autora, 2018.

A telha de concreto da Amostra 06 substituiu 60% do agregado por resíduos de EPS triturados como apresenta a Figura 105. A telha teve como pesagem final o valor de 2,3 kg.

Figura 105. Telha de concreto da Amostra 06



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 106 apresenta a telha de concreto da Amostra 06 na parte interna.

Figura 106. Parte interna da telha de concreto da Amostra 06



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 107 apresenta um comparativo entre as 06 amostras realizadas com as telhas de concreto onde foram substituídos parte dos agregados percentualmente por resíduos de EPS.

Figura 107. Comparativo entre as 06 amostras de telhas de concreto com resíduos de EPS



Fonte: Autora, 2018.

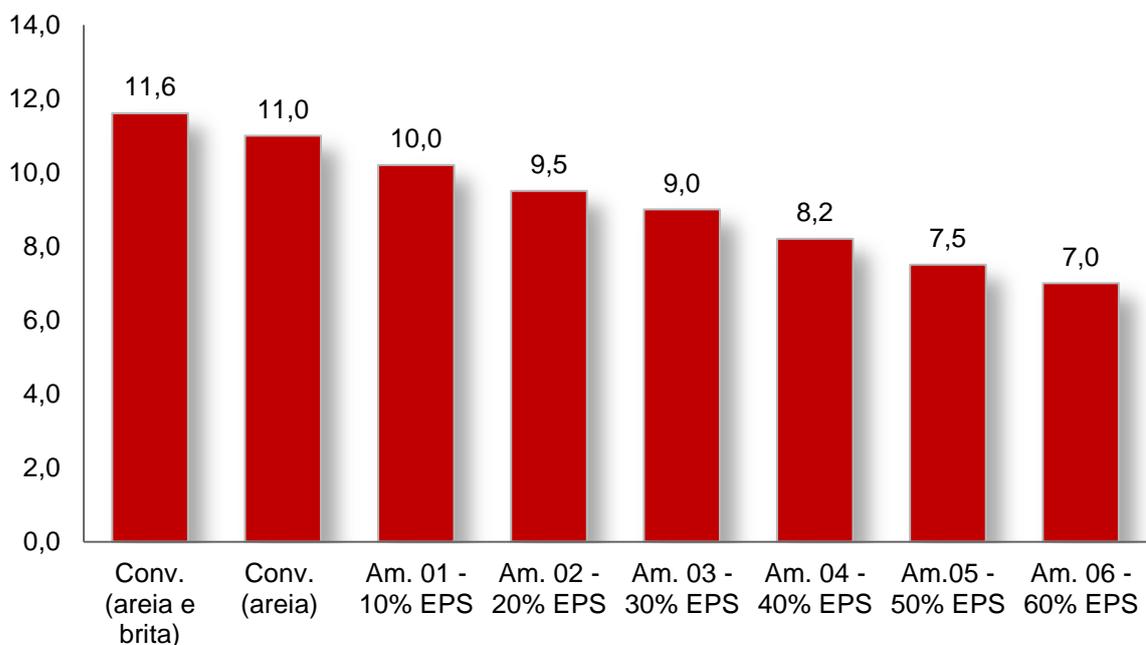
5.2. AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONOMICA DOS MATERIAIS GERADOS COM APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE EPS

5.2.1. Blocos de Concreto Produzidos

5.2.1.1 Avaliação Técnica

A Figura 108 apresenta um comparativo entre o peso dos 08 blocos de concreto em estudo com valores em Kg.

Figura 108. Comparativo entre o peso dos 08 blocos de concreto em estudo/valores em Kg



Fonte: Autora, 2018.

O bloco de concreto convencional composto apenas pelo agregado areia possui o peso final de 11 kg, enquanto que o bloco de concreto da Amostra 06 onde 60% do agregado foram substituídos por resíduos de EPS obteve-se o resultado na pesagem de 7 kg. Visto que a Amostra 06 fora a última amostra em estudo, nota-se uma diferença de 4 kg de um bloco de concreto para o outro.

Após os resultados das pesagens para os processos de produção realizados nos blocos de concreto pesquisados, foram realizados estudos referentes à eficiência térmica destes blocos.

A Figura 109 mostra o resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto convencional composto com o agregado areia e brita, obtendo o valor inicial de 24,9°C e o valor final (após 1 hora) de 25,6°C.

Figura 109. Resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto convencional composto com o agregado areia e brita



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 110 mostra o resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto convencional composto apenas pelo agregado areia, obtendo o valor inicial de 23,8°C e o valor final (após 1 hora) de 25,3°C.

A Figura 111 mostra o resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto da Amostra 01 onde 10% do agregado foram substituídos por resíduos de EPS, obtendo o valor inicial de 23,7°C e o valor final (após 1 hora) de 25,1°C.

Figura 110. Resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto convencional composto apenas pelo agregado areia



Fonte: Autora, 2018.

Figura 111. Resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto da Amostra 01



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 112 mostra o resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto da Amostra 02 onde 20% do agregado foram substituídos por resíduos de EPS, obtendo o valor inicial de 23,7°C e o valor final (após 1 hora) de 24,9°C.

Figura 112. Resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto da Amostra 02



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 113 mostra o resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto da Amostra 03 onde 30% do agregado foram substituídos por resíduos de EPS, obtendo o valor inicial de 23,4°C e o valor final (após 1 hora) de 24,8°C.

A Figura 114 mostra o resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto da Amostra 04 onde 40% do agregado foram substituídos por resíduos de EPS, obtendo o valor inicial de 23,1°C e o valor final (após 1 hora) de 24,3°C.

A Figura 115 mostra o resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto da Amostra 05 onde 50% do agregado foram substituídos por resíduos de EPS, obtendo o valor inicial de 22,7°C e o valor final (após 1 hora) de 24,1°C.

A Figura 116 mostra o resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto da Amostra 05 onde 50% do agregado foram substituídos por resíduos de EPS, obtendo o valor inicial de 22,7°C e o valor final (após 1 hora) de 23,9°C.

Figura 113. Resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto da Amostra 03



Fonte: Autora, 2018.

Figura 114. Resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto da Amostra 04



Fonte: Autora, 2018.

Figura 115. Resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto da Amostra 05



Fonte: Autora, 2018.

Figura 116. Resultado do teste térmico realizado com o bloco de concreto da Amostra 06



Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 06 apresenta os resultados dos testes térmicos realizados nos blocos de concreto da pesquisa incluindo a diferença térmica referente ao bloco anterior.

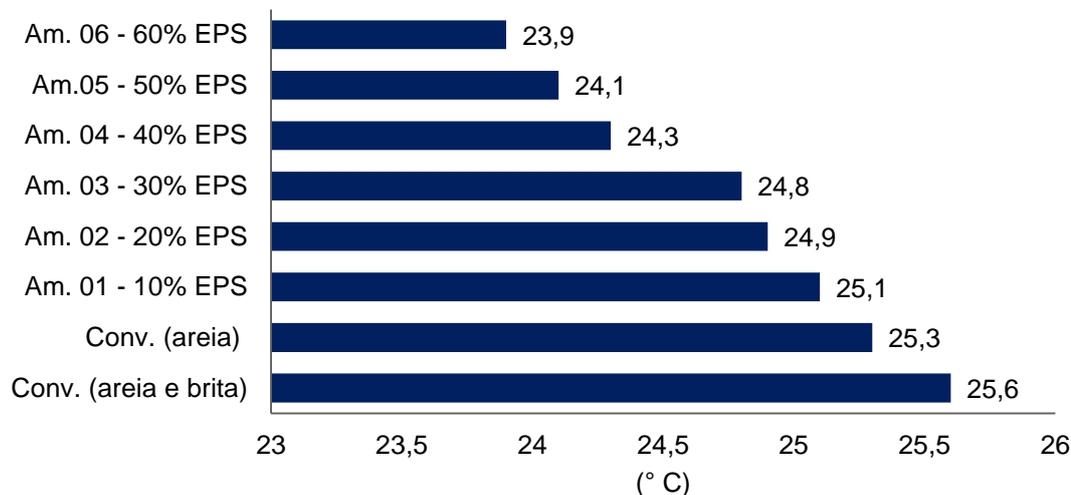
Tabela 06 – Resultados dos testes térmicos nos blocos de concreto

| Bloco de Concreto | Valor Inicial (°C) | Valor Final (Após 1 hora) (°C) | Diferença Térmica referente ao bloco anterior (°C) |
|---|--------------------|--------------------------------|--|
| Bloco de concreto convencional (agregado brita e areia) | 24,0 | 25,6 | +1,6 |
| Bloco de concreto convencional (agregado areia) | 23,8 | 25,3 | +1,5 |
| Bloco de concreto Amostra 01 (10% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 23,7 | 25,1 | +1,4 |
| Bloco de concreto Amostra 02 (20% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 23,7 | 24,9 | +1,2 |
| Bloco de concreto Amostra 03 (30% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 23,1 | 24,8 | +1,4 |
| Bloco de concreto Amostra 04 (40% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 22,7 | 24,3 | +1,2 |
| Bloco de concreto Amostra 05 (50% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 22,7 | 24,1 | +1,4 |
| Bloco de concreto Amostra 06 (60% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 22,7 | 23,9 | +1,2 |

Fonte: Autora, 2018.

A Figura 117 apresenta um comparativo entre os resultados dos testes térmicos nos blocos de concreto em estudo.

Figura 117. Comparativo entre os resultados dos testes térmicos nos blocos de concreto em °C



Fonte: Autora, 2018.

De acordo com Fernandes (2012), a resistência à compressão do bloco de concreto pode variar de acordo com o tipo e a classe do bloco escolhido. A classe A dos blocos estruturais, recomendada para obras acima ou abaixo do solo, deve ter resistência mínima de compressão de 6,0 MPa. As classes B e C, indicadas para obras acima do solo, devem ter resistência mínima de 4,0 MPa e 3,0 MPa, respectivamente. As dimensões, ainda de acordo com as normas, podem variar dentro de uma tolerância de 2 mm na largura e 3 mm na altura e comprimento, para mais ou para menos. Já os blocos de vedação, classe D, no caso os blocos em estudo, devem possuir resistência entre 2,0 MPa e 3,0 MPa.

A resistência dos blocos de concreto é garantida pelo ensaio de compressão que indica a carga que o material aguenta. A qualidade e o padrão da resistência dependem do traço do concreto.

A Figura 118 apresenta o teste de resistência no bloco de concreto convencional apenas com areia de agregado. A primeira ruptura ocorreu com 3,17t (4,03MPa) e a deformação do bloco ocorreu quando atingiu 2,98t (3,79MPa).

Figura 118. Teste de resistência no bloco de concreto convencional apenas com areia de agregado



Fonte: Autora, 2018.

Na sequência serão apresentados os resultados e as discussões para os testes de resistência dos blocos de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS.

A Figura 119 apresenta o momento da ruptura no teste de resistência do bloco de concreto convencional.

Figura 119. Momento da ruptura no teste de resistência do bloco de concreto convencional



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 120 apresenta o bloco de concreto convencional após o teste de resistência.

A Figura 121 apresenta o teste de resistência no bloco de concreto com redução de 10% do agregado (areia). A primeira ruptura ocorreu com 2,60t (3,31MPa) e a deformação do bloco ocorreu quando atingiu 2,88t (3,67MPa).

A Figura 122 apresenta o momento da ruptura no teste de resistência bloco de concreto com redução de 10% do agregado (areia).

Figura 120. Bloco de concreto convencional após o teste de resistência



Fonte: Autora, 2018.

Figura 121. Teste de resistência no bloco de concreto convencional apenas com areia de agregado



Fonte: Autora, 2018.

Figura 122. Momento da ruptura no teste de resistência do bloco de concreto com redução de 10% do agregado (areia)



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 123 apresenta o bloco de concreto com redução de 10% do agregado (areia) após o teste de resistência.

Figura 123. Bloco de concreto com redução de 10% do agregado (areia) após o teste de resistência



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 124 apresenta o teste de resistência no bloco de concreto com redução de 20% do agregado (areia). A primeira ruptura ocorreu com 2,50t (3,18MPa) e a deformação do bloco ocorreu quando atingiu 2,77t (3,53MPa).

Figura 124. Teste de resistência no bloco de concreto com redução de 20% do agregado (areia)



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 125 apresenta o momento da ruptura no teste de resistência bloco de concreto com redução de 20% do agregado (areia).

A Figura 126 apresenta o bloco de concreto com redução de 20% do agregado (areia) após o teste de resistência.

A Figura 127 apresenta o teste de resistência no bloco de concreto com redução de 30% do agregado (areia). A primeira ruptura ocorreu com 2,48t (3,16MPa) e a deformação do bloco ocorreu quando atingiu 2,63t (3,35MPa).

Figura 125. Momento da ruptura no teste de resistência do bloco de concreto com redução de 20% do agregado (areia)



Fonte: Autora, 2018.

Figura 126. Bloco de concreto com redução de 20% do agregado (areia) após o teste de resistência



Fonte: Autora, 2018.

Figura 127. Teste de resistência no bloco de concreto com redução de 30% do agregado (areia)



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 128 apresenta o momento da ruptura no teste de resistência bloco de concreto com redução de 30% do agregado (areia).

Figura 128. Momento da ruptura no teste de resistência do bloco de concreto com redução de 30% do agregado (areia)



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 129 apresenta o bloco de concreto com redução de 30% do agregado (areia) após o teste de resistência.

Figura 129. Bloco de concreto com redução de 30% do agregado (areia) após o teste de resistência



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 130 apresenta o teste de resistência no bloco de concreto com redução de 40% do agregado (areia). A primeira ruptura ocorreu com 2,28t (2,90MPa) e a deformação do bloco ocorreu quando atingiu 2,48t (3,16MPa).

A Figura 131 apresenta o momento da ruptura no teste de resistência bloco de concreto com redução de 40% do agregado (areia).

A Figura 132 apresenta o bloco de concreto com redução de 40% do agregado (areia) após o teste de resistência.

A Figura 133 apresenta o teste de resistência no bloco de concreto com redução de 50% do agregado (areia). A primeira ruptura ocorreu com 1,53t (1,95MPa) e a deformação do bloco ocorreu quando atingiu 2,35t (2,99MPa).

Figura 130. Teste de resistência no bloco de concreto com redução de 40% do agregado (areia)



Fonte: Autora, 2018.

Figura 131. Momento da ruptura no teste de resistência do bloco de concreto com redução de 40% do agregado (areia)



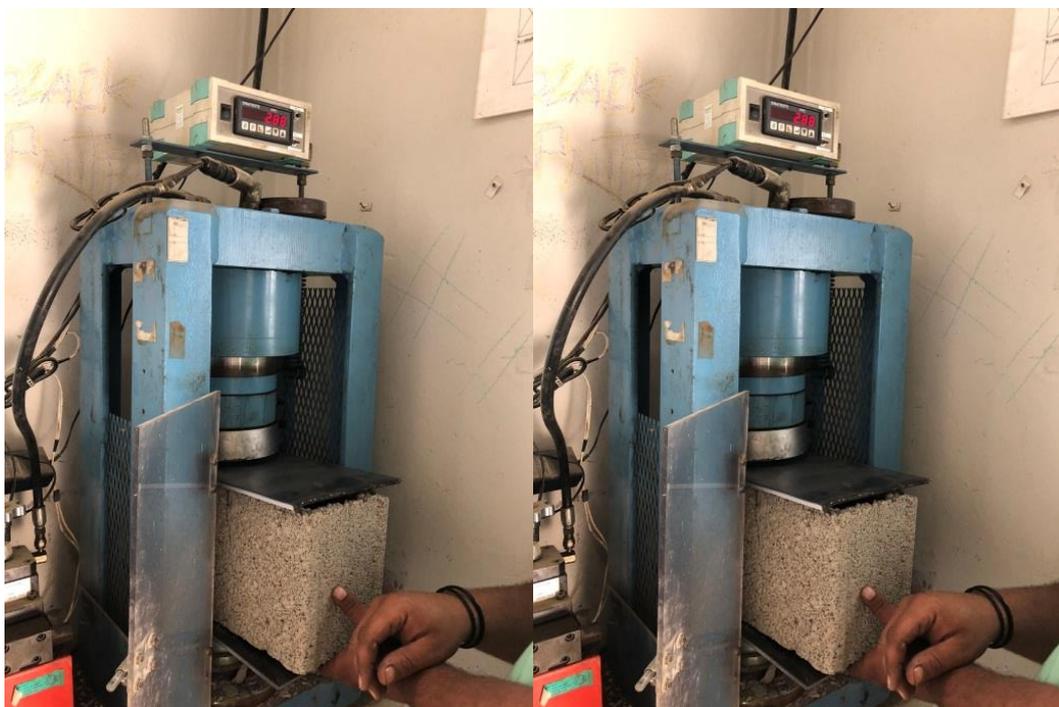
Fonte: Autora, 2018.

Figura 132. Bloco de concreto com redução de 40% do agregado (areia) após o teste de resistência



Fonte: Autora, 2018.

Figura 133. Teste de resistência no bloco de concreto com redução de 50% do agregado (areia)



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 134 apresenta o momento da ruptura no teste de resistência bloco de concreto com redução de 50% do agregado (areia).

Figura 134. Momento da ruptura no teste de resistência do bloco de concreto com redução de 50% do agregado (areia)



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 135 apresenta o bloco de concreto com redução de 50% do agregado (areia) após o teste de resistência.

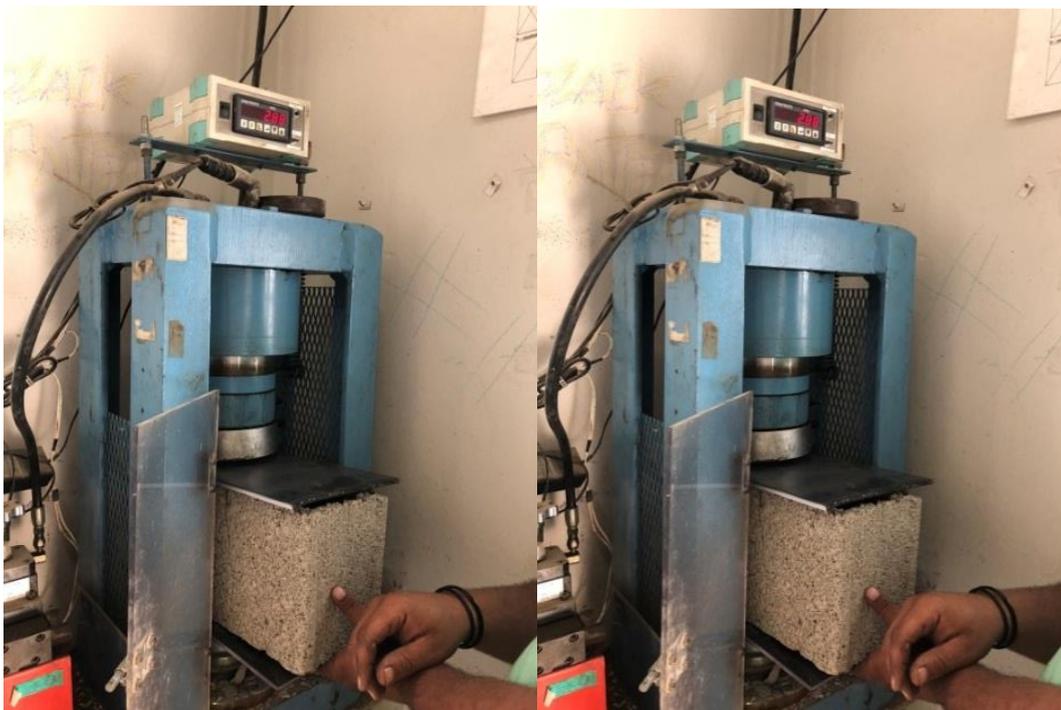
Figura 135. Bloco de concreto com redução de 50% do agregado (areia) após o teste de resistência



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 136 apresenta o teste de resistência no bloco de concreto com redução de 60% do agregado (areia). A primeira ruptura ocorreu com 1,33t (1,69MPa) e a deformação do bloco ocorreu quando atingiu 2,21t (2,81MPa).

Figura 136. Teste de resistência no bloco de concreto com redução de 60% do agregado (areia)



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 137 apresenta o momento da ruptura no teste de resistência bloco de concreto com redução de 60% do agregado (areia).

A Figura 138 apresenta o bloco de concreto com redução de 60% do agregado (areia) após o teste de resistência.

Figura 137. Momento da ruptura no teste de resistência do bloco de concreto com redução de 60% do agregado (areia)



Fonte: Autora, 2018.

Figura 138. Bloco de concreto com redução de 60% do agregado (areia) após o teste de resistência



Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 07 apresenta os resultados finais dos testes de resistência nos blocos de concreto incluindo a 1ª Ruptura e a Ruptura Final em t e Mpa.

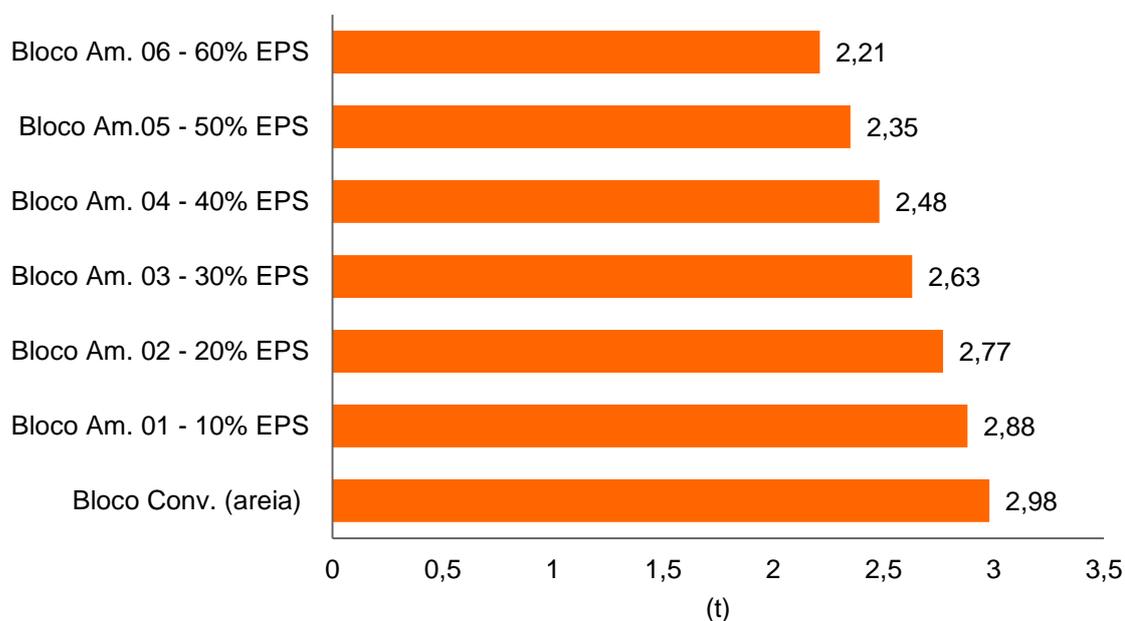
Tabela 07 – Resultados finais dos testes de resistência nos blocos de concreto incluindo a 1ª Ruptura e Ruptura Final em t e Mpa

| Matéria-prima da Construção Civil | 1ª Ruptura (t) | 1ª Ruptura (MPa) | Ruptura Final (t) | Ruptura Final (MPa) |
|---|----------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Bloco de concreto convencional (agregado areia) | 3,17 | 4,03 | 2,98 | 3,79 |
| Bloco de concreto Amostra 01 (10% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 2,60 | 3,31 | 2,88 | 3,67 |
| Bloco de concreto Amostra 02 (20% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 2,50 | 3,18 | 2,77 | 3,53 |
| Bloco de concreto Amostra 03 (30% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 2,48 | 3,16 | 2,63 | 3,35 |
| Bloco de concreto Amostra 04 (40% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 2,28 | 2,90 | 2,48 | 3,16 |
| Bloco de concreto Amostra 05 (50% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1,53 | 1,95 | 2,35 | 2,99 |
| Bloco de concreto Amostra 06 (60% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1,33 | 1,69 | 2,21 | 2,81 |

Fonte: Autora, 2018.

A Figura 139 apresenta um gráfico com os resultados finais dos testes de resistência nos blocos de concreto incluindo a Ruptura Final em t.

Figura 139. Gráfico com os resultados finais dos testes de resistência nos blocos de concreto



Fonte: Autora, 2018.

5.2.1.2 Avaliação Econômica

A seguir serão comparados os custos e valores finais referentes aos blocos de concreto tamanho convencional versus as 06 amostragens realizadas com a devida substituição do agregado/areia por resíduos de EPS com as respectivas quantidades. Na sequência serão comparados os custos e valores finais das telhas de concreto convencional versus as 06 amostragens realizadas.

A Tabela 08 apresenta os valores individuais e quantidades individuais dos materiais utilizados para o desenvolvimento dos blocos de concreto convencionais na cidade de Patrocínio/MG.

Tabela 08 – Valores e quantidades individuais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento dos blocos de concreto em Patrocínio/MG

| Tipos de Materiais e Serviços | Valores individuais em R\$ |
|---|-----------------------------------|
| Saco de cimento | 21,00 |
| Areia (m ³) | 110,00 |
| Mão de obra (2 dias de serviço*) O valor trata-se de dois dias de serviço de dois ajudantes de construção civil) | 400,00 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 09 apresenta os valores e quantidades de um milheiro dos materiais utilizados para o desenvolvimento de blocos de concreto convencional em estudo na cidade Patrocínio/MG.

Tabela 09 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro dos blocos de concreto convencional em Patrocínio/MG

| Materiais e Serviços | Quantidade | Valores materiais / milheiro em R\$ |
|---|-------------------|--|
| Saco de cimento | 35 | 735,00 |
| Areia (m ³) | 6,5 | 715,00 |
| Mão de obra (dia de serviço) | 4 | 400,00 |
| Valor Total para produzir um milheiro de bloco concreto convencional | | 1850,00 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 10 apresenta os valores e quantidades de um milheiro dos materiais utilizados para o desenvolvimento dos blocos de concreto em estudo na cidade de Patrocínio/MG.

Tabela 10 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual dos blocos de concreto em Patrocínio/MG

| Custos e valor final do milheiro e individual | Valores milheiro em R\$ |
|--|--------------------------------|
| Custo médio por milheiro | 1850,00 |
| Custo unitário | 1,85 |
| Valor custo + lucro (24,3%) | 1.850+450,00 |
| Valor final para venda | 2.300,00 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 11 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro dos blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 10% do agregado (areia).

Tabela 11 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 10% do agregado (areia)

| Materiais e Serviços | Quantidade | Valores materiais / milheiro em R\$ |
|---|--------------------|--|
| Saco de cimento | 35 | 735,00 |
| Areia (m ³) – 10% | 6,5-10%(0,65)=5,85 | 643,50 |
| Resíduos de EPS (m ³) | 0,65 | 0,00 |
| Mão de obra (dia de serviço) | 4 | 400,00 |
| Valor Total para produzir um milheiro de bloco concreto com 10% de resíduos de EPS | | 1778,50 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 12 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro dos blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 10% do agregado (areia).

A Tabela 13 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro dos blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 20% do agregado (areia).

Tabela 12 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual dos blocos de concreto com redução de 10% do agregado (areia) em Patrocínio/MG

| Custos e valor final do milheiro e individual | Valores milheiro em R\$ |
|--|--------------------------------|
| Custo médio por milheiro | 1778,50 |
| Custo unitário | 1,77 |
| Valor custo + lucro (25,3%) | 1778,50+450,00 |
| Valor final para venda | 2228,50 |

Fonte: Autora, 2018.

Tabela 13 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 20% do agregado (areia)

| Materiais e Serviços | Quantidade | Valores materiais / milheiro em R\$ |
|---|--------------------|--|
| Saco de cimento | 35 | 735,00 |
| Areia (m ³) – 20% | 6,5-10%(1,30)=5,20 | 572,00 |
| Resíduos de EPS (m ³) | 1,30 | 0,00 |
| Mão de obra (dia de serviço) | 4 | 400,00 |
| Valor Total para produzir um milheiro de bloco concreto com 20% de resíduos de EPS | | 1707,00 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 14 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro dos blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 20% do agregado (areia).

Tabela 14 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual dos blocos de concreto com redução de 20% do agregado (areia) em Patrocínio/MG

| Custos e valor final do milheiro e individual | Valores milheiro em R\$ |
|--|--------------------------------|
| Custo médio por milheiro | 1707,00 |
| Custo unitário | 1,70 |
| Valor custo + lucro (26,3%) | 1707,00+450,00 |
| Valor final para venda | 2157,00 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 15 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro dos blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 30% do agregado (areia).

Tabela 15 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 30% do agregado (areia)

| Materiais e Serviços | Quantidade | Valores materiais / milheiro em R\$ |
|---|-----------------------|--|
| Saco de cimento | 35 | 735,00 |
| Areia (m ³) – 30% | $6,5-30\%(1,95)=4,55$ | 500,50 |
| Resíduos de EPS (m ³) | 1,95 | 0,00 |
| Mão de obra (dia de serviço) | 4 | 400,00 |
| Valor Total para produzir um milheiro de bloco concreto com 30% de resíduos de EPS | | 1635,50 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 16 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro dos blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 30% do agregado (areia).

Tabela 16 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual dos blocos de concreto com redução de 30% do agregado (areia) em Patrocínio/MG

| Custos e valor final do milheiro e individual | Valores milheiro em R\$ |
|--|--------------------------------|
| Custo médio por milheiro | 1635,50 |
| Custo unitário | 1,63 |
| Valor custo + lucro (27,5%) | $1635,50+450,00$ |
| Valor final para venda | 2085,50 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 17 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro dos blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 40% do agregado (areia).

Tabela 17 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 40% do agregado (areia)

| Materiais e Serviços | Quantidade | Valores materia milheiro em R |
|---|-----------------------|--------------------------------------|
| Saco de cimento | 35 | 735,00 |
| Areia (m ³) – 40% | $6,5-40\%(2,60)=3,90$ | 429,00 |
| Resíduos de EPS (m ³) | 2,60 | 0,00 |
| Mão de obra (dia de serviço) | 4 | 400,00 |
| Valor Total para produzir um milheiro de bloco concreto com 40% de resíduos de EPS | | 1564,00 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 18 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro dos blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 40% do agregado (areia).

Tabela 18 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual dos blocos de concreto com redução de 40% do agregado (areia) em Patrocínio/MG

| Custos e valor final do milheiro e individual | Valores milheiro em R\$ |
|--|--------------------------------|
| Custo médio por milheiro | 1564,00 |
| Custo unitário | 1,56 |
| Valor custo + lucro (28,7%) | 1564,00+450,00 |
| Valor final para venda | 2014,00 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 19 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro dos blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 60% do agregado (areia).

Tabela 19 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 50% do agregado (areia)

| Materiais e Serviços | Quantidade | Valores materiais / milheiro em R\$ |
|---|-----------------------|--|
| Saco de cimento | 35 | 735,00 |
| Areia (m ³) – 50% | $6,5-50\%(3,25)=3,25$ | 351,00 |
| Resíduos de EPS (m ³) | 3,25 | 0,00 |
| Mão de obra (dia de serviço) | 4 | 400,00 |
| Valor Total para produzir um milheiro de bloco concreto com 50% de resíduos de EPS | | 1486,00 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 20 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro dos blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 50% do agregado (areia).

Tabela 20 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual dos blocos de concreto com redução de 50% do agregado (areia) em Patrocínio/MG

| Custos e valor final do milheiro e individual | Valores milheiro em R\$ |
|--|--------------------------------|
| Custo médio por milheiro | 1486,00 |
| Custo unitário | 1,48 |
| Valor custo + lucro (30,2%) | 1486,00+450,00 |
| Valor final para venda | 1936,00 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 21 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro dos blocos de concreto em São Paulo/SP com redução de 60% do agregado (areia).

Tabela 21 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 60% do agregado (areia)

| Materiais e Serviços | Quantidade | Valores materiais / milheiro em R\$ |
|---|-----------------------|--|
| Saco de cimento | 35 | 735,00 |
| Areia (m ³) – 60% | $6,5-50\%(3,90)=2,60$ | 286,00 |
| Resíduos de EPS (m ³) | 3,90 | 0,00 |
| Mão de obra (dia de serviço) | 4 | 400,00 |
| Valor Total para produzir um milheiro de bloco concreto com 60% de resíduos de EPS | | 1421,00 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 22 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro dos blocos de concreto em Patrocínio/MG com redução de 60% do agregado (areia).

Tabela 22 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual dos blocos de concreto com redução de 60% do agregado (areia) em Patrocínio/MG

| Custos e valor final do milheiro e individual | Valores milheiro em R\$ |
|--|--------------------------------|
| Custo médio por milheiro | 1421,00 |
| Custo unitário | 1,42 |
| Valor custo + lucro (31,6%) | 1421,00+450,00 |
| Valor final para venda | 1871,00 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 23 apresenta os resultados finais dos custos, valores finais dos milheiros e valores individuais dos blocos de concreto estudados na pesquisa, dados estes referentes à cidade de Patrocínio/MG.

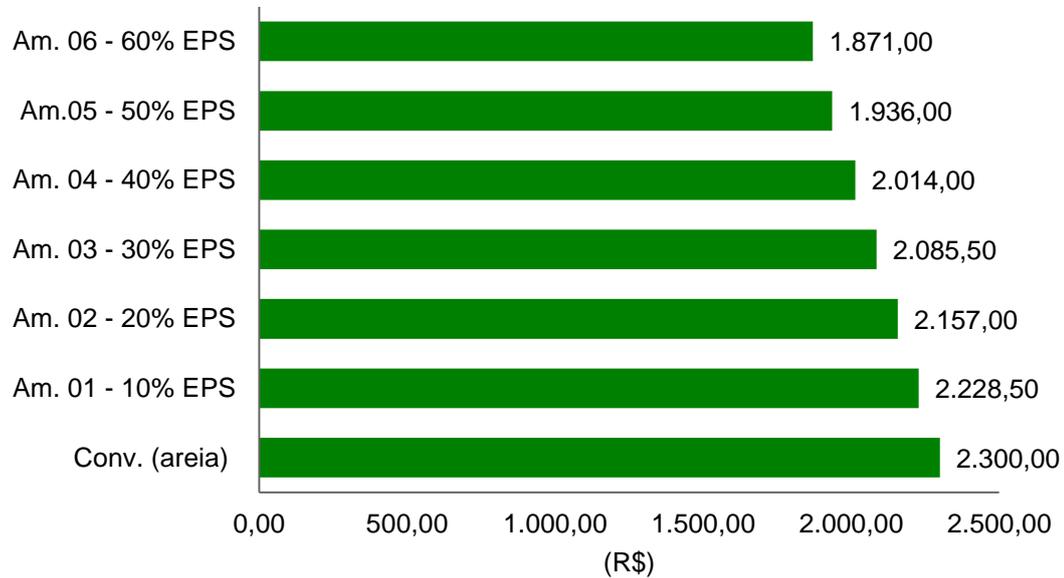
Tabela 23 – Resultados finais dos custos, valores finais dos milheiros e valores individuais dos blocos de concreto estudados na pesquisa, na cidade de Patrocínio/MG

| Bloco de Concreto | Custo médio por milheiro (R\$) | Custo unitário (R\$) | Valor final para venda (R\$) |
|---|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Bloco de concreto convencional (agregado areia) | 1650,00 | 1,65 | 2300,00 |
| Bloco de concreto Amostra 01 (10% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1778,50 | 1,77 | 2228,50 |
| Bloco de concreto Amostra 02 (20% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1707,00 | 1,70 | 2157,00 |
| Bloco de concreto Amostra 03 (30% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1635,50 | 1,63 | 2085,50 |
| Bloco de concreto Amostra 04 (40% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1564,00 | 1,56 | 2014,00 |
| Bloco de concreto Amostra 05 (50% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1486,00 | 1,48 | 1936,00 |
| Bloco de concreto Amostra 06 (60% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1421,00 | 1,42 | 1871,00 |

Fonte: Autora, 2018.

A Figura 140 apresenta um comparativo entre os resultados finais dos custos, valores dos milheiros e valores individuais de todos os blocos de concreto estudados na pesquisa, na cidade de Patrocínio/MG.

Figura 140. Comparativo entre os resultados finais dos custos com os valores dos milheiros dos blocos de concreto estudados na pesquisa, na cidade de Patrocínio/MG



Fonte: Autora, 2018.

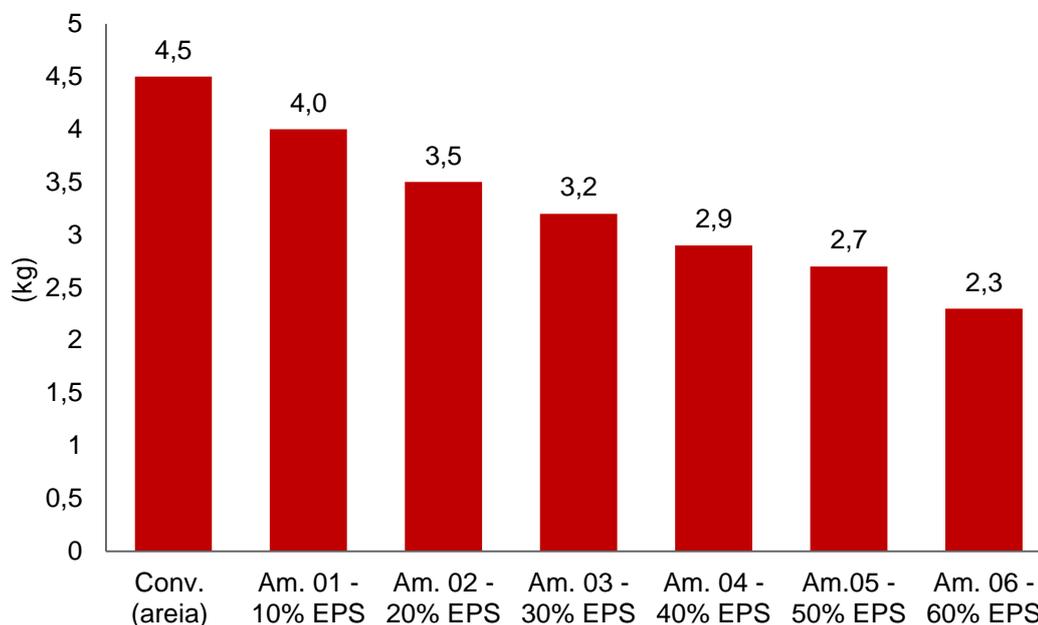
5.2.2. Telhas de Concreto Produzidas

5.2.2.1. Avaliação Técnica

A Figura 141 apresenta um comparativo entre o peso das 07 telhas de concreto em estudo com valores em Kg.

A telha de concreto convencional composta pelo agregado areia possui o peso final de 4,5 kg, enquanto que a telha de concreto da Amostra 06 onde 60% do agregado foram substituídos por resíduos de EPS obteve-se o resultado na pesagem de 2,3 kg. Visto que a Amostra 06 fora a última amostra em estudo, nota-se uma diferença de 2,2 kg de uma telha de concreto para a outra.

Figura 141. Comparativo entre o peso das 07 telhas de concreto em estudo/valores em Kg



Fonte: Autora, 2018.

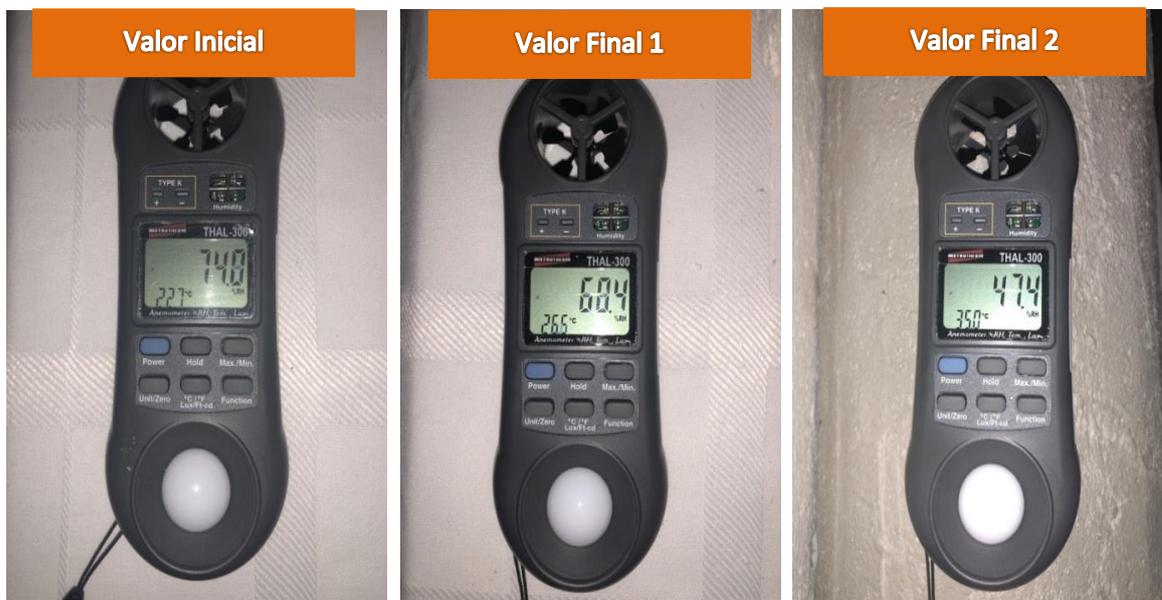
Após os resultados das pesagens para os processos de produção realizados na telha de concreto convencional e, também nas 06 amostras das telhas de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS, foram realizados estudos referentes à eficiência térmica destas telhas comparando-as a telha de concreto convencional.

A Figura 142 mostra o resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto convencional composta com o agregado areia, obtendo o valor inicial de 22,7°C, o valor final 1 (após 1 hora/dentro da caixa de “isopor”) de 26,5°C e o valor final 2 (após 1 hora/abaixo da telha) de 35,0°C.

A Figura 143 mostra o resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto da Amostra 01 onde 10% do agregado foram substituídos por resíduos de EPS, obtendo o valor inicial de 22,0°C, o valor final 1 (após 1 hora/dentro da caixa de “isopor”) de 26,3°C e o valor final 2 (após 1 hora/abaixo da telha) de 32,6°C.

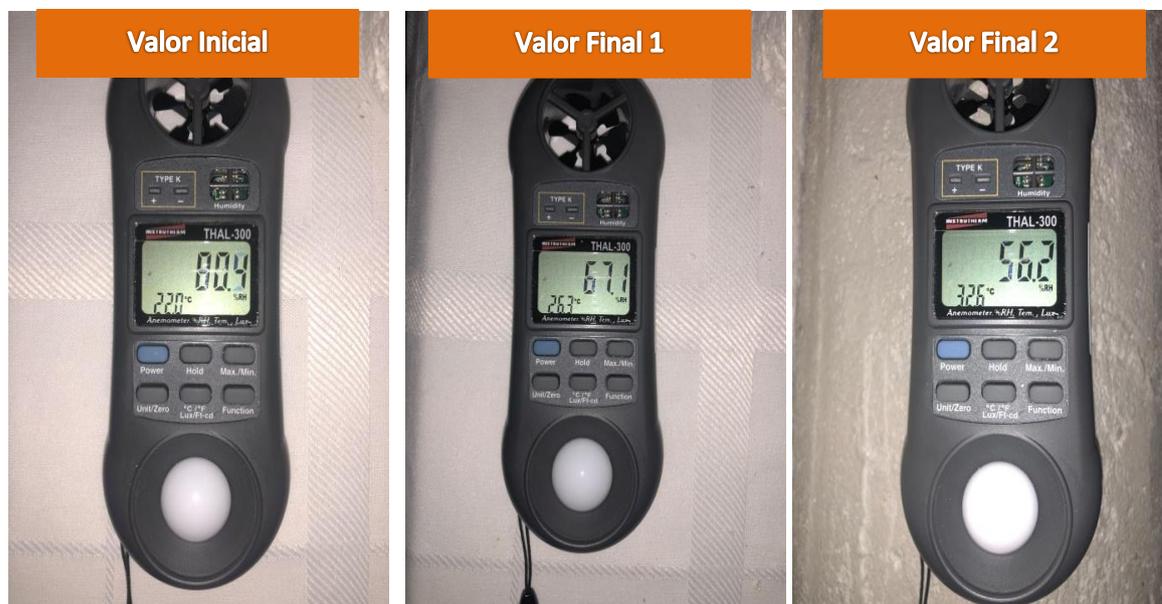
A Figura 144 mostra o resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto da Amostra 02 onde 20% do agregado foram substituídos por resíduos de EPS, obtendo o valor inicial de 21,9°C, o valor final 1 (após 1 hora/dentro da caixa de “isopor”) de 26,0°C e o valor final 2 (após 1 hora/abaixo da telha) de 32,1°C.

Figura 142. Resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto convencional composta pelo agregado areia



Fonte: Autora, 2018.

Figura 143. Resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto da Amostra 01



Fonte: Autora, 2018.

Figura 144. Resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto da Amostra 02



Fonte: Autora, 2018.

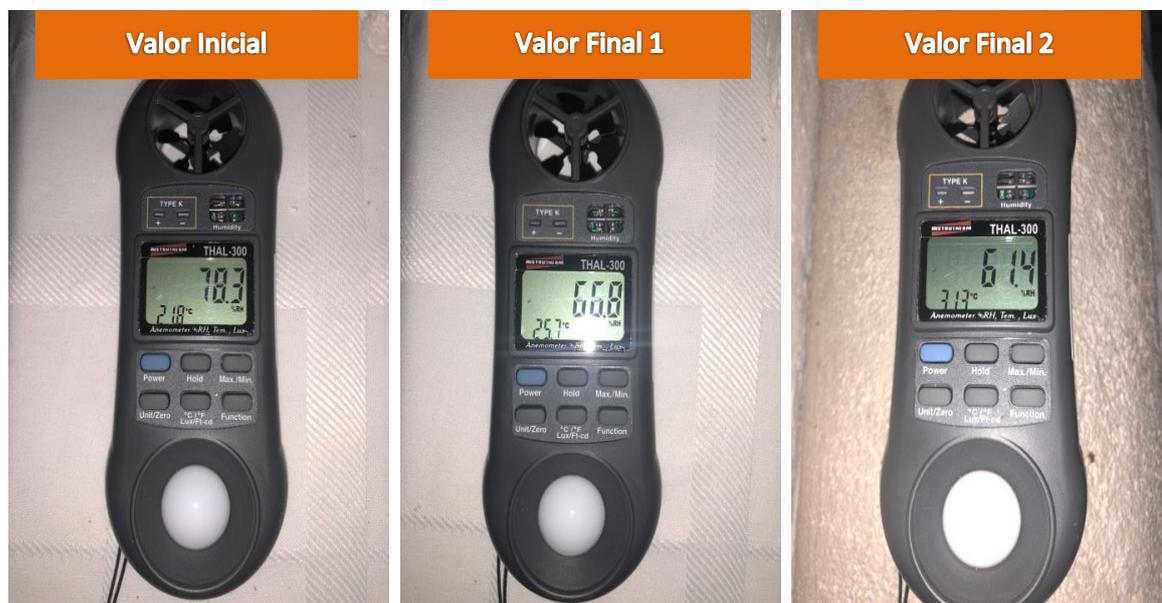
A Figura 145 mostra o resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto da Amostra 03 onde 30% do agregado foram substituídos por resíduos de EPS, obtendo o valor inicial de 21,8°C, o valor final 1 (após 1 hora/dentro da caixa de “isopor”) de 25,7°C e o valor final 2 (após 1 hora/abaixo da telha) de 31,3°.

A Figura 146 mostra o resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto da Amostra 04 onde 40% do agregado foram substituídos por resíduos de EPS, obtendo o valor inicial de 21,7°C, o valor final 1 (após 1 hora/dentro da caixa de “isopor”) de 25,2°C e o valor final 2 (após 1 hora/abaixo da telha) de 30,6°.

A Figura 147 mostra o resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto da Amostra 05 onde 50% do agregado foram substituídos por resíduos de EPS, obtendo o valor inicial de 21,3°C, o valor final 1 (após 1 hora/dentro da caixa de “isopor”) de 24,2°C e o valor final 2 (após 1 hora/abaixo da telha) de 29,8°.

A Figura 148 mostra o resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto da Amostra 05 onde 50% do agregado foram substituídos por resíduos de EPS, obtendo o valor inicial de 20,6°C, o valor final 1 (após 1 hora/dentro da caixa de “isopor”) de 23,6°C e o valor final 2 (após 1 hora/abaixo da telha) de 28,5°.

Figura 145. Resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto da Amostra 03



Fonte: Autora, 2018.

Figura 146. Resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto da Amostra 04



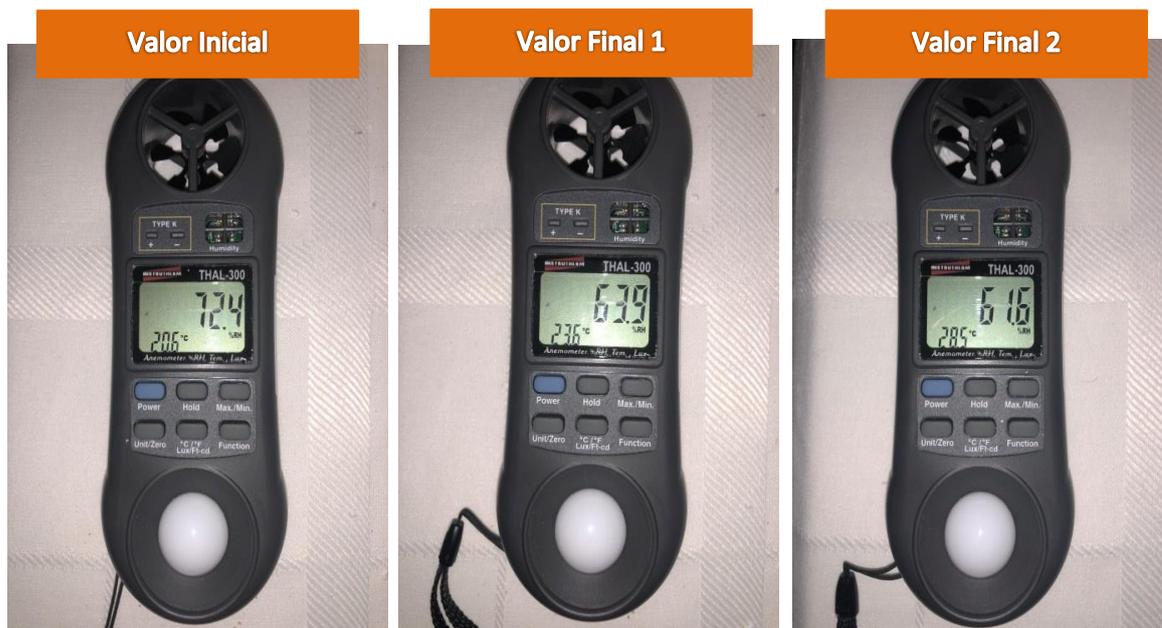
Fonte: Autora, 2018.

Figura 147. Resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto da Amostra 05



Fonte: Autora, 2018.

Figura 148. Resultado do teste térmico realizado com a telha de concreto da Amostra 06



Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 24 apresenta os resultados dos testes térmicos realizados em todas as telhas de concreto da pesquisa incluindo a diferença térmica referente à telha anterior.

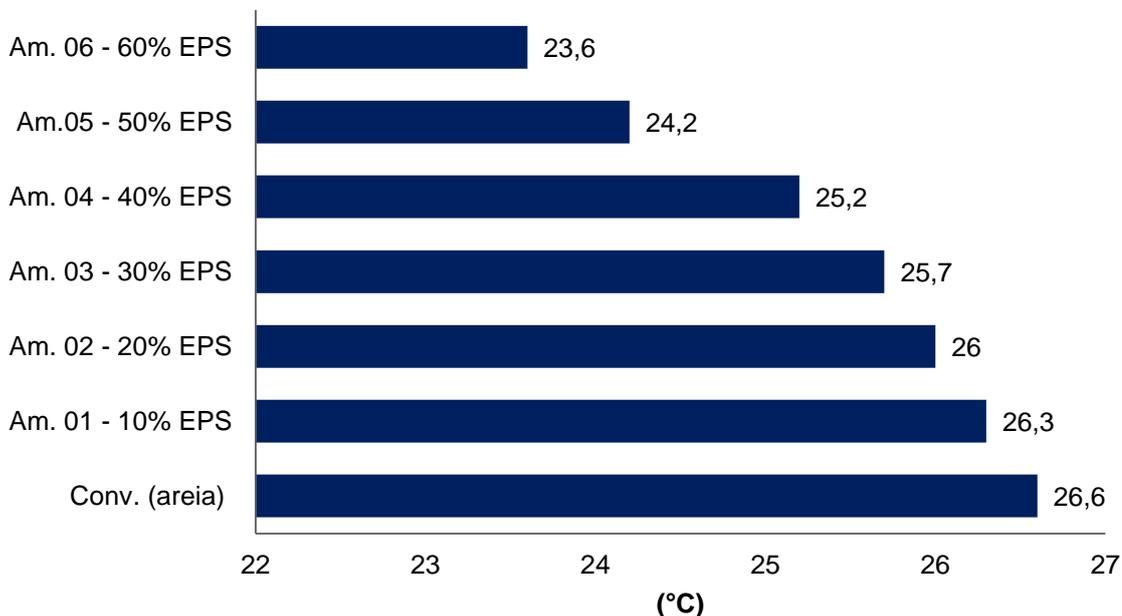
Tabela 24 – Resultados dos testes térmicos das telhas de concreto em estudo

| Telha de Concreto | Valor Inicial (°C) | Valor Final (Após 1 hora/dentro da caixa de “isopor”) (°C) | Valor Final (Após 1 hora/abaixo da telha) (°C) | Diferença Térmica referente à telha anterior (°C) |
|---|---------------------------|---|---|--|
| Telha de concreto convencional (agregado areia) | 22,7 | 26,6 | 35,0 | +2,4 |
| Bloco de concreto Amostra 01 (10% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 22,0 | 26,3 | 32,6 | +0,5 |
| Bloco de concreto Amostra 02 (20% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 21,9 | 26 | 32,1 | +0,5 |
| Bloco de concreto Amostra 03 (30% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 21,8 | 25,7 | 31,3 | +0,8 |
| Bloco de concreto Amostra 04 (40% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 21,7 | 25,2 | 30,6 | +0,7 |
| Bloco de concreto Amostra 05 (50% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 21,3 | 24,2 | 29,8 | +0,8 |
| Bloco de concreto Amostra 06 (60% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 20,6 | 23,6 | 28,5 | +1,3 |

Fonte: Autora, 2018.

A Figura 149 apresenta um comparativo entre os resultados dos testes térmicos nas telhas de concreto com a medição dentro da caixa de “isopor”.

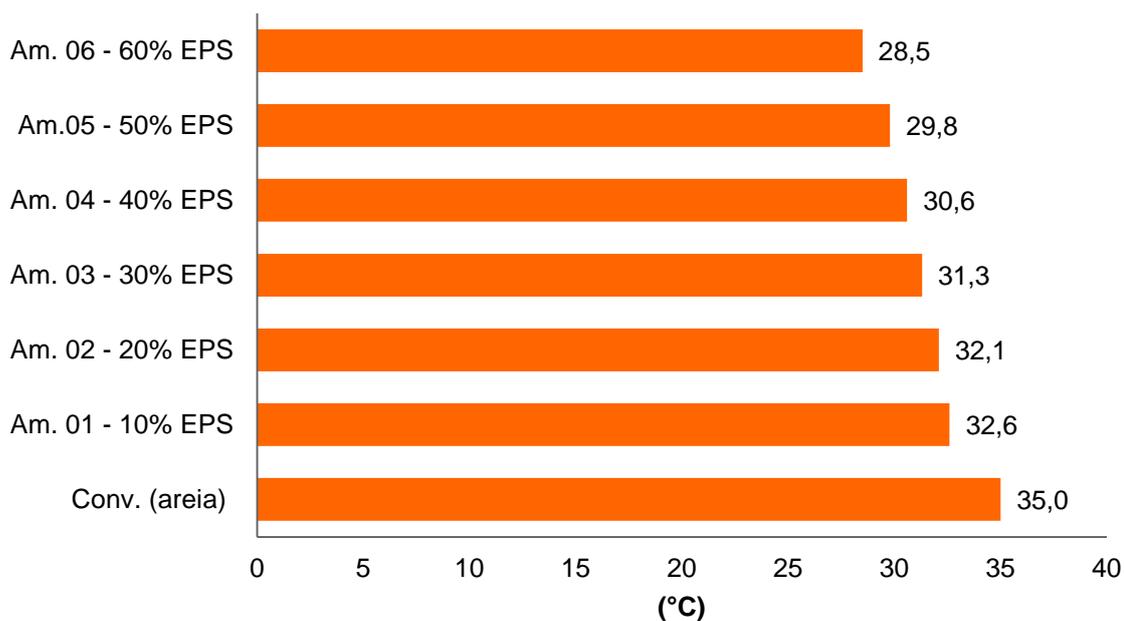
Figura 149. Comparativo entre os resultados dos testes térmicos nas telhas de concreto em °C / Medição dentro da caixa de “isopor”



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 150 apresenta um comparativo entre os resultados dos testes térmicos nas telhas de concreto com a medição abaixo da telha.

Figura 150. Comparativo entre os resultados dos testes térmicos nas telhas de concreto em °C / Medição abaixo da telha



Fonte: Autora, 2018.

Na sequência serão apresentados os resultados e as discussões para os testes de resistência das telhas de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS.

A Figura 151 apresenta o teste de resistência na telha de concreto convencional apenas com areia de agregado. A ruptura ocorreu com 1,82t (2,32MPa).

Figura 151. Teste de resistência na telha de concreto convencional apenas com areia de agregado



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 152 apresenta a telha de concreto convencional após o teste de resistência.

A Figura 153 apresenta o teste de resistência na telha de concreto com redução de 10% do agregado (areia). A ruptura ocorreu com 1,80t (2,29MPa).

Figura 152. Telha de concreto convencional após o teste de resistência



Fonte: Autora, 2018.

Figura 153. Teste de resistência na telha de concreto com redução de 10% do agregado (areia)



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 154 apresenta a telha de concreto com redução de 10% do agregado (areia) após o teste de resistência.

Figura 154. Telha de concreto com redução de 10% do agregado (areia) após o teste de resistência



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 155 apresenta o teste de resistência na telha de concreto com redução de 20% do agregado (areia). A ruptura ocorreu com 1,75t (2,23MPa).

A Figura 156 apresenta a telha de concreto com redução de 20% do agregado (areia) após o teste de resistência.

A Figura 157 apresenta o teste de resistência na telha de concreto com redução de 30% do agregado (areia). A ruptura ocorreu com 1,70t (2,16MPa).

A Figura 158 apresenta a telha de concreto com redução de 30% do agregado (areia) após o teste de resistência.

A Figura 159 apresenta o teste de resistência na telha de concreto com redução de 40% do agregado (areia). A ruptura ocorreu com 1,65t (2,10MPa).

A Figura 160 apresenta a telha de concreto com redução de 40% do agregado (areia) após o teste de resistência.

Figura 155. Teste de resistência na telha de concreto com redução de 20% do agregado (areia)



Fonte: Autora, 2018.

Figura 156. Telha de concreto com redução de 20% do agregado (areia) após o teste de resistência



Fonte: Autora, 2018.

Figura 157. Teste de resistência na telha de concreto com redução de 30% do agregado (areia)



Fonte: Autora, 2018.

Figura 158. Telha de concreto com redução de 30% do agregado (areia) após o teste de resistência



Fonte: Autora, 2018.

Figura 159. Teste de resistência na telha de concreto com redução de 40% do agregado (areia)



Fonte: Autora, 2018.

Figura 160. Telha de concreto com redução de 40% do agregado (areia) após o teste de resistência



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 161 apresenta o teste de resistência na telha de concreto com redução de 40% do agregado (areia). A ruptura ocorreu com 1,52t (1,93MPa).

Figura 161. Teste de resistência na telha de concreto com redução de 50% do agregado (areia)



Fonte: Autora, 2018.

A Figura 162 apresenta a telha de concreto com redução de 50% do agregado (areia) após o teste de resistência.

A Figura 163 apresenta o teste de resistência na telha de concreto com redução de 60% do agregado (areia). A ruptura ocorreu com 1,38t (1,76MPa).

A Figura 164 apresenta a telha de concreto com redução de 60% do agregado (areia) após o teste de resistência.

Figura 162. Telha de concreto com redução de 50% do agregado (areia) após o teste de resistência



Fonte: Autora, 2018.

Figura 163. Teste de resistência na telha de concreto com redução de 60% do agregado (areia)



Fonte: Autora, 2018.

Figura 164. Telha de concreto com redução de 60% do agregado (areia) após o teste de resistência



Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 25 apresenta os resultados finais dos testes de resistência nas telhas de concreto com a Ruptura Final em t e Mpa.

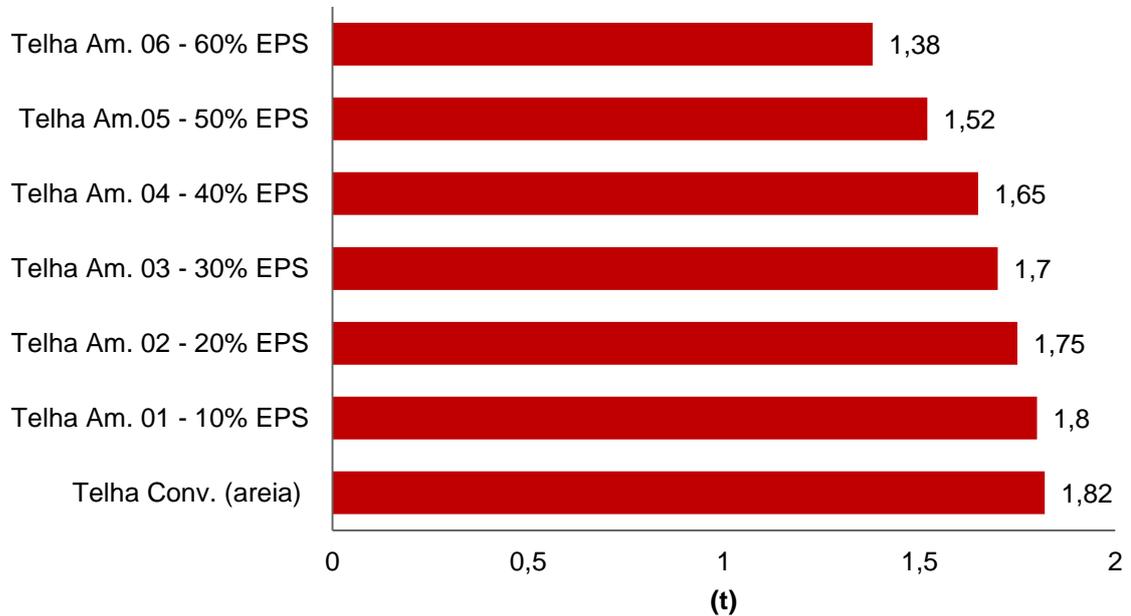
Tabela 25 – Resultados finais dos testes de resistência nas telhas de concreto com a Ruptura Final em t e Mpa

| Matéria-prima da Construção Civil | Ruptura Final (t) | Ruptura Final (MPa) |
|---|--------------------------|----------------------------|
| Bloco de concreto convencional (agregado areia) | 1,82 | 2,32 |
| Bloco de concreto Amostra 01 (10% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1,80 | 2,29 |
| Bloco de concreto Amostra 02 (20% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1,75 | 2,23 |
| Bloco de concreto Amostra 03 (30% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1,70 | 2,16 |
| Bloco de concreto Amostra 04 (40% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1,65 | 2,10 |
| Bloco de concreto Amostra 05 (50% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1,52 | 1,93 |
| Bloco de concreto Amostra 06 (60% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1,38 | 1,76 |

Fonte: Autora, 2018.

A Figura 165 apresenta um gráfico com os resultados finais dos testes de resistência nas telhas de concreto com Ruptura Final em t.

Figura 165. Gráfico com os resultados finais dos testes de resistência nas telhas de concreto com a Ruptura Final em t



Fonte: Autora, 2018.

5.2.2.2. Avaliação Econômica

Na sequência serão apresentados os resultados e as discussões para os processos de produção realizados nas 06 amostras de telhas de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS.

Para a pesquisa referente a telhas de concreto com aproveitamento de resíduos de EPS foram realizados os cálculos para verificar os custos de produção e proporções de materiais.

A Tabela 26 apresenta os valores individuais e quantidades individuais dos materiais utilizados para o desenvolvimento das telhas de concreto convencionais na cidade de Patrocínio/MG.

Tabela 26 – Valores e quantidades individuais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento das telhas de concreto convencional em Patrocínio/MG

| Tipos de Materiais e Serviços | Valores individuais em R\$ |
|---|-----------------------------------|
| Saco de cimento | 21,00 |
| Areia (m ³) | 110,00 |
| Mão de obra (2 dias de serviço*) O valor trata-se de dois dias de serviço de dois ajudantes de construção civil) | 400,00 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 27 apresenta os valores e quantidades de um milheiro dos materiais utilizados para o desenvolvimento telhas de concreto em estudo na cidade Patrocínio/MG.

Tabela 27 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro das telhas de concreto em Patrocínio/MG

| Materiais e Serviços | Quantidade | Valores materiais / milheiro em R\$ |
|---|-------------------|--|
| Saco de cimento | 16 | 336,00 |
| Areia (m ³) | 6,30 | 693,00 |
| Mão de obra (dia de serviço) | 4 | 400,00 |
| Valor Total para produzir um milheiro de bloco concreto convencional | | 1429,00 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 28 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro das telhas de concreto em estudo na cidade de Patrocínio/MG.

Tabela 28 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual das telhas de concreto em Patrocínio/MG

| Custos e valor final do milheiro e individual | Valores milheiro em R\$ |
|--|--------------------------------|
| Custo médio por milheiro | 1429,00 |
| Custo unitário | 1,42 |
| Valor custo + lucro (32,9%) | 1429,00+471,00 |
| Valor final para venda | 1900,00 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 29 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro das telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 10% do agregado (areia).

Tabela 29 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 10% do agregado (areia)

| Materiais e Serviços | Quantidade | Valores materiais / milheiro em R\$ |
|---|----------------------|--|
| Saco de cimento | 16 | 336,00 |
| Areia (m ³) – 10% | 6,30-10%(0,63%)=5,67 | 623,70 |
| Resíduos de EPS (m ³) | 0,63 | 0,00 |
| Mão de obra (dia de serviço) | 4 | 400,00 |
| Valor Total para produzir um milheiro de telha concreto com 10% de resíduos de EPS | | 1359,70 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 30 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro das telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 10% do agregado (areia).

Tabela 30 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual das telhas de concreto com redução de 10% do agregado (areia) em Patrocínio/MG

| Custos e valor final do milheiro e individual | Valores milheiro em R\$ |
|--|--------------------------------|
| Custo médio por milheiro | 1359,70 |
| Custo unitário | 1,35 |
| Valor custo + lucro (34,6%) | 1359,70+471,00 |
| Valor final para venda | 1830,70 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 31 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro das telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 20% do agregado (areia).

A Tabela 32 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro das telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 20% do agregado (areia).

Tabela 31 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 20% do agregado (areia)

| Materiais e Serviços | Quantidade | Valores materiais / milheiro em R\$ |
|---|----------------------|--|
| Saco de cimento | 16 | 336,00 |
| Areia (m ³) – 20% | 6,30-20%(1,26%)=5,04 | 554,40 |
| Resíduos de EPS (m ³) | 1,26 | 0,00 |
| Mão de obra (dia de serviço) | 4 | 400,00 |
| Valor Total para produzir um milheiro de telha concreto com 20% de resíduos de EPS | | 1290,40 |

Fonte: Autora, 2018.

Tabela 32 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual das telhas de concreto com redução de 20% do agregado (areia) em Patrocínio/MG

| Custos e valor final do milheiro e individual | Valores milheiro em R\$ |
|--|--------------------------------|
| Custo médio por milheiro | 1290,40 |
| Custo unitário | 1,29 |
| Valor custo + lucro (36,5%) | 1290,40+471,00 |
| Valor final para venda | 1761,40 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 33 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro das telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 30% do agregado (areia).

Tabela 33 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 30% do agregado (areia)

| Materiais e Serviços | Quantidade | Valores materiais / milheiro em R\$ |
|---|----------------------|--|
| Saco de cimento | 16 | 336,00 |
| Areia (m ³) – 30% | 6,30-30%(1,89%)=4,41 | 485,10 |
| Resíduos de EPS (m ³) | 1,89 | 0,00 |
| Mão de obra (dia de serviço) | 4 | 400,00 |
| Valor Total para produzir um milheiro de telha concreto com 20% de resíduos de EPS | | 1221,10 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 34 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro das telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 30% do agregado (areia).

Tabela 34 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual das telhas de concreto com redução de 30% do agregado (areia) em Patrocínio/MG

| Custos e valor final do milheiro e individual | Valores milheiro em R\$ |
|--|--------------------------------|
| Custo médio por milheiro | 1221,10 |
| Custo unitário | 1,22 |
| Valor custo + lucro (38,5%) | 1221,10+471,00 |
| Valor final para venda | 1692,10 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 35 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro das telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 40% do agregado (areia).

Tabela 35 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 40% do agregado (areia)

| Materiais e Serviços | Quantidade | Valores materiais / milheiro em R\$ |
|---|--------------------------|--|
| Saco de cimento | 16 | 336,00 |
| Areia (m ³) – 40% | $6,30-40\%(2,52\%)=3,78$ | 415,80 |
| Resíduos de EPS (m ³) | 1,89 | 0,00 |
| Mão de obra (dia de serviço) | 4 | 400,00 |
| Valor Total para produzir um milheiro de telha concreto com 20% de resíduos de EPS | | 1151,80 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 36 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro das telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 40% do agregado (areia).

A Tabela 37 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro das telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 50% do agregado (areia).

Tabela 36 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual das telhas de concreto com redução de 40% do agregado (areia) em Patrocínio/MG

| Custos e valor final do milheiro e individual | Valores milheiro em R\$ |
|--|--------------------------------|
| Custo médio por milheiro | 1151,80 |
| Custo unitário | 1,15 |
| Valor custo + lucro (40,9%) | 1151,80+471,00 |
| Valor final para venda | 1622,80 |

Fonte: Autora, 2018.

Tabela 37 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 50% do agregado (areia)

| Materiais e Serviços | Quantidade | Valores materiais / milheiro em R\$ |
|---|----------------------|--|
| Saco de cimento | 16 | 336,00 |
| Areia (m ³) – 50% | 6,30-50%(3,15%)=3,15 | 346,50 |
| Resíduos de EPS (m ³) | 3,15 | 0,00 |
| Mão de obra (dia de serviço) | 4 | 400,00 |
| Valor Total para produzir um milheiro de telha concreto com 20% de resíduos de EPS | | 1082,50 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 38 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro das telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 50% do agregado (areia).

Tabela 38 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual dos blocos de concreto com redução de 50% do agregado (areia) em Patrocínio/MG

| Custos e valor final do milheiro e individual | Valores milheiro em R\$ |
|--|--------------------------------|
| Custo médio por milheiro | 1082,50 |
| Custo unitário | 1,08 |
| Valor custo + lucro (43,5%) | 1082,50+471,00 |
| Valor final para venda | 1553,50 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 39 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro das telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 60% do agregado (areia).

Tabela 39 – Quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro de telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 60% do agregado (areia)

| Materiais e Serviços | Quantidade | Valores materiais / milheiro em R\$ |
|---|----------------------|--|
| Saco de cimento | 16 | 336,00 |
| Areia (m ³) – 60% | 6,30-50%(3,78%)=2,52 | 277,20 |
| Resíduos de EPS (m ³) | 3,78 | 0,00 |
| Mão de obra (dia de serviço) | 4 | 400,00 |
| Valor Total para produzir um milheiro de telha concreto com 20% de resíduos de EPS | | 1013,20 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 40 apresenta as quantidades totais dos materiais e serviços utilizados para o desenvolvimento de um milheiro das telhas de concreto em Patrocínio/MG com redução de 60% do agregado (areia).

Tabela 40 – Custos / Valor final do milheiro e Valor individual das telhas de concreto com redução de 60% do agregado (areia) em Patrocínio/MG

| Custos e valor final do milheiro e individual | Valores milheiro em R\$ |
|--|--------------------------------|
| Custo médio por milheiro | 1013,20 |
| Custo unitário | 0,71 |
| Valor custo + lucro (46,4%) | 1013,20+471,00 |
| Valor final para venda | 1484,20 |

Fonte: Autora, 2018.

A Tabela 41 apresenta os resultados finais dos custos, valores finais dos milheiros e valores individuais de todas as telhas de concreto estudadas na pesquisa, dados estes referentes à cidade de Patrocínio/MG.

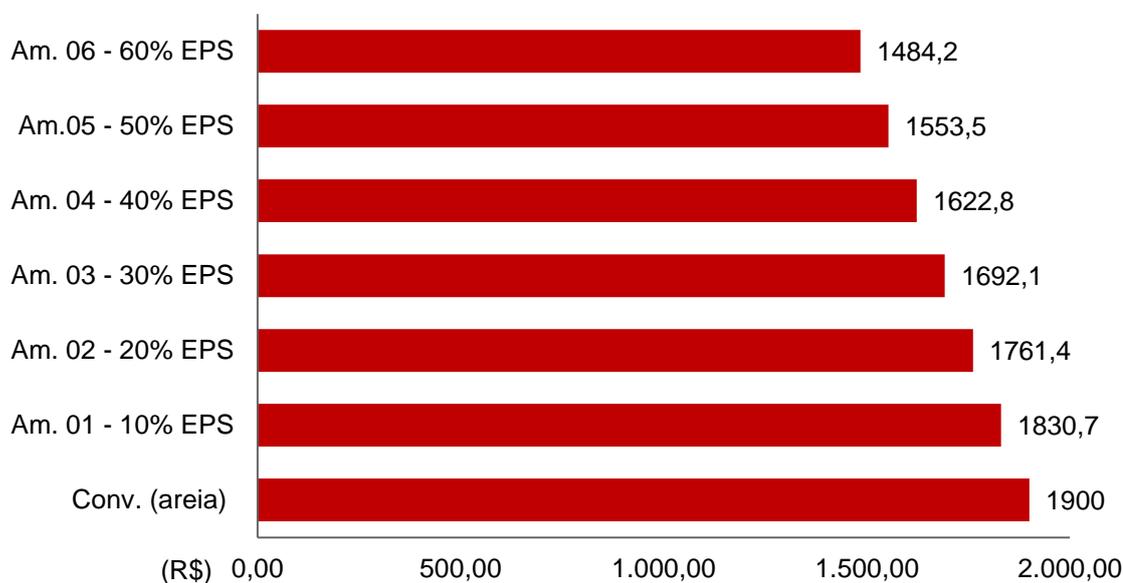
A Figura 166 apresenta um comparativo entre os resultados finais dos custos, valores dos milheiros e valores individuais de todas as telhas de concreto estudadas na pesquisa, na cidade de Patrocínio/MG.

Tabela 41 – Resultados finais dos custos, valores finais dos milheiros e valores individuais de todas as telhas de concreto estudadas na pesquisa, na cidade de Patrocínio/MG

| Telha de Concreto | Custo médio por milheiro (R\$) | Custo unitário (R\$) | Valor final para venda (R\$) |
|---|--------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Telha de concreto convencional (agregado areia) | 1429,00 | 1,42 | 1900,00 |
| Telha de concreto Amostra 01 (10% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1359,70 | 1,35 | 1830,70 |
| Telha de concreto Amostra 02 (20% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1290,40 | 1,29 | 1761,40 |
| Telha de concreto Amostra 03 (30% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1221,10 | 1,22 | 1692,10 |
| Telha de concreto Amostra 04 (40% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1151,80 | 1,15 | 1622,80 |
| Telha de concreto Amostra 05 (50% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1082,50 | 1,08 | 1553,50 |
| Telha de concreto Amostra 06 (60% do agregado substituídos por resíduos de EPS) | 1013,20 | 0,71 | 1484,20 |

Fonte: Autora, 2018.

Figura 166. Comparativo entre os resultados finais dos custos, valores dos milheiros e valores individuais de todas as telhas de concreto estudadas na pesquisa, na cidade de Patrocínio/MG



Fonte: Autora, 2018.

6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos na avaliação técnica dos blocos de concreto aplicando resíduos de EPS, foi possível notar que estes possuem o peso final reduzido quando comparado ao bloco de concreto convencional, o que conseqüentemente reduzirá o peso estrutural da edificação reduzindo assim os custos das estruturas da construção.

Foram encontrados 4 kg de diferença entre o peso do bloco de concreto convencional (11kg) quando comparado ao bloco de concreto da Amostra 06 (7kg) onde foram substituídos 60% do agregado por resíduos de EPS.

Em relação aos testes térmicos nos blocos de concreto foi possível observar uma redução de temperatura entre o bloco de concreto convencional e os blocos de concreto das Amostras em estudo, portanto, comprovou-se que o uso de EPS reduz a temperatura interna dos ambientes quando usado em matéria prima da construção civil.

Houve redução de temperatura de 1,4^o entre o bloco de concreto convencional (25,3^o) e o bloco de concreto da Amostra 06 (23,9^o) onde foram substituídos 60% do agregado por resíduos de EPS.

Com os testes de resistência foi possível concluir que o bloco de concreto convencional possuiu uma diferença muito pequena quando comparado com o bloco de concreto das Amostras em estudo, concluindo que a alteração da composição não comprometeu significativamente a resistência do material.

Foi apresentada uma redução de 0,77t / 0,98 MPa na resistência do bloco de concreto da Amostra 06 (2,21t / 2,81MPa) onde foram substituídos 60% do agregado por resíduos de EPS quando comparado com o bloco de concreto convencional (2,98t / 3,79 MPa).

Para o bloco de concreto convencional, foi obtido o valor de venda na cidade de Patrocínio/MG de R\$2.300,00 para o milheiro, enquanto que o bloco de concreto da Amostra 06, onde foram substituídos 60% do agregado por resíduos de EPS, foi obtido o valor de venda para o milheiro de R\$1.871,00 totalizando em uma diferença de R\$429,00 entre ambos.

Economicamente, os resultados comprovam que o uso de resíduos de EPS na produção de blocos de concreto reduz o custo dos materiais podendo gerar uma economia de 31,6% no preço final do produto.

De acordo com os resultados obtidos na avaliação técnica das telhas de concreto aplicando resíduos de EPS, foi possível notar que estas possuem o peso final reduzido quando comparada a telha de concreto convencional, o que conseqüentemente reduzirá o peso estrutural do telhado reduzindo assim todo o custo da construção.

Foram encontrados 2,2 kg de diferença entre o peso da telha de concreto convencional (4,5kg) quando comparada a telha de concreto da Amostra 06 (2,3kg) onde foram substituídos 60% do agregado por resíduos de EPS.

Em relação aos testes térmicos nas telhas de concreto foi possível observar uma grande redução de temperatura entre a telha de concreto convencional e as telhas de concreto das Amostras em estudo, portanto, comprovou-se que o uso de EPS reduz, e muito, a temperatura interna dos ambientes quando usado em matéria prima da construção civil.

Houve redução de temperatura de 3,0° entre a telha de concreto convencional e (26,6°) a telha de concreto da Amostra 06 (23,6°) com a medição dentro da caixa de "isopor" onde foram substituídos 60% do agregado por resíduos de EPS e houve redução de temperatura de 6,5° entre a telha de concreto convencional e (35,0°) a telha de concreto da Amostra 06 (28,5°) com a medição abaixo da telha onde foram substituídos 60% do agregado por resíduos de EPS.

Com os testes de resistência foi possível concluir que a telha de concreto convencional possuiu uma redução de resistência quando comparada com a telha de concreto das Amostras em estudo.

Foi apresentada uma redução de 0,44t / 0,56MPa na resistência da telha de concreto da Amostra 06 (1,38t / 1,76MPa) onde foram substituídos 60% do agregado por resíduos de EPS quando comparada com a telha de concreto convencional (1,82t / 2,32MPa).

Para a telha de concreto convencional foi obtido o valor de venda na cidade de Patrocínio/MG de R\$1.900,00 para o milheiro, enquanto que a telha de concreto da Amostra 06, onde foram substituídos 60% do agregado por resíduos de EPS, foi

obtido o valor de venda para o milheiro de R\$1.484,20, totalizando em uma diferença de R\$415,80 entre ambos.

Economicamente, os resultados comprovam que o uso de resíduos de EPS na produção de telhas de concreto reduz o custo dos materiais podendo gerar uma economia de 46,64% no preço final do produto.

Os blocos de concreto e as telhas de concreto aplicando resíduos de EPS podem ser utilizados na construção de moradias populares com mão de obra especializada de presidiários.

Após descrever os resultados obtidos nas avaliações técnicas e econômicas nos blocos e telhas de concreto aplicando resíduos de EPS, é possível comprovar que os mesmos podem ser utilizados satisfatoriamente na construção civil.

Os blocos e as telhas de concreto aplicando resíduos de EPS podem ser utilizados na construção de moradias populares com mão de obra especializada de presidiários, o que reduz os preços, bem como atenua os impactos ambientais provocados pela disposição final de EPS no meio ambiente.

Com o uso dos resíduos de poliestireno expandido (EPS) no desenvolvimento de matéria-prima da construção civil é possível obter materiais com peso específico reduzido, alta capacidade de isolamento térmico, índice de resistência suficiente e custo baixo, viabilizando assim, à aplicação destes materiais.

7 SUGESTÕES PESQUISAS FUTURAS

Como sugestões para pesquisas futuras em aplicação de resíduos de poliestireno expandido (EPS) no desenvolvimento de blocos e telhas de concreto na construção civil visando aplicação em obras de interesse social foram identificadas algumas possíveis extensões:

- Analisar a durabilidade ou vida útil dos blocos e telhas de concreto com aplicação de resíduos de EPS;
- Desenvolver uma análise comparativa da durabilidade ou vida útil dos blocos e telhas de concreto com aplicação de resíduos de EPS versus os blocos e telhas de concreto convencionais;
- Realizar uma análise do desempenho acústico dos blocos e telhas de concreto com aplicação de resíduos de EPS;
- Desenvolver uma análise comparativa da isolamento sonora dos blocos e telhas de concreto com aplicação de resíduos de EPS versus os blocos e telhas de concreto convencionais;
- Analisar a impermeabilidade dos blocos e telhas de concreto com aplicação de resíduos de EPS, teste de absorção;
- Desenvolver uma análise comparativa da impermeabilidade dos blocos e telhas de concreto com aplicação de resíduos de EPS versus os blocos e telhas de concreto convencionais;
- Analisar o empilhamento dos blocos e telhas de concreto com aplicação de resíduos de EPS para realização do armazenamento e transporte dos materiais;
- Desenvolver uma análise comparativa do empilhamento dos blocos e telhas de concreto com aplicação de resíduos de EPS versus os blocos e telhas de concreto convencionais;
- Desenvolver uma análise comparativa da absorção de água dos blocos e telhas de concreto com aplicação de resíduos de EPS versus os blocos e telhas de concreto convencionais;
- Analisar as características de reação ao fogo da face interna e externa, dos blocos e telhas de concreto com aplicação de resíduos de EPS,

considerando a classificação em termos de propagação de chamas e densidade de fumaça;

- Analisar novos materiais de concreto com aplicação de resíduos de EPS para o uso na construção civil;
- Realizar uma análise dos benefícios econômicos e sociais da alternativa da mão-de-obra carcerária no desenvolvimento de materiais na construção civil com aplicação de resíduos de EPS;
- Realizar um levantamento quantitativo e composição de custos, para a elaboração de um projeto de um galpão industrial em terrenos mapeados para presídios, utilizando mão de obra de presos no desenvolvimento de materiais da construção civil com aplicação de resíduos de EPS.

REFERÊNCIAS

ABCP. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Disponível em: <https://www.abcp.org.br/>. Acesso em: 27/10/2018.

ABIPET. Associação Brasileira da Indústria do PET. Disponível em: <http://www.abipet.org.br/index.html/>. Acesso em: 15/11/2018.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6136. Agregados: Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211. Agregados: Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217. Agregados para Concreto. Rio de Janeiro, 1983.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7973. Determinação de Absorção D'Água: Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8081. Permeabilidade ao Vapor D'Água: Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8082. Resistência à Compressão: Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004. Resíduos Sólidos: Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.007. Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11.752. Materiais Celulares de Poliestireno para Isolamento Térmico na Construção Civil e Câmaras Frigoríficas. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11.949. Determinação da Massa Específica Aparente: Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.094. Determinação da Condutividade Térmica: Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.644. Concreto Celular Espumoso: Determinação da Densidade de Massa Aparente no Estado Fresco. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.858. Telhas de Concreto. Parte 2: Requisitos e Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2009.

ABRAPEX. Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. Manual de Utilização EPS na Construção Civil. São Paulo: Pini, 2006.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. 2018. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/>.

ACEPE. ASSOCIAÇÃO INDUSTRIAL DE POLIESTIRENO. Aplicações do EPS. Lisboa. Disponível em: <https://acepe.pt/>. Acesso em: 18/09/2018.

ARMELIN, H.S.; LIMA, M.G.; SELMO, S.M.S. Alta Resistência com Argila Expandida. Revista Ibracon, n.09, p.42-47, 1994.

ARQGUA. Disponível em: <http://arqguia.com/obra/edificio-sede-petrobras-teste/?lang=ptbr/>. Acesso em: 18/09/2018.

BANIAR, Poymer. Disponível em: <http://www.baniar-polymer.com/products/>. Acesso em: 23/05/2019.

BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos. Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos. Belo Horizonte: Tessitura, 2012.

BRAGA, B. Introdução à Engenharia Ambiental. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRASIL ECONÔMICO – INOVAÇÃO O & SUSTENTABILIDADE- Isopor é Um Novo Campo de Negócios da Reciclagem. Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/>. Acesso em: 18/09/2018.

BRASIL. Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Lei número 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Brasília, DF, Presidência da República, 2010.

BRASIL. Regulamentação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Decreto número 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que regulamenta a Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Brasília, DF, Presidência da República, 2010.

BRAZBELCONCRETOS. Disponível em: <https://www.brazbelconcretos.com.br/home>. Acesso em: 25/10/2018.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem - Disponível em: <http://www.cempre.org.br/>. Acesso em: 23/05/2019.

COSTA, R. N. A. Viabilidade Térmica e Econômica e de Materiais de um Sistema Solar de Aquecimento de Água a Baixo Custo para Fins Residenciais. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. UFRN, 2007.

DIISO – Indústria de Isopor - Reciclagem de Isopor - Disponível em: <http://www.diiso.com.br/>. Acesso em: 18/09/2018.

EMIC - Instron Brasil Equipamentos Científicos. Disponível em: <http://emic.com.br/>. Acesso em: 25/10/2018.

EPS Packaging Organization Recycled Content in Expandable Polystyrene Foam Protective Packaging. Disponível em: <http://www.epspackaging.org/>. Acesso em: 27/10/2018.

Fernandes, Idário D. Telhas de Concreto. Produção e Controle de Qualidade. São Paulo, 2012.

FONSECA, Sérgio Ulisses Lage da; SOUZA, Sueli Ferreira de. Logística Reversa: Oportunidades para Redução de Custos em Decorrência da Evolução do Fator Ecológico. Revista Terceiro Setor. Guarulhos, v. 3, n. 1, 2009.

FRANCA, A. B. M. da; FUSCO, P. B. As Lajes Nervuradas na Moderna Construção de Edifícios. São Paulo, 2001.

HENDRY, A. W. Masonry Walls: Materials and Construction. Construction and Building Materials. V.15, p.323-80, dec .2001.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 27/10/2018.

ISOARES. Soluções em EPS. Disponível em: <http://www.isoares.com.br/eps/>. Acesso em: 27/10/2018.

MEDEIROS, J.S. Alvenaria Estrutural Não Armada de Blocos de Concreto: Produção de Componentes e Parâmetros de Projeto. Dissertação Mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993. 449 p.

PESSIN, N.; DE CONTO, S. M.; QUISSINI, C. S. Componentes potencialmente perigosos nos resíduos sólidos domésticos - estudo de caso de sete municípios de pequeno porte da região do Vale do Caí/RS. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 6, 2002, Gramado. Anais... Gramado: ABES, 2002. 1 CD-ROM.

PEREIRA NETO, J.T., LELIS, M.P.N. Variação da Composição Gravimétrica e Potencial de Reintegração Ambiental dos Resíduos Sólidos Urbanos por Região Fisiográfica do Estado de Minas Gerais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20, 1999, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 1999. Tema 3, p.1709-1716.

PINEZI. Disponível em: <http://pinezi.com.br>. Acesso em: 27/10/2018.

PINIWEB. Disponível em: <http://piniweb17.pini.com.br/construcao/tecnologia-materiais/metodo-utiliza-blocos-de-isopor-no-aterro-de-viaduto-em-293984-1.aspx>. Acesso em: 15/07/2018.

PLASTIVIDA. Projetos ambientais: Repensar (isopor). Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/index.php?lang=pt>. Acesso em: 15/07/2018.

POLISOPOR. Disponível em: <http://www.polisopor.com.br>. Acesso em: 29/08/2018.

REAL TELHAS. Disponível em: <http://www.realtelhas.com.br>. Acesso em: 20/10/2018.

ROGERS, D.S., TIBBEN-LEMBKE, Ronald S. Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices. Reverse Logistics Executive Council. Reno, University of Nevada. 1998.

ROLIM, A.M. A Reciclagem de Resíduos Plásticos Pós-Consumo em Oito Empresas do Rio Grande do Sul. Dissertação de pós-graduação. Porto Alegre. UFRGS, 2000.

ROSSIGNOLO, João Adriano. Concreto Leve Estrutural: Produção, Propriedades, Microestrutura e Aplicações. São Paulo: Pini, 2009.

SANTOS, Reginaldo Dias: Estudo Térmico e de Materiais de um Composto a Base de Gesso e EPS para Construção de Casas Populares. UFRGN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal – RN, 2008. Disponível em <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/15563/1/ReginaldoDS.pdf>. Acesso em: 16/08/2018.

SCHICOSKI, Carlos Alberto. Isopor: Uso Abusivo e Reciclagem Incipiente. Revista Meio Ambiente, Campo Mourão, v.3 n.11, p.16-17, fev.2008.

SILVA, E.B. e. Compostagem de Lixo na Amazônia: Insumos para a Produção de Alimentos. In: RECICLAGEM DO LIXO URBANO PARA FINS INDUSTRIAIS E AGRÍCOLAS, 1998, Belém, PA. Anais. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/SECTAM/Prefeitura Municipal de Belém, 2000. p.57-64.

SPITZNER, J. High-strength LWA Concrete. In: High-Strength Concrete. RILEM Cap.II. Aggregates, 1994.

STOCCO, W; RODRIGUES, D; CASTRO, A. P. de A. S. Concreto Leve com Uso de EPS. In: Congresso Brasileiro de Educação (COBENGE). Recife, 2009.

TECDREAM. Tecnologia, Inovação e Ambiente. Disponível em: <http://tecdream.com/>. Acesso em: 29/08/2018.

TECNOCELL. Tecnologia em EPS. Disponível em: <http://www.tecnocell.com.br>. Acesso em: 29/08/2018.

TERMOMIL EPS. Disponível em: <https://www.termomil.com.br/>. Acesso em: 29/08/2018.

TILLMAN, D. A. et al - Incineration of Municipal and Hazardous Solid Wastes - New York - Academic Press, 1989.

VALLE, C. E. Qualidade Ambiental: Como se Preparar para as Normas ISO 14000. São Paulo: Pioneira, 1995.

YAZIGI, W. A Técnica de Edificar. 4 ed. Pini, São Paulo, 2002.