UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGEC

GERCYR BAPTISTA JUNIOR

PLACA CIMENTÍCIA COM RESÍDUOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS): ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS.

Vitória – ES
2019

GERCYR BAPTISTA JUNIOR

PLACA CIMENTÍCIA COM RESÍDUOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS): ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Construção Civil.

Orientadora: Profª. Drª. Geilma Lima Vieira
Coorientadora: Profª. Drª. Georgia Serafim Araújo

Vitória - ES
2019

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

Baptista Junior, Gercyr, 1977-
B222p Placa cimentícia com resíduo de poliestireno expandido (EPS):estudo das propriedades físicas e mecânicas. / Gercyr Baptista Junior. - 2019.
94 f. : il.

Orientadora: Geilma Vieira.
Coorientadora: Georgia Araújo.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Placas (Engenharia). 2. Argamassa. I. Vieira, Geilma. II. Araújo, Georgia. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. IV. Título.

CDU: 624

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PLACA CIMENTÍCIA COM RESÍDUOS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS): ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

Gercyr Baptista Junior

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de Construção Civil.

Aprovada no dia **29 de março de 2019** por:

Profa. Dra. Geilma Lima Vieira
Doutora em Engenharia Civil
Orientadora – UFES

Profa. Dra. Geórgia Serafim Araújo
Doutora em Engenharia Civil
Coorienadora – IFES

Prof. Dr. João Luiz Calmon Nogueira da Gama
Doutor em Engenharia Civil
Examinador Interno – UFES
Por meio de video conferência

Profa. Dra. Karla Moreira Conde
Doutora em Arquitetura, Tecnologia e Cidade
Examinadora Externa - UFES

Vitória – ES, março de 2019

Aos meus Pais,

Maria Lucia B. Baptista e

Gercyr Baptista

Minha esposa,

Amanda França de S. Baptista e

Minha Filha,

Beatriz Sousa Baptista

AGRADECIMENTOS

A minha esposa, Amanda que esteve sempre ao meu lado, me incentivando e apoiando nos momentos mais difíceis.

Gostaria de agradecer aos meus pais, Lucia e Gercyr, e a minha irmã Letícia, pelo apoio incondicional durante esses anos.

Agradeço a chegada da minha filha Beatriz, que ampliou a energia para alcançar essa conquista.

À professora Doutora Geilma Lima Vieira, pela sua orientação, discussões e reflexões que foram fundamentais ao longo de todo o percurso.

A minha coorientadora professora Doutora Georgia Serafim Araújo, o agradecimento pelo grande incentivo, que foi fundamental para realizar e prosseguir este estudo. Saliento o apoio incondicional prestado, a forma interessada, extraordinária e pertinente como acompanhou a realização deste trabalho.

Tenho que agradecer aos amigos da Coordenadoria de Edificações, do Ifes – Campus Vitória, pelo apoio de sempre.

À Universidade Federal do Espírito Santo por toda estrutura disponibilizada.

Ao Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vitória, por disponibilizar os laboratórios para a realização dos ensaios.

A Concrevit pelos materiais cedidos.

E a todos que contribuíram, de alguma forma, para que este título fosse alcançado.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Exemplos de fachadas com placa cimentícia 21
Figura 2 – Figura esquemática da placa cimentícia fabricada com microconcreto e fibra de vidro 23
Figura 3 – Processo produtivo do EPS 25
Figura 4 - Processo de transformação do EPS 26
Figura 6 - Alguns processos implantados com sucesso para a reciclagem de EPS. 29
Figura 7 - Imagens microscópicas de uma argamassa feita com 70% de EPS submetido a ciclos de calor 32
Figura 8 - Fluxograma do trabalho experimental 35
Figura 9 – Peneiramento da areia 37
Figura 10 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo 38
Figura 11 - Máquina de triturar 39
Figura 12 – Peça do triturador 39
Figura 13 – Quarteamento do REPS 40
Figura 14 - Ensaio de densidade 40
Figura 15 – Distribuição granulométrica do REPS 41
Figura 16 – Distribuição granulométrica do agregado e misturas 42
Figura 17 – Protótipos moldados 43
Figura 18 – Protótipos após rompimento 44
Figura 19 – Mesa para índice de consistência 45
Figura 20 – Argamassa no ensaio de consistência normal 46
Figura 21 – Corpos de prova desmoldados 47
Figura 22 - Corpos de prova capeados com enxofre 47
Figura 23 – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral 48
Figura 24 – Ensaio de absorção de água por capilaridade 49
Figura 25 - Imersão parcial dos corpos de prova em água 49
Figura 26 – Fervura dos corpos de prova 50
Figura 27 – Medição da propagação de onda ultra-sônica 51
Figura 28 – Processo de moldagem da placa 53
Figura 29 – Corpos de prova em estado de equilíbrio 54
Figura 30 - Corpos de prova em estado saturado 54
Figura 31 – Rompimento do corpo de prova 55
Figura 32 - Secagem em estufa ventilada 56
Figura 33 – Ensaio de permeabilidade (vista superior) 57

Figura 34 - Ensaio de permeabilidade (vista lateral) 58
Figura 35 - Resultado comparativo das resistências à compressão simples 61
Figura 36 - Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre a resistência à compressão das argamassas 62
Figura 37 - Resultado comparativo das resistências à tração por compressão diametral 63
Figura 38 - Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre a resistência à tração por compressão diametral 64
Figura 39 - Resultado comparativo dos módulos de elasticidade dinâmico 65
Figura 40 - Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre o módulo de elasticidade dinâmico 66
Figura 41 - Resultado comparativo das absorções em porcentagem 66
Figura 42 - Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre a absorção 67
Figura 43 - Resultado comparativo percentual dos índices de vazios em porcentagem 68
Figura 44 - Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre o percentual do Índice de vazios 69
Figura 45 - Resultado comparativo das massas específicas 69
Figura 46 - Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre massa específica da amostra seca 70
Figura 47 - Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre a massa específica da amostra saturada (ρsat) 71
Figura 48 - Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre a massa específica real (ρr) 72
Figura 49 - Resultado comparativo da absorção de água por capilaridade 73
Figura 50 - Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre a absorção de água por capilaridade 74
Figura 51 - Resultado comparativo das resistências à tração na flexão nos diferentes estados de tratamento 75
Figura 52 – Efeito isolado do tipo de placa sobre a resistência à tração na flexão no estado saturado 76
Figura 53 - Efeito isolado do tipo de placa sobre a resistência à tração na flexão no estado de equilíbrio 77
Figura 54 - Efeito isolado do tipo de placa cimentícia sobre a Resistência à tração na flexão após envelhecimento acelerado por ciclos de imersão e secagem 78
Figura 55 - Efeito isolado do tipo de placa cimentícia sobre a resistência na à tração na flexão após envelhecimento acelerado por imersão em água quente 79
Figura 56 - Resultado comparativo da absorção em diversos estados 80

Figura 57 - Efeito isolado do percentual de absorção de água nos diversos estados das PREPS 81
Figura 58 - Resultado comparativo da variação dimensional 81
Figura 59 - Efeito isolado do tipo de placa cimentícia sobre a variação dimensional 82
Figura 60 – Resultado comparativo da densidade aparente 83
Figura 61 - Efeito isolado do tipo de placa cimentícia sobre a densidade aparente 84
Figura 62 – Ensaio de permeabilidade das PREPS 10% 84
Figura 63 – PREPS10%-P15 após realizado o ensaio 84
Figura 64 – PREPS10%-P16 após realizado o ensaio 85
Figura 65 – PREPS10%-P17 após realizado o ensaio 85
Figura 66 – Ensaio de permeabilidade das PREPS 15% 85
Figura 67 – PREPS15%-P5 após realizado o ensaio 85
Figura 68 – PREPS15%-P6 após realizado o ensaio 86
Figura 69 – PREPS15%-P7 após realizado o ensaio 86
Figura 70 – Imagem do MEV, da argamassa da PREPS no estado de Equilíbrio 86
Figura 71 - Imagem do MEV, da argamassa da PREPS no estado de Estado Saturado 87
Figura 72 - Imagem do MEV da argamassa da PREPS após envelhecimento por ciclos de imersão e secagem 87
Figura 73 - Imagem do MEV da argamassa da PREPS após envelhecimento por imersão em água quente 88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Requisitos de resistência à tração na flexão 24
Tabela 2 – Características das placas cimentícias encontradas no mercado 24
Tabela 3 - Caracterização do cimento CPV-ARI..... 36
Tabela 4 – Propriedades físicas do agregado miúdo 37
Tabela 5 – Normas para ensaios de propriedades físicas do resíduo de EPS..... 39
Tabela 6 – Determinação do índice de consistência 42
Tabela 7 - Consumo de materiais por traço..... 44
Tabela 8 – Ensaios realizados nas argamassas produzidas..... 45
Tabela 9 - Ensaios realizados nas placas produzidas..... 52
Tabela 10 – Análise de variância da resistência à compressão da argamassa..... 62
Tabela 11 – Análise de variância da resistência à compressão diametral..... 63
Tabela 12 - Análise de variância dos módulos de elasticidade dinâmico 65
Tabela 13 - Análise de variância da absorção 67
Tabela 14 - Análise de variância do índice de vazios..... 68
Tabela 15 - Análise de variância da massa específica da amostra seca sobre o percentual de substituição 70
Tabela 16 - Análise de variância da massa específica da amostra saturada 71
Tabela 17 - Análise de variância da massa específica real..... 71
Tabela 18 - Análise de variância da absorção de água por capilaridade sobre o percentual de substituição 73
Tabela 19– Requisitos de resistência à tração na flexão 75
Tabela 20 - Efeito isolado do tipo de placa sobre a resistência à tração na flexão no estado saturado 76
Tabela 21 - Efeito isolado do tipo de placa sobre a resistência à tração na flexão no estado de equilíbrio..... 76
Tabela 22 - Análise de variância da placa em envelhecimento acelerado por ciclos de imersão e secagem..... 77
Tabela 23 - Análise de variância da placa em envelhecimento acelerado por imersão em água quente 79
Tabela 24 - Análise de variância da placa em envelhecimento acelerado por imersão em água quente 80
Tabela 25 - Análise de variância da placa quanto a variação dimensional..... 82
Tabela 26 - Análise de variância da PREPS quanto a densidade 83

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ARI - Alta resistência inicial

CP - Cimento Portland

EPS - Poliestireno Expandido

IC - Índice de consistência

IFES - Instituto Federal do Espírito Santo

LDCM - Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais

LEMAC - Laboratório de Ensaios em Materiais de Construção do Centro Tecnológico

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

ONU - Organização das Nações Unidas

PREPS – Placa cimentícia com resíduo de poliestireno expandido incorporado

REF - Referência

REPS - Resíduo de Poliestireno Expandido

RS - Resistente a sulfatos

UFES - Universidade Federal do Espírito Santo

RESUMO

BAPTISTA, Gercyr Junior. **Placa cimentícia com resíduos de poliestireno expandido (EPS): estudo das propriedades físicas e mecânicas.** 2019. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019.

O sistema de vedação de uma edificação é de fundamental importância, uma vez que é ele que garante a estanqueidade, a proteção e o isolamento térmico e acústico do interior das construções. A busca por matérias-primas secundárias, provenientes de resíduos industriais e domésticos, com potencial para serem empregados na construção civil, é um tema bastante atual e que têm gerado diversos estudos tanto em nível nacional quanto internacional. Alguns desses resíduos podem ser considerados nobres do ponto de vista do desempenho técnico, porém, por razões diversas, acabam sendo descartados em aterros sanitários aumentando o impacto ambiental. Um exemplo é o resíduo de Poliestireno Expandido – REPS, cujas propriedades como, baixa densidade, isolamento térmico e acústico, fazem com que o material tenha um alto potencial para reutilização. Este trabalho se propõe a verificar o desempenho físico e mecânico de placas cimentícias com diferentes percentuais de REPS em substituição parcial do agregado miúdo. Para tanto, foram fabricadas placas cimentícias que foram submetidas a ensaios mecânicos e físicos. Como conclusão principal do estudo verificou-se, que é possível a utilização de REPS em substituição parcial do agregado miúdo para produção de placas cimentícias de vedação.

Palavra-chave: Placa cimentícia, Argamassa Leve, argamassa com EPS, resíduo de EPS, Poliestireno Expandido.

ABSTRACT

BAPTISTA, Gercyr Junior. **Cement board with expanded polystyrene (EPS) waste: study of the physical and mechanical properties.** 2019. 94 f. Dissertation (Master's Degree in Civil Engineering) – Graduate Program in Civil Engineering, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019.

A building's sealing system has a fundamental importance, since it guarantees watertightness, protection, and thermal and acoustic insulation of constructions. The search for secondary raw materials, originated from industrial and domestic waste and with potential applications in civil constructions, is a current topic that has been generating several studies at both national and international levels. Although some of the waste are considered noble from the technical performance point of view, they end up being discarded in landfills, which considerably increases environmental impact. An example to be given is the Expanded Polystyrene residue (EPSR), to be used as an addition in civil construction materials, due to its properties, such as low density, thermal and acoustic insulation. This work proposes to evaluate the physical and mechanical performances of cement boards with different percentages of EPSR partially replacing the fine aggregate. Therefore, cement boards were fabricated, and mechanical and physical tests were performed. As the main conclusion of this study, it was found that it is possible to use EPSR as partial replacement of the aggregate to produce cement boards.

Keyword: Cement Board, Light mortar, mortar with EPS, EPS residue, Expanded polystyrene.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16
1.1 JUSTIFICATIVA 17
1.2 OBJETIVOS 18
1.2.1 Geral 18
1.2.2 Específicos 18
2 REVISÃO DA LITERATURA 19
2.1 SISTEMA DE VEDAÇÃO 19
2.2 PLACAS CIMENTÍCIAS 21
2.3 POLIESTIRENO EXPANDIDO 25
2.3.1 Resíduo de poliestireno expandido 28
2.4 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS 30
2.4.1 Propriedade do estado fresco 30
2.4.2 Propriedade no estado endurecido 31
3 MATERIAIS E MÉTODOS 33
3.1 MATERIAIS 33
3.2 MÉTODOS 33
3.2.1 Atividades desenvolvidas 34
3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS. 36
3.3.1 Cimento 36
3.3.2 Agregado miúdo 36
3.3.3 Resíduo de Poliestireno expandido - REPS 38
3.3.1 Mistura do agregado miúdo e REPS 41
3.3.2 Água 42
3.3.3 Aditivo 42
3.4 ESTUDOS PRELIMINARES 42
3.4.1 Avaliação da consistência 42
3.4.1 Moldagem das placas 43
3.5 ESTUDO DAS ARGAMASSAS E PLACAS 44

3.5.1 Ensaios realizados nas argamassas 45
3.5.2 Ensaios realizados nas placas cimentícias 51
3.5.3 Análise estatística dos resultados 60
3.5.4 Microscopia eletrônica de Varredura (MEV) 60
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 61
4.1 ENSAIOS DAS ARGAMASSAS 61
4.1.1 Resistência à compressão simples 61
4.1.2 Resistência à tração por compressão diametral 63
4.1.3 Módulo de elasticidade dinâmico 64
4.1.4 Determinação da absorção de água 66
4.1.5 Índice de vazios 67
4.1.6 Massa específica da amostra 69
4.1.7 Absorção de água por capilaridade 72
4.2 PLACAS CIMENTÍCIAS COM REPS 74
4.2.1 Resistência à tração na flexão 74
4.2.2 Absorção de água 79
4.2.3 Variação dimensional por imersão e secagem 81
4.2.4 Densidade aparente 82
4.2.5 Permeabilidade 84
4.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura 86
5 CONCLUSÕES 89
5.1 Argamassas com REPS 89
5.2 Pacas cimentícias com reps 89
5.3 Sugestão para trabalhos futuros 90
REFERÊNCIAS 91

1 INTRODUÇÃO

O Sistema vedação de uma edificação é tão fundamental quanto os outros sistemas prediais, pois é ele que garante a estanqueidade, a proteção e o isolamento térmico e acústico do interior das construções. Inevitavelmente, o processo evolutivo das vedações verticais permitiu uma série de avanços construtivos (CAMILLO, 2010).

Atualmente no Brasil, por questões históricas e culturais, o sistema de vedação é feito predominantemente por alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto. Entretanto, apesar de consolidado, existem vários fatores que impulsionam o desenvolvimento de alternativas que buscam reduzir o seu impacto ambiental, e até mesmo melhorar a sua produtividade (FONTENELLE, 2012).

Na construção civil a busca por processos ou produtos que aliem o desempenho técnico com as questões ambientais é crescente. Nesse contexto, o emprego de placas para execução dos sistemas de vedação, se apresenta como uma solução técnica e economicamente viável, podendo contribuir para proporcionar critérios específicos de desempenho para vedações e até mesmo para a redução do déficit habitacional (FONTENELLE, 2012).

No que se refere à produção de placas cimentícias, o amianto teve importante utilização por ter propriedades como alta resistência mecânica, incombustibilidade, boa qualidade isolante, durável, resistência ao ataque químico, possui facilidade de ser tecida, entre outros (PAGLIETTI *et al.*, 2016). Entretanto, segundo Jamshidi e Ramezanianpour (2011), o seu uso foi limitado devido a problemas de saúde e segurança e desde 1970, desde então diferentes fibras têm sido pesquisadas como possíveis substitutas da fibra de amianto para reforço de matrizes cimentícias (JAMSHIDI; RAMEZANIANPOUR, 2011)

Considerando os aspectos ambientais, vários materiais também têm sido pesquisados como substitutos das matérias-primas convencionais em produtos cimentícios. Haja vista diversos trabalhos que verificam o desempenho de argamassas e concretos cujos agregados naturais têm sido substituídos parcial ou totalmente por resíduos granulares (BABU; BABU; TIONG-HUAN, 2006; FERRÁNDIZ-MAS; GARCÍA-ALCOCEL, 2013).

São destaques do cenário nacional, a preocupação com a sustentabilidade e as medidas de mitigação dos impactos ambientais no setor da construção civil, que consistem principalmente na redução e otimização do consumo de materiais e energia, na redução dos resíduos gerados, na preservação do ambiente natural e na melhoria da qualidade do ambiente construído (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2016).

Nessa linha, aparece o poliestireno expandido – EPS que é um material polimérico na forma de espuma com microcélulas fechadas, composto basicamente de 2% de poliestireno e 98%

de vazios contendo ar, fisicamente estável, e que possui notada propriedade de isolamento térmico nas temperaturas de -70° a 80°C (BRÁS; LEAL; FARIA, 2013).

Os grânulos de EPS são artificiais e ultraleves (densidade inferior a 300 kg/m³) e, por essa razão, vêm sendo utilizados na fabricação de concretos de baixa densidade para diversas aplicações tais como: revestimento de painel, divisórias, pisos e blocos de concreto (BABU; BABU, 2003).

O EPS possui características fundamentais que justificam o seu emprego em materiais de construção, entre elas estão a baixa absorção de água e a resistência ao envelhecimento além de ser um material inócuo, ou seja, não constitui substrato para a proliferação de microrganismos (AMIANTI; BOTARO, 2008). Além disso, os aspectos ecológicos são importantes, visto que o EPS é normalmente descartado na natureza.

Devido ao alto volume de resíduos de EPS, torna-se necessário o desenvolvimento de novas aplicações para este material (FERRÁNDIZ-MAS *et al.*, 2016).

1.1 JUSTIFICATIVA

A busca por novos produtos para vedação vertical, que contemplem bom desempenho nas características térmicas, acústicas, e de estanqueidade ao ar e à água, são ampliadas após a criação da ABNT NBR 15.575:2013 - parte 4, que determina as condições de habitabilidade que uma vedação vertical deve proporcionar.

A utilização de vedações com menor densidade que as alvenarias de cerâmica ou concreto, proporcionam uma redução do peso dessa etapa da obra, reduzindo também a demanda por matéria-prima de origem natural, além de reduzir significativamente a carga exercida sobre a estrutura.

Nesse contexto a utilização das placas cimentícias em detrimento as alvenarias convencionais, são uma alternativa viável para a substituição do sistema de vedação, uma vez que integram rapidez, limpeza e economia.

Considerando a crescente busca por materiais que possam substituir o amianto, na produção de placas cimentícias, o EPS se apresenta com potencial para essa substituição, pois apresenta características de baixa absorção de água, baixa densidade, resistência ao envelhecimento e por ser inócuo, o que o credencia para ser utilizado em fabricação de placas cimentícias.

De acordo com Ferrándiz-Mas e García-Alcocel (2013), os resíduos de EPS representam 0,1% do total de resíduos sólidos urbanos. No país os resíduos ocupam grandes espaços nos aterros sanitários, gerando grande impacto ambiental, (BRASIL; AMBIENTE, 2015).

Assim, este trabalho foi desenvolvido com o intuito de verificar o potencial de aplicação de resíduos de EPS na produção de placas cimentícias em substituição parcial do agregado miúdo, de forma a contribuir para o estabelecimento de uma nova alternativa para a vedação vertical, além de reaproveitamento deste resíduo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Verificar o potencial de aplicação de resíduos de EPS na produção de placas cimentícias, analisando os seus aspectos mecânicos e físicos, considerando a substituição parcial do volume de agregado miúdo por resíduos de EPS.

1.2.2 Específicos

A partir do objetivo geral foram desdobrados os seguintes objetivos específicos, detalhados a seguir.

a) Avaliar as propriedades das argamassas, no estado fresco, sobre o efeito da trabalhabilidade, exsudação e segregação, comparando com as propriedades de amostras com e sem substituição de REPS;
b) Avaliar as propriedades das argamassas, no estado endurecido, sobre a resistência à compressão simples, comparando com as propriedades de amostras com e sem substituição de REPS;
c) Avaliar as propriedades das argamassas no estado endurecido, sobre a resistência à tração por compressão diametral, comparando com as propriedades de amostras com e sem substituição de REPS;
d) Avaliar as propriedades das argamassas no estado endurecido, sobre a absorção de água, absorção de água por capilaridade, índice de vazios e massa específica, comparando com as propriedades de amostras com e sem substituição de REPS;
e) Verificar o desempenho das placas cimentícias com resíduo de EPS através de ensaios mecânicos, físicos e em relação aos parâmetros de durabilidade de acordo com a norma ABNT NBR 15498:2016.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Inicialmente é fornecido um arcabouço teórico com elementos para entender a problemática, apresentando um breve histórico sobre os sistemas de vedação no mundo. Mais especificamente é abordada a composição, a montagem e a utilização das placas cimentícias, enfatizando os requisitos da normalização do produto e dos tipos existentes no mercado brasileiro. Em especial é apresentado um estado da arte sobre a argamassa, o poliestireno expandido e a incorporação do resíduo em matrizes cimentícias.

2.1 SISTEMA DE VEDAÇÃO

O processo de evolução das vedações se caracterizou pela apresentação de diversas etapas executadas por métodos e tecnologias diversificadas, aliados a sistemas modernos de construções.

Estanqueidade, proteção e isolamento térmico e acústico, no interior das construções, são algumas das características importantes de um sistema de vedação. A evolução das vedações verticais tem possibilitado grandes avanços construtivos (CAMILLO, 2010).

Apesar de no Brasil existirem consolidados sistemas de vedação, a busca por alternativas que reduzam o impacto ambiental e até mesmo melhorarem a produtividade é constante (FONTENELLE, 2012).

De acordo com a ABNT NBR 15.575 - Parte 4 (2013), as condições de habitabilidade que uma vedação vertical pode proporcionar estão diretamente relacionados com a característica de desempenho apresentada pelo conjunto que constitui essa vedação, tais como térmicos acústicos e de estanqueidade do ar e à água.

Dentre estes sistemas construtivos destaca-se a industrialização e a mecanização, onde gradativamente as atividades exercidas pelo homem foram sendo substituídas por aparelhos mecânicos ou eletrônicos.

O desenvolvimento destes mecanismos automatizados vem fazendo com que a indústria dos sistemas de vedações apresente significativa evolução, não só nos processos de fabricação, mas também nos processos de transportes, montagem, métodos de inspeções e controle, bem como o desenvolvimento de novos materiais.

Com base nos estudos de Santos (2015), Holanda (2003) e Silva Filho *et al.* (2010), foi montado o Quadro 1, no qual pode-se observar a cronologia de evolução de sistemas de vedação.

Quadro 1- Evolução dos Sistemas de vedação

Período	**Fato Evolutivo**
1500 a 1808	Método construtivo artesanal, estruturadas com madeira e enchimento com argila.
1808 a 1920	Substituição dos métodos artesanais por utilização dos tijolos
1928 a 1960	Novos tipos de materiais de alvenaria: • tijolo cerâmico de 8 (oito) furos; • blocos de concreto celular; • blocos de concreto.
1964 a 1970	Emprego de novos processos construtivos e mecanização, industrializando o mercado da construção civil brasileiro até 1970 quando o mesmo dava indícios de baixa.
1970 a 1980	Surgimento da alvenaria estrutural e da alvenaria de gesso acartonado, que não tiveram boa aceitação na época. Racionalização na produção de edifícios construídos pelo processo tradicional, buscando reduzir custos, em função da crise da época.
1995 a 1998	Há uma consolidação das placas de gesso acartonado no mercado brasileiro, com a chegada de três grandes empresas multinacionais no setor, início da utilização no brasil de painéis em cimento reforçado com fibras de vidro (GRC).
1999	Início da utilização de sistemas modulares (SVM), no mercado brasileiro, que visa a racionalização do processo através da modulação permitindo assim minimizar a perda de material devido a cortes mal executados das peças.
2000 até ao presente ano	Outros tipos de vedações foram inseridos ao mercado ou até mesmo em fase de pesquisas dentre elas: os painéis arquitetônicos (fabricados em concreto comum, armado ou em argamassas com incorporação de fibra), poliestireno expandido, pré-moldados de concreto e as placas cimentícias.

Fonte: a partir de (SANTOS N. A., 2015), (HOLANDA, 2003) (SILVA, FILHO, FILHO, & FAIRBAIRN, 2010).

2.2 PLACAS CIMENTÍCIAS

As placas cimentícias são produtos de construção que podem ser utilizados como vedação externa / interna. Segundo Speck (2014), as placas cimentícias são compostas por misturas de materiais de cimento Portland, fibra de celulose ou sintéticas e agregados, como areia e rocha, em alguns casos reproduz com altíssima fidelidade a madeira, as pedras e o concreto.

De acordo com Schabowincz e Gorzelanczyk (2016), nos últimos anos, cada vez mais fachadas de edifícios têm sido feitas de placas de fibrocimento. Exemplos de fachadas com placas são apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Exemplos de fachadas com placa cimentícia

Fonte: (SCHABOWICZ; GORZELAŃCZYK, 2016, p.201)

As placas cimentícias são complementos essenciais no processo de industrialização, principalmente na tecnologia *steel frame*[1], para a constituição de paredes sólidas, divisórias e mezaninos, permitindo que a obra ganhe criatividade e flexibilidade.

O uso da placa cimentícia agrega valor à obra, especialmente em projetos em que há a necessidade ou a preocupação em otimizar o espaço físico e o tempo de execução, além de proporcionar uma maior qualidade de acabamento. É uma alternativa rápida, limpa e econômica para construção civil, que pode ser aplicada em áreas internas e externas, além de suprir algumas restrições de outros materiais quanto ao uso em áreas molhadas (PONTES, 2010).

Em muitos países, nas últimas duas décadas, foi proibido o uso de fibras de amianto na produção de placas cimentícias por serem prejudicial à saúde, considerando o asbesto, porém ainda são utilizadas em alguns países em desenvolvimento (KHORAMI; GANJIAN; SRIVASTAV, 2016). No Brasil a proibição da utilização da fibra, ocorreu em 29 de novembro de 2017, por uma decisão Plenária do Supremo Tribunal Federal.

[1] Método construtivo que utiliza uma base estrutural de aço.

De acordo com Paglietti *et al.* (2016) na Europa, o termo geral “amianto” é usado para identificar seis minerais de silicato de ocorrência natural que pertencem à serpentina (crisotila) e anfibólio (amosita, crocidolita, tremolita, antofilita e actinolita). Todos eles podem existir em várias formas cristalinas diferentes, mas apenas as formas fibrosas são classificadas como asbesto.

Portanto, devido a problemas advindos do uso das fibras de amianto, matérias-primas com características similares vem sendo pesquisadas, para que haja uma substituição do material com um mínimo de perda de desempenho.

Ashori et al. (2011) avaliaram a possibilidade de utilização de compósito de lã e madeira aglomerados com cimento usando eucalipto (Eucalyptus camaldulensis) e álamo (Populus deltoides). As proporções de lã de madeira para cimento foram 40:60 e 60:40 em peso. As propriedades mecânicas das placas mais produzidas satisfazem os requisitos mínimos da norma ISO.

Khorami e Ganjian (2011) utilizaram resíduos de fibras agrícolas na produção de Placa Cimentícia. Três fibras diferentes foram estudadas incluindo fibras de bagaço, trigo e eucalipto como 2% e 4% do peso do cimento Portland.

Ashori, Tabarsa e Valizadeh (2011) investigaram o efeito do resíduo de papel de jornal e cloreto de cálcio ($CaCl_2$) para produção de placas cimentícias. As placas foram preparadas com densidade de 0,7 kg/m^3 e relações fibra / cimento de 10:90, 15:85 e 20:80 em peso e 3% e 5% de $CaCl_2$ como acelerador. Os resultados do teste mostraram que a adição de $CaCl_2$ tende a melhorar as propriedades mecânicas e físicas das placas. Todas as propriedades das placas foram melhoradas quando o teor de $CaCl_2$ foi aumentado de 3% para 5%.

Khorami, Ganjian e Srivastav (2016) estudaram a incorporação de celulose de resíduos de papelão e adição de duas fibras poliméricas, acrílico e polipropileno que são normalmente utilizadas na indústria de tecidos. Em ambos os grupos, a nano sílica foi usada como um aditivo.

Khorami et al. (2017) utilizaram fibras de vidro, fibras de papel e sílica ativa para a produção de placas cimentícias, foram avaliadas densidade, absorção de água, permeabilidade e resistência à flexão. Os resultados mostraram que algumas misturas podem atender aos requisitos de norma.

Segundo Peruzzi (2007) o mercado brasileiro produz dois tipos diferentes de placas cimentícias para o sistema *drywall*: as placas de fibrocimento e as placas que utilizam o microconcreto leve fabricadas pelo processo Hacheck[2], conforme detalhado a seguir:

I. Placa de fibrocimento

Os materiais básicos para formação das mantas são o cimento Portland, o filer calcário, as fibras de celulose e fibras de polipropileno e/ou PVA (que exercem a função de reforço do compósito no estado endurecido).

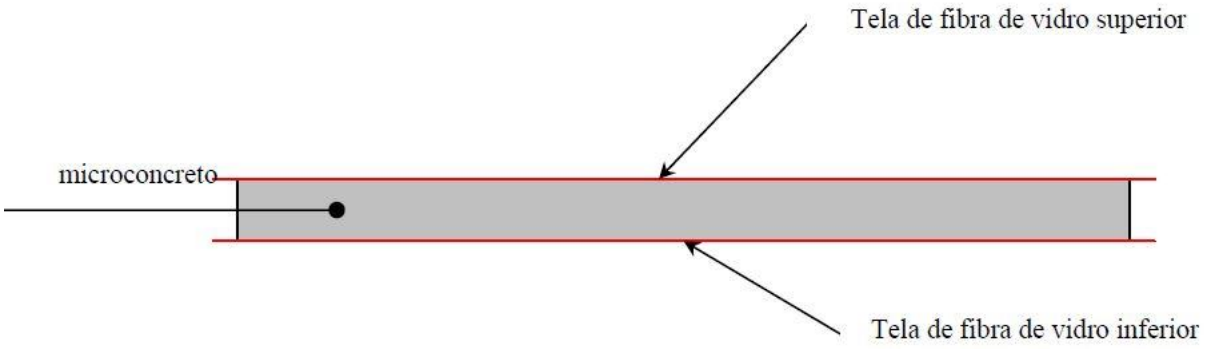
As principais vantagens deste tipo de placa são a resistência à tração e o preço mais competitivo que as placas moldadas de microcroncreto. Porém as fibras de celulose são responsáveis pela variação dimensional das placas cimentícias moldadas com estes materiais.

II. Placa de microconcreto leve

Sendo os concretos, os microconcretos e as argamassas de cimento Portland, materiais com ruptura frágil para confecção de placas esbeltas, é necessário que a matriz cimentícia usada tenha menor módulo de elasticidade possível (PERUZZI, 2007). Para tanto, utiliza-se a argila expandida como agregado e adiciona-se à composição de concreto (ROSSIGNOLO, 2009).

A resistência à tração das placas é garantida por duas telas de fibra de vidro colocadas na parte superior e inferior conforme esquema da Figura 2.

Figura 2 – Figura esquemática da placa cimentícia fabricada com microconcreto e fibra de vidro



Fonte: (Peruzzi, 2007, p. 59)

[2] Processo de produção, para a fabricação de chapas de amianto, consiste em formar mantas a partir de uma suspensão de fibras diluídas de amianto em água e material aglomerante como cimento e sílica ativa (Peruzzi, 2007).

No Brasil, as placas cimentícias possuem normalização desde 2007 através da ABNT NBR 15.498 – Placa plana cimentícia sem amianto: requisitos e métodos de ensaio, que estabelece os requisitos, os métodos de ensaio e as condições de recepção das placas cimentícias reforçadas com fio, filamentos ou telas. Em 2014, essa norma sofreu atualização e passou a vigorar em 2016 como ABNT NBR 15.498:2016 – Placa de fibrocimento sem amianto: requisitos e métodos de ensaio, sendo as placas classificadas como:

a) classe A: placas indicadas para aplicação externa sujeitas a ação direta do sol, chuva calor e umidade;
b) classe B: placas indicadas para aplicação interna e externa, não sujeita a ação do sol chuva calor e umidade;

A Tabela 1 mostra as categorias normalizadas das placas existentes, com base nos requisitos de resistência à tração na flexão.

Tabela 1– Requisitos de resistência à tração na flexão

Categoria	Placas da Classe A (MPa)	Placas da Classe B (MPa)
1	-	4
2	4	7
3	7	10
4	13	16
5	18	22

Fonte: ABNT NBR 15.498:2016, p5.

Para exemplificação das características das placas comercializadas no mercado brasileiro, foram identificadas quatro empresas já consagradas, produtoras de placas cimentícias em conformidade com a ABNT NBR 15.498:2016. A Tabela 2 apresenta características de algumas placas cimentícias encontradas no mercado brasileiro, e as empresas foram designadas pelas letras C, D, E e F respectivamente.

Tabela 2 – Características das placas cimentícias encontradas no mercado

Empresa/ Placa	**Variação Dimensional (mm/m)**	**Densidade (g/cm³)**	**Resistência à tração na flexão (MPa)**		**NBR 15.498:2016 Classe / Categoria**	**Absorção de água**
			Equilíbrio	**Saturado**		
C	2,7	1,6	5,3	13,2	A2 – B3	21,39
D	2,0	1,70	11	14	A3 – B3	NI
E	2,0	1,8	7	10	A3 – B3	NI
F	NI	1,35	5,9	5,5	A2 – B1	< 5% em peso

NI: Não informado pela empresa

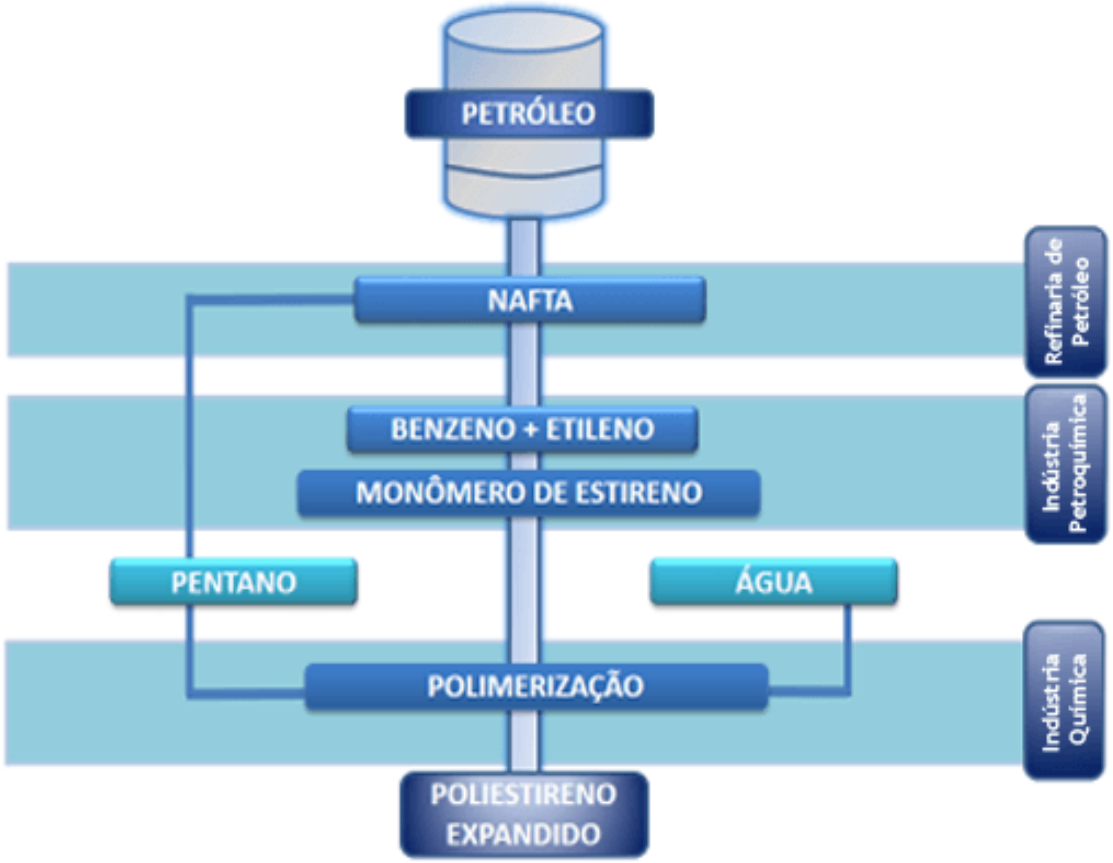
Fonte: adaptado dos relatórios técnicos dos fabricantes.

2.3 POLIESTIRENO EXPANDIDO

O poliestireno expandido – EPS é um material polimérico, com aspecto de espuma, fisicamente estável e composto basicamente de 2% de poliestireno e 98% de vazios com ar, que tem notada propriedade de um isolante térmico nas temperaturas de -70° a 80° Centígrados (Brás, Leal, & Faria, 2013).

Na figura 3 é apresentado o processo de formação do EPS com a polimerização do poliestireno em água, tendo como agente expansor o pentano, um hidrocarboneto que se deteriora rapidamente pela reação fotoquímica gerada pelos raios solares, essa reação não compromete o meio ambiente (abrapex, 2015).

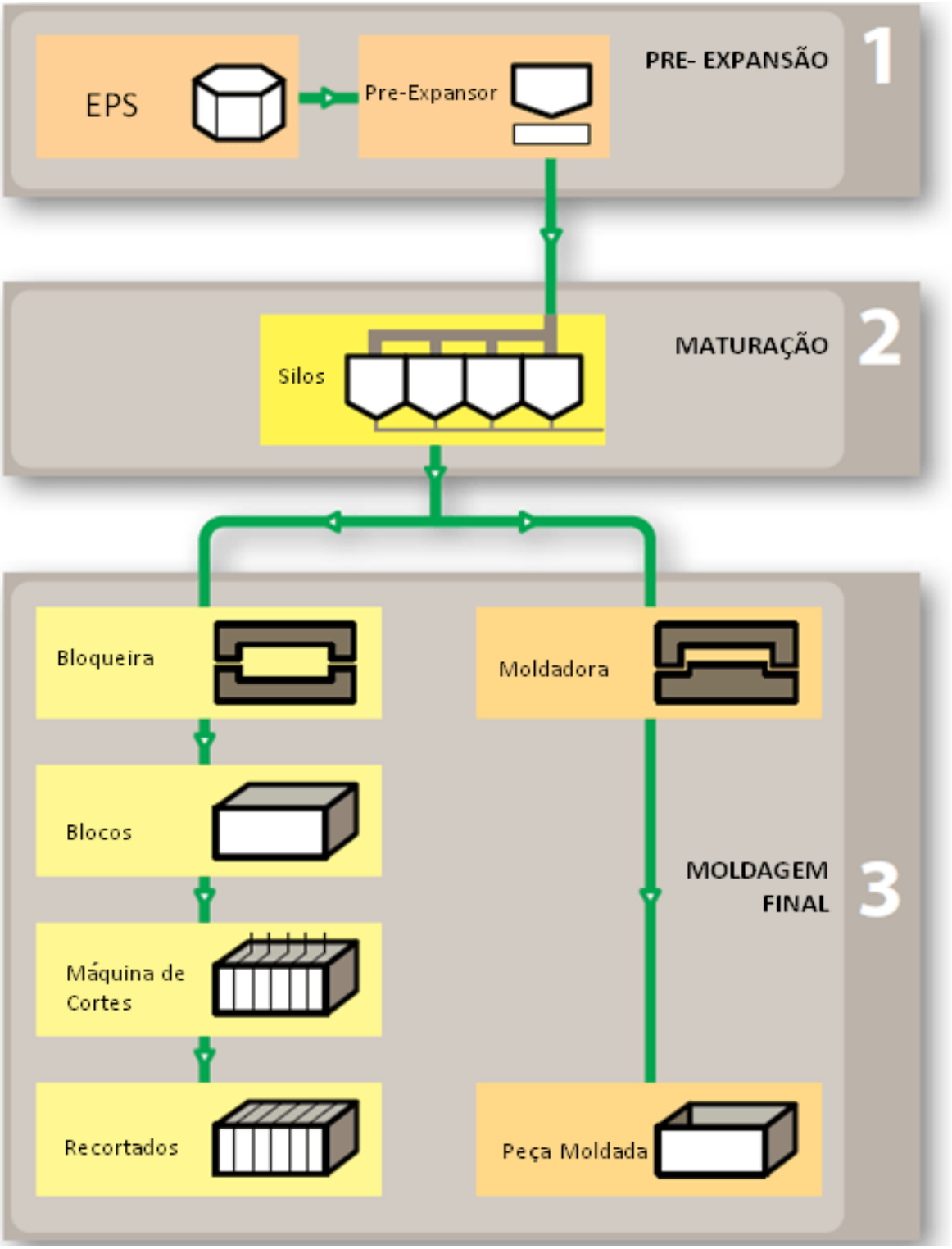
Figura 3 – Processo produtivo do EPS



Fonte: (EPSBRASIL, 2016)

O produto final é composto de pérolas de até 3 milímetros de diâmetro. No processo de transformação, essas pérolas são submetidas à expansão em até 50 vezes o seu tamanho original, através de vapor, fundindo-se e moldando-se em formas diversas. Na Figura 4 é apresentado o processo de transformação até a moldagem final das peças (EPSBRASIL, 2016).

Figura 4 - Processo de transformação do EPS



Fonte: (EPSBRASIL, 2016)

O EPS tem inúmeras aplicações em embalagens industriais, artigos de consumo (caixas térmicas, pranchas, porta-gelo etc.) e até mesmo na agricultura, entretanto é na construção civil que sua utilização é mais difundida (abrapex, 2015).

O poliestireno expandido - EPS possui vantagens como: a baixa condutividade térmica, o baixo peso (densidades entre 10 a 30kg/m³), resistência mecânica, baixa absorção de agua, facilidade de manuseio, versatilidade, resistência ao envelhecimento, absorção de choques e resistência à compressão (ABRAPEX, 2015).

Em diversos estudos o EPS foi utilizado em argamassas como substituição parcial do agregado miúdo, em conjunto ou não com outros materiais.

Ferrándiz-Mas e García-Alcocel (2013) estudaram a durabilidade de argamassas, considerando a influência da adição de vários tipos e várias concentrações de poliestireno expandido, considerando o EPS comercial e reciclado, na substituição parcial do agregado miúdo.

Brás, Leal e Faria (2013) compararam argamassas com substituição do agregado miúdo por EPS com as argamassas com substituição do agregado miúdo por cortiça. Buscando resultados no que diz respeito ao efeito térmico das argamassas.

Ferrándiz-Mas, Bond, *et al.* (2014) desenvolveram argamassas leves com propriedades de isolamento térmico, incorporando resíduos de poliestireno expandido - REPS e de cinza da indústria de celulose, como substituto de agregado miúdo.

Ferrándiz-Mas, Sarabia *et al.* (2016) avaliaram a utilização de resíduos de poliestireno expandido (EPS) para obter argamassas leves, quatro fatores foram estudados em vários níveis. A trabalhabilidade, resistência à compressão, aderência, densidade aparente e absorção capilar foram testadas experimentalmente.

Existem também vários estudos que utilizam EPS como agregado leve em concreto. As propriedades mecânicas de concretos com EPS foram relatados com diferentes tamanhos de grãos, aditivos orgânicos ou outras adições, tais como cinzas volantes e sílica ativa.

Babu e Babu (2003) avaliaram o uso de grânulos de poliestireno expandido (EPS) como agregado leve em concretos contendo sílica ativa como substituto parcial do cimento.

Babu, Babu e Tiong-Huan (2006) estudaram o efeito do tamanho do agregado de poliestireno nas características de resistência e permeabilidade do concreto leve, abrangeu o uso de grânulos de poliestireno expandido e poliestireno não expandido como agregado leve em substituição parcial ao agregado miúdo, além de cinza volante como substituto parcial do cimento. Na mesma linha, porem em percentuais diferentes de substituições Cadere et al.

(2018) compararam as densidades, resistências à compressão, resistências à flexão e resistência à tração, dos concretos.

O uso de aditivos tem permitido a fabricação de argamassas com dosagens elevadas de EPS e com maior durabilidade, em comparação com argamassas de referência. O baixo coeficiente da permeabilidade de argamassas com EPS torna possível concluir que a presença de EPS em argamassas melhora a sua durabilidade(FERRÁNDIZ-MAS; GARCÍA-ALCOCEL, 2013).

2.3.1 Resíduo de poliestireno expandido

A produção de EPS no mundo chega a 2,95 milhões de toneladas por ano. A América do Sul representa apenas 3% da produção mundial. No Brasil os resíduos de EPS representaram no ano 2000, 0,1% do lixo (cerca de 15 mil toneladas por ano), tornando-se o “vilão” dos aterros sanitários dado o grande volume que essa massa representa (Ambiente Brasil, 2015).

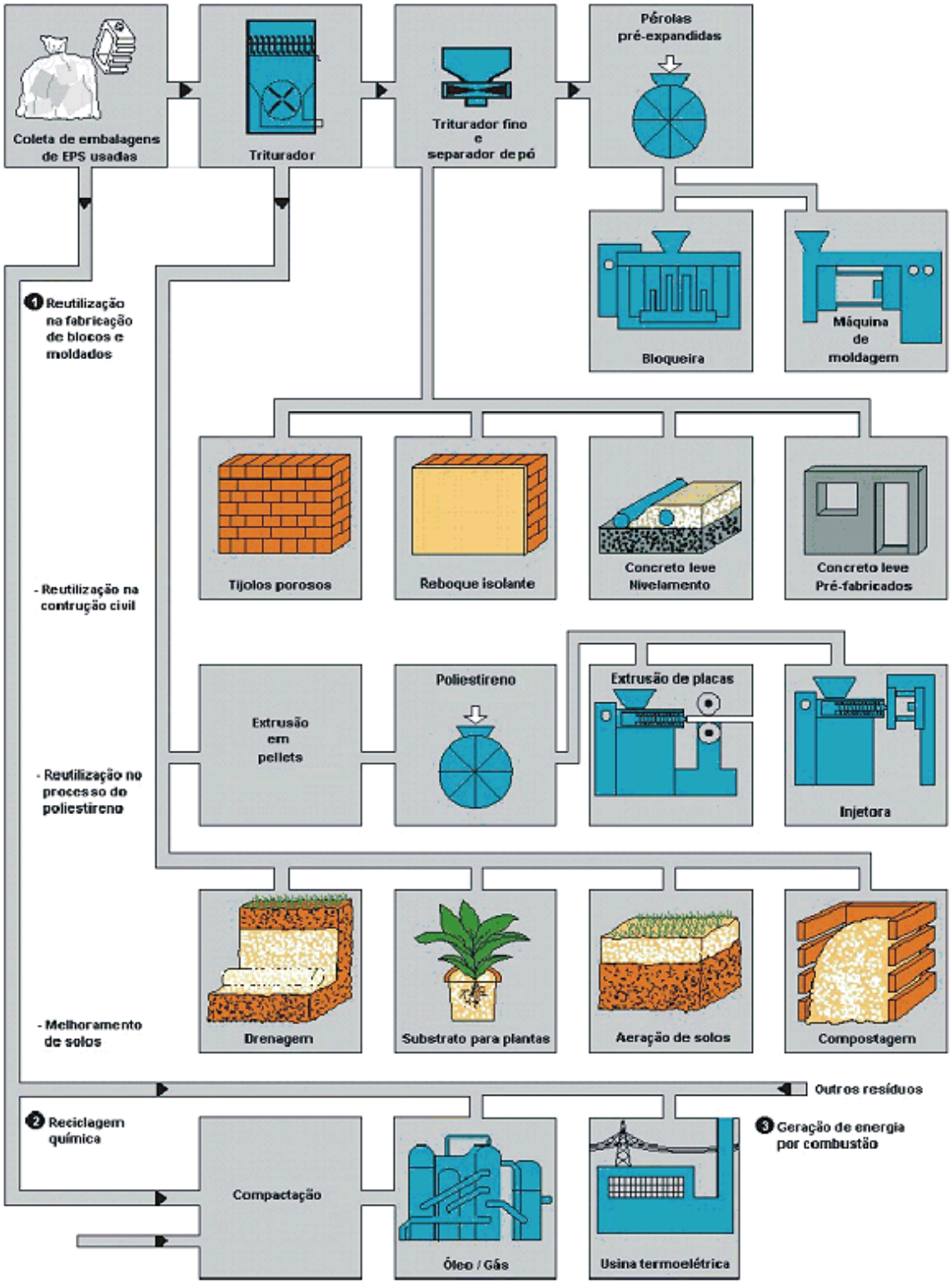
Além disso o EPS é um material muito usado para embalagens e proteção de produtos e não existe um programa nacional estruturado de coleta para o EPS. Assim, os maiores destinos são os aterros sanitários ou, em algumas situações, as coletas seletivas. Como as condições para a reciclagem são precárias, as tecnologias não se desenvolveram industrialmente de forma a tornar o resíduo do poliestireno economicamente atrativo (RICCHINI, 2016).

Segundo o estudo de caso feito por Bassani (2011), 4,9% do resíduo sólido coletado em 8 (oito) condomínios da cidade de Vitória/ES são compostos de EPS, utilizados como material para proteção de choques em transporte de mercadorias. Apesar da ausência de mercado de reciclagem de EPS no município de Vitória - ES, a associação de catadores de materiais recicláveis da Ilha de Vitória - AMARIV não descarta este material em aterros sanitários, o EPS é beneficiado e revendido para serem utilizados em outros setores, tais como: para isolamento de material, enchimento de almofada, puff em geral, travesseiros, etc.

Segundo Tittarellia *et al.* (2016), a utilização de EPS reciclado em argamassas, quando comparada com o EPS virgem, considerando o mesmo percentual de substituição de areia (33%, 66% e 100%), não afeta a trabalhabilidade. Já a densidade do EPS reciclado é sempre aumentada. Os autores relatam ainda que na mesma situação, as argamassas com EPS reciclado apresentam um aumento da resistência mecânica.

Na Figura 5, verifica-se alguns processos implantados com sucesso para a reciclagem de EPS, destacando-se a reutilização na indústria de pré-fabricados, objetivo do presente estudo, além da reutilização em outras áreas afins na construção civil.

Figura 5 - Alguns processos implantados com sucesso para a reciclagem de EPS.



Fonte: (abrapex, 2015)

2.4 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

As argamassas possuem uma quantidade significativa de propriedades que assumem maior ou menor importância conforme a sua aplicação. Algumas dessas propriedades podem ser caracterizadas como relevantes no estado fresco, e outras no estado endurecido (SANTOS W. J., 2011).

A seguir serão abordadas algumas das propriedades que podem ser afetadas pela incorporação de resíduos de EPS que serão objeto de estudo deste trabalho.

2.4.1 Propriedade do estado fresco

Quanto a argamassa no estado fresco, considerando a incorporação do EPS, pode ser destacada a trabalhabilidade, exsudação e segregação, das quais são influenciadas diretamente pela forma, dimensão e textura dos grãos de agregado.

2.4.1.1 Trabalhabilidade

Segundo Lanzón, *et al.*, (2015) o poliestireno expandido tem uma série de vantagens sobre os resíduos convencionais. Primeiro, eles estão disponíveis como materiais granulados, facilitando sua incorporação direta e reciclagem em materiais cimentícios. Além disso, materiais de baixa densidade tornam as argamassas mais fáceis de trabalhar e se espalhar em paredes e tetos verticais.

A geometria e o tamanho das partículas de EPS sofrem uma clara influência na trabalhabilidade das argamassas de EPS, medida que os grânulos de EPS são reduzidos a trabalhabilidade é reduzida (FERRÁNDIZ-MAS et al., 2016).

2.4.1.2 Exsudação e segregação

De acordo com Rossignolo (2009) para o controle da segregação dos agregados leves, deve-se observar a frequência de vibração, sendo recomendada a utilização de vibradores com baixa frequência de vibração, o autor observa ainda que no transporte de concretos leves, deve ser considerado a tendência de segregação, em virtude da baixa massa específica do agregado.

Ferrádiz-Mass e Garcia-Alcocel (2012) relataram a possibilidade de segregação de agregado leve, já que o mesmo tende a flutuar resultando em uma mistura não homogênea, implicando inclusive na inviabilidade de utilização das misturas. Como solução a utilização de grãos mais finos da areia torna-se um importante aliado para evitar esse efeito, conforme reportado por diversos pesquisadores (BABU; BABU; TIONG-HUAN, 2006; LAUKAITIS; ŽURAUSKAS; KERIENE, 2005).

2.4.2 Propriedade no estado endurecido

2.4.2.1 Resistência Mecânica

A queda da resistência à compressão é a redução da trabalhabilidade da argamassa, ocorre quando aumenta a quantidade de EPS (FERRÁDIZ-MASS & GARCIA-ALCOCEL, 2012). Pode ser verificado também que a aderência entre o agregado de EPS e a pasta de cimento depende do tamanho e forma dos grânulos (Laukaitis, Zurauskas, & Keriene, 2005).

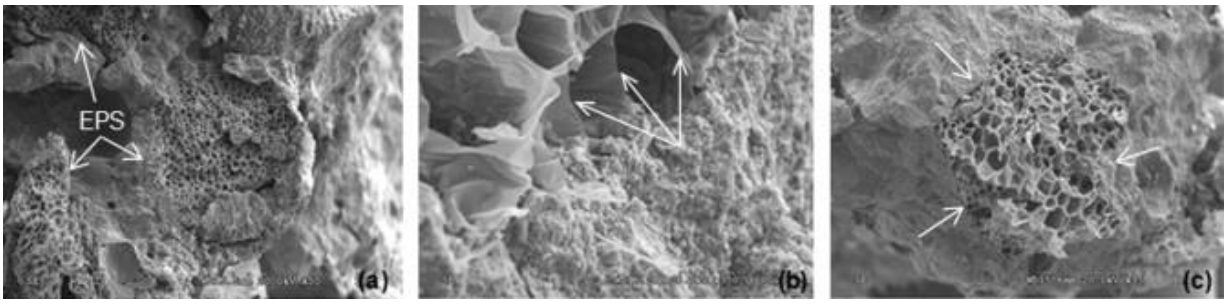
Ferrándiz-Mass *et al.,* (2014) afirma que a incorporação do EPS (0,5mm) perdeu menos resistência à compressão do que comparado com EPS (1mm). Essas diferenças são comparáveis com a densidade aparente para cada tipo de EPS. Consequentemente, o uso de EPS (0,5mm) produz argamassas com maior densidade aparente e maior resistência à compressão em relação àquelas com EPS (1mm).

2.4.2.2 Durabilidade

De acordo com Ferrádiz-Mass e Garcia-Alcocel (2013), para argamassas feitas com vários tipos e dosagens de EPS sem aditivos, verificou-se que o coeficiente de permeabilidade diminui em relação aos valores do coeficiente para a argamassa de controle. Em outro estudo Ferrádiz-Mass e Garcia-Alcocel (2012) já apresentavam a porosidade nestas argamassas mostrando essa mesma tendência. Portanto, altas dosagens de EPS em argamassa melhoram sua durabilidade.

Segundo Ferrádiz-Mass e Garcia-Alcocel (2013), as argamassas com poliestireno expandido submetida a ciclos de calor, a uma temperatura de 60°C, tiveram ligeiro aumento de resistência à compressão. Ainda segundo os autores, o aumento observado, afeta a durabilidade, e pode, portanto, ser explicado por duas possíveis causas: A microestrutura da pasta de cimento hidratado que pode melhorar devido a temperatura mais elevada que permite uma reação de hidratação mais prolongada. Considerando outra hipótese, a possível melhora na aderência na pasta de cimento. A segunda afirmação pode ser confirmada pela Figura 6-c, que mostra uma amostra feito com 70% EPS após ciclos de calor.

Figura 6 - Imagens microscópicas de uma argamassa feita com 70% de EPS submetido a ciclos de calor



(a) partículas de EPS em argamassa, (b) parede polimérica fina que separa as células em partículas de EPS, (c) partícula de EPS com aderência adequada a pasta em Argamassas que sofrem ciclos de calor.

Fonte:(FERRÁNDIZ-MAS; GARCÍA-ALCOCEL, 2013, p.179).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados na produção das argamassas para a moldagem das placas cimentícias foram: cimento Portland CP V ARI, areia de jazida, aditivo hiperplastificante com base química de éter policarboxílico e resíduo de poliestireno expandido - REPS originado de proteção de eletrônicos e eletrodomésticos.

3.2 MÉTODOS

Para avaliar as propriedades que caracterizaram as argamassas e as placas foram seguidas as normas da ABNT vigentes. Foram definidas e estudadas 3 (três) variáveis que podem influenciar nos resultados dos ensaios e têm sido usadas como parâmetro em outras pesquisas: variáveis independentes; variáveis dependentes e variáveis controle.

a. Variáveis Independentes

Foram introduzidas intencionalmente para verificar a relação entre suas variações e a influência que produzem nas variáveis dependentes. Neste trabalho foi definido como variáveis independentes a substituição parcial do agregado miúdo por REPS, em percentuais de 0%, 10% e 15% do volume.

b. Variáveis dependentes

As variáveis dependentes são aquelas cujo comportamento se quer avaliar em função das oscilações das variáveis independentes, ou seja, são aquelas cujo resultado só é obtido de acordo com a realização de ensaios. Foram estudadas as variáveis para argamassas e as variáveis para placas.

Para a argamassa foram analisadas:

1. resistência mecânica à compressão simples;
2. resistência à tração por compressão diametral;
3. absorção de água por capilaridade;
4. absorção de água;
5. índice de vazios;
6. massa específica;
7. índice da consistência normal;
8. módulo de elasticidade dinâmico.

Foram analisadas nas placas cimentícias produzidas

1. a resistência à tração na flexão;
2. permeabilidade;
3. envelhecimento acelerado por imersão em água quente;
4. envelhecimento por ciclos de imersão / secagem;
5. variação dimensional por imersão e secagem.

c. Variáveis de controle

Possuem grande influência nas variáveis independentes e dependentes. Nesta pesquisa foram estudas as características dos agregados, o tipo de cimento, definição do traço e procedimentos de moldagem e cura da placa.

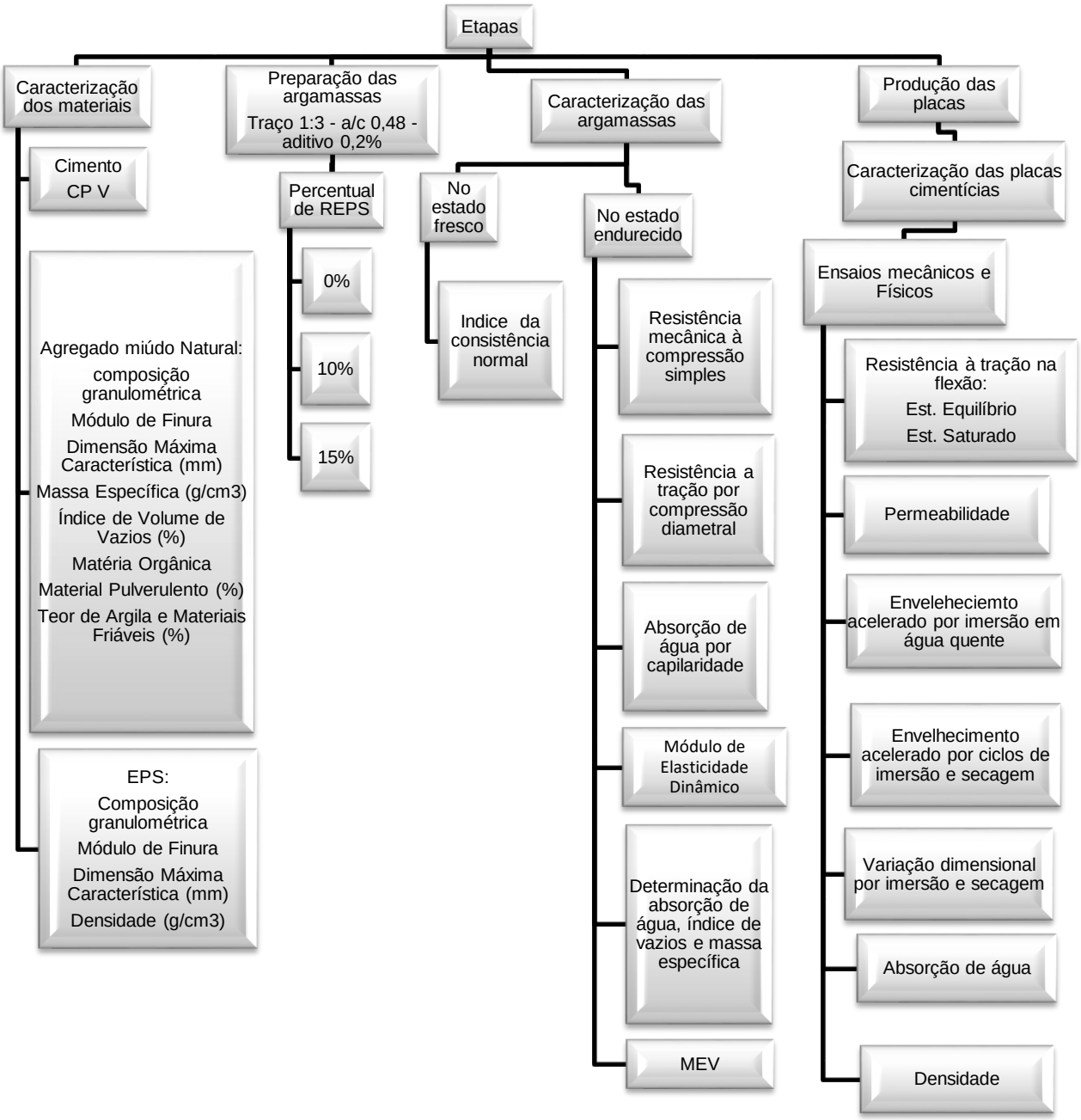
3.2.1 Atividades desenvolvidas

A Figura 7 demonstra um fluxograma para o trabalho experimental adotado, para a avaliação e caracterização das argamassas e placas cimentícias com incorporação de REPS.

Os procedimentos experimentais foram realizados nos Laboratórios de Materiais Cerâmicos e no Laboratório de Concreto, ambos do Instituto Federal do Espírito Santo no Campus Vitória.

A microscopia eletrônica de varredura, foi realizada na Universidade Federal de São Carlos.

Figura 7 - Fluxograma do trabalho experimental



Nota [1]: Com a finalidade de controlar a produção das placas, foram moldados corpos de prova cilíndricos para caracterização da mistura.
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.

3.3.1 Cimento

No desenvolvimento da pesquisa foi utilizado o cimento Portland CP V ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial), normatizado pela ABNT NBR 5733:1991. A escolha do tipo de cimento ocorreu por ser um cimento muito utilizado nas indústrias de pré-moldado, além de baixo percentual de adições minerais. As características do material obtidas através do fabricante podem ser observadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização do cimento CPV-ARI.

Propriedades		**Resultado**	**Método de ensaio**	**Limites NBR 5733**
Massa Específica (g/cm³)		3,08	NBR NM 23	N.E.
Finura	Material retido na peneira #400 (%)	2,22	Controle Fabricante	N.E.
	Área específica Blaine (cm²/g)	4.751	NBR NM 76	≥ 3000
Tempo de Pega	Inicio de pega (min)	136	NBR NM 65	≥ 60
	Fim de pega (min)	190	NBR NM 65	≤ 600
Resistência à Compressão	1 dia (MPa)	28,4	NBR 7215	≥ 14
	3 dias (MPa)	41,2	NBR 7215	≥ 24
	7 dias (MPa)	46,4	NBR 7215	≥ 34
Composição Química	PF 1000ºC	3,39	NBR NM18	≤ 4,5
	PF 500°C	0,78	Controle Fabricante	N.E.
	R.I. (%)	0,92	NBR NM15	≤ 1,0
	SiO_2	19,42	NBR 14656	N.E.
	CaO	63,69	NBR 14656	N.E.
	MgO	0,86	NBR 14656	≤ 4,5
	SO3	3,02	NBR 14656	≤ 3,5
	CO2	2,49	NBR NM 20	N.E.
	K2O	0,8	NBR 14656	N.E.
	C3A (Teórico)	7,74	Equação de Bogue	N.E.

Fonte: cortesia do fabricante

3.3.2 Agregado miúdo

Nesta pesquisa foi utilizado agregado miúdo natural, extraído de jazida. Os ensaios de caracterização seguiram as recomendações normativas brasileiras, que estão apresentados na Tabela 4, assim como os resultados encontrados.

Tabela 4 – Propriedades físicas do agregado miúdo

Propriedades	Normas NBR	Resultados
Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório	NM 27 (ABNT, 2000)	-
Composição Granulométrica	NM 248 (ABNT, 2003)	-
Módulo de Finura	NM 248 (ABNT, 2003)	1,98 - fina
Dimensão Máxima Característica (mm)	NM 248 (ABNT, 2003)	2,36
Massa Específica (g/cm3)	NM 52 (ABNT, 2009)	2,56
Índice de Volume de Vazios (%)	NM 45 (ABNT, 2006)	34,59
Matéria Orgânica	NM 49 (ABNT, 2001)	Clara
Material Pulverulento (%)	NM 46 (ABNT, 2003)	6,40
Teor de Argila e Materiais Friáveis (%)	7218 (ABNT, 2010)	0,10

Fonte: Elaborado pelo autor.

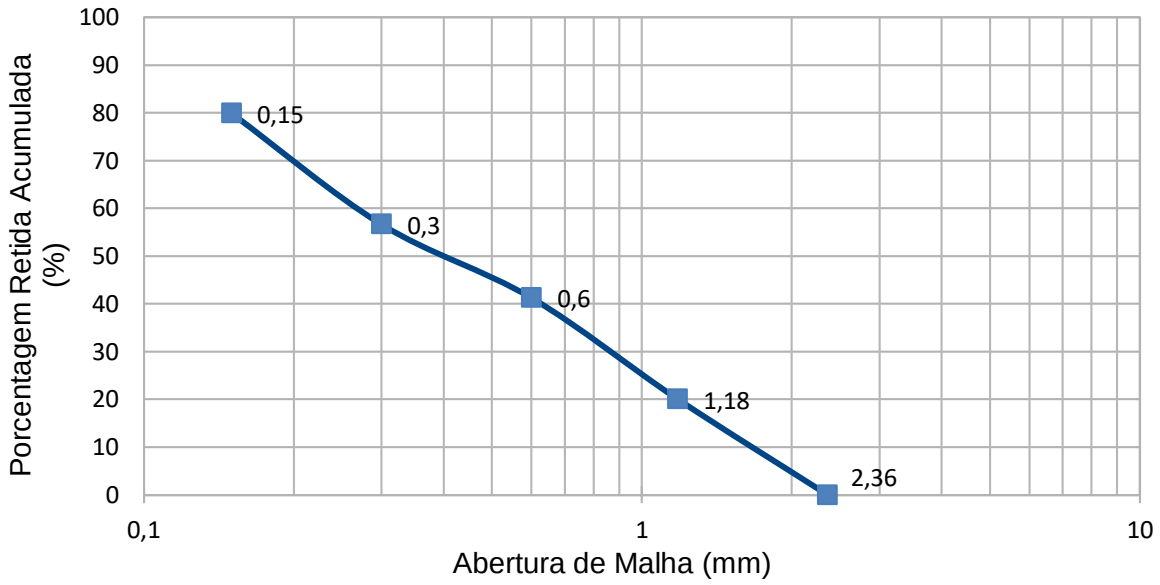
A areia foi inicialmente quarteada, de acordo com a ABNT NBR NM 27:2000, para que houvesse uniformidade no material. Foi feito também um ajuste granulométrico, no qual passou-se a areia quarteada pela peneira 2,4mm, conforme Figura 8.

Figura 8 – Peneiramento da areia

Fonte: Elaborado pelo autor.

A composição granulométrica foi elaborada conforme prescrito pela ABNT NBR NM 248:2003, que prescreve o método para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto. Na Figura 9, é possível observar a curva granulométrica do material ensaiado.

Figura 9 - Distribuição granulométrica do agregado miúdo



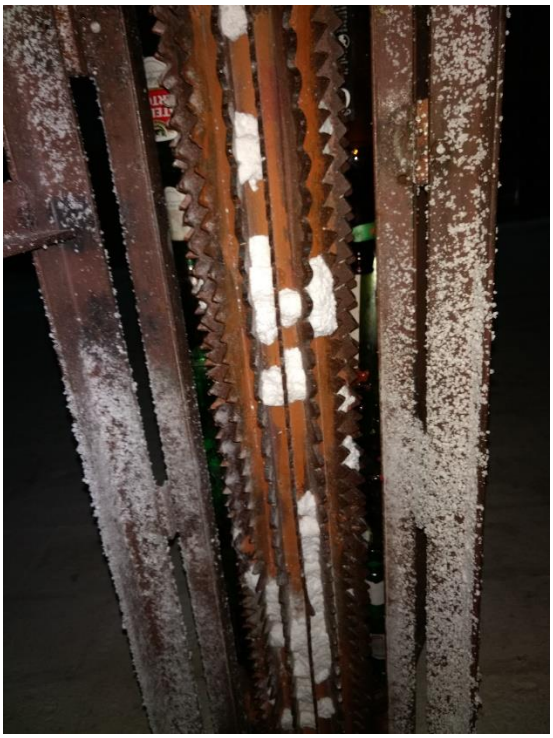
Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.3 Resíduo de Poliestireno expandido - REPS

O resíduo de poliestireno expandido foi adquirido junto a Associação de Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis da Ilha de Vitória já beneficiado. O beneficiamento para deixá-lo granular foi feito através do equipamento mostrado na Figura 10 e o detalhe da parte onde o REPS é triturado na figura 12. Uma vez levado ao laboratório, o material coletado foi passado na peneira de abertura de malha 4,75mm, sendo utilizadas na pesquisa apenas as frações inferiores.

Figura 10 - Máquina de triturar

Figura 11 – Peça do triturador



Fonte: Acervo próprio

Os ensaios de caracterização das propriedades físicas do resíduo de REPS foram baseados em recomendações normativas brasileiras para agregado miúdo conforme a Tabela 5, assim como os resultados encontrados.

Tabela 5 – Normas para ensaios de propriedades físicas do resíduo de EPS

Propriedades	**Normas NBR**	**Resultados**
Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório	NM 27 (ABNT, 2000)	-
Composição Granulométrica	NM 248 (ABNT, 2003)	-
Módulo de Finura	NM 248 (ABNT, 2003)	4,58 muito grosso
Dimensão Máxima Característica (mm)	NM 248 (ABNT, 2003)	4,75
Densidade (g/cm3)		0,024

Fonte: Elaborado pelo autor

O resíduo foi peneirado com o objetivo ajustar a granulometria para os grânulos passantes pela peneira 4,75mm. Após a etapa o resíduo de EPS foi quarteado conforme a ABNT NBR NM 27:2001 figura 13, que estabelece as condições exigíveis na redução da amostra de agregado formada no campo, para ensaio de laboratório. Após essa etapa foi feito o ensaio de densidade, conforme a Figura 13, porém não há normatização específica de medição de densidade de REPS.

Figura 12 – Quarteamento do REPS

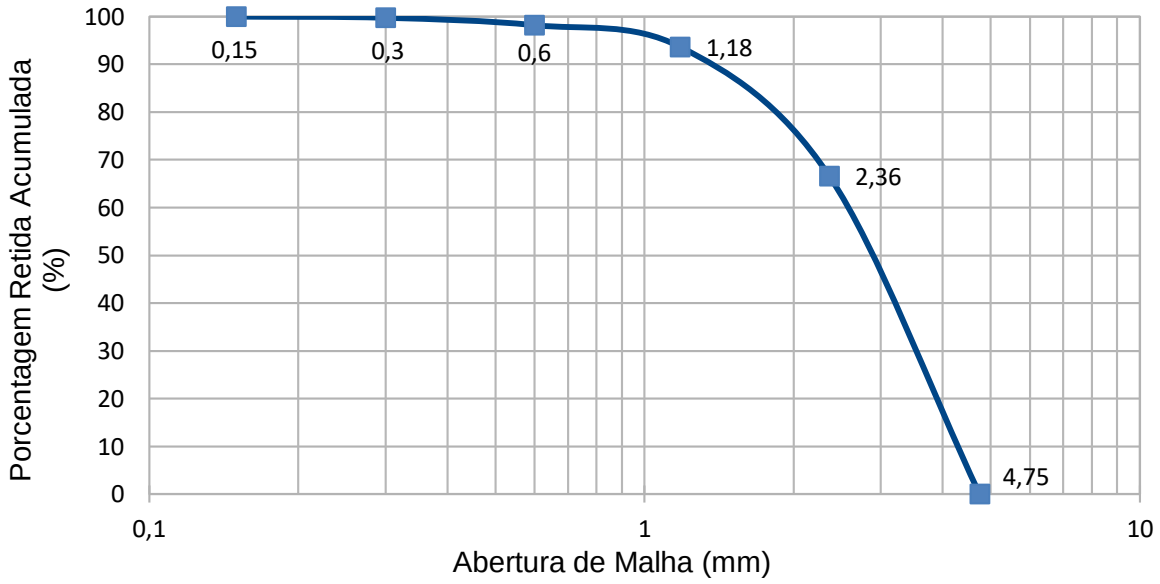
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13 - Ensaio de densidade

Fonte: Elaborado pelo autor.

O ensaio de granulometria do EPS foi feito de acordo com os parâmetros da ABNT NBR 248:2003, entretanto devido à baixa densidade do EPS, que faz o material ser muito volumoso, não foi possível utilizar a quantidade de material exigida pela norma (300 g), portanto decidiu-se usar a massa de 4 g que equivale aproximadamente a mesma quantidade em volume da areia, a curva granulométrica do material ensaiado, pode ser visto na Figura 14

Figura 14 – Distribuição granulométrica do REPS

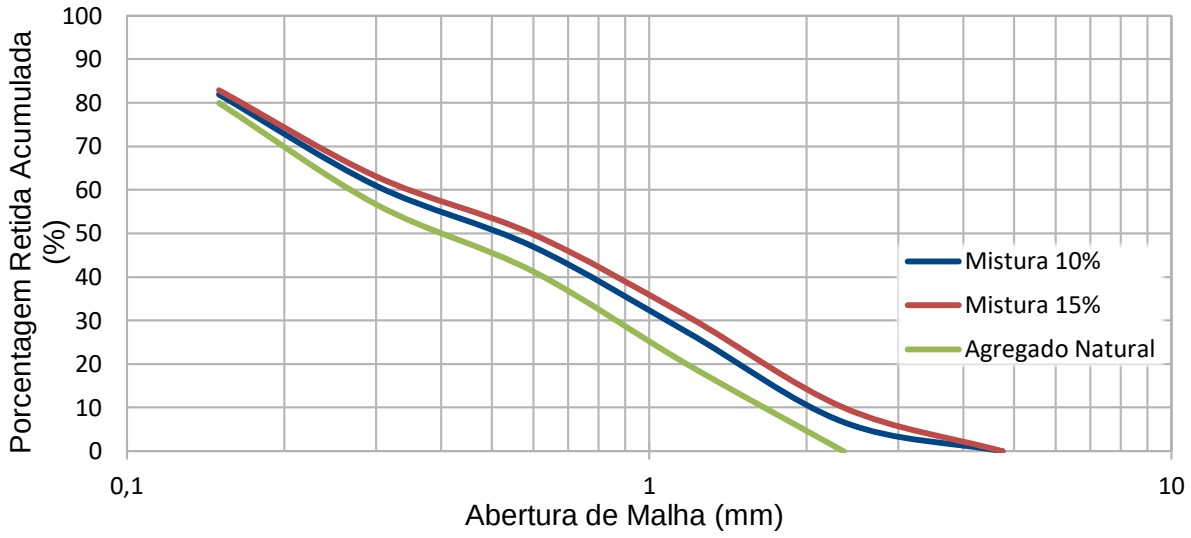


Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.1 Mistura do agregado miúdo e REPS

Considerando que a argamassa a ser produzida, recebe o REPS como substituto parcial do agregado, necessariamente outras características granulométricas são apresentadas. A figura 16, mostra a nova distribuição granulométrica, considerando a substituição de 10% e 15% de REPS. Como referência na figura, apresenta-se a curva da areia e do REPS.

Figura 15 – Distribuição granulométrica do agregado e misturas



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.2 Água

A água potável utilizada foi fornecida pela concessionária de serviço local.

3.3.3 Aditivo

Foi utilizado aditivo hiperplastificante, com base química de éter policarboxílico.

3.4 ESTUDOS PRELIMINARES

Com o intuito de padronizar a metodologia para produção das placas, foram realizados ensaios nas argamassas e testes de moldagem em protótipos das placas cimentícias.

3.4.1 Avaliação da consistência

Conforme observado por Santos (2015), um índice de consistência de 280±50mm permite uma trabalhabilidade adequada para a produção de placas cimentícias. Ensaios preliminares, permitiram concluir que, para uma argamassa 1:3 e relação a/c de 0,48, um teor de aditivo de 0,2% resultou, para os 3 traços estudados (referência, REPS 10% e 15%), em índices de consistência dentro dos valores definidos conforme podem ser verificados na Tabela 6.

Para tanto, foi utilizada a ABNT NBR 7215:1997 - Anexo B (Determinação do índice de consistência normal).

Tabela 6 – Determinação do índice de consistência

Traço:		**Aditivo %**	**IC 1**	**IC 2**	**IC médio**
REF-	0%	0,2	228,32	231,52	229,92
REPS-	10%	0,2	300,13	294,01	297,07
REPS-	15%	0,2	294,51	291,15	292,83

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.1 Moldagem das placas

Conforme constatado por Rossignolo (2009) ao pesquisar concreto com agregados leves, é preciso definir o tempo e a frequência de vibração a fim de evitar a ocorrência de segregação. Nessa linha, e visando definir a metodologia de adensamento das placas, uma vez que a norma não estabelece formas de produção, foram feitas simulações em dimensões reduzidas (200mm x 150mm x 12mm) sendo 11 corpos de prova conforme pode ser verificado na Figura 16, passando por cura a temperatura ambiente durante 7 dias.

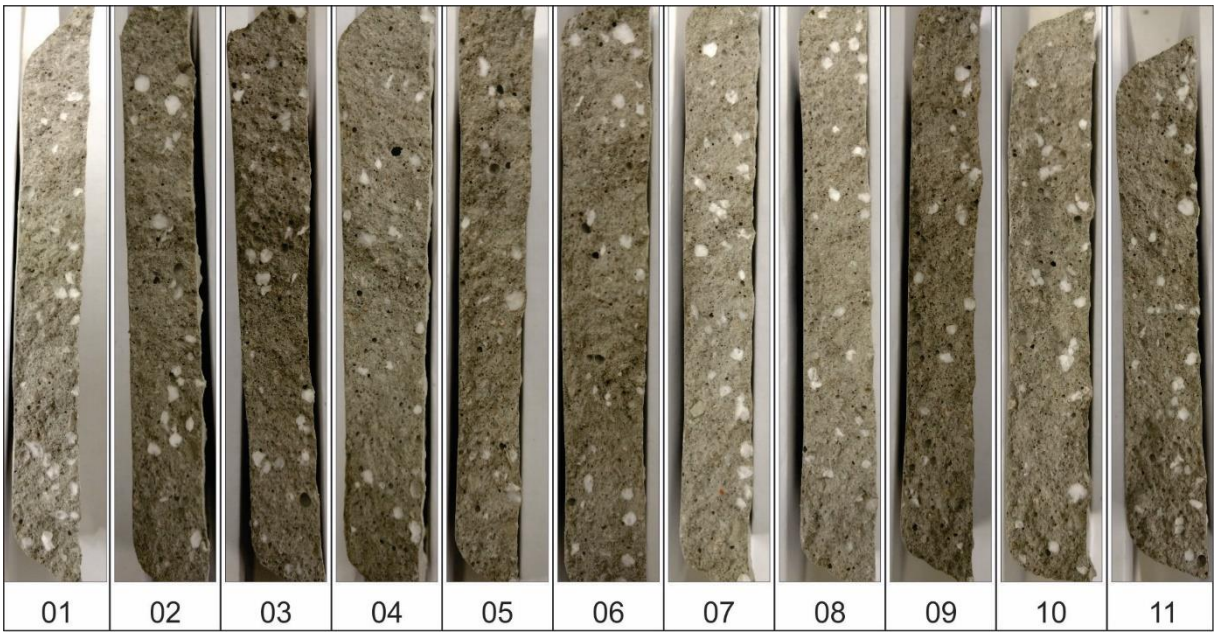
Como resultado adicional desse ensaio preliminar, constatou-se que o índice de consistência encontrado na literatura, e adotado na presente pesquisa, permitiu uma trabalhabilidade adequada para a moldagem das placas.

Figura 16 – Protótipos moldados

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 17 mostra os protótipos após o rompimento, é possível verificar que, em nenhuma das placas houve segregação após o adensamento. Referente a ocorrência de poros é possível observar que as placas com pouca ação de adensamento (ação com a espátula – 02; sem ação – 03; com 30 Hz – 04, 05 e 06) apresentam uma quantidade maior de vazios. Já a placa apiloada (01) e as com maior intensidade de vibração (de 07 a 11) apresentam uma menor ocorrência de vazios com diferenças insignificantes entre elas. Portanto, em função da estrutura disponível na execução da moldagem, optou-se pelo apiloamento, visto que não há procedimentos normatizados para a produção das placas.

Figura 17 – Protótipos após rompimento



Nota: 1 – Apiloada; 2– Ação com espátula; 3 – Sem ação; 4 – 30Hz por 5seg.; 5 – 30Hz por 15seg.; 6 – 30Hz por 30seg.; 7– 70Hz por 5seg.; 8 – 70Hz por 15seg.; 9 – 70Hz por 30seg.; 10 – 90Hz por 5seg.; 11 – 90Hz por 15seg.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5 ESTUDO DAS ARGAMASSAS E PLACAS

A pesquisa bibliográfica feita indicou que os estudos com REPS se concentram, principalmente, na avaliação do comportamento de corpos de prova de argamassa e concreto. Para avaliar o comportamento de placas cimentícias com REPS foram adotados os percentuais de 10 e 15% de substituição parcial do volume do agregado miúdo, esses percentuais foram utilizados como ponto de partida na busca de uma resistência que esteja dentro dos parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 15498:2016. Conforme dito anteriormente, os demais parâmetros da argamassa foram: traço 1:3; relação a/c de 0,48 e concentração de aditivo de 0,2%.

Na Tabela 7 verifica-se o consumo de materiais, considerando o traço de referência e os percentuais de substituição de REPS de 10% e 15%.

Tabela 7 - Consumo de materiais por traço

Traço	**Cimento (kg)**	**Distribuição em peso do agregado**		**Aditivo (g) 0,2%**	**Água (l) a/c 0,48**
		Agregado Miúdo (Kg)	**REPS (g)**		
REF.	1,2	3,6	-	2,4	0,576
PREPS 10%	43,20	116,64	121,05	86,4	21,06
PREPS 15%	43,20	110,16	181,53	86,4	21,06

Fonte: Elaborado pelo autor.

As quantidades contemplam o material para a produção das placas e dos corpos de prova para o estudo das argamassas, que serviram de controle para a produção das PREPS.

3.5.1 Ensaios realizados nas argamassas

Com o objetivo de caracterizar as argamassas utilizadas nas placas cimentícias, foram realizados os ensaios com argamassa no estado fresco e endurecido conforme apresentado na Tabela 8, os ensaios foram realizados no Laboratório de concreto do Ifes campus Vitória .

Tabela 8 – Ensaios realizados nas argamassas produzidas.

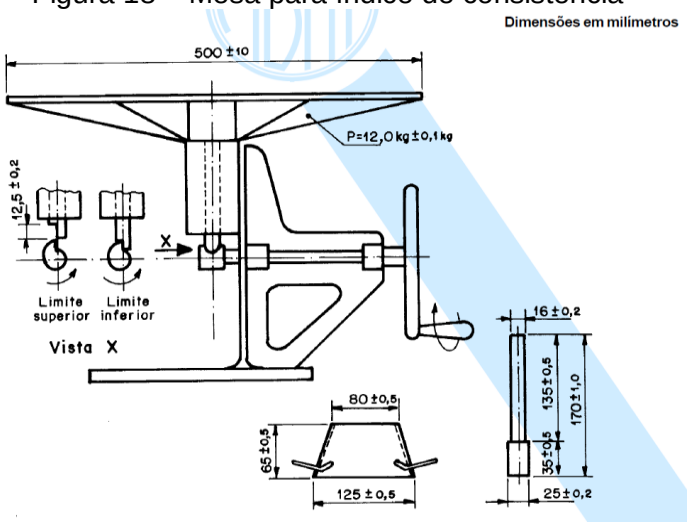
Ensaios	Tipo de corpo de prova	Idade (dias)	Quantidade/ Traço
Índice da consistência normal (ABNT NBR 7215:1996 Anexo B)	Argamassa no estado fresco	-	-
Resistência mecânica à compressão simples (ABNT NBR 7215:1996)	Cilíndrico 5x10	7	4
Resistência à tração por compressão diametral ABNT NBR 7222:2011	Cilíndrico 5x10	7	2
Absorção de água por capilaridade (ABNT NBR 9779:2012)	Cilíndrico 5x10	7	3
Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica (ABNT NBR 9778:2009)	Cilíndrico 5x10	7	2
Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica (ABNT NBR 15630:2008)	Cilíndrico 5x10	7	Não destrutivo

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5.1.1 Índice da consistência normal

O índice de consistência normal foi determinado conforme o Anexo B da ABNT NBR 7215:1996, conforme a Figura 18.

Figura 18 – Mesa para índice de consistência



Fonte: ABNT NBR 7215:1996.

A moldagem foi feita imediatamente após a preparação da argamassa, foi lançada a argamassa na forma, em três camadas da mesma altura e, com soquete normal, aplicou-se 15, 10 e 5 golpes uniformes e homogeneamente distribuídos, respectivamente, nas primeira, segunda e terceira camadas.

O abatimento do corpo-de-prova troncônico ocorreu após terminar o enchimento, retirar imediatamente a forma, e em seguida, mover a manivela do aparelho para medida de consistência, fazendo com que a mesa caísse 30 vezes em aproximadamente 30 s, o que provocou o abatimento do tronco de cone da mistura conforme mostra a Figura 19.

Figura 19 – Argamassa no ensaio de consistência normal

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Índice de consistência, foi a medida do diâmetro da base do tronco de cone de argamassa, após o abatimento, foi feita com auxílio do paquímetro e expressa em milímetros. O índice de consistência da argamassa foi obtido pela média aritmética das medidas de dois diâmetros ortogonais.

3.5.1.2 Resistência mecânica à compressão simples

A determinação da resistência à compressão foi balizada pela ABNT NBR 7215:1996. Para tanto foram utilizados corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. A argamassa foi preparada por meio de um misturador mecânico e compactada manualmente em um molde, de forma cilíndrica e base rosqueada de metal não corrosível.

Os moldes que contêm os corpos-de-prova foram conservados em atmosfera úmida para cura por 24h, em seguida os corpos-de-prova foram desmoldados e submetidos à cura em água

saturada de cal até a data completar 7 dias de cura. Após esse período, os corpos-de-prova foram retirados, conforme Figura 20, e capeados com mistura de enxofre, conforme a Figura 21 e rompidos para determinação da resistência à compressão.

Figura 20 – Corpos de prova desmoldados

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 21 - Corpos de prova capeados com enxofre

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5.1.3 Resistência à tração por compressão diametral

A resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos de argamassa, foi determinada pela ABNT NBR 7222:2011, o ensaio foi iniciado com a marcação em cada

extremidade do corpo de prova cilíndrico, com uma linha reta diametral, de modo que as duas linhas resultantes fiquem contidas no mesmo plano axial.

Após a marcação, o corpo de prova foi colocado entre os pratos da máquina com duas tiras de aglomerado conforme Figura 22, e realizando a ruptura.

Figura 22 – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5.1.4 Absorção de água por capilaridade

A determinação da absorção de água, através da ascensão capilar, das argamassas endurecidas, foi balizada pela ABNT NBR 9779:2012. Foi determinada a massa do corpo de prova ao ar e após secá-lo em estufa à temperatura de (55 ± 5) °C, até constância da massa após 24h de massa constante, que foi quando a diferença entre duas pesagens consecutivas não excedeu 0,5 % do menor valor obtido. Após a estufa o corpo de prova foi resfriado à temperatura de (23 ± 2) °C, em dessecador, e determinada a sua massa seca.

Em um recipiente (Figura 23) em ambiente com temperatura constante de (23 ± 2) °C, foram posicionados os corpos de prova sobre suportes, preenchendo com água o recipiente de ensaio, com o nível de água que permaneça constante a (5 ± 1) mm acima de sua face inferior conforme Figura 24.

Durante o ensaio, determinou-se a massa saturada dos corpos de prova com 3 h, 6 h, 24 h, 48 h e 72 h, contadas a partir da colocação destes em contato com a água.

Figura 23 – Ensaio de absorção de água por capilaridade

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24 - Imersão parcial dos corpos de prova em água

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5.1.5 Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica

Os ensaios de absorção de água, índice de vazios por imersão e fervura, e das massas específicas de argamassas endurecidos foram seguidas as recomendações da ABNT NBR 9778:2009.

As amostras foram colocadas em estufa e mantidas à temperatura de (60 ± 5)°C por um período até que duas pesagens sucessivas, em intervalos de 24 h, não difiram em mais de 0,5% da menor massa. Após essa etapa iniciou-se a saturação da amostra por um período de 72h e determinou-se a sua massa na condição saturada e imersa em água.

Completada a etapa de saturação em água as amostras foram colocadas em um recipiente cheio de água, que progressivamente foi levada à ebulição (Figura 25). Depois de 15 min e antes de 30 min e mantida por um período de 5 h. A seguir, deixou-se a água esfriar naturalmente até a temperatura de (23 ± 2)°C, e foi registrada a massa com auxílio de balança hidrostática. Logo após, foi retirada a amostra da água e determinada a sua massa.

Figura 25 – Fervura dos corpos de prova

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5.1.6 Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica.

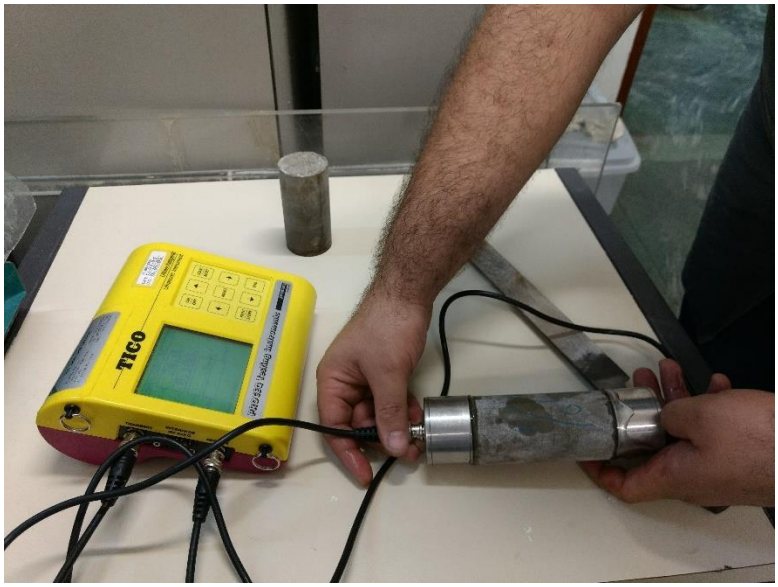
A determinação do módulo de elasticidade dinâmico, foi balizado pela ABNT NBR 15.630:2008 através de propagação de onda ultra-sônica. Os corpos-de-prova ensaiados, passaram por regularização da superfície de contato, através de lixamento a fim de possibilitar bom acoplamento com os transdutores.

O ensaio foi realizado aos 7 dias da moldagem dos corpos-de-prova, onde preliminarmente foi feita a calibragem do equipamento usando uma barra de referência e determinada a densidade da massa aparente dos corpos de prova

Em seguida foi aplicada uma camada de gel de contato na superfície dos transdutores de forma que, ao comprimi-los contra as faces dos corpos de prova ocorre-se o seu extravasamento conforme Figura 26.

Foram feitas três leituras em cada corpo de prova, considerando a menor, para cada corpo-de-prova.

Figura 26 – Medição da propagação de onda ultra-sônica



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.5.2 Ensaios realizados nas placas cimentícias

Foram testados os percentuais adotados de 10% e 15% de substituição parcial do volume do agregado miúdo, com o objetivo de comparação com os limites estabelecidos, pela ABNT NBR 15498:2016 e com os resultados de ensaios divulgados por fabricantes de placas de baixa densidade.

Na Tabela 9 apresentam-se os ensaios realizados nas placas e ainda esclarece a quantidade de corpos de prova de 256mm x 100mm x 12 mm retirados das placas para realizar os ensaios.

Tabela 9 - Ensaios realizados nas placas produzidas.

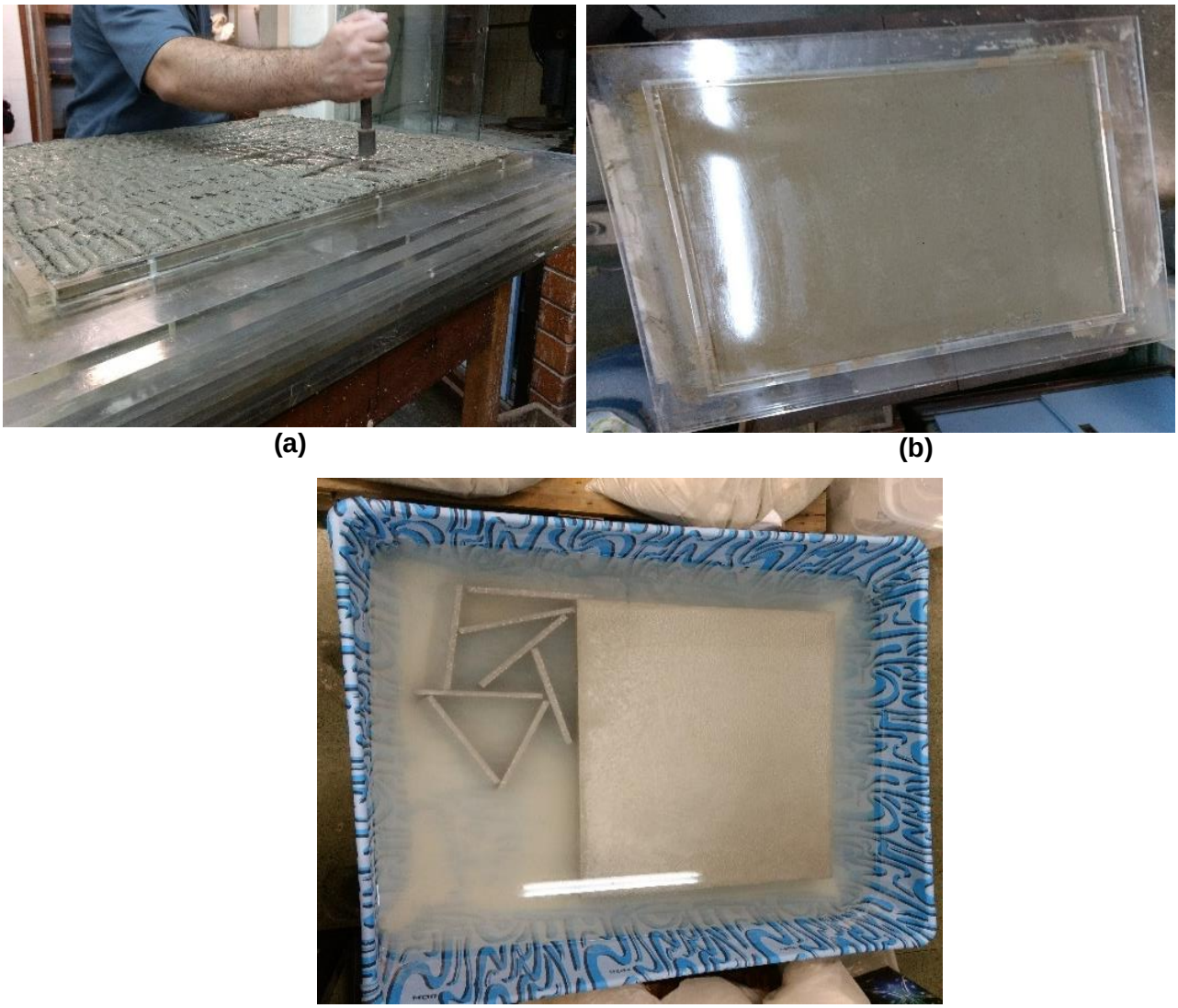
Ensaios	**Item da ABNT NBR 15498:2016**	**Estado**	**Quant. (CP's / Traço)**	**Número de Placas / traço**
Resistência à tração na Flexão	9.2.1	Equilíbrio	10CP's	5 Placas
		Saturado	10CP's	
Envelhecimento acelerado por imersão em água quente	9.2.3	Equilíbrio	10CP's	
Envelhecimento acelerado por ciclos de imersão / secagem	9.2.4	Equilíbrio	10CP's	
Permeabilidade	9.2.2	Equilíbrio	Placa inteira	3 Placas
Variação dimensional por imersão e secagem	9.2.5	Equilíbrio	4CP's	1 Placa
Absorção de água	9.1.2.4	Equilíbrio	4CP's de 20cm²	-
Densidade Aparente	9.1.2.3	Equilíbrio	4CP's de 20cm²	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a realização dos ensaios, foram moldadas 9 (nove) placas PREPS 10% e a mesma quantidade de PREPS 15% nas dimensões de 800mm x 656mm x 12mm, para a realização dos ensaios mecânicos e físicos da ABNT NBR 15.498:2016, as placas foram desenvolvidas a partir de ensaios piloto, culminando em uma metodologia de produção conforme a seguir:

I. preparação da argamassa misturando-se o REPS e a areia previamente para não haver a perda do resíduo leve para o ambiente;
II. moldagem da placa imediatamente após o amassamento, com auxílio de uma espátula;
III. aplicação de golpes uniformes com soquete, distribuídos em toda extensão da placa conforme Figura 27 (a),
IV. rasamento sua superfície ;
V. instalação de tampa no molde conforme Figura 27 (b), com a finalidade de inibir a evaporação da água;
VI. conservação das placas em temperatura ambiente por 48h, para cura inicial;
VII. retirada das formas;
VIII. submersão em água saturada de cal até completar 7 dias (Figura 27 c).

Figura 27 – Processo de moldagem da placa



(a) **(b)**

(c)

Fonte: acervo próprio

3.5.2.1 Ensaios mecânicos e físicos da ABNT NBR 15.498:2016

a) Resistência à tração na flexão

Este ensaio tem por objetivo avaliar as tensões de resistência à tração na flexão em estado saturado (classe A) e em estado de equilíbrio (classe B). para tanto foram colocados os 10(dez) corpos de prova de 256mm x 100mm x 12 mm, por traço, durante 72h em atmosfera controlada com temperatura de (23 ± 10) °C e umidade relativa de (50 ± 20) %, dispostos de tal modo que todas as faces sejam corretamente ventiladas conforme a Figura 28. Outros 10(dez) corpos de prova, por traço imerso em água à temperatura de 5 °C a 40 °C por 72 h conforme Figura 29.

Figura 28 – Corpos de prova em estado de equilíbrio

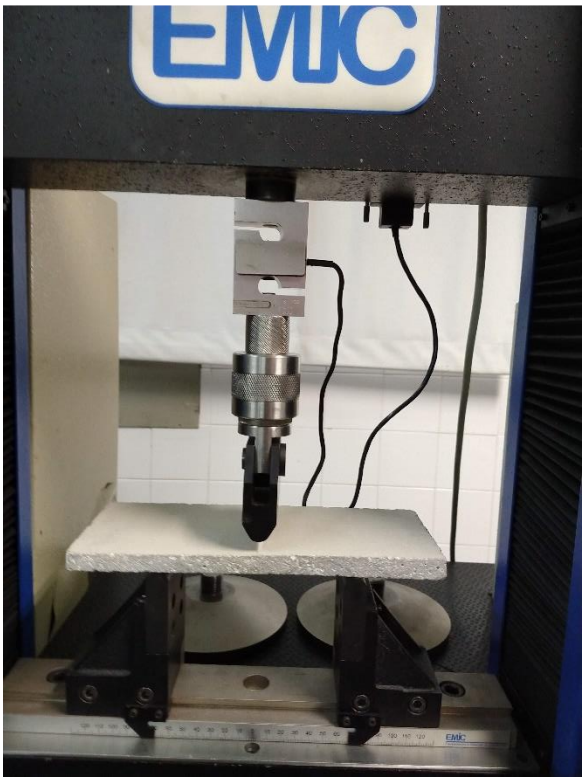
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 29 - Corpos de prova em estado saturado

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o rompimento dos corpos de prova, utilizou-se dois suportes de 10mm, e uma barra de carregamento de mesma espessura, de forma que a carga fosse aplicada ao longo de sua linha mediana por meio da barra de carregamento conforme a Figura 30. Aplicou-se a carga no corpo de prova de tal modo que a ruptura ocorresse no intervalo de 10 s a 30 s. Foi realizada a medição da espessura em dois pontos, para os corpos de prova, após rompimento.

Figura 30 – Rompimento do corpo de prova



Fonte: Elaborado pelo autor.

b) Envelhecimento acelerado por imersão em água quente

O ensaio de envelhecimento acelerado tem por objetivo evidenciar uma eventual degradação das placas, para tanto foram separadas 20 (vinte) corpos de prova, sendo que 10(dez), para realização do ensaio de resistência à tração na flexão no estado saturado e os outros 10(dez) por um período prolongado dentro de água quente, mantida a (60 ± 2) °C, durante 56 dias.

A água utilizada no ensaio foi previamente preparada com o mesmo produto da placa, a fim de se obter pH maior ou igual a 12. Após este período, levou-se os corpos de prova ao estado de equilíbrio.

Após o período de condicionamento, passou-se a examinar os corpos de prova a olho nu para detecção de possíveis fissuras, delaminação ou outros defeitos. Com os corpos de prova em bom estado, realizou-se o ensaio de resistência à tração na flexão no estado saturado.

Para cada par de corpos de prova i (i = 1 a 10), calcular o resultado individual r_i como segue:

$r_i = \frac{R_{fi}}{R_{fci}}$ onde:

r_i = é o resultado individual de envelhecimento por imersão em água quente do i-ésimo corpo de prova;

R_{fi} = é a resistência à tração na flexão do i-ésimo corpo de prova após imersão na água quente, expressa em megapascals (MPa);

R_{fci} é a resistência à tração na flexão do i-ésimo corpo de prova de referência (primeiro lote), expressa em megapascals (MPa).

c) Envelhecimento acelerado por ciclos de imersão/secagem

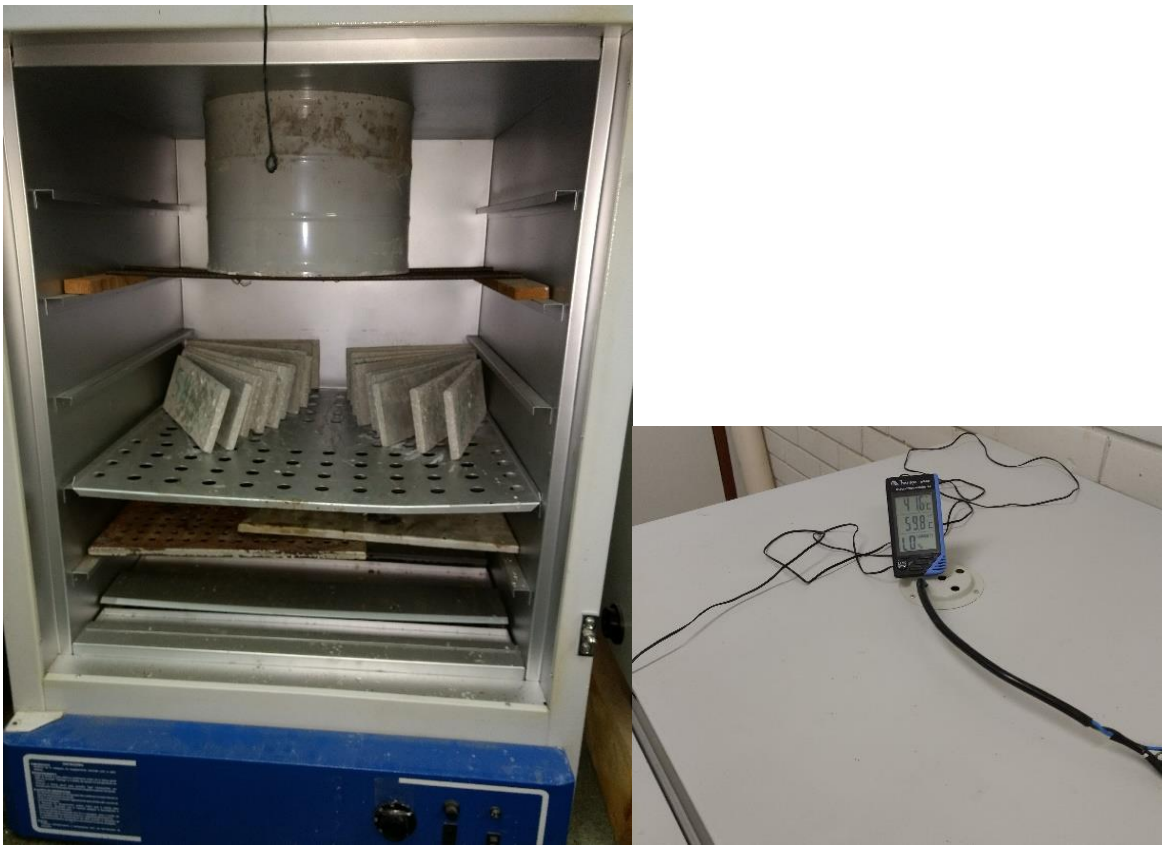
Foram separadas 20 (vinte) corpos de prova, sendo que 10(dez), para realização do ensaio de resistência à tração na flexão no estado saturado e os outros 10(dez), submetido ao mesmo tempo, o segundo lote de corpos de prova a 50 ciclos de imersão e secagem, como a seguir:

— imersão em água previamente preparada, com o mesmo produto da placa, a fim de se obter pH maior ou igual a 12, à temperatura ambiente (entre 5 °C e 40 °C), durante 18 h;

— secagem em estufa ventilada à temperatura de (60 ± 5) °C e umidade relativa inferior a 20 %, durante 6 h conforme Figura 31.

Após os 50 ciclos, efetuou-se o ensaio de resistência à tração na flexão no estado saturado.

Figura 31 - Secagem em estufa ventilada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para cada par de corpos de prova, foi calculado o resultado individual, como a seguir:

$r_i = \frac{R_{fi}}{R_{fci}}$ onde:

r_i é o resultado individual de envelhecimento acelerado por ciclos de imersão/secagem do i-ésimo corpo de prova;

R_{fi} é a resistência à tração na flexão do i-ésimo corpo de após os ciclos de imersão/secagem, expressa em megapascals (MPa);

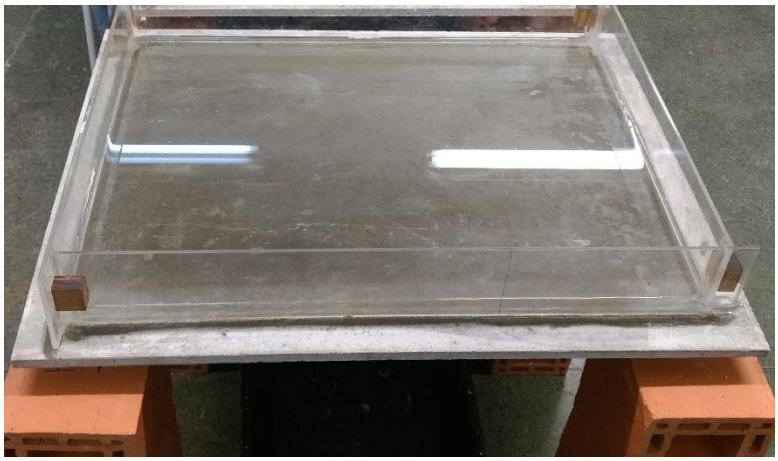
R_{fci} é a resistência à tração na flexão do i-ésimo corpo de prova de referência (primeiro lote), expressa em megapascals (MPa).

d) Permeabilidade

Foram utilizadas três placas de 800mm x 656mm x 12mm de cada traço para execução do ensaio, foram adaptadas caixas selada sobre a placa, obedecendo um espaçamento entre as bordas de 100mm conforme Figura 32.

As placas foram conservadas ao abrigo do sol, da chuva e do vento durante três dias, à temperatura entre 5 °C e 40 °C. Após o período procedeu-se o enchimento de água até o nível mínimo de 20 mm acima da superfície da placa conforme Figura 33. O conjunto foi colocado em um ambiente com atmosfera controlada à temperatura de (23 ± 10) °C e umidade relativa de (50 ± 20)%. A duração do ensaio foi de 24 h.

Figura 32 – Ensaio de permeabilidade (vista superior)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 33 - Ensaio de permeabilidade (vista lateral)

Fonte: Elaborado pelo autor.

e) Variação dimensional por imersão e secagem

Os corpos de prova foram mantidos imersos durante o período mínimo de 24 h em água, após retirados os corpos de prova da água, os mesmos foram secados superficialmente e determinado o seu comprimento inicial (l_i), em milímetros, medido esse comprimento inicial na região central,

Após essa medida procedeu-se a secagem dos corpos de prova em estufa à temperatura de 50 °C a 60 °C, até massa constante (variação inferior a 0,1 %), quando duas medidas de massa consecutivas foram obtidas, observadas em um intervalo de pelo menos 24 h entre elas.

Depois da massa constante os corpos repousaram em dessecador até esfriá-los a temperatura de (25 ± 3) °C. Determinando o comprimento final (l_f) dos corpos de prova, em milímetros, nos mesmos pontos de medida.

Os valores da variação dimensional, foram obtidos pela média aritmética dos quatro valores obtidos (dois em cada direção), conforme a seguinte expressão:

$v = \frac{l_i}{l_f}$ onde:

v é a variação dimensional, expressa em porcentagem (%);
l_i é o comprimento inicial, expresso em milímetros (mm);
l_f é o comprimento final, expresso em milímetros (mm).

f) Absorção de água

As amostras foram compostas por quatro corpos de prova de cada traço, de área superficial de pelo menos 20 cm² de cada um, as amostras foram retiradas dos corpos de prova oriundos do ensaio de resistência à tração na flexão.

Os corpos de prova foram saturados em água e determinado a sua massa inicial (m_i). Após essa etapa os corpos de prova entraram em um processo de secagem em estufa para determinar a sua massa final (m_f), mantendo à temperatura de 50 °C a 60 °C, até massa constante (variação inferior a 0,1 %) entre duas medidas de massa consecutivas, obtidas observando um intervalo de 24 h entre elas.

A absorção de água (abs) é dada pela equação:

$abs = \frac{\mathrm{m}_i - \mathrm{m}_f}{m_f} x100$ onde:

abs é a absorção de água, expressa em porcentagem (%);
mi é a massa inicial, expressa em gramas (g);
mf é a massa final, expressa em gramas (g).

g) Densidade Aparente

As amostras foram compostas por quatro corpos de prova de cada traço, de área superficial de pelo menos 20 cm² de cada um, as amostras foram retiradas dos corpos de prova oriundos do ensaio de resistência à tração na flexão.

Os corpos de prova foram previamente saturados em água por um período de 24h, após esse período as amostras foram pesadas e determinadas a massa úmida saturada (m_u) pela pesagem direta dos corpos de prova saturado, após essa etapa, foi determinada a massa imersa (m_i), pela pesagem dos corpos de prova na condição saturada e imersa em água.

A massa final (m_f) foi obtida, após a secagem dos corpos de prova em estufa, mantidos a uma temperatura de 50 °C a 60 °C até massa constante (variação inferior a 0,1 %), entre duas medidas de massa consecutivas, obtidas em um intervalo de pelo menos 24 h entre elas, com exatidão de 0,01 g.

A densidade aparente foi obtida pela equação:

$\rho = \frac{\mathrm{m}_f}{V}$ onde:

ρ é a densidade aparente, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm3);
m_f é a massa final, expressa em gramas (g).
V é o volume do corpo de prova, expresso em centímetros cúbicos (cm3).

3.5.3 Análise estatística dos resultados

Para comprovar se as variáveis independentes, bem como a interação entre elas, exercem influência sobre a variável de resposta em um nível de confiabilidade de 95%, os dados foram submetidos a análises estatísticas dos resultados, utilizando a análise de variância (ANOVA), considerando que para as médias das variáveis respostas investigadas, os fatores relacionados a P-valor menor ou igual a 0,05 são considerados significativos. Para os cálculos foi utilizado o software Minitab 18.

3.5.4 Microscopia eletrônica de Varredura (MEV)

A caracterização da microestrutura da argamassa das PREPS foi realizada em um microscópio eletrônico de varredura da Zeiss, modelo DSM 960. As imagens foram capturadas com aproximação de 500x dos espécimes selecionados. Na execução do ensaio foi priorizada a observação da microestrutura das argamassas nas áreas de contato com os REPS, com o intuito de verificar o comportamento na zona de transição, além da análise da integridade do granulo, nos estados de equilíbrio, saturado e após o envelhecimento acelerado por imersão e secagem e imersão em água quente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentados e discutidos os resultados obtidos no programa experimental. Estes resultados estão ordenados e agrupados de forma a facilitar a leitura e compreensão. São abordados os resultados relativos a caracterização da argamassa no estado endurecido e os ensaios mecânicos das PREPS segundo a ABNT NBR 15498:2016.

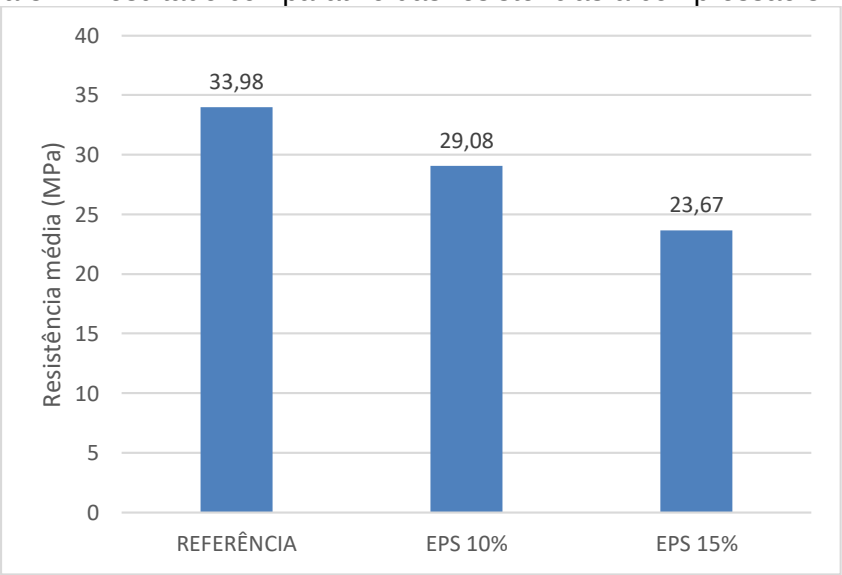
4.1 ENSAIOS DAS ARGAMASSAS

Com o objetivo de caracterizar as argamassas a serem utilizadas para a produção das placas, foram realizados ensaios no estado endurecido, sendo eles: resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral, determinação da absorção de água, índice de vazios, massa específica, absorção de água por capilaridade e determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica, esses ensaios foram realizados em argamassas com diferentes percentuais de REPS em substituição parcial ao agregado miúdo, a saber, além da argamassa de referência foram verificados os percentuais de 10% e 15% de substituição parcial do volume do agregado miúdo, todos os ensaios foram realizado na idade de 7 dias.

4.1.1 Resistência à compressão simples

O ensaio de resistência à compressão simples, seguiu o procedimento da ABNT NBR 7215:1997, com o intuito de verificar o efeito do REPS em diferentes percentuais de substituição do agregado miúdo. Na Figura 34 é possível observar o comportamento da argamassa em relação a resistência à compressão. Pode ser verificado previamente uma redução da resistência à compressão em relação ao aumento do percentual de REPS.

Figura 34 - Resultado comparativo das resistências à compressão simples



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 10 observa-se o resultado da análise de variância (ANOVA), da resistência à compressão e as interações entre os percentuais de REPS. A ANOVA indica que a variável independente é significativa.

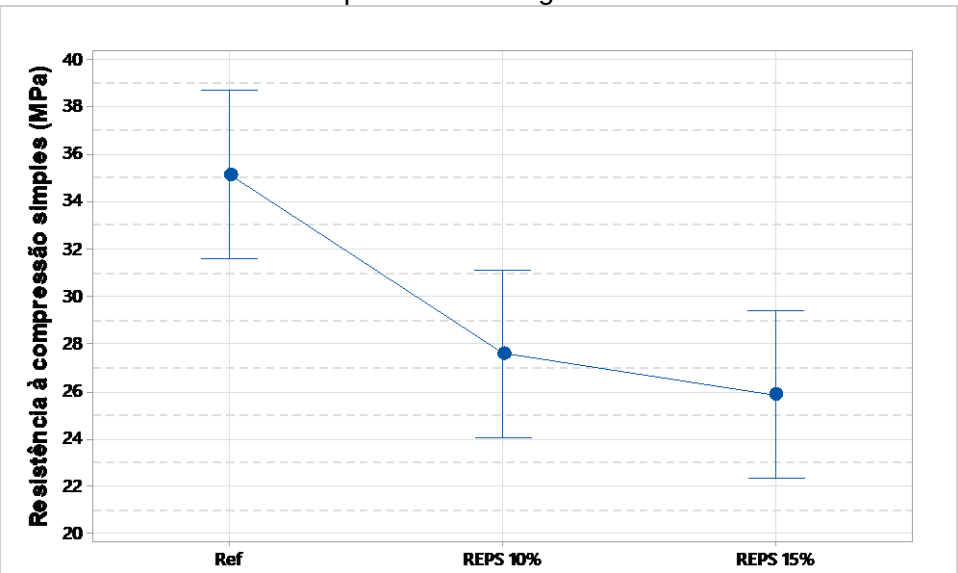
Tabela 10 – Análise de variância da resistência à compressão da argamassa

Fatores de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Valor-P	Significância
% REPS	2	195,83	97,913	9,96	0,005	Sim
Erro	9	88,52	9,835			
Total	11	284,34				

Fonte: Elaborado pelo autor

A queda da resistência à compressão pode ser observada à medida em aumenta o percentual de substituição em relação ao agregado miúdo, como apresentado no gráfico do efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre a resistência à compressão na Figura 35.

Figura 35 - Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre a resistência à compressão das argamassas



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise estatística mostra a significância do resultado, com o valor de p=0,005 na análise de variância (ANOVA), o resultado de resistência à compressão simples é considerado significativo. As argamassas REPS10% apresentaram aproximadamente 16% de redução da resistência, comparada com a argamassa de referência. As argamassas com REPS15% apresentam uma redução de até 43% de redução de resistência quando comparada com a argamassa de referência.

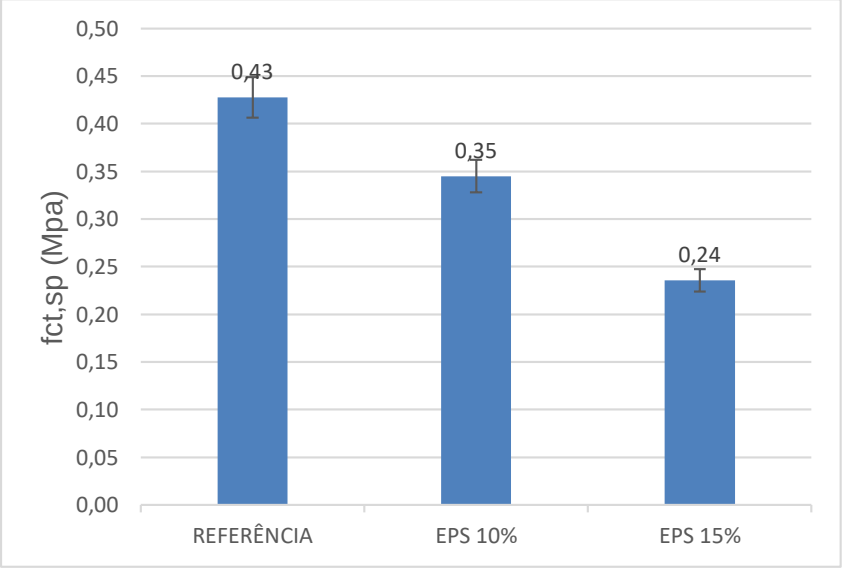
Logo, a resistência à compressão das argamassas com REPS reduz com o aumento da quantidade de REPS. A possível causa da queda da resistência, está relacionada a baixa resistência do grânulo de REPS, ainda de acordo com Brás, Leal e Faria (2013), o efeito do tamanho da partícula de EPS é determinante na avaliação da resistência, sendo uma possível

causa da redução da resistência, tendo em vista que foi utilizado grânulos de REPS com módulo de finura de 4,58 considerado muito grosso.

4.1.2 Resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral, seguiu o procedimento da NBR 7222 (ABNT, 2011), com o intuito de verificar o efeito do REPS em diferentes percentuais de substituição do agregado miúdo. Na Figura 36 observa-se o comportamento da argamassa em relação a resistência à tração por compressão diametral. Pode ser verificado previamente uma tendência de redução da resistência à compressão diametral em relação ao aumento do percentual de REPS.

Figura 36 - Resultado comparativo das resistências à tração por compressão diametral



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 11 é possível observar o resultado da análise de variância (ANOVA) da resistência à compressão diametral e a interações entre os percentuais de REPS. A ANOVA indica que as diferenças das variáveis independentes não são significativas, logo não há diferença estatística entre as amostras.

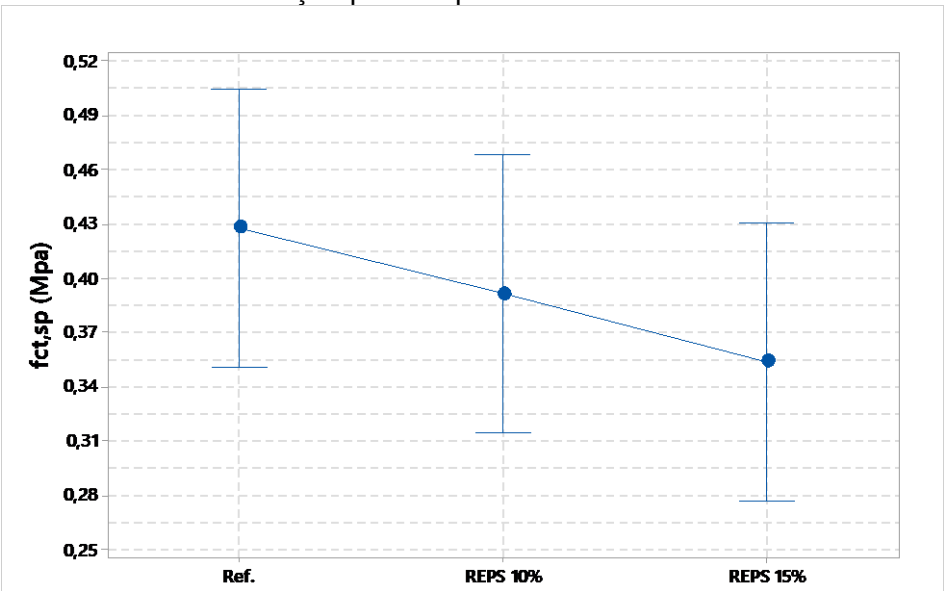
Tabela 11 – Análise de variância da resistência à compressão diametral

Fatores de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Valor-P	Significância
% REPS	2	0,005501	0,002751	2,36	0,243	Não
Erro	3	0,003503	0,001168			
Total	5	0,009004				

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode ser observado no gráfico do efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre a resistência à resistência à tração por compressão diametral na Figura 37.

Figura 37 - Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre a resistência à tração por compressão diametral



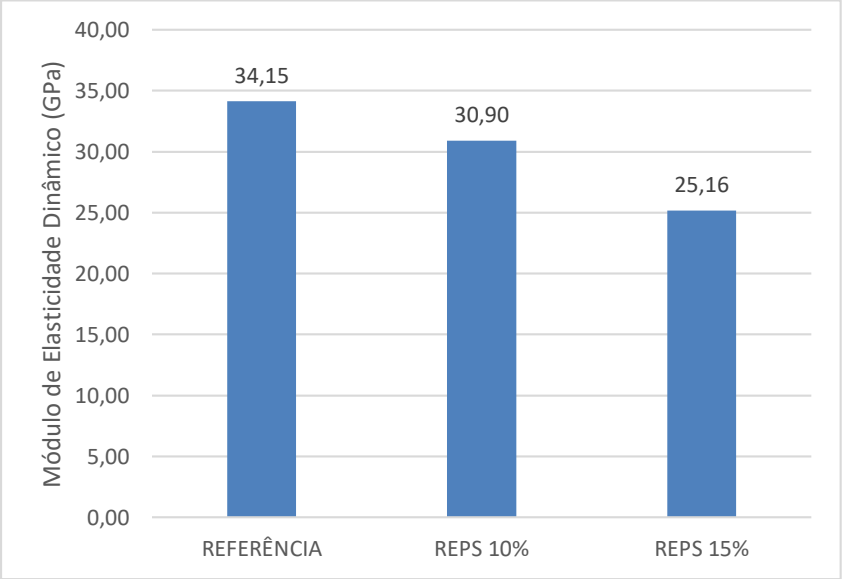
Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise estatística realizada mostra a não significância do resultado, com o valor de p=0,243, logo, não há diferença estatística das amostras, apresentando um resultado satisfatório quanto resistência à tração por compressão. A razão por esse resultado pode estar relacionada a uma possível aderência entre os grãos de REPS, com a pasta de cimento hidratada.

4.1.3 Módulo de elasticidade dinâmico

O ensaio para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica foi realizado segundo a NBR 15630 (ABNT, 2008), com o intuito de verificar o efeito do REPS em diferentes percentuais de substituição do agregado miúdo. Na Figura 38 pode ser observado os resultados dos ensaios do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas com incorporação do REPS, verificando-se uma tendência de redução do módulo de elasticidade a medida que há um aumento do percentual de REPS.

Figura 38 - Resultado comparativo dos módulos de elasticidade dinâmico



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 12 é possível observar o resultado da análise de variância dos módulos de elasticidade dinâmico das interações entre os percentuais de REPS. A ANOVA indica que as diferenças das variáveis independentes são estatisticamente significativas.

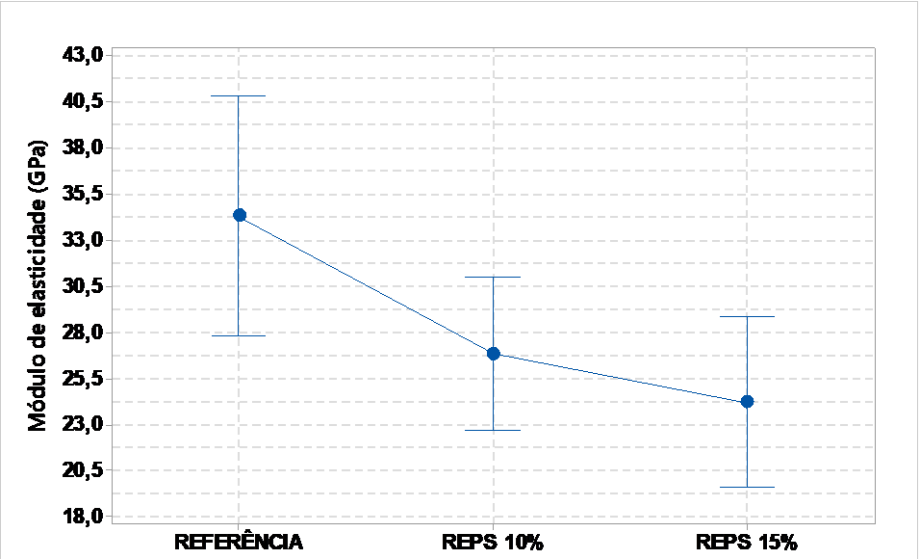
Tabela 12 - Análise de variância dos módulos de elasticidade dinâmico

Fatores de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Valor-P	Significância
% REPS	2	144,7	72,33	4,37	0,047	Sim
Erro	9	148,9	16,54			
Total	11	293,5				

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise estatística realizada mostra a significância do resultado, com o valor de p=0,047 logo, há diferença estatística o que representa um resultado satisfatório. A incorporação de REPS10% impactou em uma redução de aproximadamente 10% e o REPS15% uma de redução em torno de 35%, ambos comparado com a argamassa de referência. O gráfico do efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre o módulo de elasticidade dinâmico, pode ser observado na Figura 39, onde é apresentada a redução do módulo de elasticidade a medida que é acrescido o REPS.

Figura 39 - Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre o módulo de elasticidade dinâmico



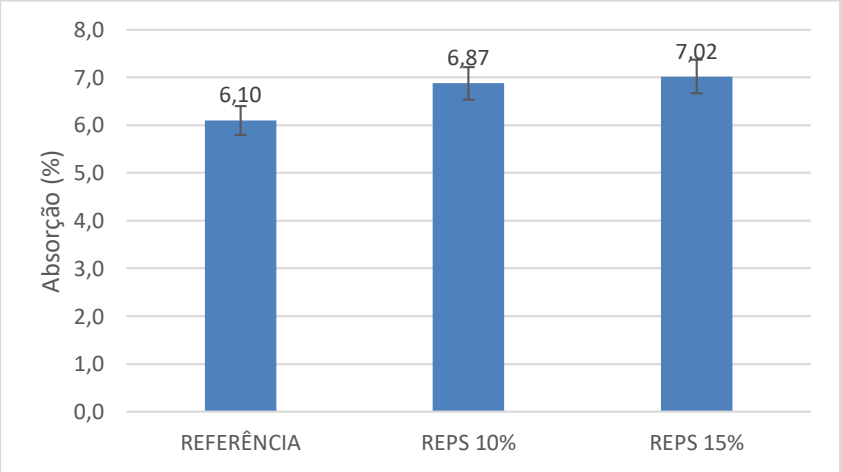
Fonte: Elaborado pelo autor.

A redução do módulo de elasticidade dinâmico, pode estar relacionada a uma possível perturbação da propagação da onda ultrassônica, em função da baixa densidade e da porosidade do REPS. Resultando com que as ondas levem mais tempo para atravessar o material e consequentemente reduzindo o módulo de elasticidade da argamassa com a incorporação de REPS.

4.1.4 Determinação da absorção de água

O ensaio de determinação da absorção de água, seguiu o procedimento da NBR 9778 (ABNT, 2009), com o objetivo de verificar o efeito do REPS em diferentes percentuais de substituição do agregado miúdo. Na Figura 40 é possível observar o comportamento da argamassa em relação a absorção da água, com uma tendência de maior absorção de água com o aumento do percentual de REPS.

Figura 40 - Resultado comparativo das absorções em porcentagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 13 é possível observar o resultado análise de variância dos módulos de elasticidade dinâmico das interações entre os percentuais de REPS. A ANOVA indica que as diferenças das variáveis independentes são estatisticamente significativas.

Tabela 13 - Análise de variância da absorção

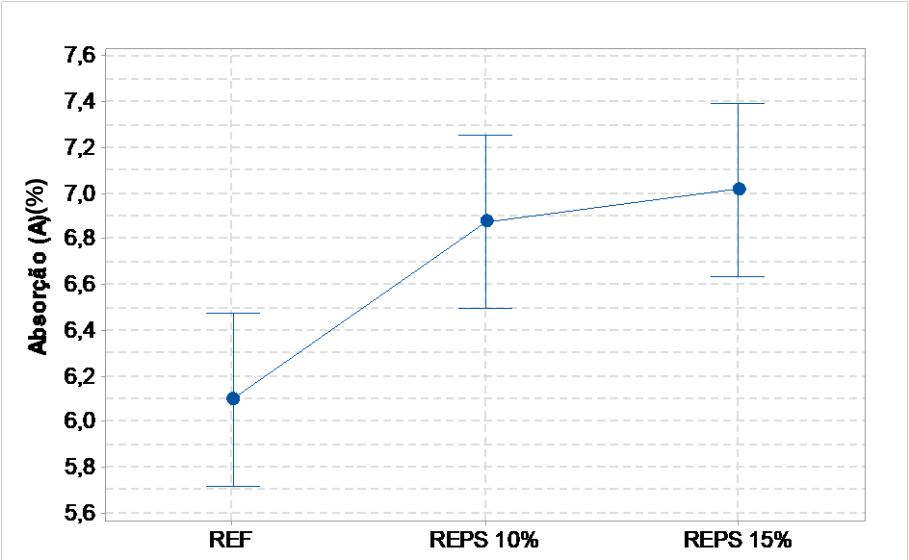
Fatores de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Valor-P	Significância
Tipo de Argamassa	2	0,97706	0,48853	17,13	0,023	Sim
Erro	3	0,08555	0,02852			
Total	5	1,06261				

Fonte: Elaborado pelo autor.

A incorporação de 10% e 15% de REPS, significou um acréscimo em torno de 12% e 15%, respectivamente, do percentual de absorção da argamassa com REPS, ambos comparado com a argamassa de referência.

O gráfico do efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre a absorção pode ser observado na Figura 41, um fator que possivelmente pode explicar esse comportamento é a característica do REPS, que possui 98% de vazios.

Figura 41 - Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre a absorção

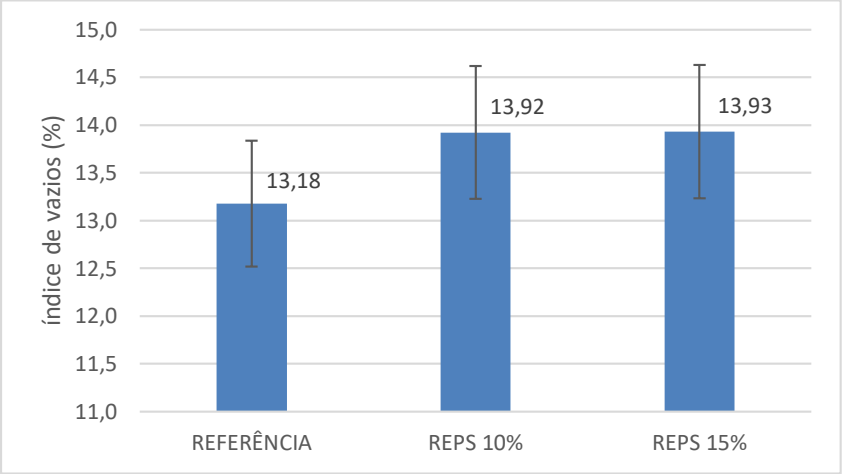


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.5 Índice de vazios

O ensaio de determinação do índice de vazios seguiu o procedimento da NBR 9778 (ABNT, 2009). Com o objetivo de verificar o efeito do REPS em diferentes percentuais de substituição do agregado miúdo. Na Figura 42, é possível observar a tendência de aumento do índice de vazios com os maiores percentuais de REPS.

Figura 42 - Resultado comparativo percentual dos índices de vazios em porcentagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 14, é possível observar o resultado análise de variância do índice de vazios e das interações entre os percentuais de REPS. A ANOVA indica que as diferenças das variáveis independentes não são estatisticamente significativas.

Tabela 14 - Análise de variância do índice de vazios

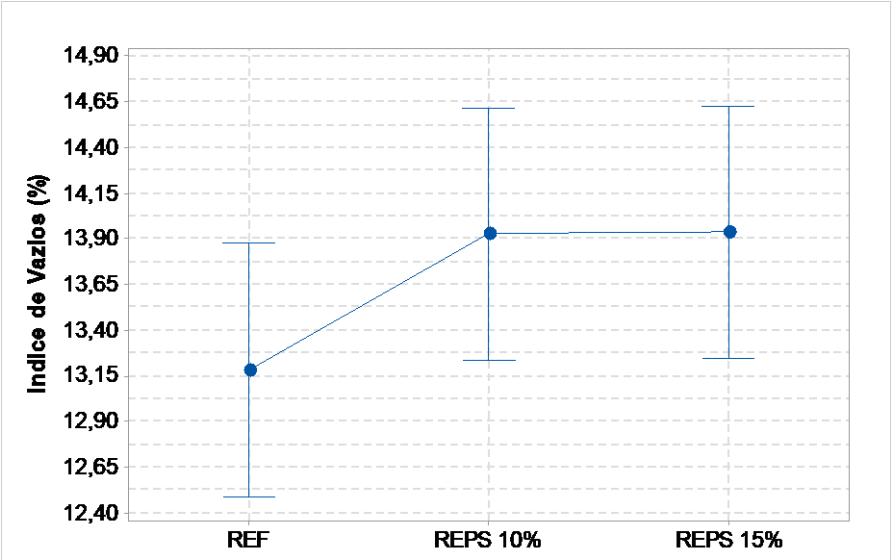
Fatores de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Valor-P	Significância
Tipo de Argamassa	2	0,7481	0,37405	3,94	0,145	Não
Erro	3	0,2852	0,09506			
Total	5	1,0333				

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise estatística realizada mostra a não significância do resultado. Logo, as argamassas são estatisticamente iguais com o valor de p=0,145.

O gráfico do efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre o índice e vazios pode ser observado na Figura 43. A significância estatística apresentada nos resultados da absorção da argamassa, difere do resultado estatístico do índice de vazios das argamassas que é considerado como não significativo, uma possibilidade de tal diferença encontra respaldo na metodologia do ensaio, que favorece as argamassas com agregados leve ao considerar a massa da argamassa imersa, tendo esse material a tendência de “flutuar”.

Figura 43 - Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre o percentual do Índice de vazios



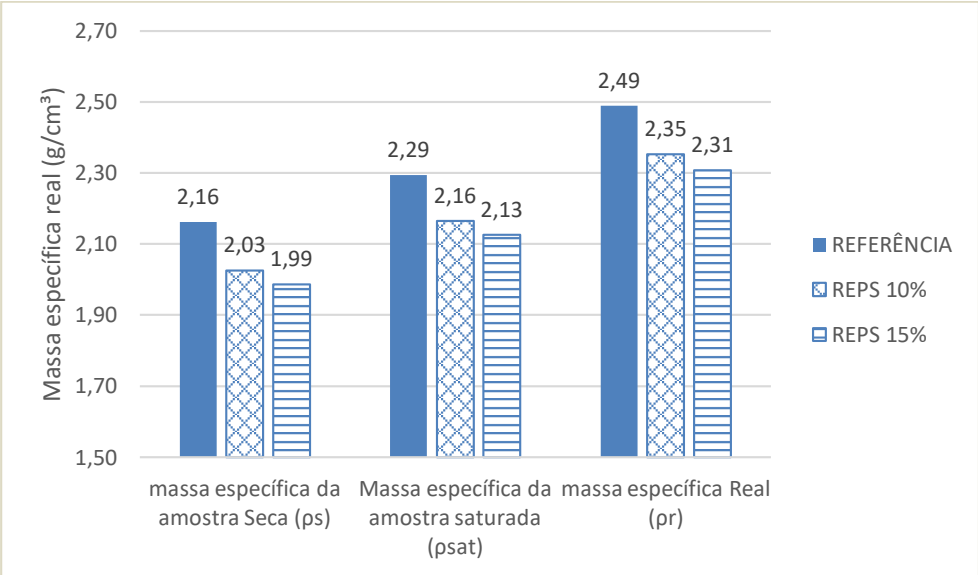
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.6 Massa específica da amostra

Os ensaios da massa específica da amostra foram desenvolvidos nas condições seca, saturada e real, seguindo os procedimentos da NBR 9778 (ABNT, 2009), com o objetivo de verificar o efeito do REPS em diferentes percentuais de substituição do agregado miúdo.

Na Figura 44, é possível observar o comportamento da argamassa em relação à massa específica da amostra seca, saturada e a real, ambas com uma tendência de queda à medida que é acrescida a quantidade de REPS.

Figura 44 - Resultado comparativo das massas específicas



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.6.1 Massa específica da amostra seca

Na Tabela 15, é possível observar o resultado da análise de variância da massa específica da amostra seca e das interações entre os percentuais de REPS. A ANOVA indica que as diferenças das variáveis independentes são estatisticamente significativas, logo a massa específica da amostra seca das argamassas com REPS, é menor que a argamassa sem resíduo.

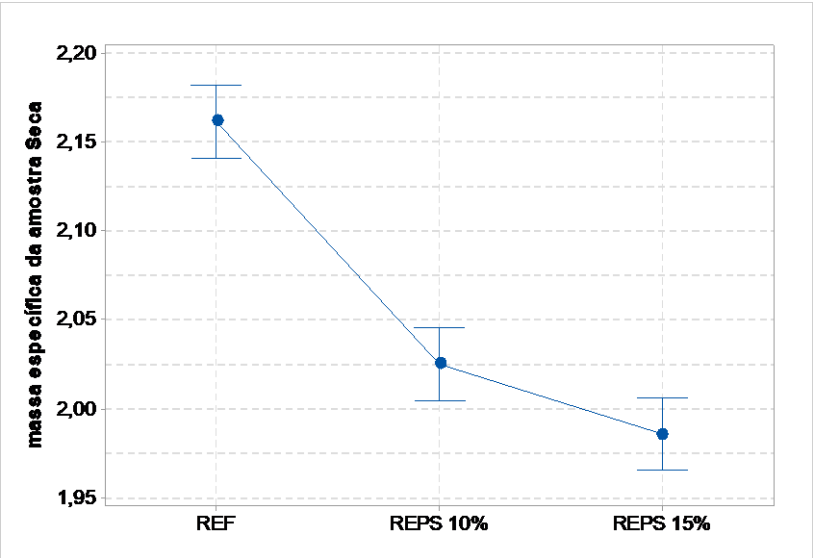
Tabela 15 - Análise de variância da massa específica da amostra seca sobre o percentual de substituição

Fatores de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Valor-P	Significância
% de substituição	2	0,033919	0,016960	208,67	0,001	Sim
Erro	3	0,000244	0,000081			
Total	5	0,034163				

Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico do Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre a massa específica da amostra seca, pode ser observado na Figura 45, onde a redução da massa específica da amostra seca com o acréscimo de REPS, deve-se a, majoritariamente, pela baixa densidade dos grãos de REPS que substitui o agregado miúdo.

Figura 45 - Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre massa específica da amostra seca



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.6.2 Massa Específica da Amostra Saturada

Na Tabela 16 é possível observar o resultado da análise de Variância da massa específica da amostra saturada e das interações entre os percentuais de REPS. A ANOVA, com Pvalor=0,00, indica que as diferenças das variáveis independentes são estatisticamente significativas, logo a massa específica da amostra seca das argamassas com REPS, é menor que a argamassa sem resíduo.

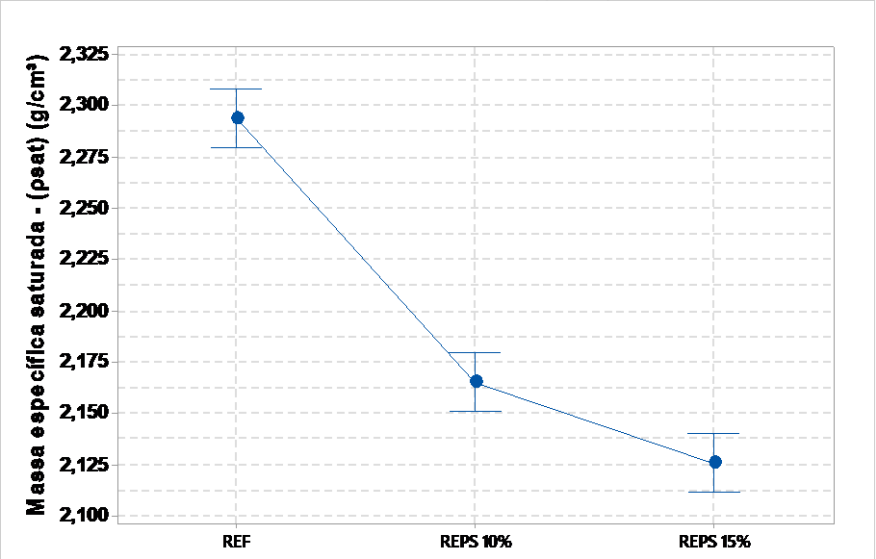
Tabela 16 - Análise de variância da massa específica da amostra saturada

Fatores de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Valor-P	Significância
Tipo de Argamassa	2	0,030875	0,015438	370,40	0,000	Sim
Erro	3	0,000125	0,000042			
Total	5	0,031000				

Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico do Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre a massa específica da amostra seca, pode ser observado na Figura 46, onde mostra a redução da massa específica da amostra seca à medida que há o acréscimo de REPS, pode ser verificado uma queda de mais de 5% das argamassas de REPS comparadas com a argamassa de referência.

Figura 46 - Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre a massa específica da amostra saturada (ρsat)



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.6.3 Massa específica real

Na Tabela 17 é possível observar o resultado da análise de Variância da massa específica da amostra real e das interações entre os percentuais de REPS. A ANOVA assim como nos outros tipos de massas específica, indica que as diferenças das variáveis independentes são estatisticamente significativas, logo a massa específica da amostra real das argamassas com REPS, é menor que a argamassa de referência.

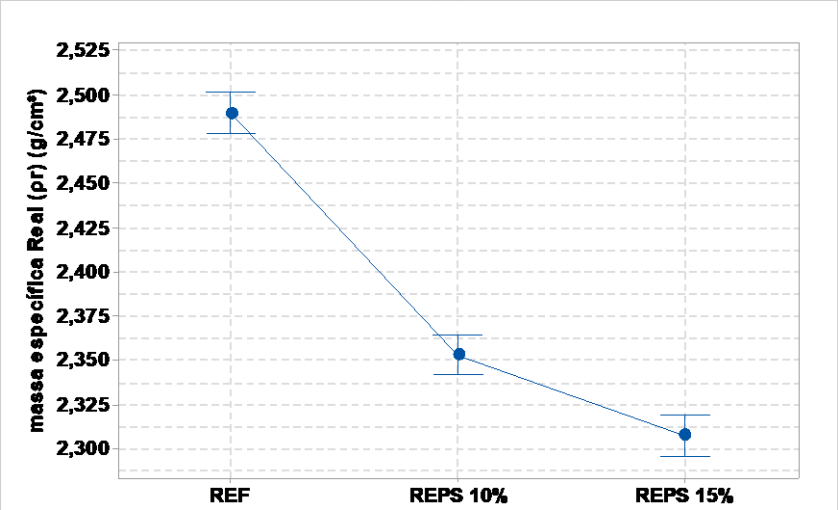
Tabela 17 - Análise de variância da massa específica real

Fatores de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Valor-P	Significância
Tipo de Argamassa	2	0,035936	0,017968	693,45	0,000	Sim
Erro	3	0,000078	0,000026			
Total	5	0,036014				

Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico do Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre a massa específica real, pode ser observado na Figura 47, onde pode ser visto a redução da massa específica da amostra real com o acréscimo de REPS.

Figura 47 - Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre a massa específica real (ρr)



Fonte: Elaborado pelo autor.

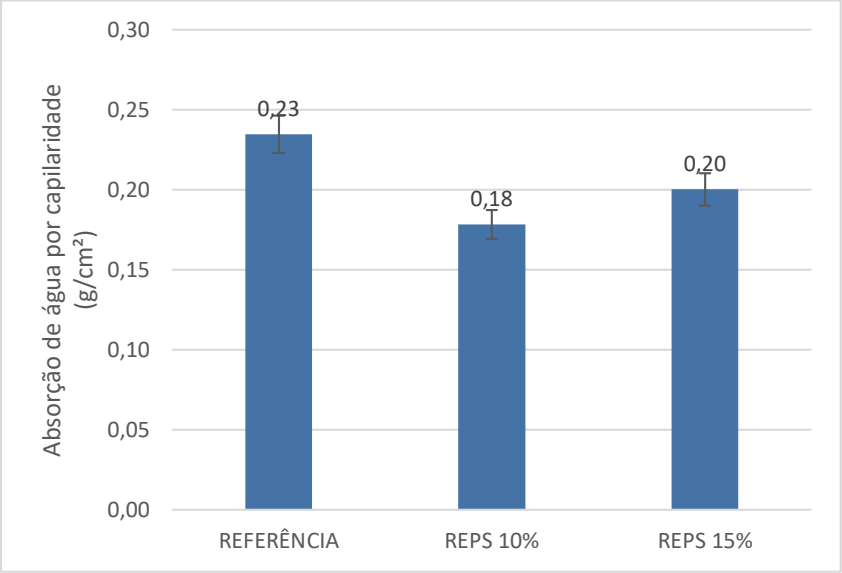
Em todas as formas de análise da massa específica, foi verificado o decréscimo não inferior a 5% da massa específica em relação a argamassa de referência, tal fato deve-se, majoritariamente, pela baixa densidade dos grãos de REPS que substitui o agregado miúdo.

4.1.7 Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade é o mecanismo pelo qual simula uma situação em que a água externa conduzida e tende a preencher os poros permeáveis de um corpo sólido (FARINHA; BRITO; VEIGA, 2012). O ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade, seguiu o procedimento da NBR 9778 (ABNT, 2009), para avaliar o efeito do REPS em diferentes percentuais de substituição do agregado miúdo.

Na Figura 48 é possível observar o comportamento da argamassa em relação à absorção da água por capilaridade, é apresentada uma tendência de maior absorção de água com o aumento do percentual de REPS.

Figura 48 - Resultado comparativo da absorção de água por capilaridade



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 18 é possível observar o resultado da análise de variância da absorção de água por capilaridade sobre o percentual de substituição de REPS, a inferência estatística indica que não há diferença significativa. Logo, não houve maior absorção de água pelo efeito da capilaridade

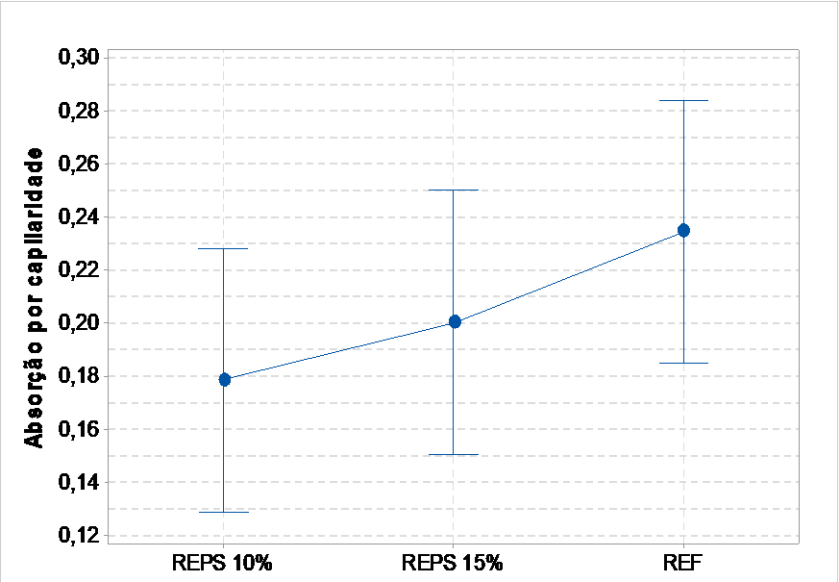
Tabela 18 - Análise de variância da absorção de água por capilaridade sobre o percentual de substituição

Fatores de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Valor-P	Significância
Tipo de Argamassa	2	0,004823	0,002411	1,95	0,222	Não
Erro	3	0,007404	0,001234			
Total	5	0,012227				

Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico do efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre a absorção de água por capilaridade, pode ser observado na Figura 49. Considera-se que em virtude de os grânulos de REPS não possuírem interligação entre os poros, e ainda a boa aderência da pasta com o REPS, fazem com que a água consiga passar pelos tubos capilares, de maneira similar de como ocorre com a argamassa de referência.

Figura 49 - Efeito isolado do percentual de substituição do REPS sobre a absorção de água por capilaridade



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 PLACAS CIMENTÍCIAS COM REPS

Os ensaios físicos e mecânicos das placas cimentícias com incorporação de REPS – PREPS foram realizados de acordo com os requisitos e métodos de ensaios estabelecidos pela ABNT NBR 15498:2016, placa de fibrocimento sem amianto.

Conforme preconiza a ABNT NBR 15498:2016, foram realizados os ensaios de resistência à tração na flexão nos estados, saturado, de equilíbrio, após envelhecimento acelerado por ciclos de imersão e secagem, e após envelhecimento acelerado por imersão em água quente, além de ensaios, de variação dimensional por imersão e secagem, absorção de água e densidade.

Como parâmetro de referência foram comparadas com uma placa do mercado que possuem a mesma espessura e, portanto, a mesma viabilidade de utilização das PREPS.

4.2.1 Resistência à tração na flexão

De acordo com os requisitos mínimos da ABNT NBR 15498:2016, que são apresentados na Tabela 19, os resultados apresentados na Figura 50, classificam as PREPS no estado saturado (para exposição externa submetida a intempéries), como classe B1 para a de PREPS15% e B2 para as PREPS10%, e considerando o estado de equilíbrio (para uso interno ou externo desde que não haja a ação direta de intempéries), como A3 para ambos os percentuais de substituição.

Tabela 19– Requisitos de resistência à tração na flexão

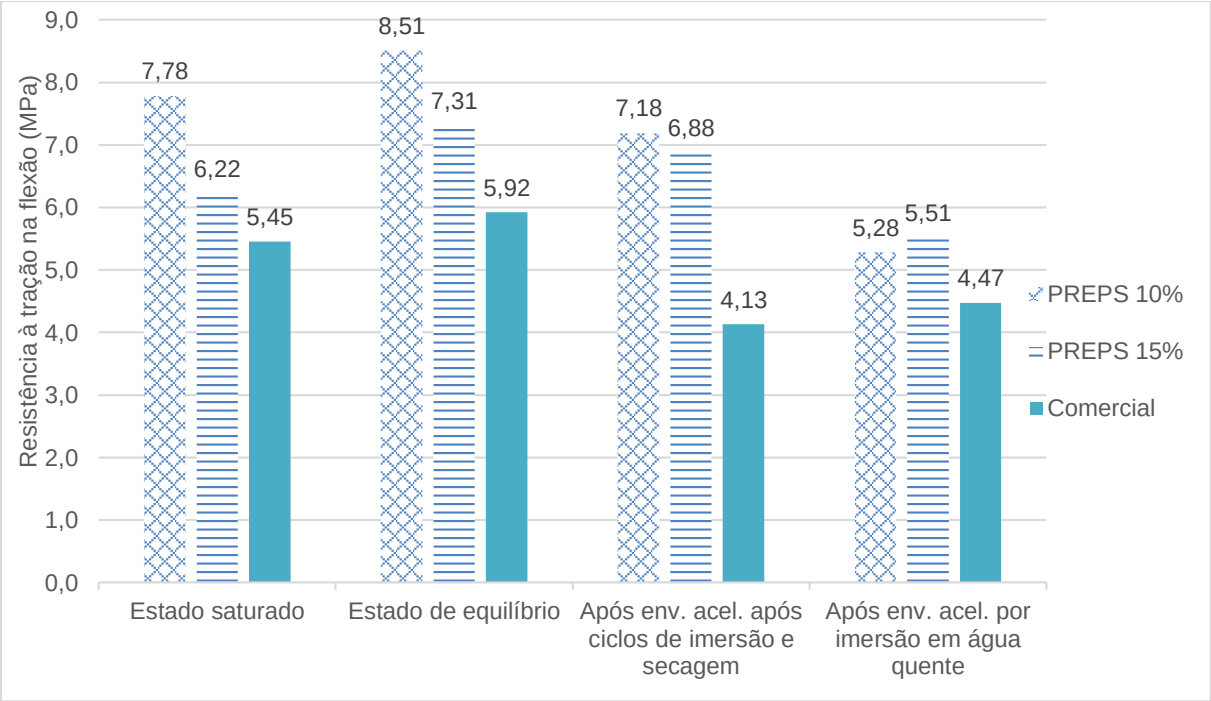
Categoria	Placas da Classe A (MPa)	Placas da Classe B (MPa)
1	-	4
2	4	7
3	7	10
4	13	16
5	18	22

Fonte:(ABNT NBR 15498:2016)

Conforme apresentado na Figura 50, a resistência à tração na flexão das PREPS, no estado de equilíbrio e saturado, apresentam uma tendência de redução de resistência à medida que há substituição de agregado por REPS.

Destaca-se que a razão das resistências no sentido longitudinal e transversal para ambas PREPS foi superior a 0,5, atendendo as condições da norma já citada. É possível verificar também na Figura 50 que as PREPS estão compatíveis com as placas existentes no mercado brasileiro de mesma característica.

Figura 50 - Resultado comparativo das resistências à tração na flexão nos diferentes estados de tratamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.1.1 Estado Saturado

Na tabela 20 esta apresentada o resultado da análise de variâncias da resistência à tração na flexão no estado saturado e das interações entre os percentuais se substituição do REPS nas placas e a placa comercial. A ANOVA indica que as diferenças das variáveis independentes são estatisticamente significativas.

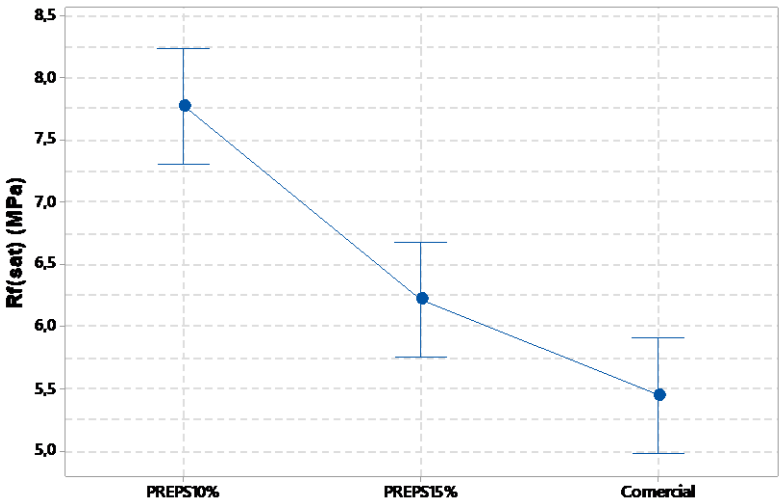
Tabela 20 - Efeito isolado do tipo de placa sobre a resistência à tração na flexão no estado saturado

Fatores de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Valor-P	Significância
PREPS 10%, PREPS 15% e Placa Comercial	2	28,23	14,1145	27,62	0,000	SIM
Erro	27	13,8	0,5111			
Total	29	42,03				

Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico do efeito isolado do tipo de placa, sobre a resistência à tração na flexão no estado saturado, pode ser observado na Figura 51, verifica-se que a medida que é acrescido REPS na PREPS há uma redução da resistência à tração na flexão para o estado saturado, o resultado deve-se, majoritariamente, a baixa resistência a tração dos grânulo de EPS.

Figura 51 – Efeito isolado do tipo de placa sobre a resistência à tração na flexão no estado saturado



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.1.2 Estado de equilíbrio

Na tabela 21 esta apresentado o resultado da análise de variâncias da resistência à tração na flexão no estado de equilíbrio e das interações entre os percentuais se substituição do REPS nas PREPS e a placa comercial. A ANOVA indica que as diferenças das variáveis independentes são estatisticamente significativas.

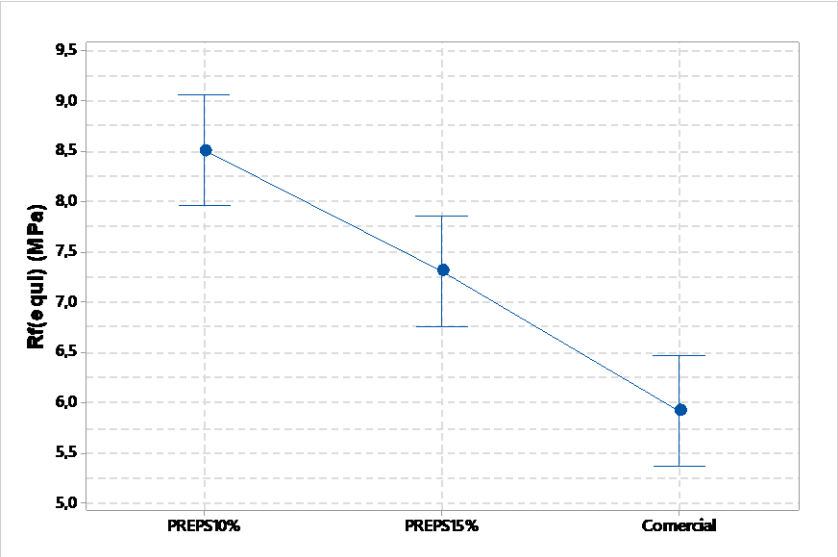
Tabela 21 - Efeito isolado do tipo de placa sobre a resistência à tração na flexão no estado de equilíbrio

Fatores de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Valor-P	Significância
PREPS 10%, PREPS 15% e Placa Comercial	2	33,54	16,7704	23,41	0,000	SIM
Erro	27	19,34	0,7164			
Total	29	52,88				

Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico do efeito isolado do tipo de placa, sobre a resistência à tração na flexão no estado de equilíbrio, pode ser observado na Figura 52, pode-se verificar que a medida que é acrescido REPS na placa cimentícia há uma redução da resistência à tração na flexão, similar a causa da queda da resistência à tração na flexão do estado saturado, pode ser atribuída, a baixa resistência a tração dos grânulo de REPS, causando perdas da resistência à tração na flexão.

Figura 52 - Efeito isolado do tipo de placa sobre a resistência à tração na flexão no estado de equilíbrio



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.1.3 Após envelhecimento acelerado por ciclos de imersão e secagem

O resultado da análise de variâncias da resistência à tração na flexão no estado de equilíbrio e das interações entre os percentuais se substituição do REPS nas placas e a placa comercial, esta apresentado na Tabela 22. A ANOVA indica que as diferenças das variáveis independentes são estatisticamente significativas, logo diferentes.

Tabela 22 - Análise de variância da placa em envelhecimento acelerado por ciclos de imersão e secagem

Fatores de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Valor-P	Significância
PREPS10%, PREPS15% e Placa comercial	2	56,637	28,3186	92,60	0,000	Sim
Erro	27	8,257	0,3058			
Total	29	64,894				

Fonte: Elaborado pelo autor.

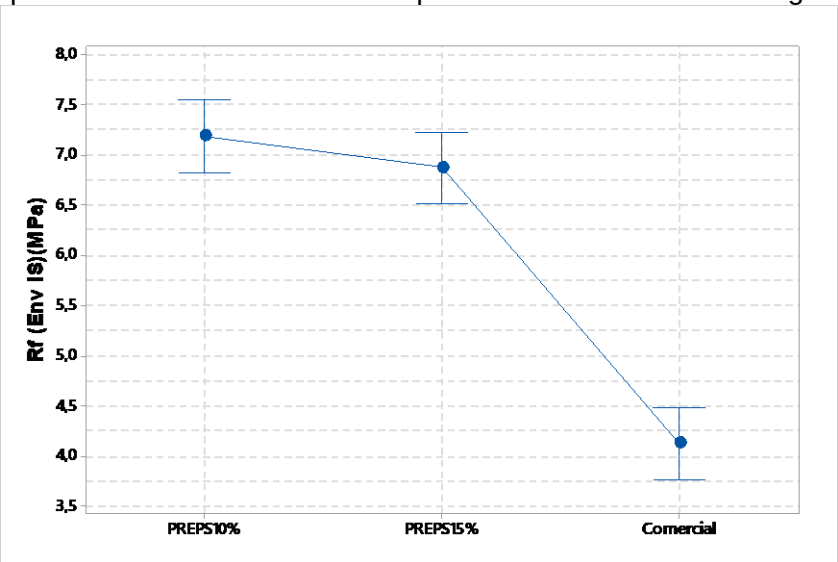
Analisando o gráfico de efeito isolado do tipo de placa cimentícia sobre a resistência à tração na flexão, após envelhecimento acelerado por ciclos de imersão e secagem presente na

Figura 53, constatou-se um desempenho satisfatório das PREPS, pois atendem os valores acima dos requisitos mínimos da norma.

Comparando as PREPS com as resistências de flexão no estado saturado e após ciclos de imersão e secagem, pode ser verificado que a resistência da PREPS15% aumentou quando submetido a ciclos de calor, corroborando com os estudos de Ferrándiz-Mas e García-Alcocel (2013) que relataram que as argamassas com EPS, comparado com as argamassas de referência, quando submetidas a temperatura a partir de 60°C, há aumento da resistência à compressão. Duas possíveis causas, sendo a microestrutura da pasta de cimento hidratado que pode melhorar devido a temperatura mais elevada que permite uma reação de hidratação mais prolongada. Considerando outra hipótese, a possível melhora na aderência na pasta de cimento.

O aumento observado na resistência à tração na flexão, influencia na durabilidade das placas, e pode ser explicado pela possível maior aderência do REPS com a argamassa quando submetido a ciclos de imersão em água quente e secagem.

Figura 53 - Efeito isolado do tipo de placa cimentícia sobre a Resistência à tração na flexão após envelhecimento acelerado por ciclos de imersão e secagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.1.4 Após envelhecimento acelerado por imersão em água quente

Na Tabela 23 é apresentada a análise de Variância dos resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão das PREPS10%, PREPS15% e de uma placa de referência. A ANOVA indica que as diferenças das variáveis independentes são estatisticamente significativas.

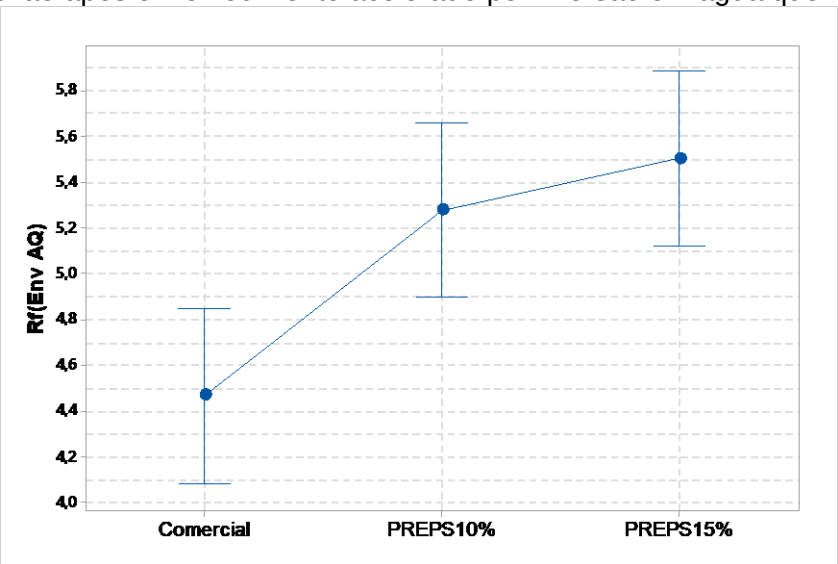
Tabela 23 - Análise de variância da placa em envelhecimento acelerado por imersão em água quente

Fatores de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Valor-P	Significância
PREPS10%, PREPS15% e Placa comercial	2	5,929	2,9646	8,64	0,001	Sim
Erro	27	9,260	0,3430			
Total	29	15,189				

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 54 é apresentado o gráfico do efeito isolado do tipo de placa cimentícia sobre a resistência à tração na flexão, após envelhecimento acelerado por imersão em água quente. Comparando as PREPS com as resistências de flexão no estado saturado e após ciclos de imersão e secagem, pode ser verificado uma proximidade das resistências das PREPS 10% e 15%, uma possível melhora na aderência pelo contato com a água quente, pode justificar esse comportamento. No subtítulo 4.2.6, são apresentadas as imagens da miscrocopia eletrônica de varredura, onde estão apresentadas as zonas de aderência entre a pasta e o granulo de REPS.

Figura 54 - Efeito isolado do tipo de placa cimentícia sobre a resistência na à tração na flexão após envelhecimento acelerado por imersão em água quente



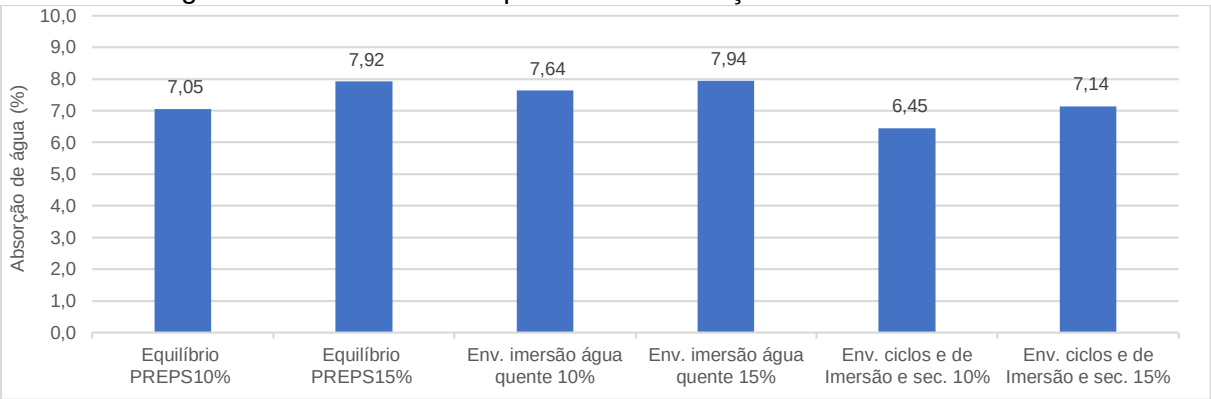
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2 Absorção de água

Na Figura 55 estão apresentados os percentuais de absorção de água das PREPS no estado de equilíbrio, após o envelhecimento acelerado por imersão em água quente e após o envelhecimento acelerado após imersão e secagem, destaca-se que as mesmas apresentaram um desempenho satisfatório, com absorção inferior as placas existentes no

mercado brasileiro e também inferior a 30% de absorção o que preconiza a ISO 8336:2009 (folhas planas de fibrocimento - especificações do produto e métodos de teste).

Figura 55 - Resultado comparativo da absorção em diversos estados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 24 é apresentada a análise de variância dos resultados da absorção de água das PREPS nos estados saturado, após envelhecimento acelerado por ciclos de imersão e secagem e envelhecimento acelerado em água quente. A ANOVA indica que as diferenças das variáveis independentes são estatisticamente significativas.

Tabela 24 - Análise de variância da placa em envelhecimento acelerado por imersão em água quente

Fatores de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Valor-P	Significância
Tipo de Placa	5	0,001362	0,000272	102,69	0,000	Sim
Erro	42	0,000111	0,000003			
Total	47	0,001474				

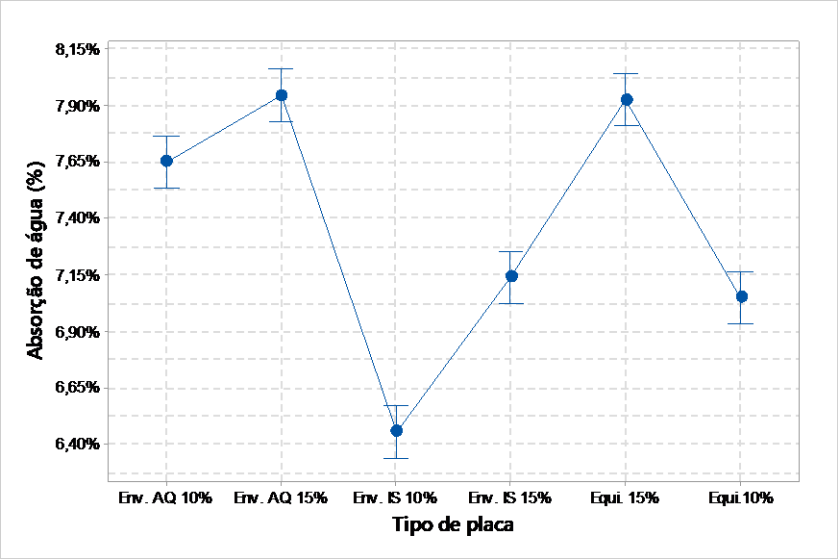
Fonte: Elaborado pelo autor.

O desempenho satisfatório das PREPS, com absorção inferior à das placas existentes no mercado brasileiro e também inferior a 30% de absorção o que preconiza a ISO 8336:2009, é justificado pelo alto índice de cimento utilizado na mistura, formando uma grande quantidade de pasta, o que facilita o preenchimento dos vazios.

Com base na Figura 56 é possível concluir que à medida que é acrescido REPS na argamassa das PREPS, há um acréscimo de absorção de água. O aumento pode ser justificado pelo alto percentual de vazios do resíduo, possibilitando assim a entrada de água nos poros do REPS.

Outra observação pertinente com base na Figura 56, é que as PREPS após ciclos de imersão e secagem tem uma redução de absorção, quando comparada com as PREPS no estado de equilíbrio. Uma explicação pode ser encontrada devido a uma possível melhora na aderência do REPS na pasta de cimento, quando submetido a ciclos de imersão em água e secagem em calor, com isso reduzindo a absorção, consequentemente aumentando a durabilidade das placas.

Figura 56 - Efeito isolado do percentual de absorção de água nos diversos estados das PREPS

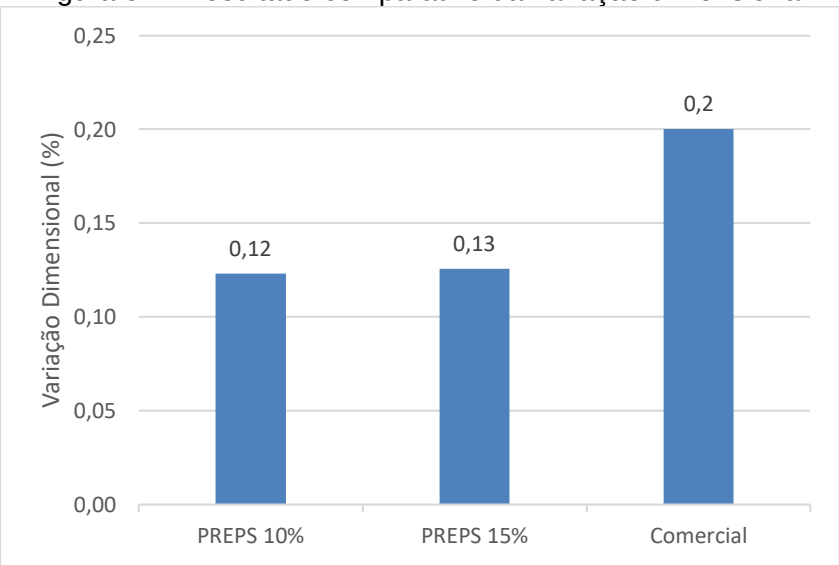


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3 Variação dimensional por imersão e secagem

São apresentados na Figura 57, os resultados dos ensaios de variação dimensional, comparando com além das PREPS 10% e15% e a placa do mercado brasileiro. O ensaio de variação dimensional por imersão e secagem, consiste em manter um corpo de prova no estado saturado por 24h e medir o corpo de prova, após secar em estufa por 24h, colocar em dessecador até atingir a temperatura de (25±3) ºC e medir no mesmo ponto anterior.

Figura 57 - Resultado comparativo da variação dimensional



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 25 é apresentada a análise de variância dos resultados da variação dimensional das PREPS. A ANOVA indica que as diferenças das variáveis independentes são estatisticamente significativas.

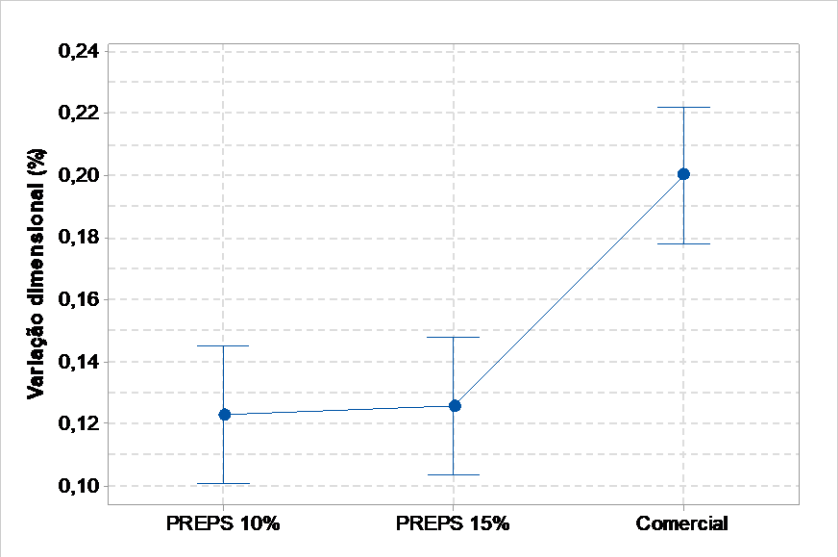
Tabela 25 - Análise de variância da placa quanto a variação dimensional

Fatores de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Valor-P	Significância
Tipo de Placa	5	0,015271	0,007635	20,15	0,000	Sim
Erro	9	0,003411	0,000379			
Total	11	0,018681				

Fonte: Elaborado pelo autor.

O efeito isolado do tipo de placa cimentícia sobre a variação dimensional é apresentado na Figura 58, onde mostra uma ganho da PREPS em torno de 65%, comparado com a placa do mercado. A possível explicação do resultado, está relacionada ao agregado miúdo que ainda encontra-se em abundância nas PREPS, trazendo maior rigidez, quando comparado com as placas com fibra.

Figura 58 - Efeito isolado do tipo de placa cimentícia sobre a variação dimensional

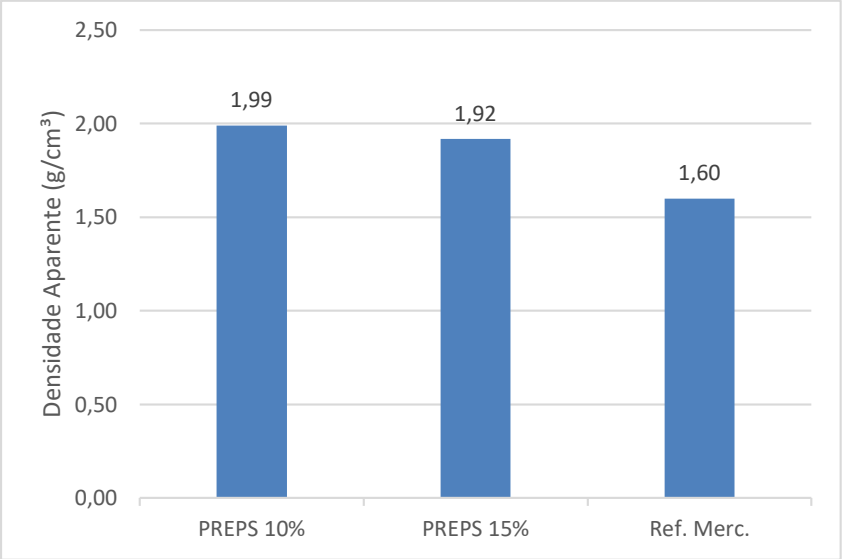


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.4 Densidade aparente

Os resultados apresentados na Figura 59, mostram a densidade aparente das PREPS comparada com placa do mercado, apesar da baixa densidade do REPS, as PREPS, não apresentaram um resultado abaixo das placas existentes no mercado.

Figura 59 – Resultado comparativo da densidade aparente



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 26 é apresentada a análise de variância dos resultados da densidade das PREPS. A ANOVA indica que as diferenças das variáveis independentes são estatisticamente significativas.

Tabela 26 - Análise de variância da PREPS quanto a densidade

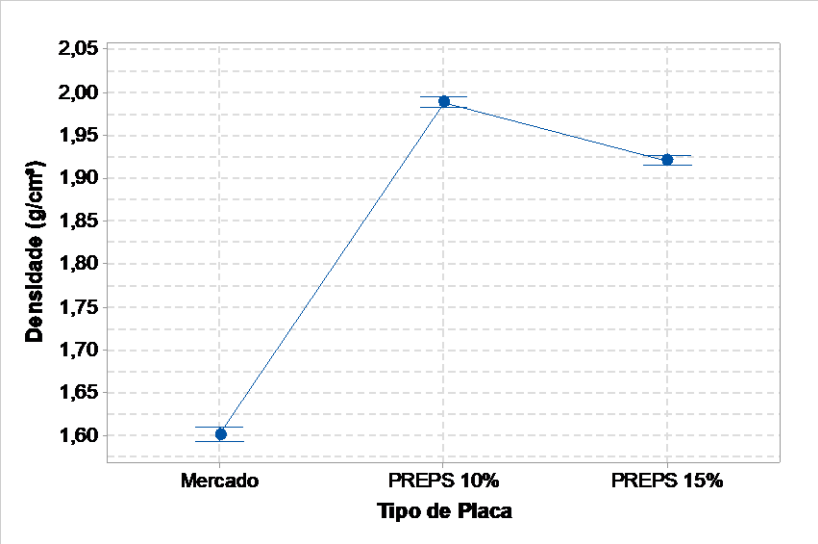
Fatores de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor F	Valor-P	Significância
Tipo de Placa	5	0,417928	0,208964	3530,36	0,000	Sim
Erro	9	0,001006	0,000059			
Total	11	0,418934				

Fonte: Elaborado pelo autor.

O efeito isolado do tipo de placa cimentícia sobre a densidade aparente é apresentado na Figura 60, onde mostra uma diferença negativa para a PREPS em torno de 25%, quando comparado com a placa do mercado. A explicação é a diferença dos materiais constituintes das PREPS e a do comércio.

As placas comercializadas são feitas com fibras sintéticas, 0,91g/cm³, e com baixa quantidade de cimento, já as PREPS muito embora sejam produzidas com REPS, 0,024 g/cm³, possuem um alto teor de cimento o que faz com que as PREPS, não tenham um desempenho satisfatório nesse requisito.

Figura 60 - Efeito isolado do tipo de placa cimentícia sobre a densidade aparente



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.5 Permeabilidade

A Figura 61 apresenta o ensaios da permeabilidade das PREPS10% de acordo com a NBR 15498 (ABNT,2016). Nas figuras 63 a 65 são apresentados os resultados dos ensaios, para a avaliação do resultado, o fato de não haver vazamento nas placas cimentícias, por um período de 24h, já é resultado que aprova a utilização, o que ocorreu com a PREPS10%.

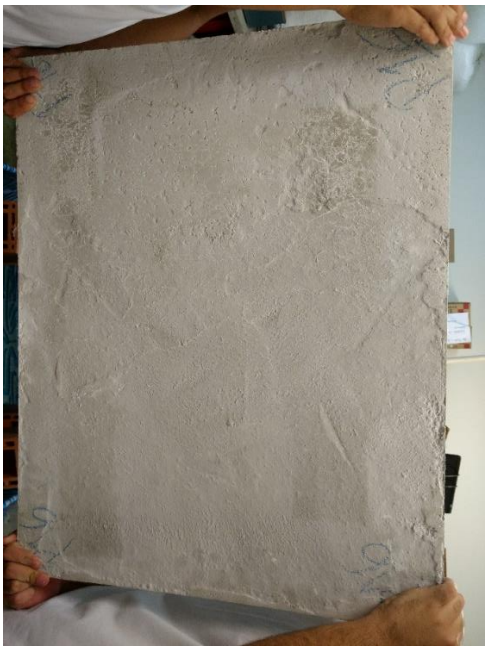
Figura 61 – Ensaio de permeabilidade das PREPS 10%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 62 – PREPS10%-P15 após realizado o ensaio

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 63 – PREPS10%-P16 após realizado o ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 64 – PREPS10%-P17 após realizado o ensaio

Fonte: Elaborado pelo autor.

Das figuras 66 a 69 estão apresentados os ensaios e os resultados da avaliação da permeabilidade das PREPS15%. No ensaio ocorreu um princípio de vazamento na junção das caixas, que são colocadas sobre as placas, deixando pequenas partes das bordas molhadas, tal fato não inviabilizou a conclusão dos resultados, apenas a placa 7, Figura 68, apresentou uma pequena mancha, mas não apresentou gotas de água, apresentando resultado como positivo.

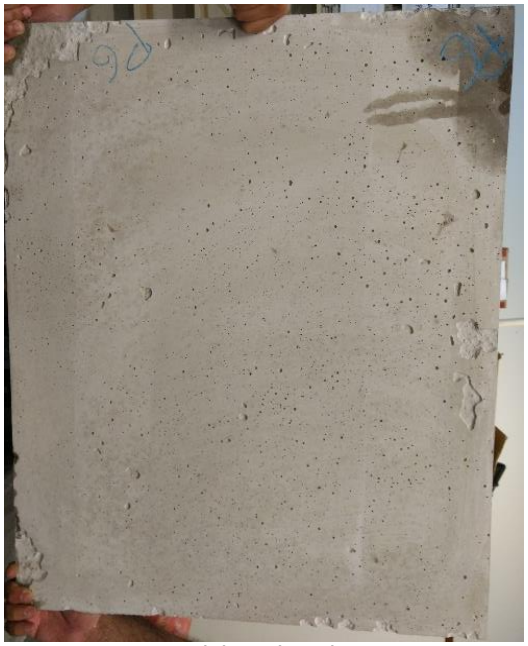
Figura 65 – Ensaio de permeabilidade das PREPS 15%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 66 – PREPS15%-P5 após realizado o ensaio

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 67 – PREPS15%-P6 após realizado o ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 68 – PREPS15%-P7 após realizado o ensaio

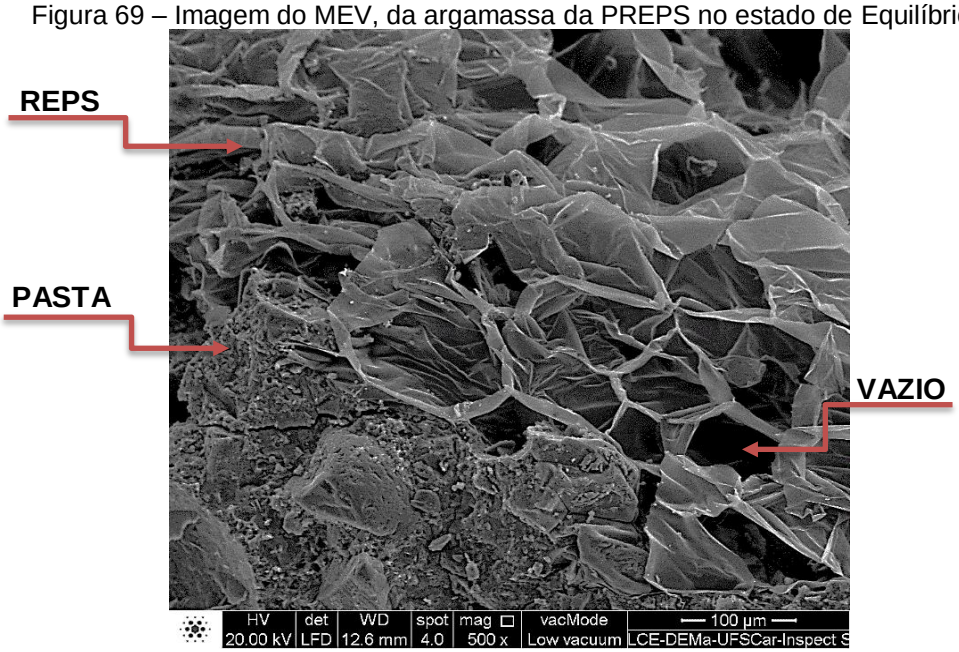
Fonte: Elaborado pelo autor.

Justifica-se o bom desempenho, pela característica da forma utilizada, uma vez que a face inferior da forma foi de acrílico, material que deixa a argamassa muito lisa, e ainda a possível elevação do REPS, pela sua baixa massa específica, restando ao fundo uma pequena camada de pasta o que justifica a impermeabilidade.

4.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura

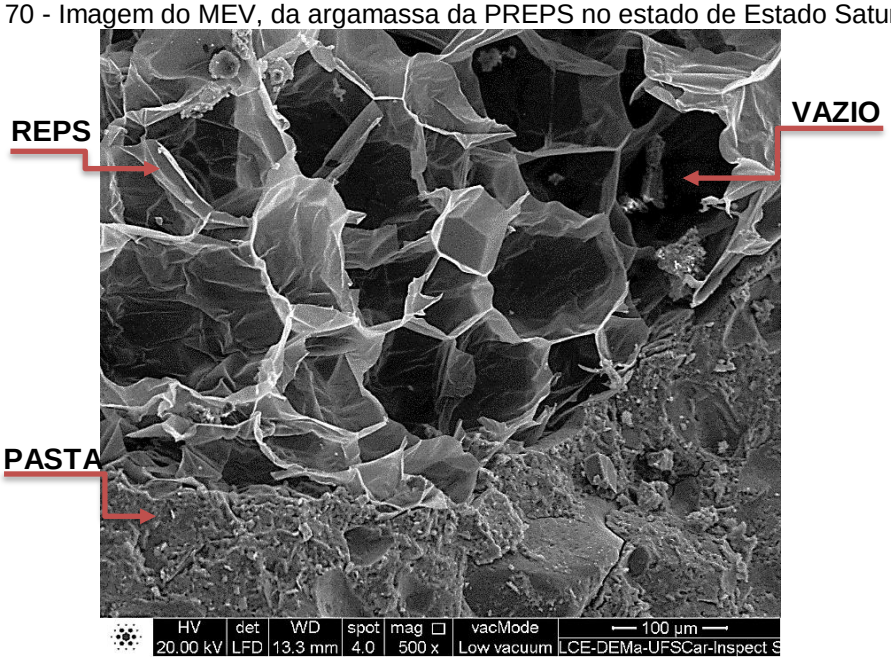
Nas Figura 69 e 71 estão apresentados os ensaios de microscopia eletrônica de varredura - MEV com foco principal na investigação da aderência da pasta com os grânulos do REPS no estado de equilíbrio e saturado respectivamente, com aproximação de 500x.

Figura 69 – Imagem do MEV, da argamassa da PREPS no estado de Equilíbrio



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 70 - Imagem do MEV, da argamassa da PREPS no estado de Estado Saturado

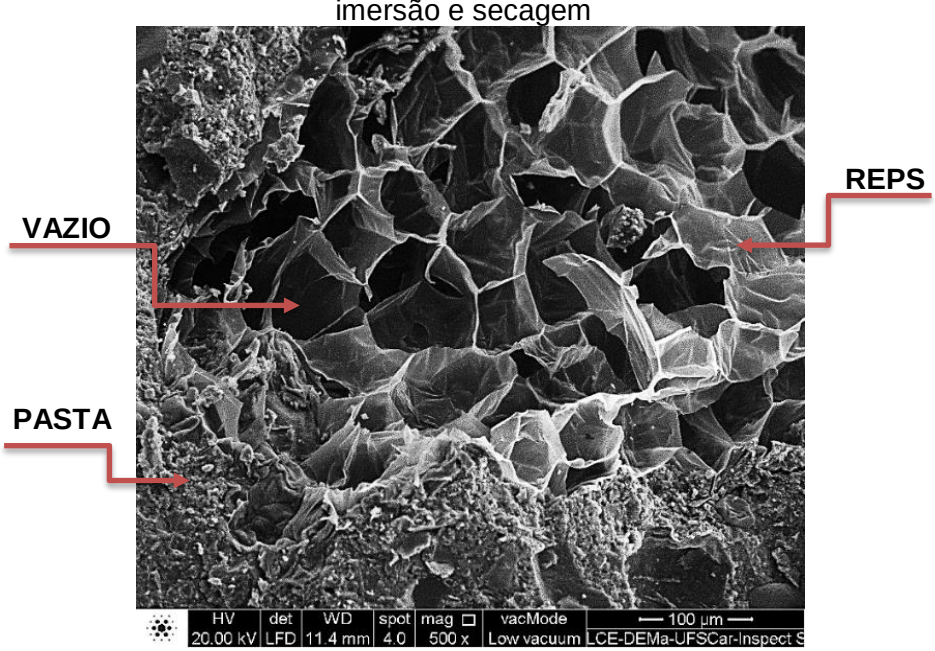


Fonte: Elaborado pelo autor.

O REPS apresentado possui forma de colmeia com paredes finas e com envolvimento da argamassa com o grânulo de REPS em toda área. Outra constatação é que, apesar da natureza hidrofóbica do polímero, os grãos de REPS têm boa aderência com a pasta e ausência de microfissuras.

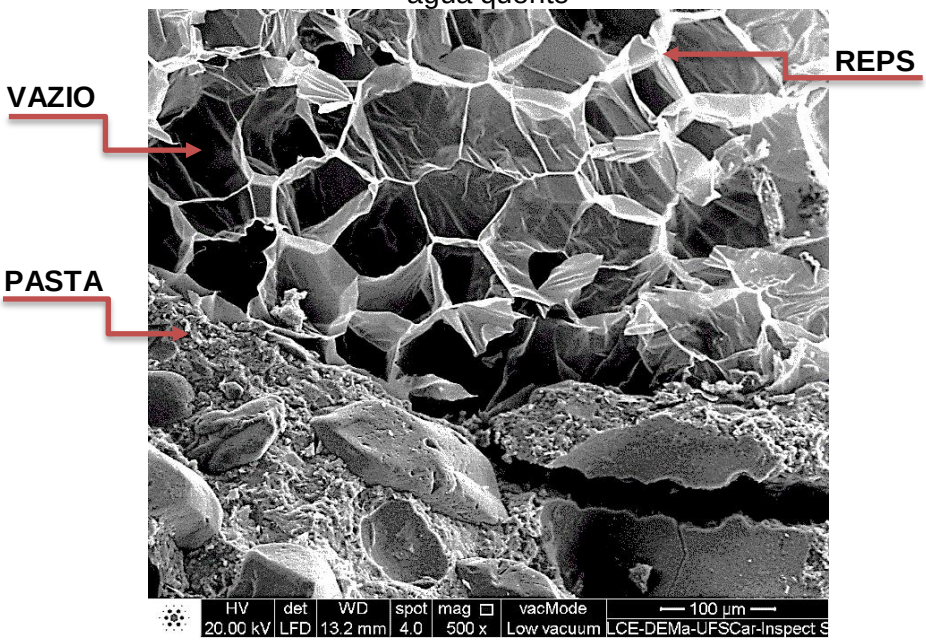
Nas Figura 71 e 73 estão apresentados os ensaios de microscopia eletrônica de varredura - MEV com foco principal nos grânulos do REPS após o envelhecimento acelerado por imersão e secagem e imersão em água quente respectivamente, com aproximação de 500x.

Figura 71 - Imagem do MEV da argamassa da PREPS após envelhecimento por ciclos de imersão e secagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 72 - Imagem do MEV da argamassa da PREPS após envelhecimento por imersão em água quente



Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora as argamassas tenham passado por diferentes processos de envelhecimento, não há evidência de degradação dos grânulos do REPS, o que ocorre com a pasta, pois não há indícios de desgaste na pasta da mistura das PREPS que passaram pelo processo de envelhecimento.

O bom desempenho apresentado nas PREPS quanto a resistência à tração na flexão conforme visto na e na permeabilidade, está ligada a possibilidade de que a superfície externa dos grãos é formada por poros acessíveis nos quais a argamassa pode penetrar. Este processo é provavelmente, o principal mecanismo pelo qual um material, apesar de altamente hidrofóbico como o EPS, adere bem a pasta de cimento (LANZÓN *et al.*, 2015), Portanto, considerando a microestrutura das argamassas, pode ser confirmado que o poliestireno expandido é compatível com a pasta de cimento.

5 CONCLUSÕES

Os resultados desta pesquisa mostram que o REPS têm potencial para ser utilizado como substituto parcial do agregado miúdo para a produção de placas cimentícias, considerando os aspectos mecânicos e físicos. Para tanto, mais pesquisas devem ser desenvolvidas para confirmar essa possibilidade de utilização.

Com base nos resultados deste trabalho, podem ser extraídas as seguintes conclusões:

5.1 ARGAMASSAS COM REPS

- foi confirmada a viabilidade de utilização do índice de consistência de 280±5 mm para produção de placas cimentícias com REPS, com a utilização de aditivo superplastificante, sem que houvesse exsudação e segregação;
- as argamassas com REPS nos percentuais de 10% e 15%, apresentaram redução estatisticamente significativa, da resistência à compressão e do módulo de elasticidade dinâmico, em comparação da argamassa de referência.
- a resistência à tração por compressão diametral não mostra significância estatística, quando comparado a argamassa de referência para nenhum dos testes, porém mostra uma tendência de queda da resistência à medida que é acrescido o REPS.
- a absorção de água na argamassa, tem efeito significativo a medida que é incorporado o REPS na argamassa, a medida que aumenta o aumento do percentual de resíduo na argamassa aumenta a absorção;
- a absorção de água por capilaridade, assim como o percentual de índice de vazios das argamassas de REPS, não apresentaram significância com a incorporação do resíduo em teores de 10% e 15% de REPS;
- a massa específica da argamassa apresenta significância estatística para todos os testes, tendo redução das massas específicas com o aumento do percentual de incorporação do resíduo de REPS;

5.2 PACAS CIMENTÍCIAS COM REPS

- de acordo com os requisitos mínimos da ABNT NBR 15498:2016, as PREPS podem ser classificadas, na situação saturada (para exposição externa submetida a intempéries), como classe B1 para a de PREPS15% e B2 para as PREPS10%, já para o estado de equilíbrio (para uso interno ou externo desde que não haja a ação direta de intempéries), podem ser classificadas como A3 para ambos os percentuais de substituição.

- comparando a absorção e a resistência à tração na flexão no estado saturado e após envelhecimento acelerado por ciclos de imersão/secagem, pode ser verificado que as PREPS15% apresentaram um ligeiro aumento de resistência e redução da absorção quando submetidas a ciclos de calor, pode-se concluir que o REPS melhora a durabilidade das PREPS.
- As PREPS quando submetido a envelhecimento acelerado através de imersão em água quente, apresentaram um desempenho inferior aos ganhos de resistência à tração na flexão, quando comparado ao estado de envelhecimento acelerado por ciclos de imersão e secagem.
- Os resultados de permeabilidade e variação dimensional sugerem que as placas podem ser aplicadas em ambientes externos. No entanto, mais pesquisas precisam ser desenvolvidas para essa assertiva ser confirmada.

5.3 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- produzir placas cimentícias com novos teores de substituição de REPS;
- testar a incorporação de fibras conjugados com REPS, para produção de placas cimentícias;
- avaliar o desempenho termoacústico das PREPS;
- montar um protótipo com a finalidade de avaliar as PREPS para desempenho de impacto;
- avaliar as PREPS quanto ao desempenho do sistema de vedação vertical de acordo com o estabelecido pela ABNT NBR 15575-4:2013.
- avaliar as PREPS conforme a ISO 1182 para a verificação de sua incombustibilidade, e se combustíveis, ensaia-las conforme a ABNT NBR 9442, para determinação do índice superficial de propagação de chamas, e conforme ASTM E 662, para determinação da densidade ótica específica de fumaça resistência ao fogo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) **NBR 7215:** Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro. 1997. 8p.

_____.**NBR 7218:** Agregados — Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro. 2010. 3p.

_____.**NBR 7222:** Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2011. 5p.

_____.**NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro. 2009. 4p.

_____.**NBR 9779:** Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro. 2012. 3p.

_____.**NBR 15.498:** Placa de fibrocimento sem amianto: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 2016. 24p.

_____.**NBR 15.575:** Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro. 2013. 57p.

_____.**NBR 15.630:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro. 2009. 4p.

_____.**NBR NM 27:** Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro. 2001. 7p.

_____.**NBR NM 45:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro. 2006. 8p.

_____.**NBR NM 46:** Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro. 2003. 6p.

_____.**NBR NM 49:** Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro. 2016. 3p.

_____.**NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro. 2009. 6p.

_____.**NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 2001. 6p.

ABRAPEX. Associação Brasileira do Poliestireno expandido. **http:** //www.abrapex.com.br, 2015. Disponivel em: <http://www.abrapex.com.br>. Acesso em: 21 outubro 2015.

AMIANTI, M.; BOTARO, V. R. Recycling of EPS: A new methodology for production of concrete impregnated with polystyrene (CIP). **Cement and Concrete Composites**, v. 30, n. 1, p. 23–28, 2008.

ASHORI, A. et al. Wood-wool cement board using mixture of eucalypt and poplar. **Industrial Crops and Products**, v. 34, n. 1, p. 1146–1149, 2011.

ASHORI, A.; TABARSA, T.; VALIZADEH, I. Fiber reinforced cement boards made from recycled newsprint paper. **Materials Science & Engineering A**, v. 528, p. 7801–7804, 2011.

BABU, D. S.; BABU, K. G.; TIONG-HUAN, W. Effect of polystyrene aggregate size on strength and moisture migration characteristics of lightweight concrete. **Cement and Concrete Composites**, v. 28, n. 6, p. 520–527, 2006.

BABU, K. G.; BABU, D. S. Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume. **Cement and Concrete Research**, v. 33, n. 5, p. 755–762, 2003.

BASSANI, P. D. **Caracterização de resíduos sólidos de coleta seletiva em condomínios residenciais – Estudo de caso em Vitória-ES**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2011.

BRÁS, A.; LEAL, M.; FARIA, P. Cement-cork mortars for thermal bridges correction. Comparison with cement-EPS mortars performance. **Construction and Building Materials**, v. 49, p. 315–327, 2013.

BRASIL, A.; AMBIENTE, M. Ambiente Resíduos Experiências sobre o Isopor. p. 1–2, 2015.

CADERE, C. A. et al. Engineering properties of concrete with polystyrene granules. **Procedia Manufacturing**, v. 22, p. 288–293, 1 jan. 2018.

CAMILLO, M. G. D. **Analise da utilização de chapas e placas industrializadas nas vedações verticais internas em construções residenciais na Região Sul do Brasil**. Dissertaçã ed. Florianópolis - SC: [s.n.], 2010.

EPSBRASIL. EPS Brasil.eco. **EPS Brasil**, 2016. Disponivel em: <http://www.epsbrasil.eco.br/index.html>. Acesso em: 05 dezembro 2016.

FARINHA, C.; BRITO, J.; VEIGA, R. Incorporation of fine concrete aggregates in mortars. **Construction and Building Materials**, v. 36, p. 960–968, 2012.

FERRÁNDIZ-MAS, V. et al. Design of bespoke lightweight cement mortars containing waste expanded polystyrene by experimental statistical methods. **Materials and Design**, v. 89, p. 901–912, 2016.

FERRÁNDIZ-MAS, V.; GARCÍA-ALCOCEL, E. Caracterización física y mecánica de morteros de cemento Portland fabricados con adición de partículas de poliestireno expandido (EPS). **Materiales de Construcción**, v. 62, n. 308, p. 547–566, 2012.

FERRÁNDIZ-MAS, V.; GARCÍA-ALCOCEL, E. Durability of expanded polystyrene mortars. **Construction and Building Materials**, v. 46, p. 175–182, 2013.

FERRÁNDIZ_MASS, V. et al. Lightweight mortars containing expanded polystyrene and paper sludge ash. **Construction and Building Materials**, p. 285-292, 2014.

FONTENELLE, H. Sistema de fixação e juntas em vedações verticais constituídas por placas cimentícias: estado da arte, desenvolvimento de um sistema e avaliação experimental. 2012.

HOLANDA, E. P. T. **Novas Tecnologias Construtivas para produção de vedações verticais:** diretrizes para treinamento da mão de obra. São Paulo: Dissertação de mestrado. USP, 2003.

JAMSHIDI, M.; RAMEZANIANPOUR, A. A. Laboratory and industrial investigations on hybrid of acrylic and glass short fibers as an alternative for substituting asbestos in Hatschek process. Construction and Building Materials, v. 25, n. 1, p. 298–302, 2011.

KHORAMI, M. et al. Utilisation of waste cardboard and Nano silica fume in the production of fibre cement board reinforced by glass fibres. 2017.

KHORAMI, M.; GANJIAN, E. Comparing flexural behaviour of fibre-cement composites reinforced bagasse: Wheat and eucalyptus. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 9, p. 3661–3667, 2011.

KHORAMI, M.; GANJIAN, E.; SRIVASTAV, A. Feasibility Study on Production of Fiber Cement Board Using Waste Kraft Pulp in Corporation with Polypropylene and Acrylic Fibers. **Materials Today: Proceedings**, v. 3, n. 2, p. 376–380, 2016.

LANZÓN, M. et al. Microstructural examination and potential application of rendering mortars made of tire rubber and expanded polystyrene wastes. **Construction and Building Materials**, v. 94, p. 817–825, 2015.

LAUKAITIS, A.; ŽURAUSKAS, R.; KERIENE, J. The effect of foam polystyrene granules on cement composite properties. **Cement and Concrete Composites**, v. 27, n. 1, p. 41–47, 2005.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE**, 2016. Disponivel em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel>. Acesso em: 14 SETEMBRO 2016.

PAGLIETTI, F. et al. Classification and management of asbestos-containing waste: European legislation and the Italian experience. **Waste Management**, v. 50, p. 130–150, 2016.

PERUZZI, A. D. P. Estudo das alternativas de uso da fibra de vidro sem características álcali resistente em elementos construtivos de cimento Portland. p. 182, 2007.

PONTES, G. Divisórias e fechamentos com placas cimentícias. **Téchne**, SÃO PAULO, n. 156, março 2010.

RICCHINI, R. setor reciclagem. **http:** //www.setorreciclagem.com.br, 2016. Disponivel em: <http://www.setorreciclagem.com.br/3rs/triturando-isopor-reutilizacao/>. Acesso em: 14 setembro 2016.

ROSSIGNOLO, J. A. **Concreto Leve Estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. [s.l: s.n.], 2009.

SANTOS, N. A. **INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE LÃ DE VIDRO PARA PRODUÇÃO DE PLACAS CIMENTÍCIAS**. Vitória: Dissertação de Mestrado, 2015.

SANTOS, W. J. **ARGAMASSA DE ALTO DESEMPENHO**. Juiz de Fora - MG: Dissertação (Mestrado), 2011.

SILVA, F. A. et al. Physical and mechanical properties of durable sisal fiber-cement composites. **Construction and Building Materials**, v. 24, p. 777-785, 2010.

SPECK, J. A. **Análise do desempenho de placas cimentícias através da adição de fibras e telas, visando a redução de deformações térmicas e patológicas.** Porto Alegre: Dissertação (Mestrado), 2014.

TITTARELLIA, F. et al. Effect of Using Recycled Instead of Virgin EPS in Lightweight Mortars. **Procedia Engineering**, v. 161, p. 660-665, 2016.

SCHABOWICZ, K.; GORZELAŃCZYK, T. A nondestructive methodology for the testing of fibre cement boards by means of a non-contact ultrasound scanner. **Construction and Building Materials**, v. 102, p. 200–207, 2016.