

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA

**RAÍZA PIRES**

**DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE POLIESTIRENO  
EXPANDIDO**

Joinville

2017

**RAÍZA PIRES**

**DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE POLIESTIRENO  
EXPANDIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia de Infraestrutura, da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Joinville, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Valéria Bennack, Me.  
Coorientador: Luciano Senff, Dr.

Joinville

2017

**DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE POLIESTIRENO  
EXPANDIDO**

**RAÍZA PIRES**

Esta monografia foi julgada e aprovada como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Infraestrutura na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 24 de Novembro de 2017.

Banca Examinadora:

---

Me. Valéria Bennack  
Presidente/Orientadora

---

Dra. Helena Ravache Samy Pereira  
Membro

---

Dra. Viviane Lilian Soethe  
Membro

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar forças e fé para continuar nos momentos em que desistir parecia mais a melhor opção.

A meus pais Walter Cesar Pires e Maristela Lorenzi Pires, e minha irmã Thais Pires, que são minha base, minha inspiração e meu porto seguro e sempre me apoiaram, incentivaram e encorajaram a seguir adiante.

As minhas amigas Thainara Falcão e Maysa Guetner Morô, que estiveram ao meu lado durante maior parte desta trajetória compartilhando momentos tanto de alegria como de dificuldades.

Ao meu namorado Heiko Von Scharten pela paciência e compreensão sobre minha ausência em diversos momentos e por todo apoio, carinho e amor dedicado a mim.

A minha orientadora Valéria Bennack, por sempre se mostrar presente e pronta a ajudar e aconselhar nos momentos em que as dúvidas pareciam mais que as certezas.

Ao meu coorientador Luciano Senff, por toda a experiência e aprendizado compartilhados.

Ao Departamento de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Santa Catarina da Unidade Joinville por compartilharem seu espaço para desenvolvimento de meu trabalho em especial ao laboratorista Robson que me auxiliou na realização dos ensaios mecânicos.

Aos acadêmicos Vilson Schwitzky, Raíssa Munhoz Cantera, Rubia Meert e Bettina Buchholz pelo compartilhamento de informações e conhecimentos relacionados á ensaios, materiais e métodos utilizados no Laboratório de Materiais de Construção da UFSC, Campus Joinville.

Ao acadêmico Eduardo Viana, por sua disponibilidade em ajudar durante o andamento de ensaios em que algumas atividades precisavam ser feitas durante meu horário de trabalho.

## RESUMO

O poliestireno expandido (EPS), popularmente conhecido como Isopor, tem conquistado seu espaço em meio à construção civil quando o tema é o uso materiais inovadores que possibilitam propriedades específicas as diferenciadas. Esse polímero é disponibilizado em diversas formas no mercado consumidor: desde embalagens, chapas para isolamento térmico de estruturas ou componentes, na composição de lajes, drenagem e também como material agregado em compósitos cimentícios (argamassa ou concreto). Argamassas possuem uma composição muito semelhante ao concreto, diferenciando-se, em geral, apenas pela ausência de agregado graúdo. O objetivo deste trabalho é apresentar os comportamentos mecânicos e físicos de uma estrutura em matriz cimentícia utilizando EPS na forma de pérolas como substituto parcial de agregado. A obtenção dos resultados foi possível após a confecção de corpos de prova prismáticos em argamassa de EPS sujeitos a ensaios em conformidade com as normas regulamentadoras. Os ensaios laboratoriais mecânicos realizados foram de resistência à compressão e flexão. As avaliações dos comportamentos físicos realizados foram quanto aos ensaios de porosidade aberta, densidade aparente, absorção de água por capilaridade e carbonatação. Seu uso oferece uma redução no peso final, porém em contrapartida, também reduz a resistência mecânica devido ao aumento do número de vazios, e conseqüentemente, aumento da capacidade absorção de água.

**Palavras-chave:** Argamassa. Poliestireno Expandido. Argamassa leve.

## **ABSTRACT**

Expanded polystyrene (EPS) commonly known as Styrofoam has conquered a position between construction when the subject is developing new materials with new properties. This polymer is available in many different ways on the consumer market: from packages, thermal insulation sheets for structures, slabs, drainage and as an aggregate in cement composite (mortar or concrete). Mortar and concrete have similar composition except that concrete uses aggregates with bigger granulometry. The objective of this thesis is to present the mechanical and physical behavior in a cement matrix structure using EPS pearls a partial substitute of aggregate. The mechanical and physical behavior was measured after making EPS mortar specimen and submitting them to laboratory tests according to regulatory norms. The laboratory test to evaluate mechanical behavior were bending and compression resistance. The tests to measure the physical behavior are open porosity, apparent density, water absorption and carbonation and lastly thermal conductivity. The use of this material decreases the final weight and also reduces the mechanical resistance because increases the number of voids and consequently increases the water absorption.

**Keywords:** Mortar. Expanded polystyrene. Light Mortar.

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Desvantagens do EPS.....	19
Gráfico 2 – Pesagem das amostras: formulação 1:3.....	36
Gráfico 3 – Pesagem amostras: formulação 1:2. ....	36
Gráfico 4 - Densidade aparente das amostras aos 28 dias de cura. ....	38
Gráfico 5 - Absorção de água por imersão das amostras aos 28 dias de cura. ....	38
Gráfico 6 - Porosidade aberta das amostras aos 28 dias de cura. ....	39
Gráfico 7 - Curva da Resistência Mecânica: formulação 1:3.....	40
Gráfico 8 - Curva da Resistência Mecânica: formulação 1:2.....	41
Gráfico 9 - Resistência versus densidade aparente: formulação 1:3. ....	42
Gráfico 10 - Resistência versus densidade aparente: formulação 1:2. ....	42
Gráfico 11 - Absorção de água por capilaridade: Formulação 1:3.....	43
Gráfico 12 - Absorção de água por capilaridade: Formulação 1:2.....	43

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Matrizes Cimentícias. ....	15
Figura 2 - Resistência à tração e à flexão. ....	19
Figura 3 – Caracterização do cimento. ....	22
Figura 4 - Materiais utilizados. ....	23
Figura 5 – Curva granulométrica da areia. ....	23
Figura 6 - Balança de precisão 0,01g. ....	24
Figura 7 - Misturador de alta potência. ....	24
Figura 8 – Procedimentos no estado fresco. ....	25
Figura 9 – Procedimentos no estado endurecido. ....	25
Figura 10 - Equipamentos e instrumentos utilizados no Flow Table. ....	26
Figura 11 - Moldagem da argamassa. ....	27
Figura 12 - Contador de golpes e mesa de adensamento. ....	28
Figura 13 - Corpos de prova em processo de cura. ....	28
Figura 14 - Máquina Universal Ensaio Flexo-compressão. ....	30
Figura 15 - Estufa para secagem das amostras. ....	31
Figura 16 - Balança de precisão com suporte para pesagem imersa. ....	31
Figura 17 - Materiais para ensaio de carbonatação. ....	33
Figura 18 - Ensaio estado fresco. ....	34
Figura 19 - Frente de Carbonatação. ....	44

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Vantagens do EPS.....	17
Quadro 2 - Classificação dos Agregados Leves.....	20

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Amostras formulação 1:3. ....	35
Tabela 2 – Resultados dos Ensaio Físicos: Formulação 1:3. ....	37
Tabela 3 – Resultados dos Ensaio Físicos: Formulação 1:2. ....	37
Tabela 4 - Valores Resistência Mecânica Formulação 1:3. ....	40
Tabela 5 - Valores Resistência Mecânica Formulação 1:2. ....	41
Tabela 6 - Resultados Carbonatação: formulação 1:3. ....	45
Tabela 7 - Resultados Carbonatação: formulação 1:2. ....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

<b>EPS</b>	Poliestireno Expandido
<b>mm</b>	Milímetro
<b>CFC</b>	Clorofluorcarboneto
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	Quilograma por metro cúbico
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>MPa</b>	Mega Pascal
<b>W/m<sup>°C</sup></b>	Watt por metro Celsius
<b>°C</b>	Grau Celsius
<b>ml</b>	Mililitro
<b>g</b>	Grama
<b>cm</b>	Centímetro
<b>kN</b>	Quilo Newton
<b>N/s</b>	Newton por segundo
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Grama por centímetro cúbico
<b>CP</b>	Corpo de prova
<b>g/cm<sup>2</sup></b>	Grama por centímetro quadrado

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVOS .....	14
<b>1.1.1 Objetivo geral.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>14</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
2.1 COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS .....	15
<b>2.1.1 Aplicações das argamassas .....</b>	<b>16</b>
2.2 INOVAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	16
2.3 EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	17
<b>2.3.1 Vantagens do EPS.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3.2 Desvantagens do EPS .....</b>	<b>19</b>
2.4 CONCRETO LEVE .....	20
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>22</b>
3.1 MATERIAIS .....	22
3.2 MÉTODOS.....	25
<b>3.2.1 Ensaio no estado fresco .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2.2 Moldagem dos Corpos de Prova.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.3 Ensaio no estado endurecido .....</b>	<b>28</b>
3.2.3.1 Resistência à compressão e flexão.....	29
3.2.3.2 Densidade aparente, absorção e porosidade aberta .....	30
3.2.3.3 Absorção de água por capilaridade.....	32
3.2.3.4 Carbonatação .....	33
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>34</b>
4.1 <i>FLOW TABLE</i> .....	34
4.2 DOSAGEM E PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS .....	35
4.3 PESAGEM DAS AMOSTRAS.....	35
4.4 DENSIDADE APARENTE, ABSORÇÃO E POROSIDADE ABERTA.....	37
4.5 RESISTÊNCIA MECÂNICA .....	39
4.6 ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE .....	43
4.7 CARBONATAÇÃO .....	44
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>46</b>

**TRABALHOS FUTUROS.....47**  
**REFERÊNCIAS .....48**

## 1 INTRODUÇÃO

O material artificial mais consumido no mundo pelo homem nos dias atuais é o cimento Portland sendo combinado com outros tipos de materiais na confecção de variantes do concreto (AGOPYAN, 2014). Dados levantados no ano de 2009 apontavam um consumo médio de concreto de aproximadamente 1,9 toneladas por habitante/ano, perdendo apenas para o consumo de água (PEDROSO, 2009).

Dentre as vantagens do concreto destacam-se o baixo custo, boa adequação a variadas condições de produção, plasticidade em seu estado fresco que possibilita obter formas construtivas inusitadas e sua resistência à água, que em comparação ao aço e madeira, sofre menor deterioração, permitindo o uso em estruturas de armazenamento de água (MELADO, 2014). Em contrapartida, apresenta algumas limitações como baixa relação resistência x peso (PEDROSO, 2009).

Com intenção de contribuir para a construção civil, e ampliar as opções de aplicação em elementos de matriz cimentícia, experimentos são realizados constantemente para testar os efeitos causados pela adição de diferentes materiais como agregados. A adição de pérolas de Poliestireno Expandido (EPS), proposta por este trabalho, tem por objetivo não apenas reduzir o peso em elementos, através do uso deste material de menor peso específico em substituição da areia, como também verificar o comportamento com relação à resistência mecânica, absorção de água, porosidade e carbonatação desse material.

A incorporação de poliestireno expandido na construção civil resulta na redução de custos, conforme afirma o Engenheiro Ricardo Guimarães de Burgos em entrevista para o Portal Metálica (2017) "[...] com a utilização dos blocos de EPS, há uma redução de 20% no custo da fundação da obra, de até 50% de ferragem usada na própria laje e de 35% no consumo de concreto".

O EPS é um material de baixa densidade, o que o torna fácil de manusear no canteiro de obra, e apresenta outras características positivas, como ótima capacidade em absorver impactos, facilidade em moldar o material conforme tamanho e espessura desejados e possibilidade de reciclagem (ISORECORT, 2016).

Durante o desenvolvimento deste estudo, serão testadas as propriedades físicas e mecânicas através de ensaios laboratoriais normatizados para verificação da resistência mecânica, densidade aparente, porosidade aberta e absorção de água aos 28 dias de cura, e

absorção de água por capilaridade, carbonatação e condutividade térmica em idades superiores.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma argamassa com substituição parcial da massa de areia por pérolas de poliestireno expandido, em teores variando entre 0% a 3%.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar os resultados dos ensaios de flexão e compressão dos corpos de prova;
- Verificar as propriedades físicas nos corpos de prova (absorção de água por imersão, porosidade aberta, densidade aparente, absorção por capilaridade);
- Analisar o efeito da carbonatação nessa argamassa.

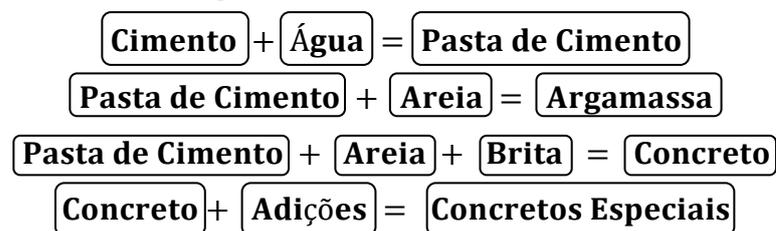
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo abordará temas relativos ao estudo proposto, como a inserção de novos materiais como o EPS em meio à construção civil, vantagens, desvantagens e propriedades agregadas em elementos fabricados desse material.

### 2.1 COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

Entende-se por compósitos a combinação de dois ou mais materiais distintos, na qual permite a obtenção de um novo material, com propriedades que não se tem com os componentes isolados (INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO, 2017). O termo compósito cimentício é dado a misturas que contém como matriz o cimento, sendo os mais usuais apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Matrizes Cimentícias.



Fonte: Adaptado de Portal do Concreto (2017).

O concreto convencional é produzido utilizando-se materiais granulares (agregados), a exemplo da areia e pedregulho, com diâmetros passantes na peneira de 4,75mm (miúdos), e por aqueles retidos na peneira de 4,75mm (graúdos) em conjunto com o cimento (material ligante), e ocasionalmente, alguma substância química (aditivo) adicionada à mistura ainda no estado fresco, para melhorar alguma propriedade e atender as necessidades construtivas da obra (PEDROSO, 2009).

O cimento também é utilizado na fabricação da argamassa, que diferentemente do concreto, utiliza apenas agregados miúdos em sua fabricação. Ainda conforme Pedroso (2009), ambos, quando em estado fresco, apresentam elevada plasticidade, permitindo a moldagem em formas, e depois de endurecidos, adquirem resistências equivalentes a das rochas naturais.

O ponto principal na execução dos compósitos cimentícios é a quantidade de água utilizada na mistura, também chamada relação água/cimento. A água em contato com o cimento ativa a reação química, que faz com que a mistura fique com consistência de pasta. A falta de água faz com que a reação não ocorra por completo, e o excesso diminui a resistência, pois com a evaporação, aumenta-se a quantidade de poros desobstruídos e descontinuidades na estrutura (PORTAL DO CONCRETO, 2017).

### 2.1.1 Aplicações das argamassas

As principais aplicações das argamassas são realizadas, em geral, em estruturas não armadas. De acordo com o Portal do Concreto (2017), citam-se como principais aplicações:

- Revestimento de paredes, pisos e tetos;
- Assentamento de tijolos, blocos, azulejos e similares;
- Impermeabilização;
- Regularização de superfícies (desníveis, ondulações, entre outros).

## 2.2 INOVAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A busca por materiais e tecnologias inovadoras na construção civil tem sido intensificada ao longo dos anos, principalmente após o surgimento de relatórios e convenções em prol da preservação do meio ambiente e sustentabilidade, por volta de década de 1960.

Conforme Corrêa (2009):

A incorporação de práticas de sustentabilidade na construção é uma tendência crescente no mercado. Sua adoção é “um caminho sem volta”, pois diferentes agentes – tais como governos, consumidores, investidores e associações – alertam, estimulam e pressionam o setor da construção a incorporar essas práticas em suas atividades. (p.21).

Com a evolução desse conceito e estudos realizados sobre o tema, estruturas antes fabricadas em outros materiais como alumínio, aço e vidro, passaram a ser produzidas em concreto devido à abundância de seus elementos constituintes, baixo valor agregado, menor consumo de energia de fabricação, e conseqüentemente, menor emissão de gases poluentes (PEDROSO, 2009).

## 2.3 EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O poliestireno expandido é um polímero celular rígido obtido através da polimerização do estireno em água, resultando em pérolas de até 3 mm de diâmetro (PORTAL DO CONCRETO, 2017).

Conforme Abrapex (2017), este material tem sido inserido na construção civil nos últimos 35 anos por apresentar características isolantes, leveza, boa resistência, facilidade ao manusear e custo reduzido. É comercializado em forma de placas e partículas desagregadas (pérolas e flocos), destinadas a uma infinidade de aplicações.

A permanência do EPS no mercado consumidor deve-se principalmente a capacidade de isolamento térmico e leveza deste material. As aplicações são diversas: enchimento de lajes, lajes industrializadas, isolamento térmico de sistemas estruturais ou não, fabricação de concreto leve, painéis auto portantes, isolamento acústico, painéis divisórios, drenagem, juntas de dilatação e fundação para estradas (ABRAPEX, 2017).

O poliestireno expandido não possui uma durabilidade definida, entretanto é de conhecimento que quando exposto a radiação solar direta e contínua, durante um longo período e em combinação com intempéries, podem acelerar a deterioração do material alterando sua estrutura química contraindicando seu uso em estruturas e elementos sujeitos a radiação solar direta (SANT'HELENA, 2009).

### 2.3.1 Vantagens do EPS

Moraes e Brasil (2015) descrevem como principais vantagens do poliestireno expandido as propriedades compiladas e comentadas no Quadro 1 adaptado.

Quadro 1 - Vantagens do EPS.

<b>QUAL A VANTAGEM?</b>	<b>POR QUE É VANTAJOSO?</b>	<b>BENEFÍCIOS OBSERVADOS</b>
<b>Baixa Condutividade Térmica</b>	A estrutura de células fechadas, cheias de ar, dificulta a passagem do calor resultando em grande poder isolante.	Conforto termo acústico; Redução do consumo de energia.

Fonte: Adaptado de Moraes e Brasil (2015, p. 6).

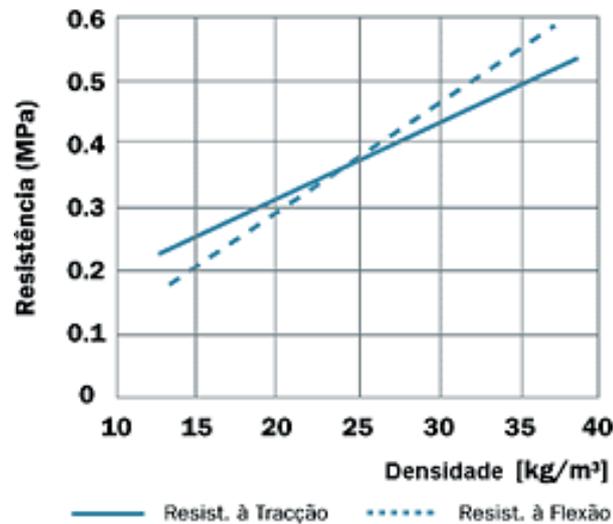
Quadro 1 - Vantagens do EPS (continuação).

<b>QUAL A VANTAGEM?</b>	<b>POR QUE É VANTAJOSO?</b>	<b>BENEFÍCIOS OBSERVADOS</b>
<b>Baixo Peso</b>	O isopor possui baixa densidade o que implica em uma expressiva redução peso das estruturas em uma obra.	Redução de peso de estruturas, redução peso e preço de transporte.
<b>Versatilidade</b>	Facilmente cortado e moldado e adequando-se a qualquer método/processo construtivo na construção civil.	Otimiza processo de produção e construção no canteiro de obra; facilidade para transportar.
<b>Resistência</b>	Boa resistência mecânica (compressão, tração e flexão) com baixa massa e boa absorção a choques.	Conforto, durabilidade de estruturas.
<b>Sustentabilidade</b>	Reciclável, auxilia na economia de energia, produção sem emissão de CFC.	Diminui resíduos gerados por indústrias que utilizam EPS, colaborando c/ o meio ambiente.
<b>Resistência a microorganismos</b>	Não desenvolve bactérias, fungos ou qualquer tipo de microrganismos.	Durabilidade do material, compatibilidade com materiais empregados na construção civil.
<b>Baixa Absorção de Água</b>	O isopor absorve apenas pequenas quantidades quando em presença de água.	Características térmicas e mecânicas não se alteram mesmo sob a ação da umidade garantindo a durabilidade do material.
<b>Facilidade de Manuseio</b>	Material é leve.	Seu baixo peso específico facilita carga/descarga e o manuseio no canteiro de obra.
<b>Deformabilidade</b>	Material se deforma a fim de distribuir as cargas atuantes e dissipar as tensões sem romper.	Estabilidade Dimensional.
<b>Compatibilidade Físico-Química</b>	É um material compatível com a maioria dos materiais usados na construção civil.	Durabilidade do material.
<b>Custo</b>	Custo m <sup>3</sup> de EPS é competitivo comparado ao custo do concreto usinado e argamassa industrializada.	Redução valor final da obra, redução custo de transporte.

Fonte: Adaptado de Moraes e Brasil (2015, p. 6).

A resistência à flexão, resistência à tração e resistência à compressão estão diretamente ligadas com a densidade do material, impactando no manuseamento e aplicação do mesmo (TECNOCELL, 2017). Na figura 2 pode-se perceber que os valores da resistência aumentam de forma linear com a densidade.

Figura 2 - Resistência à tração e à flexão.

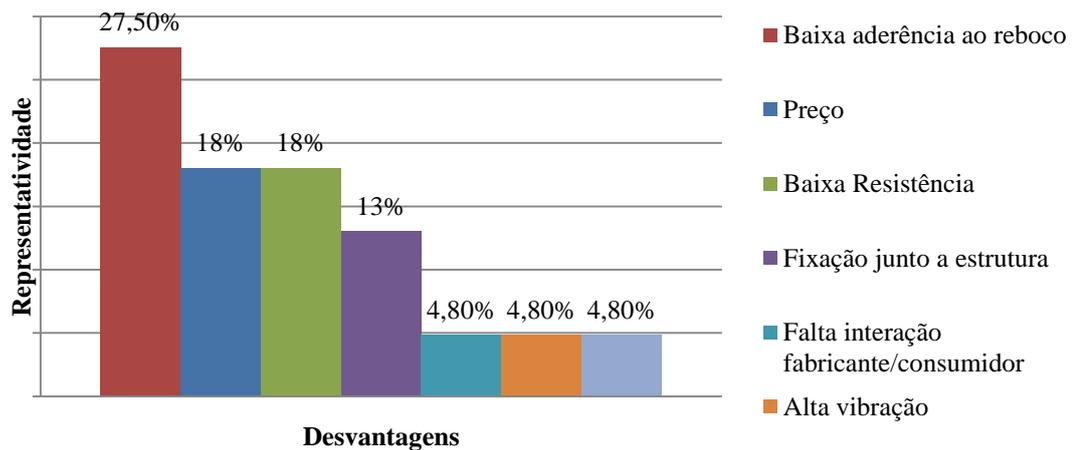


Fonte: Tecnocell (2017).

### 2.3.2 Desvantagens do EPS

Uma pesquisa realizada na cidade de Chapecó/SC com empresas que fazem uso de EPS, apontou as desvantagens de maior relevância, sendo estas apresentadas no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Desvantagens do EPS.



Fonte: Adaptado de Moraes e Brasil (2015, p. 6).

A baixa aderência da argamassa foi apontada como o ponto mais negativo, na qual refere-se à execução de lajes pré-moldadas que apoiam placas de EPS em vigotes treliçados de concreto, e recebem chapisco como acabamento final. Porém atualmente é utilizada uma

cola especial que melhora a adesão evitando a necessidade de ranhuras nas placas de EPS e enfraquecimento das mesmas (ELIAS, 2017).

Conforme supracitado, o EPS apresenta dentre suas vantagens um excelente isolamento térmico, entretanto esta característica se perde quando o projeto de estrutura não é planejado de forma eficaz não contribuindo para boa circulação de ar e temperatura confortável do ambiente (DOCE OBRA, 2017).

De acordo com Construcar (2017) o custo da laje de EPS é pouco diferente em relação às lajes feitas em capa cerâmica e as aberturas e furações precisam ser planejadas, direcionando a escolha entre as duas para o método mais tradicional (capa cerâmica).

## 2.4 CONCRETO LEVE

Um dos tipos de concreto usado na construção civil é o concreto leve. Este é na verdade uma argamassa, na qual substitui os agregados convencionais mais pesados (brita e/ou areia) por outros mais leves como argila expandida, vermiculita, pérolas de EPS ou ainda, com a incorporação de bolhas de ar (PORTAL DO CONCRETO, 2017).

De acordo com Branco (2014), os agregados de baixo peso específico podem ser classificados em leves e ultraleves e destinados para fins estruturais e não estruturais, conforme informações apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação dos Agregados Leves.

<b>CLASSIFICAÇÃO DO AGREGADO</b>	<b>EXEMPLOS DE AGREGADOS</b>	<b>APLICAÇÕES</b>
Ultraleve	Poliestireno expandido, vermiculita, perlita expandida, vidro expandido.	Funções estritamente de isolamento térmico e sem funções de resistência.
Leve	Argila expandida, xisto, escória de alto forno expandida, cinzas volantes sinterizadas, pedra pome.	Funções de isolamento térmico, funções de resistência e diminuição do peso próprio.

Fonte: Branco (2014).

Segundo a classificação de Branco (2014), o uso de EPS em substituição parcial da areia proposto por este estudo, direciona este material a aplicações com funções isolantes térmicas e que não sofrem grandes esforços.

Conforme Mapa da Obra (2016) o concreto leve para aplicações estruturais é encontrado em elementos flutuantes como docas e plataformas petrolíferas, em pontes, lajes e coberturas que necessitam vencer grandes vãos, destacando-se por:

- Reduzir peso de uma obra;
- Isolar termicamente de estruturas de regiões com temperaturas extremas (muito frias ou muito quentes) devido sua baixa condutividade térmica;
- Absorção da água usada na mistura pelo agregado, realizando um processo gradativo de cura interna.

De acordo com Abrapex (2017), o concreto leve pode ser utilizado para regularizações de lajes em geral, painéis de fechamento (divisórias) com função isolante termo acústica, pavimentos, elementos pré-fabricados (lajotas, elementos vazados e decorativos para fachadas e jardins) dentre outros.

Campiteli e Schulz (2002) afirmam que o uso de agregados graúdos com maior massa específica, resulta em concretos com menor consumo de cimento. Portanto, para agregados de menor massa específica que é o caso das pérolas de poliestireno expandido, o consumo de cimento deverá ser maior para que a resistência mecânica seja mantida.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo refere-se aos materiais e métodos necessários para o estudo das propriedades da argamassa de EPS, descrevendo os equipamentos e etapas de cada procedimento. Num primeiro momento foram definidos traços de referência para formulações com relação de cimento/areia 1:3 e 1:2 e relação água/cimento (a/c) de 0,52. Em seguida, foram produzidos corpos de prova tendo como fator controlado, frações em massa de EPS com porcentagens de 0%, 1%, 2%, 2,5%, 2,75% e 3%, fazendo a adequação na quantidade de água, quando necessário.

As porcentagens de EPS foram definidas tendo como ponto de partida, o estudo feito por Sant’Helena (2009) na qual utilizou porcentagens em volume de 20,40 e 60%. O teor de 60% em volume é aproximadamente equivalente a 1% em massa.

Após definidas as formulações e produzidos os corpos de prova, foram realizados métodos de caracterização física e mecânica para avaliação do comportamento, levando em conta as características de moldabilidade para cada ensaio. As propriedades físicas foram ensaiadas nos Laboratórios de Materiais de Construção localizado na UFSC Joinville, e as propriedades mecânicas, em parceria com Departamento de Engenharia Civil do Centro Universitário Católico Santa Catarina – Unidade Joinville.

#### 3.1 MATERIAIS

Os compósitos cimentícios apresentam em sua composição padrão cimento (material aglomerante), areia e água. Neste estudo, parte da areia será substituída por pérolas de poliestireno expandido variando a porcentagem em massa adicionada a este material.

O cimento empregado na produção da argamassa classifica-se como CP-II-Z-32. Este tipo de cimento tem adição de silicatos de cálcio, alumínio e ferro, sulfato de cálcio, fíler carbonático e pozolona e está caracterizado na Figura 3.

Figura 3 – Caracterização do cimento.

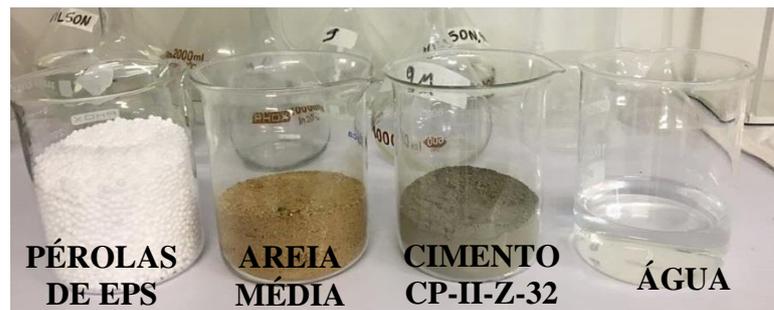
<b>Embalagem</b>	50 kg
<b>Validade</b>	90 dias
<b>Cor</b>	Cinza
<b>Consumo</b>	35 m <sup>2</sup> com espessura de 1 cm
<b>Resistência</b>	Alta resistência
<b>Secagem</b>	Rápida

Fonte: Júnior (2016).

O CP-II-Z-32 foi escolhido por ser o tipo comercializado na região de Joinville, onde os estudos foram desenvolvidos, e da mesma forma ocorreu para a areia média utilizada. Em relação à água utilizada, esta é fornecida pela rede pública de abastecimento de água.

O poliestireno expandido utilizado para a construção civil é disponibilizado no mercado em forma de flocos e pérolas. Os flocos, por possuírem menor peso, voam mais facilmente quando em comparação com as pérolas, dificultando o manuseio quando a mistura está sendo preparada. Em paralelo, pesquisas anteriores como a de Sant' Helena (2009) também trabalharam com pérolas de poliestireno, o que permite uma análise comparativa quando utilizado a mesma matéria prima. Estas pérolas possuem diâmetros variáveis de até 3mm e densidade de aproximadamente 14 kg/m<sup>3</sup>. A Figura 4 ilustra os materiais anteriormente citados.

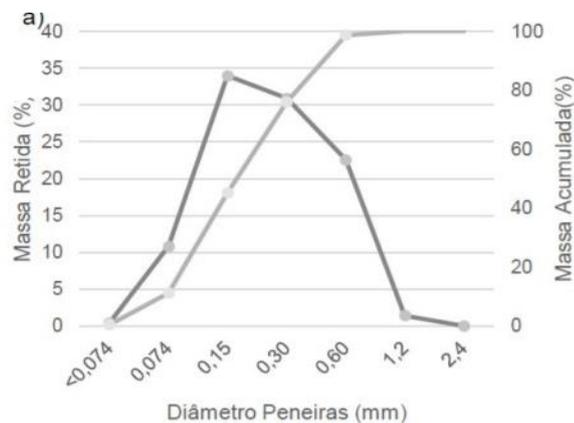
Figura 4 - Materiais utilizados.



Fonte: Autora (2017).

A areia média utilizada apresentava teor de umidade inferior a 0,1%, tendo sua curva granulométrica apresentada na Figura 5.

Figura 5 – Curva granulométrica da areia.



Fonte: Hartmann (2016, p. 30).

Na etapa de ensaios de caracterização física, para a medição da carbonatação dos corpos de prova, foi utilizada uma solução que possui em sua composição 1 g de fenolftaleína em 50 ml de álcool etílico e esta mistura diluída em 100 ml de água destilada (TÉCHNE, 2011). Para as pesagens em geral utilizou-se a balança de precisão 0,01g (Figura 6).

Figura 6 - Balança de precisão 0,01g.



Fonte: Autora (2017).

Após a definição da dosagem e separação dos materiais constituintes desta argamassa na quantidade correta, executou-se a mistura em um misturador mecânico de alta potência da marca Kitchen Aid (Figura 7).

Figura 7 - Misturador de alta potência.



Fonte: Autora (2017).

### 3.2 MÉTODOS DE ENSAIO

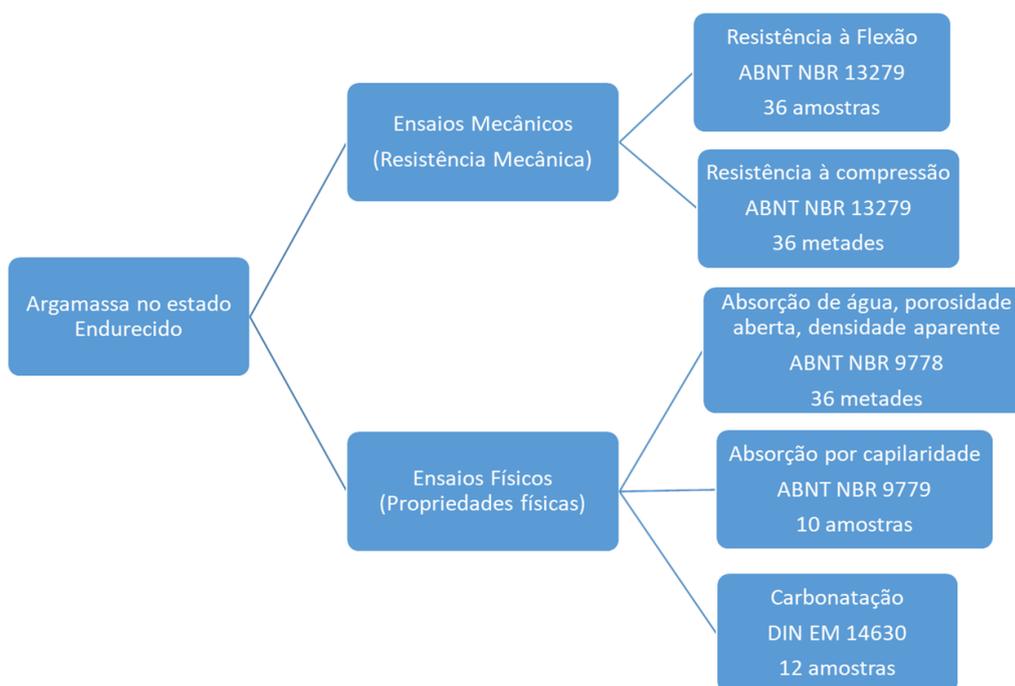
Os itens a seguir descrevem os procedimentos de ensaio realizados no estado fresco e no estado endurecido da argamassa, conforme ilustrado nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 – Procedimentos no estado fresco.



Fonte: Autora (2017).

Figura 9 – Procedimentos no estado endurecido.



Fonte: Autora (2017).

#### 3.2.1 Ensaio no estado fresco

O ensaio realizado com a argamassa em seu estado fresco é conhecido como *Flow Table*. Este ensaio é regulamentado pela ABNT NBR 7215 (1996) e serve para determinar o índice de consistência e plasticidade da argamassa ou outras palavras, o espalhamento sobre a mesa.

A realização deste ensaio exigiu os seguintes materiais: espátula, soquete, molde tronco-cônico, mesa para determinação da consistência e instrumento de medição com escala em milímetros (Figura 10).

Figura 10 - Equipamentos e instrumentos utilizados no Flow Table.



Fonte: Autora (2017).

O *Flow Table* foi realizado imediatamente após a confecção da mistura. É necessário garantir que a superfície da mesa esteja perfeitamente limpa e seca para em seguida posicionar o molde tronco-cônico no centro da mesa e iniciar o preenchimento do mesmo por argamassa, com auxílio da espátula. A argamassa foi depositada dentro do molde e em seguida foi feito o adensamento manual com o soquete, seguindo as seguintes etapas:

- Primeira camada depositada adensada por 15 golpes;
- Segunda camada com adensamento por 10 golpes;
- Terceira camada adensada por 5 golpes.

Todas as camadas de argamassa despejadas no molde devem ser de mesma espessura, e ao final é necessário rasar o topo do molde, utilizando a espátula para remover o excesso de argamassa. Em seguida o molde tronco-cônico é removido e gira-se a manivela da mesa mantendo-se uma velocidade constante e realizando um total de 30 quedas. Por fim, mede-se a abertura da argamassa em 3 pontos diferentes, e através da média aritmética dos três diâmetros, obtêm-se o valor do índice de consistência.

### 3.2.2 Moldagem dos Corpos de Prova

Para a moldagem dos corpos de prova, utilizaram-se moldes prismáticos de dimensões 4cm x 4cm x 16 cm fabricados em latão, contendo 3 subdivisões que permitem a confecção de 3 corpos de prova simultaneamente.

O procedimento de moldagem é realizado em concordância com a ABNT NBR 5738 (2003), que instrui a lubrificação do molde com óleo vegetal ou utilizando papel manteiga ou similar, para posteriormente, aplicar a argamassa em camadas, adensando-a com auxílio de um soquete e rasando-a com a espátula. Para o estudo proposto, fez-se uso do papel manteiga, pois as pérolas de EPS absorvem o óleo vegetal quando em contato com o mesmo (Figura 11).

Figura 11 - Moldagem da argamassa.



Fonte: Autora (2017).

Para o adensamento da argamassa foi utilizada a mesa de adensamento por queda (Figura 12a) com contador de golpes (Figura 12b), modelo I-3003-U da marca CONTENCO, mostrada nas figuras a seguir. Esta é uma solução para este tipo de matéria prima, pois o adensamento manual por soquete danifica as pérolas de EPS conforme supracitado. A Figura 13 mostra os corpos de prova em processo de cura.



água indica a facilidade com que agentes externos penetram o interior de um material e deve ser estudada, pois afeta a durabilidade de estruturas (CUNHA et al., 2017).

De acordo com Baud (2002, p. 386) o “[...] ‘peso por litro’ chamado às vezes densidade aparente é o peso de um decímetro cúbico de matéria bruta, com seus vazios, na forma corrente de apresentação.” Ou seja, a densidade aparente é uma medida do volume de um material da forma com que ele se encontra naturalmente, ou seja, sem submetê-lo a nenhum processo que possa alterar suas características físicas.

A porosidade de um material diz respeito à existência de espaços vazios em sua estrutura que podem ser preenchidos por algum tipo de substância externa e da mesma forma que as propriedades citadas anteriormente, influenciam na durabilidade e também desempenho do material (RATO, 2006).

A medição da carbonatação do material também foi realizada. Esta medição serve para avaliar a deterioração de estruturas em matriz cimentícia, ao longo de um período de tempo, causada pela penetração do dióxido de carbono presente no ar nos poros do material, que ocorre internamente sendo invisível aos olhos, e reduzindo a alcalinidade do material e corroendo as armações em estruturas (BAUER, 2008).

### 3.2.3.1 Resistência à compressão e flexão

O comportamento mecânico da argamassa foi determinado através do ensaio mecânico de flexo-compressão conforme a ABNT NBR 13279 (2005), onde as rupturas dos corpos de prova ocorreram aos 28 dias de cura.

Estes ensaios são realizados em uma máquina universal da marca EMIC modelo 23-100, com capacidade de carga de 100 kN (Figura 14), que fornece as informações da resistência mecânica do material através da geração de um gráfico força (kN) x deslocamento (mm).

Figura 14 - Máquina Universal Ensaio Flexo-compressão.



Fonte: Autora (2017).

Foram ensaiados à flexão o total de 6 amostras para cada formulação sendo 1 das metades de cada amostra utilizada posteriormente para ensaiar a compressão. As metades não ensaiadas foram utilizadas para realização da avaliação das propriedades físicas do material.

Para determinar a resistência a compressão axial, utilizaram-se as metades dos 6 corpos de prova do ensaio de flexão, posicionando-as corretamente no dispositivo de apoio do equipamento e aplicando-se uma carga de  $(500 \pm 50)$  N/s até a ruptura do corpo de prova.

### 3.2.3.2 Densidade aparente, absorção e porosidade aberta

Estes ensaios são realizados em amostras com a idade de 28 dias e são executados de acordo com a ABNT NBR 9778 (2005). A determinação dos parâmetros de caracterização física foi feita através da obtenção dos valores da massa seca, massa imersa e massa saturada com superfície seca das amostras.

Foram necessários os seguintes equipamentos e materiais para a medição destes parâmetros: balança de precisão 0,01g, recipiente contendo água, suporte para medição de peso imerso em balança de precisão, papel e estufa. Para isto executam-se os seguintes procedimentos:

1. Secagem das amostras em estufa ( $103\pm 1^\circ\text{C}$ ) e pesagem em balança com precisão 0,01 g (Figura 15);
2. Imersão em água das amostras por 72 horas e pesagem em balança com precisão 0,01 g (Figura 16);
3. Secagem da superfície com papel e pesagem em balança com precisão 0,01 g;

Figura 15 - Estufa para secagem das amostras.



Fonte: Autora (2017).

Figura 16 - Balança de precisão com suporte para pesagem imersa.



Fonte: Autora (2017).

Depois de feita a pesagem prossegue-se com o cálculo dos parâmetros físicos utilizando as Equações 1,2 e 2, onde  $M_s$ ,  $M_i$  e  $M_{ss}$  referem-se a massa seca, imersa e saturada com superfície seca, respectivamente.

$$\text{Densidade Aparente} = \frac{M_s}{M_{ss}-M_i} \quad [g/cm^3] \quad (1)$$

$$\text{Absorção de Água} = \frac{M_{ss}-M_s}{M_s} \times 100 \quad [\%] \quad (2)$$

$$\text{Porosidade Aberta} = \frac{M_{ss}-M_s}{M_{ss}-M_i} \times 100 \quad [\%] \quad (3)$$

### 3.2.3.3 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade é regulamentado pela ABNT NBR 9779 (1995) e são necessários os seguintes equipamentos: estufa, recipiente que assegure um nível de água constante, suporte para afastar CP do fundo do recipiente.

1. Pesar CP ao ar;
2. Secar CP em estufa ( $105 \pm 5$ )°C por no mínimo 24 horas e pesá-lo novamente;
3. Resfriar CP à temperatura do ar ( $23 \pm 2$ )°C;
4. Posicionar CP sobre suporte e preencher recipiente com água de forma que permaneça constante ( $5 + 1$  mm acima de sua face inferior) sem molhar a outra extremidade;
5. Pesar CP com 3h, 6h, 24h, 48h e 72h de ensaio (enxugando-os previamente com pano úmido);
6. Romper CP por compressão diametral e anotar distribuição de água em seu interior.

A absorção de água (C) é calculada através da relação entre a massa do corpo de prova com uma face em contato com a água em um determinado período de tempo em gramas (A), massa do corpo de prova seco em estufa em gramas (B) e a área da seção transversal do CP em centímetros quadrados (S). Este parâmetro será calculado através da Equação 4, sendo expresso em g/cm<sup>2</sup>.

$$C = \frac{A-B}{S} \quad (4)$$

Os ensaios de absorção de água por capilaridade foram executados apenas para as amostras com substituição parcial da areia por EPS.

#### 3.2.3.4 Carbonatação

A medição da carbonatação foi realizada de acordo com os procedimentos descritos na norma DIN EN 14630 (2007), e para sua realização foram necessários os seguintes equipamentos: borrifador com solução alcoólica de fenolftaleína (Figura 17) e instrumento de medição graduado em milímetros.

Este ensaio foi realizado em amostras com idades superiores a 28 dias de cura. Primeiramente os corpos de prova de ambas as formulações foram rompidos para em seguida fazer a medição da carbonatação.

Figura 17 - Materiais para ensaio de carbonatação.



Fonte: Autora (2017).

A solução de fenolftaleína foi aspergida nos fragmentos das amostras onde avaliou-se visualmente a coloração da superfície. A região não carbonatada apresentou coloração rosada indicando pH de 8,3 ou superior e a região com carbonatação não teve alteração de cor, indicando um pH abaixo de 8,3 (TÉCHNE, 2011). Em seguida realizou-se a medição da profundidade de carbonatação, utilizando uma régua graduada com escala em milímetros, para maior precisão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse capítulo apresenta os resultados obtidos nos ensaios, apresentados em forma de tabelas e gráficos, na qual os valores referem-se à média aritmética dos parâmetros ensaiados. Em paralelo, são feitos comentários e conclusões sobre o comportamento apresentado pelo material.

### 4.1 *FLOW TABLE*

Este ensaio foi realizado para auxiliar na determinação do traço de referência, ou de forma sucinta, para determinar para qual relação a/c a mistura atinge uma abertura na mesa definida no intervalo de 220mm a 250mm. A Figura 18 ilustra o ensaio que resultou numa abertura de 220mm resultando numa relação a/c de 0,52 adequada ao experimento.

Figura 18 - Ensaio estado fresco.



Fonte: Autora (2017).

O mesmo procedimento foi executado para a argamassa com adição de poliestireno expandido, porém durante as etapas de adensamento manual, as pérolas de EPS eram danificadas (amassadas), procedimento no qual foi evitado desde então.

#### 4.2 DOSAGEM E PRODUÇÃO DAS AMOSTRAS

A Tabela 1 apresenta as relações a/c utilizadas nos corpos de prova, de acordo com a variação do teor de EPS.

Tabela 1 - Amostras formulação 1:3.

% SUBSTITUIÇÃO EM MASSA DA AREIA	FORMULAÇÃO 1:3	FORMULAÇÃO 1:2
	RELAÇÃO A/C	RELAÇÃO A/C
0% EPS	0,52	0,52
1% EPS	0,52	0,42
2% EPS	0,52	0,42
2,5% EPS	0,62	0,42
2,75% EPS	0,62	0,42
3% EPS	0,62	0,42

Fonte: Autora (2017).

O ponto de partida da relação a/c utilizado para ambas as formulações foi 0,52, valor obtido no ensaio de *Flow Table*. A formulação 1:3 exigiu maiores quantidades de água para que a substância ligante consiga desempenhar seu papel e unir de forma homogênea todos os materiais presentes na mistura.

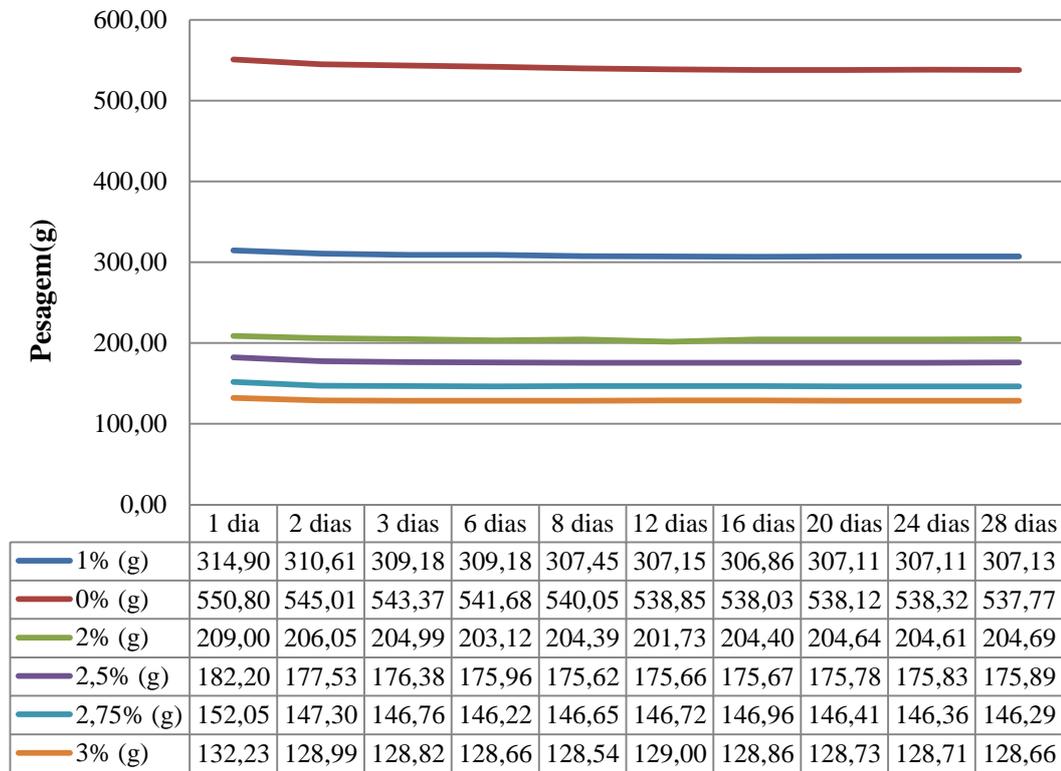
Os indicativos do excesso e/ou escassez de água na mistura eram percebidos visualmente. Nos casos em que era necessária a redução da relação a/c ocorria o vazamento de água no molde e flutuação das pérolas de EPS quando no estado fresco e no estado endurecido, notavam-se pontos de acúmulo de cimento (grumos) na amostra.

Foi observado que para maiores porcentagens de EPS da formulação 1:2, a relação a/c que se consegue alcançar, de forma que a coesão entre as matérias primas do material seja mantida, resultou no valor limitante de 0,42. Já para a formulação 1:3, o valor limite encontrado foi de 0,62 para teores a partir de 2,5%.

#### 4.3 PESAGEM DAS AMOSTRAS

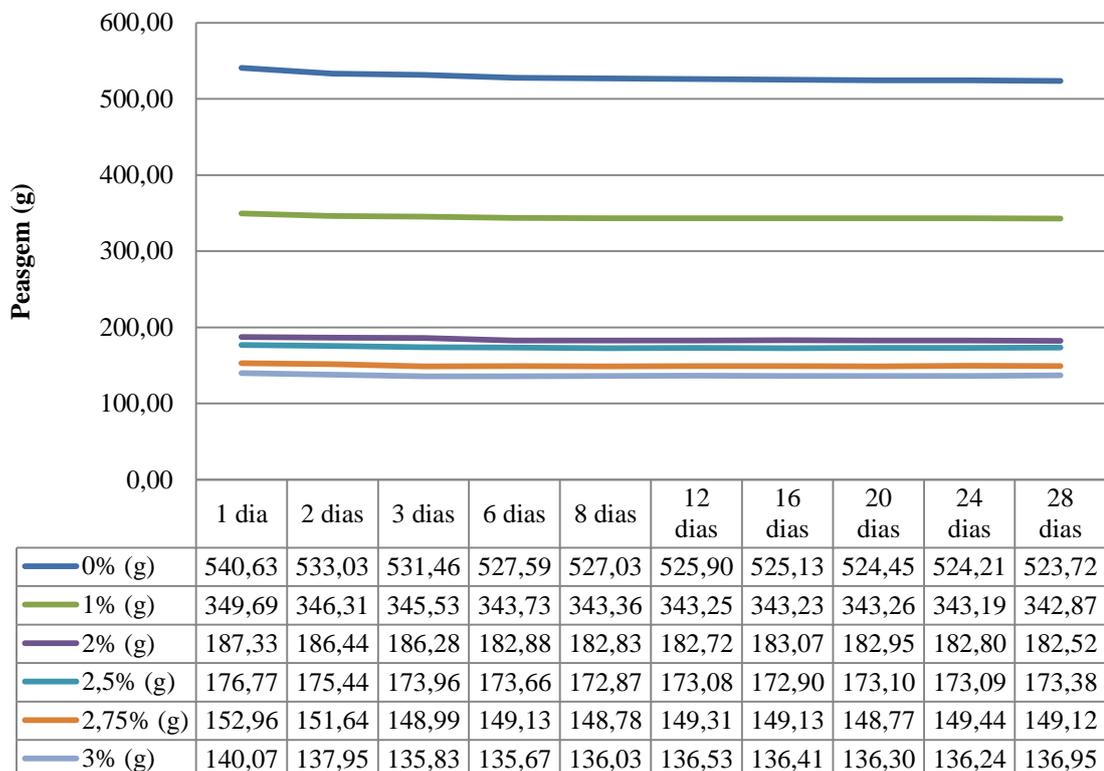
Amostras de ambas as formulações foram pesadas quando em seu estado endurecido, durante as idades de cura de 1, 2, 3, 6, 8, 12, 16, 20, 24 e 28 dias e apresentaram os valores mostrados na Tabela 2 e 3.

Gráfico 2 – Pesagem das amostras: formulação 1:3.



Fonte: Autora (2017).

Gráfico 3 – Pesagem amostras: formulação 1:2.



Fonte: Autora (2017).

Através dos valores das massas obtidos durante o processo de cura da argamassa, é possível observar a representativa redução de peso ao longo das idades, conforme é adicionada maior porcentagem de EPS em substituição da areia. Comportamentos diferentes deste podem ser justificados por alterações climáticas e oscilações de temperatura.

#### 4.4 DENSIDADE APARENTE, ABSORÇÃO E POROSIDADE ABERTA

Após realização do ensaio de resistência mecânica, as metades não ensaiadas à compressão foram submetidas a ensaios físicos para medir a absorção de água, porosidade aberta e densidade aparente. Devido ao material produzido possuir baixo peso específico, as formulações a partir de 2,5% de EPS quando colocadas em um recipiente com água, ficaram na superfície. Pela não possibilidade da medição da massa imersa nesses casos foi considerado o valor zero.

As Tabelas 4 e 3 e Gráficos 4, 5 e 6 apresentam os resultados obtidos nos ensaio referente à densidade aparente, absorção de água por imersão e porosidade aberta, realizados em 2 fragmentos de amostra para cada teor proposto.

Tabela 2 – Resultados dos Ensaio Físicos: Formulação 1:3.

<b>% EPS</b>	<b>DENSIDADE APARENTE MÉDIA (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>ABSORÇÃO DE ÁGUA MÉDIA (%)</b>	<b>POROSIDADE ABERTA MÉDIA (%)</b>
0,00%	2,03	8,38	16,99
1,00%	1,21	12,26	14,81
2,00%	0,89	18,20	16,14
2,50%	0,83	20,71	17,14
2,75%	0,83	20,41	16,95
3,00%	0,82	21,77	17,86

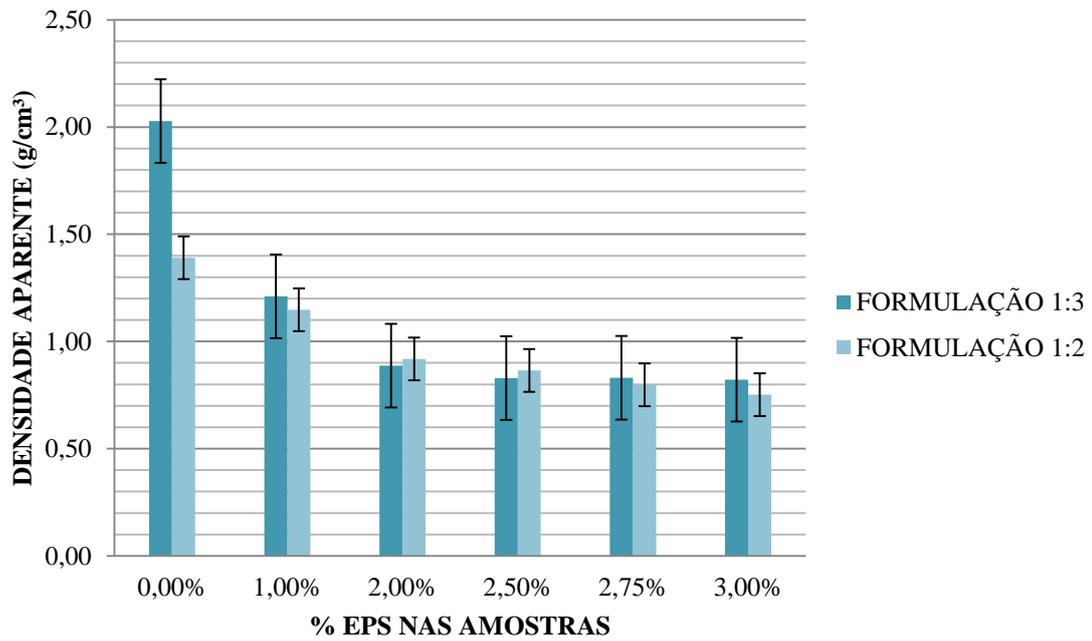
Fonte: Autora (2017).

Tabela 3 – Resultados dos Ensaio Físicos: Formulação 1:2.

<b>% EPS</b>	<b>DENSIDADE APARENTE MÉDIA (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>ABSORÇÃO DE ÁGUA MÉDIA (%)</b>	<b>POROSIDADE ABERTA MÉDIA (%)</b>
0,00%	1,39	10,22	15,6
1,00%	1,15	11,09	15,29
2,00%	0,92	16,71	15,42
2,50%	0,87	20,21	17,00
2,75%	0,80	22,31	18,19
3,00%	0,75	22,49	17,70

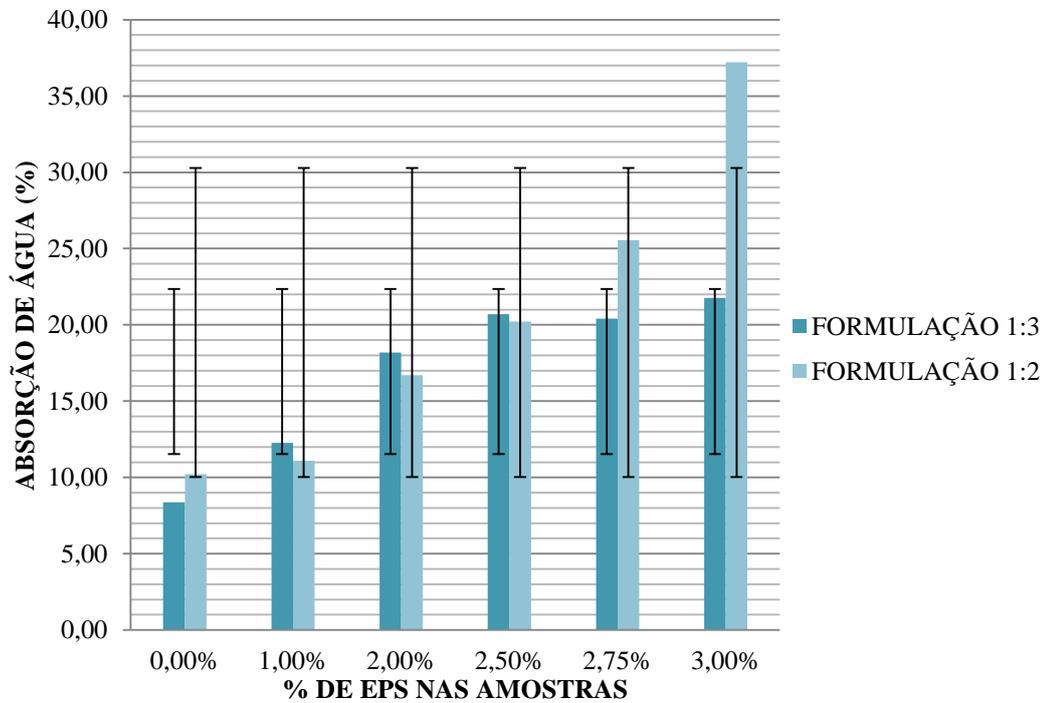
Fonte: Autora (2017).

Gráfico 4 - Densidade aparente das amostras aos 28 dias de cura.



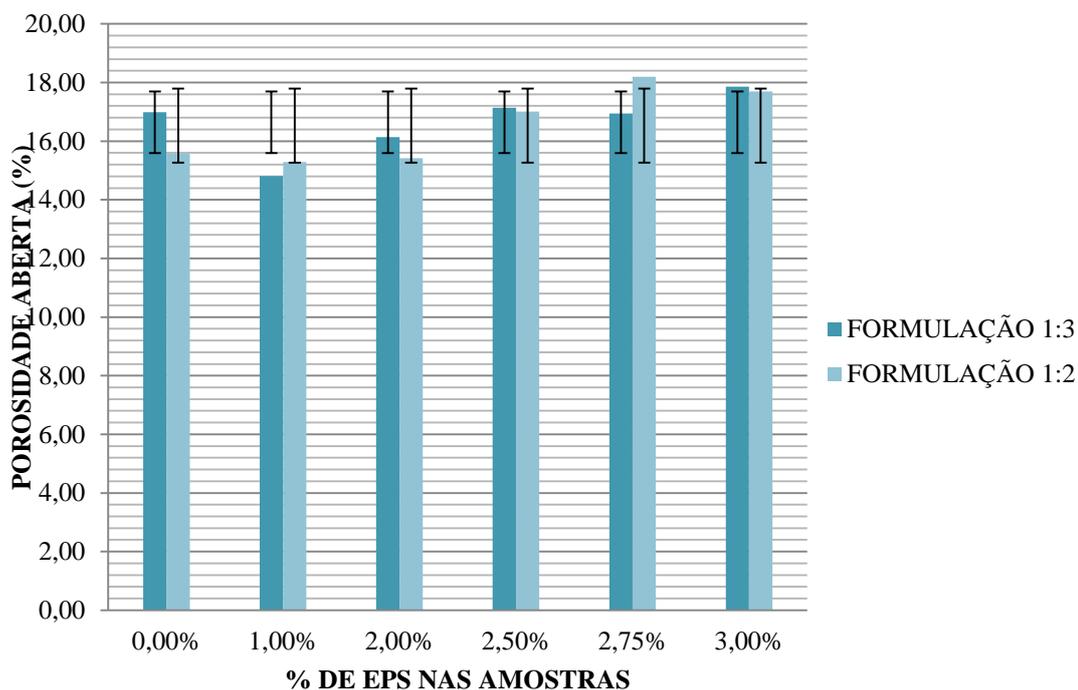
Fonte: Autora (2017).

Gráfico 5 - Absorção de água por imersão das amostras aos 28 dias de cura.



Fonte: Autora (2017).

Gráfico 6 - Porosidade aberta das amostras aos 28 dias de cura.



Fonte: Autora (2017).

Com base nos resultados dos ensaios, verifica-se que a formulação 1:2, em geral, apresenta maior absorção de água e porosidade aberta, e menor densidade aparente que a formulação 1:3. É possível perceber que com o aumento da porcentagem de EPS na argamassa, a densidade aparente tem seu valor reduzido e, em contrapartida, os valores da absorção de água aumentam devido a maior quantidade de vazios do material, comportamento também relatado por Sant'Helena (2009).

Verifica-se que a variação da porosidade aberta com o aumento da porcentagem de EPS substituído em lugar da areia é pouco evidente para amostras de ambas as formulações, comportamento que é descrito também por Leal (2012).

#### 4.5 RESISTÊNCIA MECÂNICA

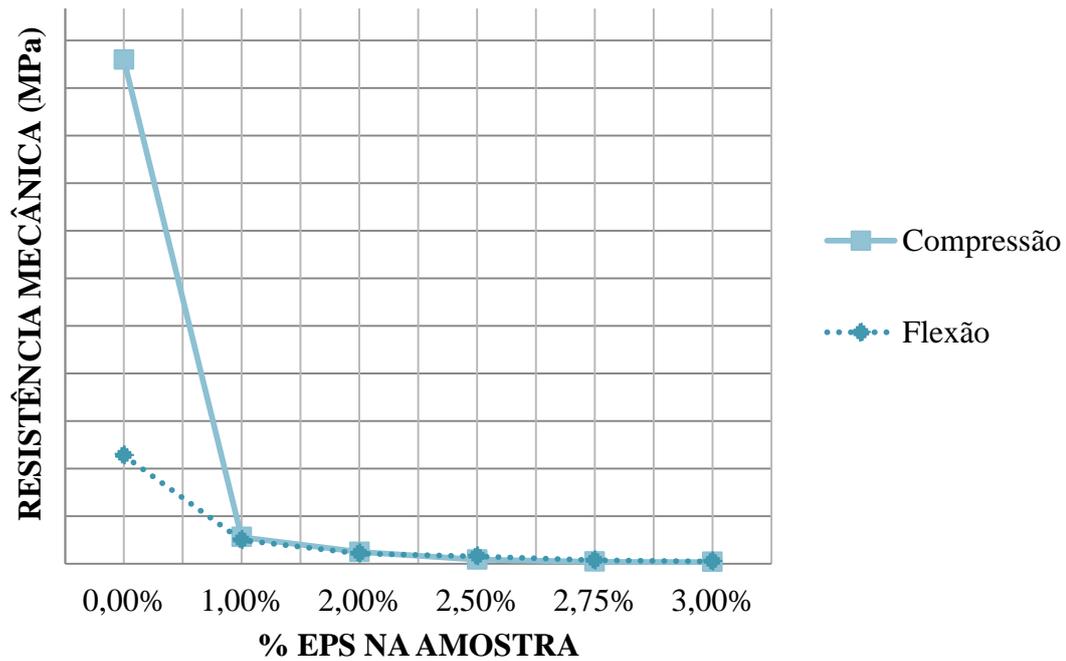
A Tabela 4 e o Gráfico 7 apresentam informações obtidas e calculadas para o ensaio de resistência à tração na flexão e compressão realizado para os corpos de prova da formulação 1:3.

Tabela 4 - Valores Resistência Mecânica Formulação 1:3.

% EPS	FORMULAÇÃO	RELAÇÃO A/C	RESIST. FLEXÃO (Mpa)	RESIST. COMPRESSÃO (Mpa)	PERDA DE RESISTÊNCIA		DESV. PADRÃO FLEXÃO	DESV. PADRÃO COMPRESSÃO
					FLEXÃO (%)	COMPRESSÃO (%)		
0,00%	1:3	0,52	6,82	31,78	-	-	1,19	0,42
1,00%	1:3	0,52	1,49	1,66	78,15	94,77	0,42	0,71
2,00%	1:3	0,52	0,64	0,73	90,57	97,70	0,13	0,35
2,50%	1:3	0,62	0,46	0,25	93,21	99,21	0,08	0,20
2,75%	1:3	0,62	0,21	0,12	96,92	99,63	0,03	0,03
3,00%	1:3	0,52	0,13	0,10	98,04	99,69	0,02	0,02

Fonte: Autora (2017).

Gráfico 7 - Curva da Resistência Mecânica: formulação 1:3.



Fonte: Autora (2017).

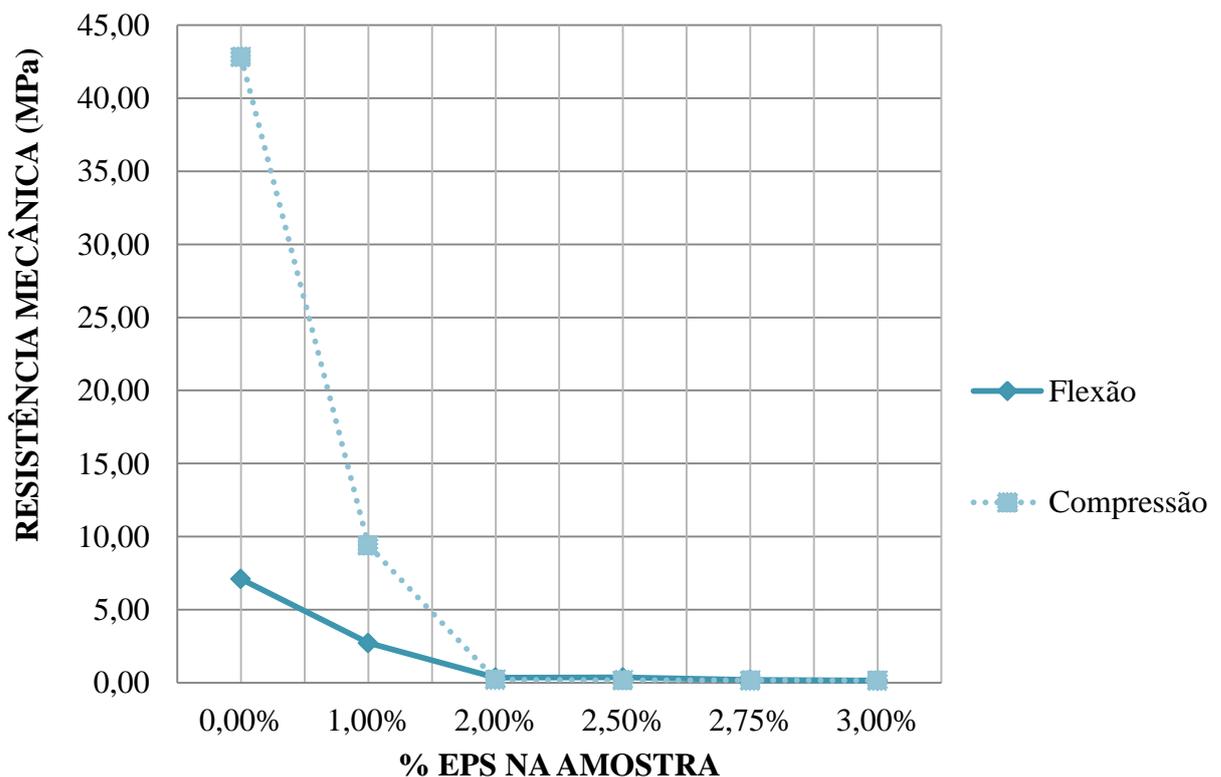
Da mesma forma foi feito para a formulação 1:2 e os resultados obtidos estão descritos e ilustrados na Tabela 5 e Gráfico 8.

Tabela 5 - Valores Resistência Mecânica Formulação 1:2.

IDENTIFICAÇÃO	FORMULAÇÃO	RELAÇÃO A/C	RESIST. FLEXÃO (Mpa)	RESIST. COMPRESSÃO (Mpa)	PERDA DE RESISTÊNCIA		DESV. PADRÃO FLEXÃO	DESV. PADRÃO COMPRESSÃO
					FLEXÃO (%)	COMPRESSÃO (%)		
0,00%	1:2	0,52	7,11	42,84	-	-	0,36	2,65
1,00%	1:2	0,42	2,73	9,41	61,67	78,03	0,11	0,59
2,00%	1:2	0,42	0,36	0,21	94,94	99,51	0,03	0,02
2,50%	1:2	0,42	0,36	0,18	94,89	99,58	0,05	0,00
2,75%	1:2	0,42	0,20	0,17	97,23	99,60	0,01	0,02
3,00%	1:2	0,42	0,15	0,15	97,84	99,64	0,03	0,02

Fonte: Autora (2017).

Gráfico 8 - Curva da Resistência Mecânica: formulação 1:2.



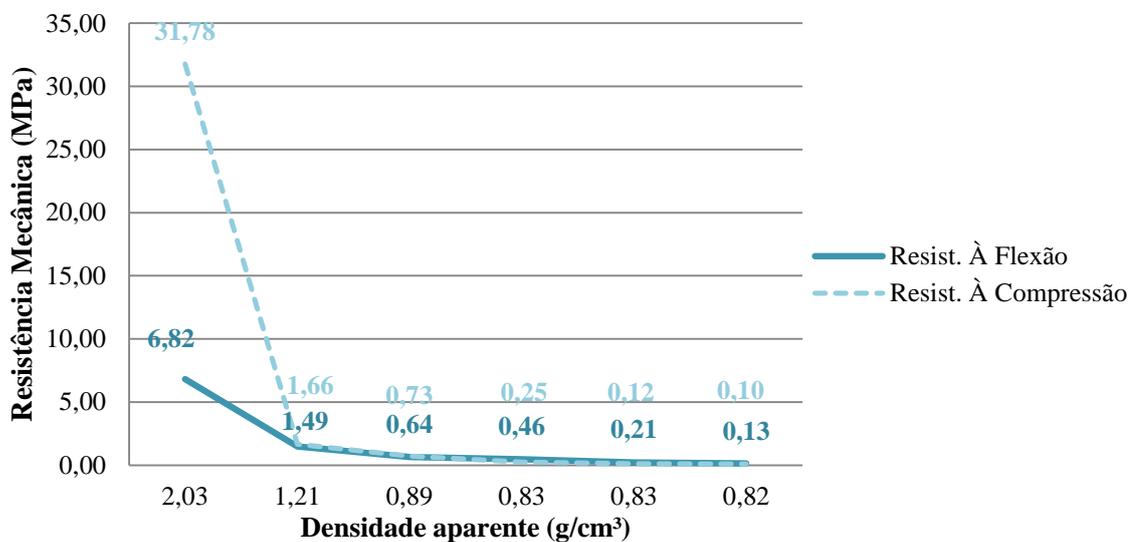
Fonte: Autora (2017).

A perda de percentual para a flexão é menor do que a perda percentual para a compressão em ambas as formulações. O possível motivo para que isso aconteça é que a deformação inicial que ocorre no ensaio de resistência a compressão, em função do EPS presente na estrutura do corpo de prova, é interpretado pelo software como rompimento do corpo de prova imediatamente após o início do ensaio.

O comportamento da resistência mecânica está diretamente relacionado com a densidade. Quanto maior a quantidade de EPS adicionado a argamassa, menor a densidade aparente e conseqüentemente menor a resistência mecânica suportada pela amostra. Este comportamento também foi descrito no estudo realizado por Mas, Tortosa e Alcocel (2011).

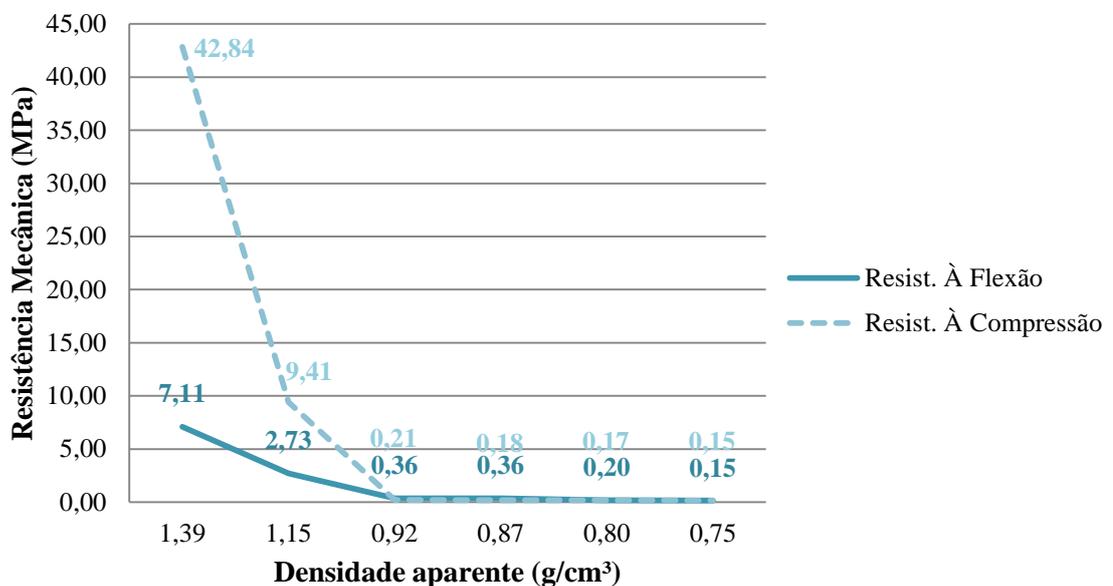
Os Gráficos 9 e 10 relacionam a resistência mecânica com a densidade aparente, mostrando que quanto menor o valor da densidade, menor a resistência mecânica do material, comportamento que se repete para as amostras das formulações 1:3 e 1:2.

Gráfico 9 - Resistência versus densidade aparente: formulação 1:3.



Fonte: Autora (2017).

Gráfico 10 - Resistência versus densidade aparente: formulação 1:2.

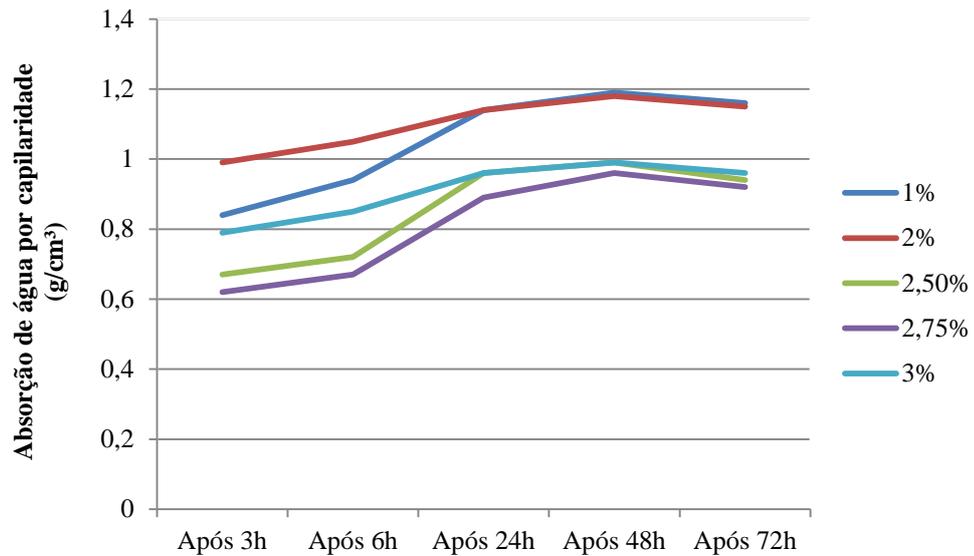


Fonte: Autora (2017).

#### 4.6 ABSORÇÃO POR CAPILARIDADE

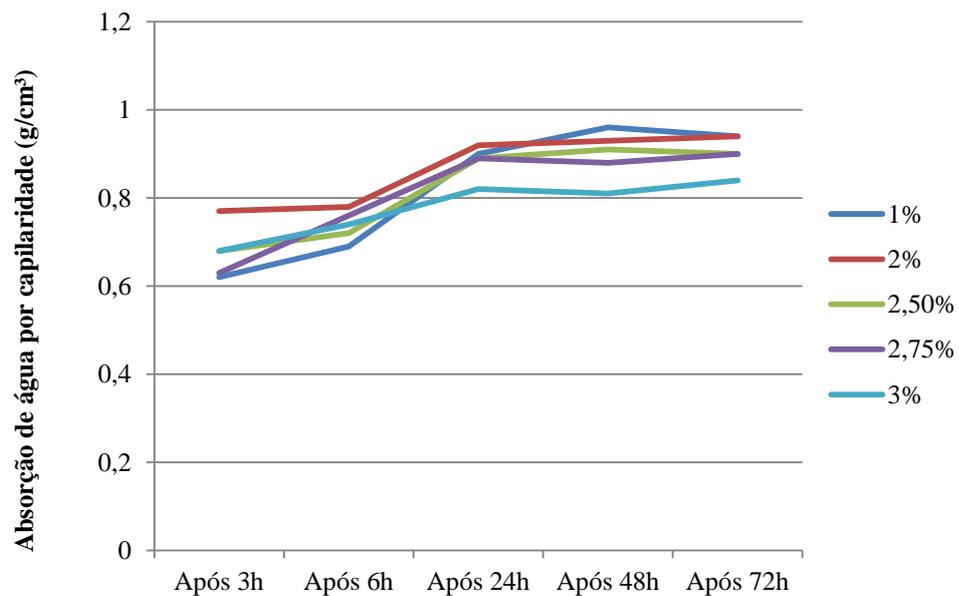
Os resultados das pesagens da massa ao ar, massa seca em estufa e massa após as horas de imersão estabelecidas pela norma são apresentadas nas Tabelas 11 e 12.

Gráfico 11 - Absorção de água por capilaridade: Formulação 1:3.



Fonte: Autora (2017).

Gráfico 12 - Absorção de água por capilaridade: Formulação 1:2.



Fonte: Autora (2017).

Por ser um material com grande número de vazios, a tendência é que quanto maior o tempo das amostras em contato com a água, maior a absorção de água por capilaridade, comportamento no qual também foi comentado por Sant'Helena (2009). Analisando os gráficos 11 e 12 observa-se que após 72 horas de imersão, ocorreram em alguns teores valores de absorção inferiores aos apresentados após 48 horas. Este fato pode ter ocorrido devido fatores externos, como mudança brusca de temperatura.

#### 4.7 CARBONATAÇÃO

Amostras com teores de EPS variando entre 0% e 3% das formulações 1:3 e 1:2, com idade de 60 dias, tiveram solução de fenolftaleína aspergida e o resultado da frente de carbonatação é apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Frente de Carbonatação.



Fonte: Autora (2017).

De acordo com Werle, Kazmierczak e Kulakowski (2011) quanto menor a relação a/c menor a profundidade de carbonatação. Esta afirmação pode ser confirmada pelos resultados apresentados nas Tabelas 6 e 7, obtidas no ensaio realizado.

Para as amostras de formulação 1:3 com teores maiores ou iguais a 2,75% de EPS, observa-se que profundidade de carbonatação atingiu aproximadamente 100% da frente de carbonatação, conforme mostrado na Tabela 10, confirmando o que foi supracitado por Bauer (2008), afirmando que quanto mais permeável o material, maior a carbonatação.

Tabela 6 - Resultados Carbonatação: formulação 1:3.

<b>% EPS</b>	<b>RELAÇÃO A/C</b>	<b>PROF.1 (cm)</b>	<b>PROF. 2 (cm)</b>	<b>PROF. 3 (cm)</b>	<b>PROF. 4 (cm)</b>	<b>PROFUNDIDADE MÉDIA (cm)</b>
0,00%	0,52	0,20	0,25	0,15	0,20	0,20
1,00%	0,52	0,60	0,80	0,30	0,50	0,55
2,00%	0,52	0,70	1,00	1,00	0,70	0,85
2,50%	0,62	1,10	0,20	1,10	1,10	0,88
2,75%	0,62	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
3,00%	0,62	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

Fonte: Autora (2017).

Os resultados obtidos para a formulação 1:2 encontram-se na Tabela 7. Foram encontrados valores de profundidade da frente de carbonatação inferiores aos que constam na tabela anterior, indicando que materiais com maior consumo de cimento apresentam uma resistência maior a carbonatação apresentando menor ocorrência de corrosão do material.

Tabela 7 - Resultados Carbonatação: formulação 1:2.

<b>% EPS</b>	<b>RELAÇÃO A/C</b>	<b>PROF.1 (cm)</b>	<b>PROF. 2 (cm)</b>	<b>PROF. 3 (cm)</b>	<b>PROF. 4 (cm)</b>	<b>PROFUNDIDADE MÉDIA (cm)</b>
0,00%	0,52	0,20	0,10	0,15	0,15	0,15
1,00%	0,42	0,25	0,20	0,20	0,20	0,21
2,00%	0,42	0,40	0,50	0,40	0,30	0,40
2,50%	0,42	0,40	0,50	0,70	0,50	0,53
2,75%	0,42	0,80	0,70	0,90	0,50	0,73
3,00%	0,42	1,20	1,00	0,90	1,20	1,08

Fonte: Autora (2017).

É possível verificar que para as amostras com maior consumo de cimento tem-se um material com maior resistência a carbonatação.

## 5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que, a propriedade que mais sofre alteração com a substituição parcial da areia por EPS, é a resistência mecânica. Em consequência da adição de pérolas de EPS à argamassa, conforme os resultados dos ensaios realizados, o material apresenta significativa porosidade. Elementos fabricados em argamassa de EPS apresentam grande quantidade de descontinuidades e baixa rigidez, facilitando com que fissuras se propaguem e reduzindo a resistência mecânica.

Foi verificado que para este tipo de material, a formulação 1:2 apresentou melhor desempenho em resistir a esforços solicitantes. Em contrapartida, apesar da resistência da argamassa de EPS ser inferior a de uma argamassa convencional, este material apresenta menor densidade aparente, resultando em elementos e estruturas mais leves, sendo vantagem para alguns tipos de aplicações.

A argamassa com 1% de EPS atingiu uma resistência à compressão média de aproximadamente 7,5 MPa, permitindo seu uso em blocos estruturais aplicados em obras acima do solo como também em obras de fundação. Demais porcentagens de EPS podem ser utilizadas em aplicações não estruturais como preenchimento, nivelamento, revestimento e vedação de superfícies.

Considerando que as amostras com 2,75% e 3% de EPS, das formulações 1:3 e 1:2, apresentaram fácil desprendimento de material nas superfícies e maior profundidade de carbonatação, conclui-se que o valor limitante para o teor de EPS substituído na argamassa é 2,5% da massa de areia. Para as argamassas com teores de 2,0% e 2,5% de EPS, é necessário uma camada adicional de argamassa convencional para revestimento, pois com a fricção, ocorre o desprendimento de material da superfície.

A absorção de água teve um aumento mínimo de aproximadamente 9% para amostras com menores teores, chegando a dobrar sua capacidade de absorção quando substituído 3% da areia por EPS.

De forma geral, a inclusão do EPS em meio à construção civil oferece propriedades interessantes, e quando adicionado em argamassas resulta em baixa densidade aparente e elevada absorção de água, tornando este material uma alternativa viável para diversas áreas da construção civil.

## **TRABALHOS FUTUROS**

Como alternativa para melhorar esta propriedade propõe-se adicionar fibras de polipropileno ou algum outro tipo de material visando o aumento da capacidade de resistência do material.

Outra sugestão é a produção de argamassa leve utilizando poliestireno expandido em forma de flocos, de forma a comparar os resultados dos ensaios com a argamassa produzida com pérolas de EPS.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO. **O que é EPS**. Disponível em: <<http://www.abrapex.com.br/01OqueeEPS.html>>. Acesso em: 24 mar. 2008.
- \_\_\_\_\_. **Aplicações**. Disponível em: <<http://www.abrapex.com.br/03Aplicacoes.html>>. Acesso em: 24 mar. 2008.
- AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Blucher, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 7215**: Consistência da argamassa medida através do ensaio de abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 9778**: Argamassa e Concreto Endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005. 3 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 9779**: Argamassa e Concreto Endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995. 2 p.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005. 9 p.
- BAUER, L.A Falcão. **Materiais de construção**: Novos materiais para construção civil. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 538 p.
- BAUD, Gérard. **Manual de pequenas construções**: Alvenaria e concreto Armado. Curitiba: Hemus, 2002. 477 p.
- BRANCO, Fernando G. **Materiais de construção**: Agregados. Moçambique. 2014. 57 slides. Licenciatura em Engenharia Civil – Unilúrio. Apresentação em Power-point. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/disciplina/hidraulica-e-abastecimento>>. Acesso em: 14 out. 2017.
- CAMPITELI, Vicente Coney. SCHULZ, Sérgio Luiz. Consumo de cimento em concretos de cimento Portland: A influência da massa específica dos agregados. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Foz do Iguaçu/PR, maio 2002. Disponível em: <[http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002\\_1221\\_1230.pdf](http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002_1221_1230.pdf)>. Acesso em: 14 nov. 2017.
- CARASEK, Helena. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007.

CONSTRUCAR. **Tipos de laje**. Construcar Edificações. Desenvolvido por Agência Meta, 2017. Disponível em: <<http://www.construcar.com.br/site/tipos-de-laje/>>. Acesso em: 17 ago. 2017.

CORRÊA, Lásaro Roberto. **Sustentabilidade na construção civil**. 2009. 70 f. Monografia - Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

CUNHA, Sandra et al. Caracterização mecânica e durabilidade de argamassas térmicas. In: SIMPÓSIO DE ARGAMASSAS E SOLUÇÕES TÉRMICAS DE REVESTIMENTO, 1., p. 1-12, 2014, **Anais...** Coimbra: Estudo Geral, 2014.

DOCE OBRA. **Laje de isopor: Aguenta peso? Vantagens e desvantagens**. Disponível em: <<https://casaeconstrucao.org/materiais/laje-de-isopor/>>. Acesso em: 16 ago. 2017.

ELIAS, João. **Lajes treliçadas com EPS (Isopor): Preço, vantagens e desvantagens**. Desenvolvido por Axial Engenharia, 2017. Disponível em: <<http://axialengenharia.eng.br/2017/04/27/lajes-trelicadas-com-epsisopor-preco-vantagens-e-desvantagens/>>. Acesso em: 16 agosto 2017.

GRANDES CONSTRUÇÕES. **Uso de EPS na construção pode reduzir até 40% de gastos em obras**. Desenvolvido por Diagrama Marketing Editorial, 2013. Disponível em: <[http://www.grandesconstrucoes.com.br/br/index.php?option=com\\_contenido&task=viewNoticia&id=18978](http://www.grandesconstrucoes.com.br/br/index.php?option=com_contenido&task=viewNoticia&id=18978)>. Acesso em: 18 ago. 2017.

HARTMANN, E. **Argamassa geopolimérica utilizando pó de alumínio como agente formador de poros**. 2016. 54 f. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina.

ISORECORT. **Isopor: uma excelente solução para a drenagem de pisos**. Construção com EPS Blog. 24 jun. 2016. Disponível em: <<http://www.construcaocomisopor.com.br/isopor-uma-excelente-solucao-para-a-drenagem-de-pisos/>>. Acesso em: 12 mar. 2017.

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO. **Materiais compósitos**. Lisboa. 2017. 21 slides. Apresentação em Powerpoint. Disponível em: <<http://disciplinas.ist.utl.pt/qgeral/mecanica/MatComp.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2017.

JÚNIOR, Paulo Roberto Axt. **Estudo da influência da adição da poliuretana em argamassas de cimento**. 2016. 58 f. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina.

LEAL, Márcio Manuel Rodrigues. **Desenvolvimento de argamassas de revestimento com comportamento térmico melhorado**. 2012. 137 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Instituto Politécnico de Setúbal. Portugal, 2012.

MAPA DA OBRA. **Concreto leve: Conheça tipos e indicações**. Desenvolvido por Votorantim Cimentos, 2016. Disponível em: <<http://www.mapadaobra.com.br/inovacao/concreto-leve-conheca-tipos-e-indicacoes/>>. Acesso: 07 set. 2017.

MAS, Verónica Ferrándiz. TORTOSA, Jose Antonio Huesca. ALCOCEL, Eva García. Durability of Mortars with Expanded Polystyrene. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS. 12. p. 7, 2011, **Anais...** Porto: Portugal, 2011.

MELADO, Bethina de Arruda Mota. **Concretos**. São Paulo. 2014. 9 p. Curso de Engenharia Civil – Faculdade Sudoeste Paulista. Disponível em: <<https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2014/05/concretos1.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

MORAES, Carolina Brandão. BRASIL, Paula de Castro. Estudo da viabilidade do Poliestireno Expandido (EPS) na produção de edificações com baixo impacto ambiental. In: 4º SEMINÁRIO NACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS. **Anais...** Passo Fundo/RS, nov. 2015. Disponível em: <[https://www.imed.edu.br/Uploads/Estudo%20da%20Viabilidade%20do%20Poliestireno%20Expandido%20\(EPS\).pdf](https://www.imed.edu.br/Uploads/Estudo%20da%20Viabilidade%20do%20Poliestireno%20Expandido%20(EPS).pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2017.

PEDROSO, Fábio Luis. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Concreto & Construções**, São Paulo, Ano XXXVII, n. 53, p. 14-19, jan./mar. 2009.

PORTAL DO CONCRETO. **Tudo sobre concreto**. Disponível em: <<http://www.portaldoconcreto.com.br/>>. Acesso em: 09 set. 2017.

PORTAL METÁLICA. **Construção civil adere ao uso do isopor**. Disponível em: <<http://www.saviesa.org.br/mapeamento/biblioteca/Construcao%20civil%20adere%20ao%20uso%20do%20isopor%20-%202023.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2017.

RATO, Vasco Nunes da Ponte Moreira. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas**. 2006. 316 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2006.

SANTOS, Reginaldo Dias dos. **Estudo térmico e de materiais de um compósito a base de gesso e EPS para construção de casas populares**. 2008. 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2008.

SANT'HELENA. Maiko. **Estudo para aplicação de Poliestireno Expandido (EPS) em concretos e argamassas**. 2009. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma, 2009.

TÉCHNE. Inspeção rotineira de estruturas de concreto armado expostas a atmosferas agressivas. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 177, p. 1-3, dez. 2011. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/177/artigo285907-2.aspx>>. Acesso em: 17 set. 2017.

TECNOCELL. **Propriedades mecânicas**. Tecnocell Tecnologia em EPS. Disponível em: <<http://www.tecnocell.com.br/eps.php?epsID=3>>. Acesso em: 09 ago. 2017.

WERLE, Ana Paula; KAZMIERCZAK, Claudio de Souza; KULAKOWSKI, Marlova Piva. Carbonatação em concretos com agregados reciclados de concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 213-228, abr./jun. 2011.