

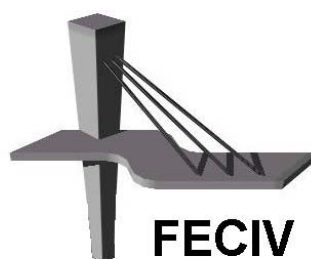
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nº 001

**ARGAMASSA MODIFICADA COM  
POLIESTIRENO SULFONADO A PARTIR DE  
COPOS PLÁSTICOS DESCARTADOS**

**THIAGO HENRIQUE OMENA**

UBERLÂNDIA, 08/2012





**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**



**THIAGO HENRIQUE OMENA**

**ARGAMASSA MODIFICADA COM POLIESTIRENO  
SULFONADO A PARTIR DE COPOS PLÁSTICOS  
DESCARTADOS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

**Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Leila A. de Castro Motta**

Uberlândia, 08/2012



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



## ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ATA Nº:** 104/2012

**CANDIDATO:** Thiago Henrique Omena

**ORIENTADORA:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Leila Aparecida de Castro Motta

**TÍTULO:** "Argamassa modificada com poliestireno sulfonado a partir de copos plásticos descartados"

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:** Estruturas e Construção Civil

**LINHA DE PESQUISA:** Construção Civil

**DATA DA DEFESA:** 17 de setembro de 2012

**LOCAL:** Sala de Projeção Prof. Celso Franco de Gouvêa

**HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA:** 15h - 18h

Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que o candidato foi:

APROVADO

REPROVADO

OBS:

---

---

---

---

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:

  
Professora Orientadora: **Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Leila Aparecida de Castro Motta – FECIV/UFU**

  
Membro externo: **Prof. Dr. Jardel Pereira Gonçalves – UFBA**

  
Membro: **Prof. Dr. João Fernando Dias – FECIV/UFU**

Uberlândia, 17 de SETEMBRO de 2012.

## DEDICATÓRIA

---

*Aos meus pais por ensinar-me o que realmente é importante, aos meus avós que sempre acreditaram nos meus sonhos, aos meus amigos por se fazerem presente neste período importante da minha vida e por último, mas não menos importante, à única bailarina branca como a neve, dona do meu coração e senhora de todo o meu afeto.*

# AGRADECIMENTOS

---

Agradeço a todos os meus amigos pela força e paciência durante todo este período, em especial ao Robson Aristóteles que comigo dividiu as angústias e as glórias de um mestrado, defendendo a ideia de que o conhecimento é uma área de investimento que vale cada esforço solicitado.

Aos meus colegas da Faculdade de Engenharia Civil, que contribuíram de forma direta e indireta para a realização deste trabalho. Aprendemos não somente a questionar as variáveis estudadas, mas também a questionar nosso papel enquanto agentes ativos de uma sociedade em transformação; o aprendizado é contínuo, assim como o respeito, adquirido ao longo do processo.

À orientadora, Leila Aparecida de Castro Motta, pelas ideias, carisma, direcionamento e empenho no desenvolvimento da dissertação; responsável por conseguir o polímero estudado, sem o qual, não haveria a pesquisa; bem como, por acreditar que um pesquisador vai além da sala de aula, obrigado pela oportunidade, espero ter respondido à altura.

Aos meus pais Adriana e Antonio Carlos, grandes incentivadores do estudo como forma de ascensão social, e verdadeiros educadores sociais em todos os significados que essas palavras possam aportar.

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Civil e à de Química que forneceram o apoio institucional, com o maquinário e os laboratórios, necessários à realização do trabalho.

Às pesquisadoras Júlia e Fernanda do laboratório de química que além de ser o alento necessário na reta final da pesquisa; contribuíram em um momento imprescindível na realização deste trabalho, produzindo o polímero estudado em tempo recorde.

À senhora Márcia Vilanova que de forma lúdica e risonha, participou de várias das minhas indas e vindas entre Uberlândia e Uberaba, sempre atenta ao limite máximo de velocidade e de risadas permitidos.

Aos meus amigos professores da Universidade de Uberaba que estiveram do meu lado durante todo o mestrado, Rodrigo Moretti sempre com novos ensinamentos, Rodrigo Minot e sua perspectiva única, Elza Miazaka com todas as características que a palavra mãezona possa aportar, pessoas com quem aprendi a conviver como uma nova família. Marcos Fonseca, grande instigador entre os caminhos do ensino e arte e de forma especial à Carmen Maluf quem deu-me a oportunidade de iniciar minha jornada na docência.

Levando em consideração uma das frases da dona Dina que diz que quanto mais a gente estuda, menos a gente acredita em Deus; sabendo ainda, que dentro da ciência a contestação passa a ser algo presente em nossa vida, e sem esquecer que fé é acreditar justamente no que não pode ser comprovado, Deus mostrou-me através de um soldado ferido em combate, que para Ele não existem causas perdidas. Portanto, obrigado ao soldado por me relembrar o quanto Deus é maravilhoso, benevolente e presente em minha vida; e obrigado Senhor, por mais essa vitória; que toda honra e glória sejam dadas à Ti.

Agradeço por último, entretanto com a mesma intensidade às três mulheres da minha vida: senhora Adriana Omena, fonte de inspiração e persistência; senhora Terezinha Montagnane, apoiadora eterna de todos os meus projetos e essência de toda a nossa família; e à senhorita Ana Thaís Kanitz, que além de um presente na minha vida é o que de melhor existe em mim.

**Muito Obrigado,**

Deus nunca disse que seria fácil,  
Disse apenas que seria divertido.

OMENA, T. H. Argamassa modificada com poliestireno sulfonado a partir de copos plásticos descartados. 74 p. **Dissertação de Mestrado**, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2012.

## RESUMO

---

O trabalho apresenta resultados do estudo da adição de poliestireno sulfonado, oriundo de copos plásticos descartados, como aditivo em argamassas. Foram analisadas argamassas com os teores de poliestireno de 0,0; 0,2; 0,6; 1,0 e 1,4% em relação à massa de cimento. Foi utilizado o cimento Portland CPV - ARI e areia lavada no traço 1:4 em massa. Para se avaliar a influência da adição de poliestireno nas propriedades das argamassas determinou-se índice de consistência, retenção de água, absorção de água, índice de vazios, módulo estático de elasticidade, resistência à compressão, resistência à tração na flexão e resistência potencial de aderência à tração. Em relação à argamassa sem aditivo a argamassa modificada demonstrou aumento na resistência de aderência à tração, resistência a tração na flexão, porosidade, absorção de água, retenção de água e consistência. No entanto, o aumento do teor de poliestireno sulfonado leva à uma redução do módulo de elasticidade, da massa específica e da absorção de água por capilaridade, o que pode indicar que mesmo aumentando o número de poros na argamassa, estes poros não são intercomunicáveis e o filme polimérico contribui para o incremento das propriedades mecânicas, especialmente à tração.

**Palavras chave:** argamassa modificada, aditivo polimérico, poliestireno sulfonado, reciclagem.

## **ABSTRACT**

---

The presents study results of the addition of sulfonated polystyrene, derived from discarded plastic cups as additive in mortars. The mortar were studied with polystyrene content of 0.0, 0.2, 0.6, 1.0 and 1.4% (relative to the mass of cement). CPV - ARI Portland cement and sand washed were used at rate 1:4 by weight. It was determined consistency index, water retention, water absorption, void index, static modulus of elasticity, compressive strength, tensile strength in bending and adhesion. The mortar modified with the additive showed increase in the porosity, tensile strength in bending, adhesion, plastic capacity and water retention. Furthermore the use of polystyrene leads to decrease in the density, the modulus of elasticity and in the capillary water absorption with increasing content of sulfonated polystyrene, which may indicate that even by increasing the number pores in the mortar, the pores are not communicated among themselves and the polymeric film had contributed for the mechanical properties.

**Keywords:** mortar modified, polymeric additive, sulfonated polystyrene, recycling.



# LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

---

## SÍMBOLOS

~ - Aproximadamente

## ABREVIATURAS

*a/c* - Água/cimento

*p/c* - *Polímero*/cimento

## SIGLAS

*EVA* - Copolímero Acetato de Vinila/Etileno

*HEC* - Hidroxietil Celulose

*MHEC* - Metil-Hidroxietil Celulose

*PAE* - Estéreis Poliacrílicos

*PE* - Polietileno

*PEAD* - Polietileno de Alta Densidade

*PEBD* - Polietileno de Baixa Densidade

*PET* - Politeraftalato de Etileno

*PP* - Polipropileno

*PS* - Poliestireno

*PSS* - Poliestireno Sulfonado

*PSSNa* - Poliestireno Sulfonado de Sódio

*PVA* - Álcool Polivinílico

*PVC* - Policloreto de Vinila

*SBR* - Estireno-Butadieno

*TP* - Teor de Materiais Pulverulentos

# LISTA DE FIGURAS

---

<b>Fig. 1</b>	Monômero de um lignossulfonato	20
<b>Fig. 2</b>	Monômeros de (a) poli-naftaleno de sódio linear e (b) poli-melamina sulgonato de sódio	21
<b>Fig. 3</b>	Monômero de policarboxilato	21
<b>Fig. 4</b>	Efeito da defloculação dos grãos de cimento	22
<b>Fig. 5</b>	(a) Mecanismo de repulsão eletrostática para cadeia de naftaleno e melamina (b) mecanismo de repulsão estérica para a cadeia de policarboxilato	23
<b>Fig. 6</b>	Modelo simplificado da formação da matriz conjunta polímero-cimento	24
<b>Fig. 7</b>	Consumo <i>per capita</i> de plásticos em alguns países	27
<b>Fig. 8</b>	Fragmento da estrutura química do poliestireno sulfonado	29
<b>Fig. 9</b>	Curva de distribuição granulométrica do agregado miúdo	35
<b>Fig. 10</b>	Copos plásticos após processo de corte	37
<b>Fig. 11</b>	Histograma do processo de produção do poliestireno	39
<b>Fig. 12</b>	Mudança de coloração no processo de sulfonação do poliestireno	39
<b>Fig. 13</b>	Precipitação e secagem do poliestireno sulfonado	41
<b>Fig. 14</b>	Ajuste de PH da solução de PSS	41
<b>Fig. 15-</b>	Materiais utilizados para confecção do traço A0,6	42
<b>Fig. 16</b>	Determinação do índice de consistência do traço A0,2	42
<b>Fig. 17</b>	Ensaio de retenção de água do traço A1,0	43
<b>Fig. 18</b>	Ensaio de compressão e tração na flexão	44
<b>Fig. 19</b>	Equipamento utilizado para ensaio de tração na flexão	45
<b>Fig. 20</b>	Produção do substrato padrão para ensaio de arrancamento	45
<b>Fig. 21</b>	Amostras sendo levadas à ebulição por meio de autoclave	51
<b>Fig. 22</b>	Preparação dos corpos de prova para ensaio de arrancamento em substrato padrão	53
<b>Fig. 23</b>	Índice de consistência dos traços estudados	54
<b>Fig. 24</b>	Valores da retenção de água das argamassas estudadas	56
<b>Fig. 25</b>	Valores médios da absorção de água das argamassas estudadas	57
<b>Fig. 26</b>	Valores médios da absorção de água por capilaridade das argamassas estudadas	58

<b>Fig. 27</b>	Alturas capilares médias encontradas na absorção de água por capilaridade	59
<b>Fig. 28</b>	Valores médios dos índices de vazios dos traços estudados	61
<b>Fig. 29</b>	Valores médios da massa específica dos traços estudados	62
<b>Fig. 30</b>	Resistência média à compressão aos 07 dias de idade	63
<b>Fig. 31</b>	Resistência média à compressão aos 28 dias de idade	64
<b>Fig. 32</b>	Gráfico de resistência à compressão aos 28 dias x massa específica	65
<b>Fig. 33</b>	Valores médios dos módulos de elasticidade aos 28 dias de idade	66
<b>Fig. 34</b>	Valores médios de resistência à tração aos 28 dias de idade	67
<b>Fig. 35</b>	Valores médios de resistência potencial de aderência à tração aos 28 dias de idade	68
<b>Fig. 36</b>	Comparação das resistências encontradas por Faria et al. 2011 e esta pesquisa	69

# SUMÁRIO

---

<b>1. Introdução.....</b>	<b>12</b>
1.1 Justificativa.....	12
1.2 Objetivos.....	15
1.3 Estrutura do trabalho.....	16
<b>2. Revisão de literatura.....</b>	<b>17</b>
2.1 Argamassas.....	17
2.1.1 Argamassas modificadas com polímeros.....	19
2.1.1.1 Aditivos químicos.....	19
2.1.1.2 Reciclagem do poliestireno.....	25
2.1.1.3 Matrizes cimentícias modificadas com poliestireno .....	29
<b>3. Materiais e Métodos.....</b>	<b>32</b>
3.1 Planejamento experimental.....	32
3.2 Caracterização dos materiais.....	33
3.2.1 Cimento.....	33
3.2.2 Agregado miúdo.....	34
3.2.3 Poliestireno sulfonado.....	36
3.2.4 Água de amassamento.....	36
3.3 Procedimento experimental.....	37
3.3.1 Poliestireno sulfonado.....	37
3.3.2 Preparo das argamassas.....	41
3.3.3 Ensaio das argamassas no estado fresco.....	42
3.3.3.1 Índice de consistência.....	42
3.3.3.2 Retenção de água.....	43
3.3.4 Ensaio das argamassas no estado endurecido.....	43
3.3.4.1 Moldagem e cura dos corpos de prova.....	43
3.3.4.2 Determinação da resistência à compressão e à tração na flexão.....	44

3.3.4.3 Determinação do módulo de elasticidade.....	45
3.3.4.4 Absorção de água, índice de vazios e massa específica.....	45
3.3.4.5 Resistência potencial de aderência à tração.....	46
<b>4. Resultados e discussões.....</b>	<b>49</b>
4.1 Índice de consistência.....	49
4.2 Retenção de água.....	51
4.3 Absorção de água.....	52
4.4 Absorção de água por capilaridade.....	53
4.5 Índice de vazios.....	55
4.6 Massa específica.....	56
4.7 Resistência à compressão.....	57
4.8 Módulo estático de elasticidade.....	59
4.9 Resistência à tração na flexão.....	60
4.10 Resistência potencial de aderência à tração.....	61
<b>Considerações finais.....</b>	<b>63</b>
<b>Referências bibliográficas.....</b>	<b>65</b>
<b>Apêndices.....</b>	<b>70</b>

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

---

### 1.1 Justificativa

O processo evolutivo de uma sociedade acontece por meio das atividades humanas, atividades estas que acabam gerando um montante considerável de resíduos. Buscando uma sociedade sustentável, é preciso garantir que o descarte desses resíduos passem por uma triagem prévia, para que possam ser reaproveitados, reutilizados e reciclados. Desta maneira somente uma pequena parcela desses resíduos não encontraria uma nova finalidade de uso e seriam depositados em locais adequados para o descarte.

Entretanto o que podemos observar é que esta prática não acontece em sua totalidade, existem cidades que não possuem centros de recepção e reciclagem, ou então, não conseguem garantir que a totalidade dos descartes passem pelo processo de triagem, majorando o impacto ambiental gerado por conta do descarte inadequado de materiais que poderiam ser reciclados.

Uma das maneiras de amenizar o descarte excessivo de materiais que estão diretamente ligados à questão ambiental é a reciclagem, na qual é possível transformar um objeto ou produto em uma fonte para obtenção de novos materiais.

Royer et al. (2005) afirmam que a reciclagem é vista como uma alternativa para tentar retirar do meio ambiente, os resíduos que diariamente são produzidos pela sociedade.

O reaproveitamento ou reciclagem de materiais surge para buscar soluções sobre o aumento da demanda de energia, matéria-prima e problemas ambientais que são ocasionados por conta desenvolvimento tecnológico. A não existência de uma política de racionalização para utilização dos recursos, além do crescimento da sociedade de consumo devido ao aumento populacional são fatores que alavancam o aumento da poluição ambiental e a destruição de recursos naturais não renováveis (petróleo, minérios, etc.). Neste contexto, uma das vertentes que são passíveis e imprescindíveis de serem pesquisadas é a reutilização de materiais descartados que podem tornar-se uma fonte de matéria-prima alternativa, para produção/incorporação de/em outros materiais.

Dias, Cintra e Silva (2009) afirmam que é possível notar a presença de embalagens diversas que possuem grande potencial de reciclagem, nos resíduos sólidos domiciliares, entretanto essas matérias de pós-consumo são descartadas sem triagem prévia.

Esses autores afirmam que as embalagens plásticas podem ser citadas como material de descarte com potencial de reciclabilidade, assim como os copos plásticos descartados, que possuem a característica de geração imediata de resíduo, logo após o primeiro uso e por isso são considerados como modelo de consumo "*fast*".

Na cidade de Uberlândia o aterro sanitário municipal recebe 350 t de resíduos domiciliares por dia. Dentro deste panorama, estima-se que 11% seja conteúdo plástico em geral, o que inclui os copos plásticos descartáveis (DIAS; CINTRA; SILVA, 2009).

Acerca do assunto Brandão (2004) afirma que no Brasil, no ano de 2003, foram geradas aproximadamente 125 mil toneladas diárias de resíduos domiciliares, dentre os quais, 15 mil toneladas/dia de resíduos sólidos foram gerados pela cidade de São Paulo, e que possivelmente mais de 700 toneladas eram constituídas por embalagens plásticas descartáveis, representando aproximadamente 4,7% do montante total de resíduos sólidos gerados por esta cidade. Embalagens estas, fabricadas principalmente com poli tereftalato de etileno - PET; polietileno - PE; poli cloreto de vinila – PVC; polipropileno – PP e o poliestireno – PS.

Os copos plásticos de poliestireno (PS) são apresentados pelos seus respectivos fabricantes como sendo um material higiênico, pois, após seu uso, o mesmo pode ser descartado, evitando assim que outra pessoa que possa vir a utilizar o mesmo copo contraia alguma doença. Este tipo de consumo comprova que uma única pessoa ao longo do dia pode utilizar diversos copos plásticos majorando o resíduo gerado deste material, que em grande parte, são descartados, sem triagem prévia, em aterros sanitários comumente utilizados nas cidades de pequeno, médio e grande porte.

Desta forma, o consumo e descarte de copos plásticos de PS representa uma parcela considerável dos resíduos sólidos urbanos gerados pela humanidade e devem ser repensados visando não apenas a redução do impacto ambiental, bem como um consumo consciente e sustentável.

Os copos plásticos descartados podem ser confeccionados com PP e PS, a diferença é que a cadeia polimérica do polipropileno é tridimensional (termofixo) e a do poliestireno

é linear (termoplástico), a transformação/reciclagem de um termoplástico em um novo plástico é facilitada através do processo em que o mesmo pode ser remoldado (após aquecimento) pelo mesmo ou por outro processo de fabricação, em contra partida, o polipropileno quando aquecido entra em decomposição tornando quase inviável sua reciclagem (ALMEIDA e VILHENA, 2000).

Uma solução diferenciada frente ao descarte inadequado seria utilizar os copos descartados como matéria prima para a confecção do poliestireno sulfonado (PSS), a ser usado como aditivo para matrizes de cimento, que poderia melhorar o seu próprio desempenho tanto no estado fresco, como no endurecido.

A construção civil é um setor da sociedade que atualmente encontra-se em crescimento acelerado; no Brasil, sua ascensão está diretamente ligada ao crescimento da economia; e também aos programas de incentivo proporcionados pelo atual governo para diminuir o déficit habitacional. Os processos construtivos relacionados a este setor são responsáveis por grande parte da poluição urbana que afeta todo o meio ambiente, entretanto, é também um dos setores aonde parte dos resíduos gerados pelas atividades sociais podem ser reutilizados e/ou incorporados no processo construtivo.

Segundo Savastano (2003), grande parte do montante geral dos resíduos gerados nas atividades humanas, podem ser reciclados, reutilizados e incorporados inclusive na forma de aditivo, de modo a produzir novos materiais de construção e atender à crescente demanda por tecnologia alternativa de uma construção mais eficiente, econômica e sustentável.

A construção civil pode constituir-se em um grande sorvedouro dos resíduos reciclados ou processados, o que pode ser notado com o aumento de estudos quanto ao potencial uso de resíduos tanto urbanos como da própria construção civil incorporados em compósitos cimentícios. (DIAS, CINTRA e SILVA, 2009)

As adições aos compósitos cimentícios visam tanto majorar e/ou melhorar características físicas ou químicas, bem como reduzir a poluição ambiental gerada pelos resíduos. Portanto, pensando em contribuir com a sustentabilidade global, é imprescindível aumentar a prática de pesquisas acadêmicas com o objetivo de minimizar o impacto gerado pelos resíduos urbanos oriundos das atividades humanas.



Pensando em um uso consciente e sustentável do cimento Portland, são estudados a adição de diversos materiais ao concreto e à argamassa com o intuito de buscar um caminho eficaz na melhora das propriedades mecânicas, tais como resistência à compressão, à tração e durabilidade além de suas propriedades químicas.

Desta maneira, uma alternativa possível para o reaproveitamento dos copos plásticos de poliestireno descartados é a sua transformação química para produção de uma nova resina visando sua aplicação em pastas cimentícias.

Faria et al. (2011) realizaram um estudo sobre o poliestireno oriundo de copos plásticos com sua aplicação em argamassas, verificando um incremento significativo na resistência potencial de aderência à tração, além de aumentar a plasticidade e homogeneidade da argamassa, esses resultados despertaram o potencial do poliestireno para outras aplicações.

A proposta deste trabalho justifica-se tendo em vista que o emprego de poliestireno sulfonados à partir de copos plásticos descartados como aditivo químico em matrizes cimentícias, pode ser um grande passo rumo à redução do impacto ambiental gerado pelo descarte inapropriado de copos de poliestireno e também pela busca da construção civil no uso de materiais com melhores desempenhos.

## **1.2 Objetivos**

Tendo exposto a problematização acerca do uso de resíduos na construção civil, esta pesquisa possui como objetivo norteador estudar a aplicação a adição de poliestireno sulfonado, obtido a partir de copos plásticos descartados, como aditivo em argamassas, tornando-as modificadas; visando, portanto, sua aplicação na construção civil.

Para compreender adequadamente os efeitos desta adição em argamassas, foram estudadas e comparadas as propriedades de argamassas sem aditivo com argamassas modificadas com diferentes teores de poliestireno sulfonado. Determinaram-se índice de consistência e retenção de água no estado fresco e as propriedades analisadas no estado endurecido foram absorção de água, absorção de água por capilaridade, índices de vazios, massa específica, módulo de elasticidade, resistência potencial de aderência à tração, resistência à tração na flexão e resistência à compressão.

Após considerar o objetivo geral e as questões que moldam o trabalho, é possível encontrar de forma concisa os objetivos específicos que são apresentados abaixo:

- Compreender o método de produção do polímero derivado de copos plásticos descartados, a ser usado como aditivo nas argamassas de cimento *Portland*;
- Avaliar a influência do aditivo produzido nas propriedades das argamassas, em diferentes teores, tanto no estado fresco quanto no endurecido.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

Neste contexto, os resultados são apresentados neste trabalho que é constituído de cinco capítulos, organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 1: apresenta a introdução com a justificativa do estudo, bem como os objetivos e questões norteadoras da pesquisa; além da descrição dos capítulos que compõem o trabalho.
- Capítulo 2: é composto pelos subtópicos que juntos consolidam o referencial teórico, além de ser explorados os assuntos que foram trabalhados na pesquisa, que, conseqüentemente, converteram-se em uma pesquisa laboratorial.
- Capítulo 3: Apresenta os processos metodológicos para aquisição de dados, formulação de corpos de provas e os ensaios realizados para caracterizar os materiais e aferir as propriedades da argamassa, além do método de produção do polímero, a ser usado como aditivo nas argamassas de cimento *Portland*;
- Capítulo 4: No capítulo são apresentados os resultados dos ensaios de laboratório bem como as discussões dos dados encontrados, com o intuito de melhor compreendê-los.
- Capítulo 5: São apresentadas as considerações finais adquiridas após a discussão de dados e resultados levantados após o estudo.
- Por último são apresentados os referenciais bibliográficos que nortearam este trabalho, além dos apêndices relevantes à pesquisa.

## CAPÍTULO 2 - REVISÃO DE LITERATURA

---

### 2.1 Argamassas

As argamassas possuem propriedades de aderência e endurecimento obtidos através da mistura de aglomerante hidráulico (cimento), areia (agregado miúdo) e água, podendo ser empregados aditivos, que poderão melhorar algumas de suas características tanto no estado fresco como no endurecido.

Ao elaborar uma argamassa de qualidade, deve-se pensar em produzi-la para obter o melhor desempenho e durabilidade. Deve-se levar em consideração também, as propriedades, tais como: plasticidade, aderência no estado fresco e endurecido, ausência de fissuração, resistência à abrasão e compressão, entre outras.

Aderência é a resistência de arrancamento da argamassa endurecida, influenciada pela condição superficial do substrato em que é aplicada, pela qualidade e dosagem correta dos materiais, pela capacidade de retenção de água, pela espessura do revestimento etc (SANTOS, 2008).

Ao discorrer sobre o assunto Silva, Roman e Gleize (1999) afirmam que o tipo de adesivo desempenha papel fundamental na aderência, são utilizadas, para esse fim, as argamassas (colantes), que consistem basicamente em argamassas de cimento aditivadas com polímeros, apresentando a seguinte composição aproximada (em massa): 71% de areia, 24% de cimento Portland e 5% de constituintes secundários (resinas celulósicas ou vinílicas), podendo conter, eventualmente, pequenos teores de calcário moído finamente, neste contexto, é possível notar que o uso de aditivos poliméricos em argamassas já é um processo assimilado e bastante difundido na indústria da construção civil.

As pesquisas sobre argamassas colantes iniciaram nos Estados Unidos a partir do fim da segunda guerra mundial (1945) "com a finalidade de racionalizar os serviços de colocação de revestimentos cerâmicos e oferecer aos consumidores uma alta qualidade nas instalações destes, a um menor custo" (FIORITO, 1994, p. 9).

Os aditivos plastificantes ou superplastificantes que são adquiridos de forma comercial são utilizados com o intuito de serem incorporados em concretos e argamassas, algumas destas substâncias possuem como fator comum a presença do grupo sulfonato,

grupo este quimicamente modificado, responsável pela forte interação com as partículas de cimento, além do aumento da solubilidade do polímero em água resultando na capacidade de dispersar e melhorar a homogeneidade da pasta do cimento. (ASSUNÇÃO et al., 2004; ROYER et al., 2005).

Neste sentido Silva, Roman e Gleize (1999) relatam que os aditivos às argamassas, que em grande parte são polímeros solúveis ou redispersíveis em água, possibilitam às argamassas no estado fresco melhor capacidade de retenção de água e maior plasticidade.

Wagner (1978) afirma que na década de 60 nos Estados Unidos, as argamassas aditivadas com polímeros começaram a ser utilizadas para o assentamento de revestimentos cerâmicos. Na década de 70 por sua vez, outros polímeros solúveis em água, como hidroxietil-celulose (HEC), acetato de celulose e álcool polivinílico (PVA) passaram a ser utilizados para o mesmo fim. Atualmente, algumas argamassas industrializadas são modificadas com metil-hidroxietil celulose (MHEC) e copolímero acetato de vinila/etileno (EVA) (SILVA; ROMAN; GLEIZE, 1999).

De maneira complementar Santos (2008) define a função dos revestimentos de argamassa como sendo a de proteger os elementos de vedação das edificações da ação direta dos agentes agressivos, auxiliar as vedações no cumprimento das suas funções, regularizar a superfície dos elementos de vedação, tornando-as superfícies planas para possíveis aplicações de outros revestimentos ou constituir-se ainda no revestimento final.

Neste sentido, a qualidade da argamassa depende tanto do preparo e manuseio adequados (tempo e modo de mistura, tempo de utilização e aplicação), como das características intrínsecas dos próprios materiais.

Carasek (2007) descreve as principais funções de um revestimento como sendo:

- Regularizar a superfície dos elementos de vedação, além de servir como base para acabamentos decorativos, contribuindo para o elemento estético da edificação;
- Participar do sistema de vedação dos edifícios, contribuindo com diversas funções, tais como: isolamento térmico (~30%), isolamento acústico (~50%), estanqueidade à água (~70 a 100%), segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais;

- Proteger a estrutura, bem como a alvenaria contra as intempéries, no caso de revestimentos externos.

Desta maneira ao entender a função do uso da argamassa tanto como revestimento, como assentamento, é possível compreender a importância e a necessidade dos ensaios que foram realizados nesta pesquisa, para melhor avaliar a influência do aditivo produzido nas propriedades das argamassas tanto no estado fresco quanto no endurecido, independentemente da função exercida pela argamassa. Vale ressaltar, que o presente trabalho não visa defender nenhum tipo de utilização específica de argamassa com PSS, e sim, entender quais as modificações são acarretadas à argamassa por conta do uso do aditivo químico.

### **2.1.1 Argamassas modificadas com polímeros**

A trabalhabilidade, a coesão, a retenção de água e as propriedades do estado endurecido, são características das argamassas que podem ser melhoradas com adição de substâncias no momento de preparo.

Ao produzir um compósito cimentício (argamassas e concretos) com aditivos de base polimérica, é importante garantir que a hidratação do cimento e a formação do filme polimérico aconteça de forma a produzir uma matriz monolítica com uma estrutura reticulada em que a fase cimento hidratado e fase polímero permeiem e penetrem entre si. Conforme Assunção et al. (2001), o filme polimérico ocorre por meio da polimerização das resinas ou da coalescência (processo químico de união de duas ou mais parcelas de uma fase) das partículas do polímero.

#### **2.1.1.1 Aditivos químicos**

Segundo Hartmann e Helene (2003) o uso de aditivos superplastificantes é considerado um grande avanço na tecnologia de matrizes cimentícias, pois tem permitido, entre outros, a produção de concretos e argamassas duráveis, de alta resistência além de garantir a fluidez destes compósitos.

O histórico do uso de aditivos em concretos mescla-se com a própria história do cimento, visto que eram adicionados clara de ovo, sangue, banha ou leite aos concretos e

argamassas rudimentares, com a finalidade de melhorar a trabalhabilidade das misturas (Coutinho, 1997).

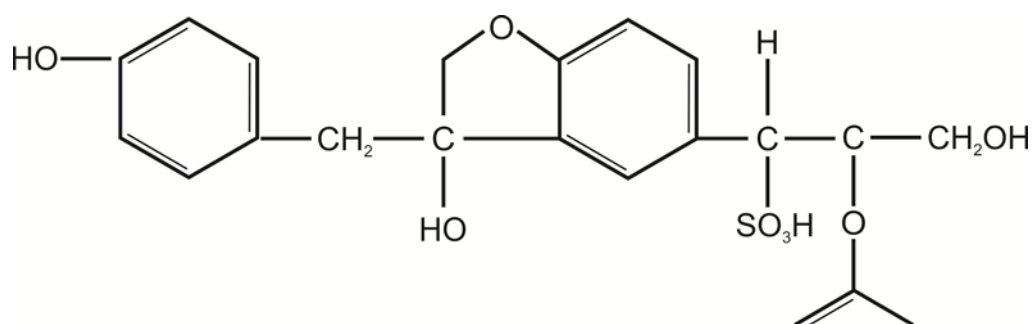
Os aditivos à base de melanina e naftaleno foram introduzidos comercialmente no Japão e na Alemanha no início dos anos 60, e desde então o seu uso tem crescido e se espalhado pela indústria de matrizes cimentícias em todo o mundo (Malhotra, 1989).

Segundo Hartmann e Helene (2003) o mercado brasileiro em 2003 havia incorporado recentemente a utilização de aditivos à base de policarboxilatos, que já vinham sendo estudados desde a década de 90 no Japão. Estes aditivos possuíam a finalidade de aumentar de maneira significativa a fluidez de compósitos cimentícios e reduzir o consumo de água quando visado um abatimento constante.

Os aditivos podem ser classificados como de primeira, segunda e terceira geração, os aditivos à base de lignossulfonatos (1ª geração) são utilizados em alguns casos como superplastificantes e principalmente como redutores de água normais. A obtenção do lignossulfonato acontece por meio do rejeito líquido do processo de extração da celulose da madeira (Hartmann e Helene, 2003).

A redução de água dos aditivos base lignossulfonatos, como é o caso desta pesquisa, gira em torno de 8 a 12% e quando a utilização for feita em altas dosagens podem acarretar a incorporação de grande quantidade de ar e retardo de pega excessivo (Aitcin, 1998). A figura 1 demonstra a estrutura molecular de um lignossulfonato.

Figura 1 - Monômero de um lignossulfonato.

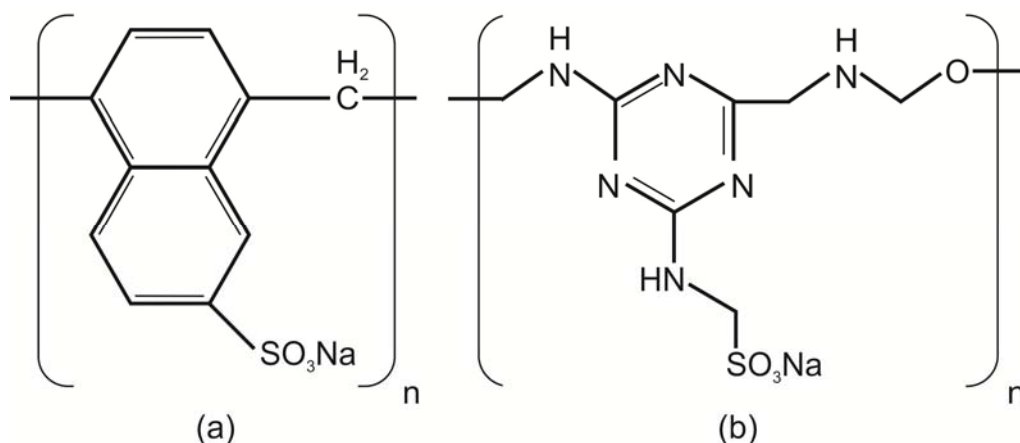


Fonte: Adaptado de Ohama (1998).

Os aditivos base Naftaleno Sulfonato e Melamina Sulfonato (superplastificantes 2ª geração) são produzidos através de técnicas de polimerização, cujo processo de fabricação segundo Aitcin (1998) ocorre primeiro a sulfonatação, condensação, neutralização e

filtração. Estes aditivos químicos permitem a redução de até 25% da quantidade de água das misturas quando usados como redutores de água (Hsu, et al., 1992). A figura 2 apresenta a estrutura molecular dos aditivos base naftaleno e melamina.

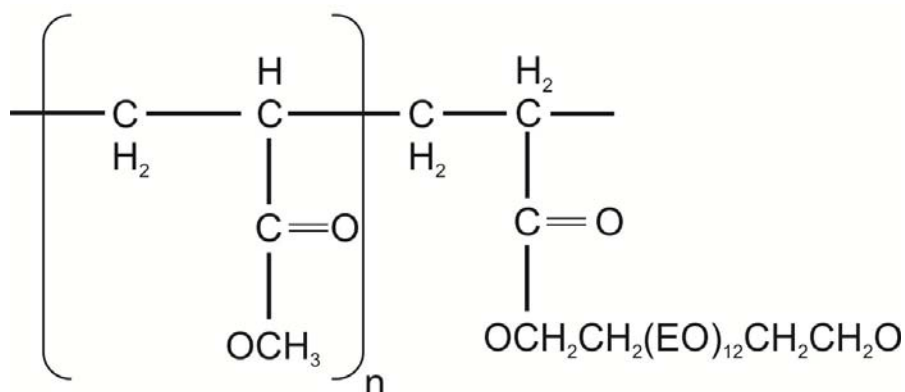
Figura 2 - Monômeros de (a) poli-naftaleno sulfonato de sódio linear e (b) poli-melamina sulfonato de sódio.



Fonte: Ramachandran e Malhotra (1998).

Os aditivos base policarboxilatos (3ª geração) foram os últimos a serem introduzidos comercialmente no Brasil, sua estrutura química é apresentada na figura 3

Figura 3 - Monômero de policarboxilato.

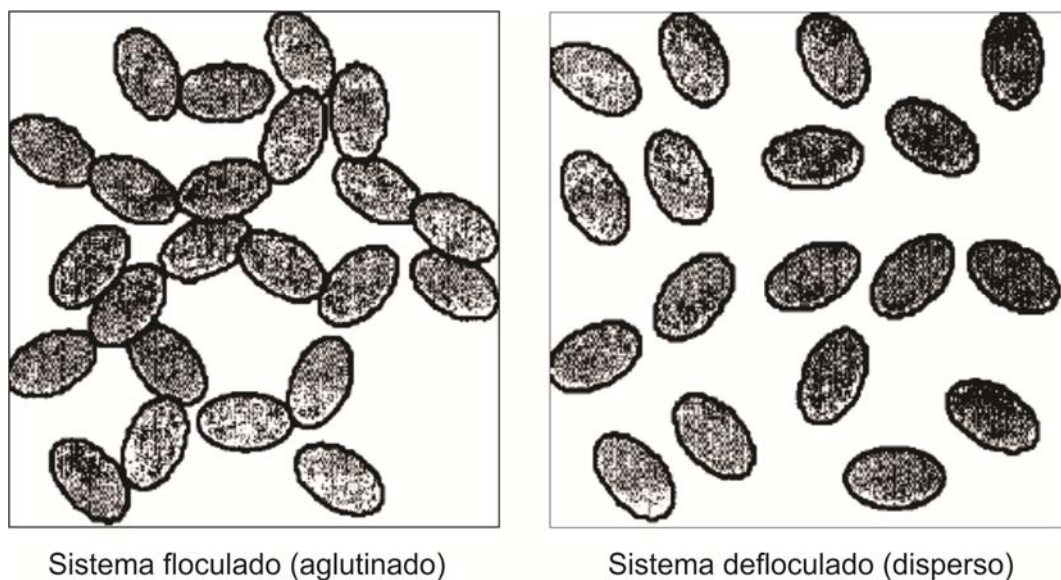


Fonte: Ramachandran (1998).

O cimento *Portland* anidro quando entra em contato com a água, suas partículas que possuem molécula polar, demonstram uma grande tendência à floculação. Existe uma quantidade de água que fica aprisionada entre os grãos de cimento, o que reduz a disponibilidade de água e lubrificação do sistema como um todo (Hartmann e Helene,

2003). Os fenômenos descritos produzem o aumento da viscosidade da mistura bem como reduzem a área específica dos grãos de cimento disponível para as reações de hidratação, o processo de defloculação dos grãos é demonstrado na figura 4.

Figura 4 - Efeito da defloculação dos grãos de cimento.



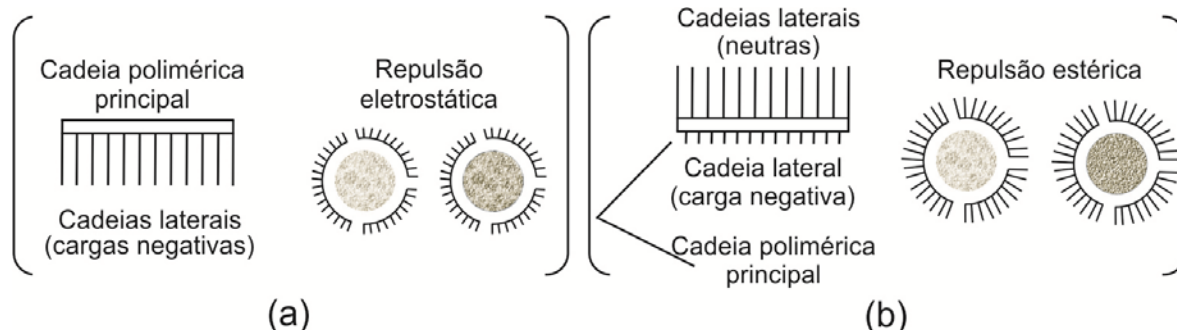
Fonte: Aitcin, Jolicoeur e Macgregor, (1994).

Os aditivos base naftaleno, melamina ou lignossulfonato possuem atuação principal por meio de repulsão eletrostática, ou seja, as cargas de mesmo sinal se repelem e as de sinais opostos se atraem. A respeito deste fenômeno, observa-se segundo Aitcin (1998) que existe um aumento da fluidez e conseqüentemente redução da demanda de água de amassamento.

Por outro lado, os aditivos base carboxilatos, que também atuam por repulsão eletrostática, não possuem este mecanismo como sendo o principal da ação, visto que além de agirem pelo mecanismo já relatado, a dispersão das partículas pode estar relacionado à repulsão estérica que é "produzida pela presença de uma longa cadeia lateral ligada em vários pontos na cadeia central do polímero" Hartmann e Helene ( 2003, p. 7). A composição da cadeia polimérica é responsável pela produção do forte efeito dispersante da matriz cimentícia, visto que, o impedimento do entrelaçamento das cadeias laterais de diferentes moléculas de aditivos, gera o grande volume de adsorção por meio de uma capa que é responsável pelo impedimento da aproximação das partículas de cimento (Gettu e Roncero, 1998). Na figura 5 é demonstrado o processo de repulsão dos aditivos.



Figura 5 - (a) Mecanismo de repulsão eletrostática para a cadeia de naftaleno e melamina (b) mecanismo de repulsão estérica para a cadeia de policarboxilato.

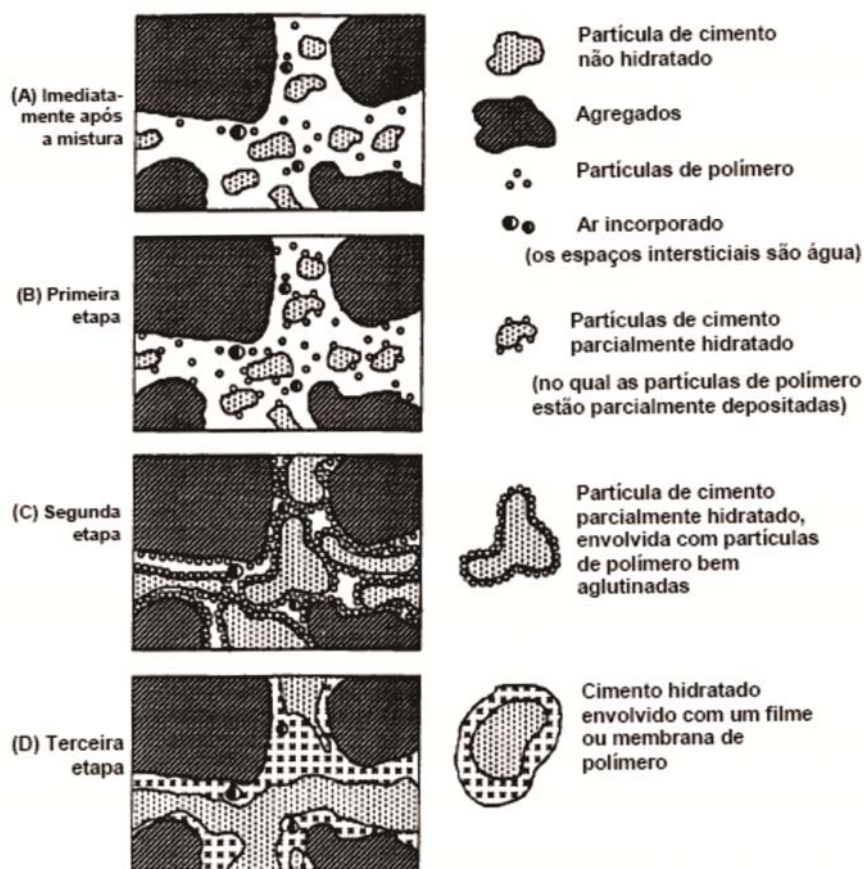


Fonte: Colepari et al. (1999) *apud* Hartmann e Helene (2003).

O aditivo estudado nesta pesquisa (PSS) possui mecanismo de ação semelhante aos aditivos de segunda geração, tendo efeito, portanto, de plastificante, ou podendo ser usado como redutor de água. Entretanto, este aditivo será analisado com objetivo de verificar as alterações que acontecem nas outras propriedades da argamassa, tanto do estado fresco, como do endurecido.

Dos estudos de argamassas modificadas com polímeros, destacam-se as de látex, EVA, PVA, SBR, MHEC etc. Por meio de micrografias eletrônicas de varredura de argamassas modificadas com estireno-butadieno (SBR), ésteres poliacrílicos (PAE) e EVA, Ohama (1998) demonstrou que as microfissuras nas argamassas modificadas com látex são ligadas pelas membranas ou pelos filmes poliméricos que são formados e este novo material previne a propagação das fissuras, observação esta, que também foi notada por SILVA et al. (2009). O esquema da figura 6 ilustra a interação da matriz, o agregado e o polímero.

Figura 6 - Modelo simplificado da formação da matriz conjunta polímero-cimento.



Fonte: Adaptado de Ohama (1998).

Neste processo, Ohama (1998) realça ainda que desenvolve-se uma forte ligação cimento-agregado, levando ao aumento da resistência à tração e tenacidade na fratura e que os efeitos podem ser majorados em virtude do aumento da relação polímero-cimento (P/C) ou do teor de polímero. Entretanto, o excesso na incorporação de ar pela adição de polímeros ocasiona descontinuidades na estrutura formada, e por conta disto a resistência é então reduzida.

Um dos polímeros com uso bastante difundido na construção civil é o poliacetato de vinil-etileno (EVA) que, segundo Silva, Roman e Gleize (1999) é usado no Brasil para a produção de diversas argamassas colantes, especialmente aquelas destinadas ao assentamento de revestimentos cerâmicos nas fachadas dos edifícios.

Os autores afirmam que o pó redispersível de EVA pode ser adicionado na forma de solução aquosa, ou adicionado ao cimento anidro e agregados antes da sua mistura com água, possibilitando uma melhora na capacidade de retenção de água e a plasticidade no estado fresco.

Silva, Roman e Gleize (1999) realizaram um estudo em que avaliaram a influência de MHEC e EVA em argamassas variando apenas o tipo e o teor dos polímeros já citados. As propriedades analisadas foram retenção de água e consistência no estado fresco e resistência à tração, à compressão e resistência potencial de aderência à tração além do módulo de elasticidade tangente no estado endurecido.

Os autores observaram que o EVA reduz o teor de hidróxido de cálcio e sua temperatura de desidratação, além de aumentar (sensivelmente) a quantidade de fases carbonáticas nas pastas.

Por último, os autores concluíram que a microestrutura das pastas modificadas com EVA é mais homogênea que a das pastas puras, porém indica ser menos hidratada, isto porque o espaço intergranular é maior.

O EVA retarda as reações de hidratação do cimento e as pastas que são modificadas com o polímero possuem grande quantidade de filme polimérico depositado na superfície das fases anidras e hidratadas do cimento, além de selar parcialmente as paredes dos poros e vazios (SILVA; ROMAN; GLEIZE, 1999).

Silva, Roman e Silva (1999) ao analisar o efeito dos polímeros MHEC e EVA nas argamassas observaram uma sensível influência do teor de polímero celulósico MHEC na retenção de água da argamassa até teores de 0,5%.

Os autores constataram que o índice de consistência é alterado significativamente quanto ao uso de MHEC, além de reduzir (até certo teor) a resistência à tração e a compressão. Já o efeito do EVA causou redução de resistência à compressão para teores superiores à 2% e em relação à resistência à tração o uso do EVA indica um pico máximo (1% de teor), redução para teores entre 1 e 2%, e posteriormente leve incremento de resistência, provavelmente pela maior aderência entre a pasta e o agregado e a dificuldade de propagação de fissuras. Através das análises os autores puderam observar a existência de algum tipo de interação entre o MHEC e o EVA quando presentes na mesma solução aquosa.

### **2.1.1.2 Reciclagem do poliestireno**

Dentre os resíduos gerados pelas atividades humanas, os copos plásticos de pós consumo, especificamente os produzidos por meio de poliestireno, representam uma

parcela considerável dos materiais que são depositados em aterros sanitários e/ou descartados em vias públicas.

Em busca de amenizar o impacto gerado pelo consumo e descarte deste material é possível pensar no reaproveitamento dos copos plásticos descartados (como aditivo químico) para confeccionar uma argamassa modificada com desempenho físico-químico alterados/majorados, o que seria de grande serventia para a construção civil.

Estudos realizados (ASSUNÇÃO *et al.*, 2001; ROYER *et al.*, 2002; ASSUNÇÃO *et al.*, 2002; ROYER *et al.*, 2003; ROYER *et al.*, 2005; ASSUNÇÃO *et al.*, 2005a, ASSUNÇÃO *et al.*, 2005b) demonstram resultados promissores, para a reciclagem química do poliestireno e modificação da celulose como aditivo para concretos e argamassas, pesquisas estas que permitiram o registro de patente realizada por Assunção *et al.* (2005b).

O poliestireno é um material termoplástico que é obtido a partir do estireno. Este material possui, de forma geral, boa resistência mecânica, térmica e elétrica, além de baixa densidade. Devido a essas propriedades, ele é usado para produzir materiais descartáveis, como copos, bandejas de alimentos, sacolas plásticas, etc (LANDIM; RODRIGUES FILHO; ASSUNÇÃO, 2007).

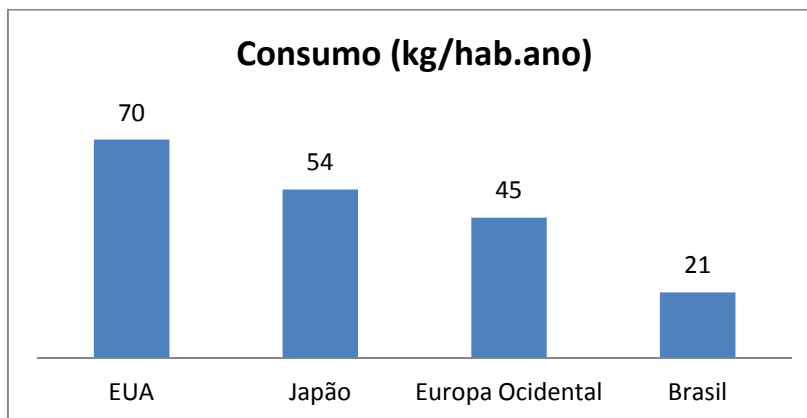
Os plásticos, como é o caso do poliestireno, são fabricados a partir de polímeros, que geralmente são resinas sintéticas e derivadas do petróleo, (ALMEIDA e VILHENA, 2000). Esse material, que cada vez mais é utilizado dentro da sociedade, representa um sério problema ambiental em virtude do elevado período que o mesmo necessita para ser decomposto no meio ambiente, quando descartado.

Almeida e Vilhena (2000) afirmam que os plásticos ocupam de 15 a 20% do montante de resíduos sólidos urbanos, mesmo representando apenas de 4 a 7% da massa do mesmo. Esse volume expressivo contribui também para o aumento dos custos de transportes e da coleta urbana de resíduos. Quando depositados em lixões, a queima indevida dos plásticos são fatores prejudiciais ao meio ambiente; por outro lado, quando descartados em aterros, acabam prejudicando a decomposição de materiais biologicamente degradáveis, visto que criam camadas impermeáveis afetando as trocas de líquidos e gases gerados no processo de biodegradação.

A figura 7 demonstra o consumo *per capita* em quatro países, e é possível perceber que o Brasil possui um consumo relativamente baixo, se comparado aos outros países.

Cabe ressaltar que com o crescimento econômico, este consumo tende à aumentar; só na cidade de São Paulo são coletados, como lixo, aproximadamente 900 t/dia de materiais plásticos, representando uma média de 90 gramas por habitante (ALMEIDA e VILHENA, 2000).

Figura 7 - Consumo *per capita* de plásticos em alguns países.



Fonte: Adaptado de Almeida e Vilhena (2000).

Almeida e Vilhena (2000) demonstram que os plásticos são divididos em duas categorias, os termofixos e os termoplásticos; a primeira categoria representa aproximadamente 20% do montante total consumido no país e é caracterizado como sendo um tipo de plástico que uma vez moldado por algum dos processos usuais de transformação, não podem mais sofrer novos ciclos de processamento por não poderem fundir-se novamente, impedindo assim uma nova moldagem. Nesta categoria são encontrados o poli(acetato de etileno vinil) – EVA, poliéster e alguns poliuretanos, que são responsáveis pela produção de piscinas, banheiras, telhas com fibra de vidro e resinas utilizadas em revestimento de móveis.

Os autores afirmam que os termoplásticos, categoria na qual se enquadra o poliestireno utilizado nesta pesquisa é caracterizado como sendo um material que pode ser reprocessado pelo mesmo ou por outros processos de transformação. Para que isso ocorra é preciso colocá-los sob temperatura adequada, e assim, estes irão amolecer e fundir-se possibilitando uma nova moldagem. Pertencem a este grupo as resinas termoplásticas: polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de alta densidade (PEAD), poli(cloreto de vinila) (PVC), poliestireno (PS), polipropileno (PP), poli(tereftalato de etileno) (PET), poliamidas (Náilon) e diversos outros.

Cerca de 90% do consumo dos termoplásticos pertencem a apenas seis categorias: PEBD, PEAD, PP, PS, PVC e PET. :O quadro 1 demonstra a progressão de consumo de materiais plásticos no Brasil, aonde é possível perceber que o consumo de resinas praticamente dobrou no período compreendido entre os anos de 1991 e 1998. Existindo uma tendência de crescimento no consumo em virtude do desenvolvimento da economia, Almeida e Vilhena (2000).

Quadro 1 - Consumo anual de termoplásticos.

Consumo (mil t/ ano)						
Plástico	1987	1988	1989	1990	1991	1998
PEAD	214	204	207	230	258	564
PEBD	516	455	473	460	485	720
PP	231	212	232	230	290	595
PS	148	140	140	125	127	233
PVC	414	403	403	340	400	608
PET	-	-	-	7	12	249

Fonte: Almeida e Vilhena (2000).

Atualmente os materiais poliméricos têm sua aplicação bastante difundida na construção civil, configurando-se em um caminho viável para o reaproveitamento de materiais reciclados como afirmado por Faria et al. (2011).

Segundo os autores a construção civil utiliza o concreto como sendo o material estrutural de maior aplicação no mercado atual, isso acontece devido à sua resistência a esforços de compressão e proteção da armadura contra trocas de elétrons com o ar e água, além da sua fácil moldagem em formas complexas, em virtude da sua trabalhabilidade ajustável com o auxílio da relação a/c.

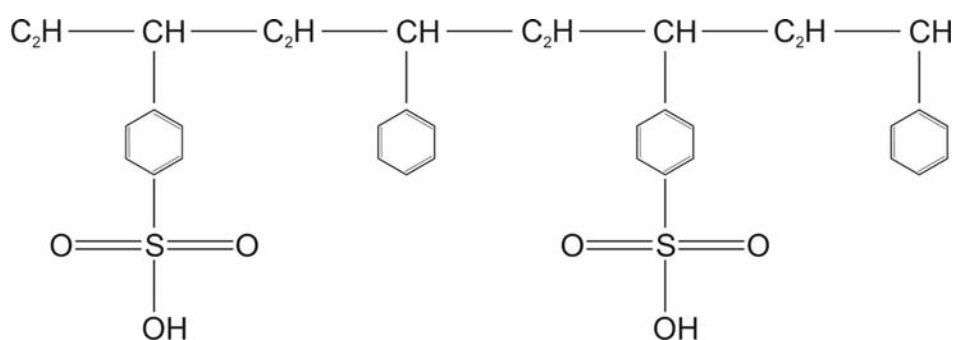
O poliestireno é um polímero que pode ser sulfonado de maneira simples, isso acontece devido à sua capacidade de sofrer substituições eletrofilicas nos anéis benzênicos ligados a cadeia polimérica, Faria et al. (2011). As propriedades deste novo material produzido dependem dos grupos sulfonantes, visto que, a sulfonação do poliestireno pode aumentar a sua solubilidade em água e em outros solventes polares como afirmam Baigl, Seery e Willams (2002).

A aplicação do poliestireno depende do caráter eletrolítico do polímero, também da massa molecular, do pH do meio, entre outras propriedades (FILHO et al., 2008). Portanto o caráter eletrolítico elevado do poliestireno sulfonado, em certas situações, terá uma função de melhor atuação se empregado como agente dispersante, visto que, em certas concentrações

ocorrerá geração de forças repulsivas devido às cargas negativas do PSS absorvido sobre as partículas do meio. Aspecto este, que é importante em processos de dispersão, como no caso do uso deste material como aditivo, por outro lado, é uma característica indesejável no uso deste, como agente flocculante (FILHO et al., 2008).

Dependendo do grau de solubilidade, o poliestireno pode ser utilizado como aditivo em concretos, (ASSUNÇÃO et al., 2005b) e argamassas, (FARIA et al., 2011); além da possibilidade de utilizá-lo como flocculante em tratamento de águas industriais. A estrutura química do Poliestireno Sulfonado é apresentada na figura 8.

Figura 8 - Fragmento da estrutura química do PSS.



Fonte: Assunção et al. (2005b).

As características do PS segundo Almeida e Vilhena (2000) são a alta densidade, afunda na água, quebradiço, amolece em temperaturas a partir de (80 à 100 °C), queima relativamente fácil, liberando fumaça de coloração preta e por último é uma substância que é afetada por muitos solventes como a água.

### 2.1.1.3 Matrizes cimentícias modificadas com poliestireno

O uso do PSS oriundo de copos plásticos de pós consumo, vem sendo estudado pelo grupo de pesquisa de professores da Faculdade de Engenharia Civil e do Instituto de Química, ambos da Universidade Federal de Uberlândia, desde de 2001 como aditivo em argamassas (ASSUNÇÃO et al., 2001) e como aditivo superplastificante ao concreto (ASSUNÇÃO et al., 2005b). Os aditivos superplastificantes foram inventados visando suprir a necessidade da construção civil em produzir concretos com redução da relação a/c,

alta trabalhabilidade além do baixo consumo de cimento (HARTMANN, 2002; SILVA et al., 2009).

Dentro de uma visão comercial, alguns plastificantes ou superplastificantes que são utilizados em concretos são os lignossulfonatos, que possuem sua derivação da indústria de polpação dos materiais lignocelulósicos, os policarboxilatos e os sulfonados de naftaleno - formaldeído. Vale ressaltar que parte dessas substâncias possuem em comum o grupo sulfonato (SILVA et al., 2009).

A presença do grupo sulfonato no PS modificado quimicamente, possibilita o aumento da solubilidade do polímero em água, além de efetivar uma forte interação com as partículas de cimento, resultando em uma pasta de cimento mais homogênea além de melhorar a sua habilidade de dispersão. (ASSUNÇÃO et al., 2005b; ROYER et al., 2005; SILVA et al., 2009).

Silva et al., (2009) puderam concluir que em comparação com o aditivo comercial à base de carboxilato, houve uma redução no consumo de água de 15,04% para o concreto com 1% de PSSNa. Por sua vez, o concreto com 1% de aditivo comercial base carboxilato reduziu o uso de água em 23,84%, ambos em relação ao concreto referência. Vale salientar que o concreto com aditivo poliestireno sulfonado obteve um aumento de resistência à compressão axial de cerca de 32% em relação ao concreto de referência. Por último, os autores concluíram que o aditivo pode ser classificado como superplastificante, pois a redução de água constatada para um abatimento foi superior à 12% em relação ao concreto referência (SILVA et al., 2009). Portanto, a cerca do estudo de Silva et al., (2009) é possível notar que o aditivo PSSNa reduziu o consumo de água e aumentou a resistência à compressão axial quando comparado com amostras de referência.

Faria et al. (2011) realizaram um estudo do aproveitamento de Poliestireno sulfonado à partir de copos plásticos para utilização em argamassas, neste trabalho foram ensaiados índice de consistência (IC) e resistência potencial de aderência à tração (Ra).

Neste estudo os autores puderam comprovar que o uso do PSS trabalha como fluidificante do sistema tornando mais homogênea a dispersão de suas partículas, aumentando portanto o índice de consistência e majorando sua resistência potencial de aderência à tração, os resultados obtidos neste estudo são apresentados como dados comparativos no capítulo de discussão dos resultados.



Nesta pesquisa foi estudado o uso do Poliestireno sulfonado a partir de copos descartados da marca Zanatta. O material foi produzido através da rota heterogênea, utilizando como agente sulfonante o ácido sulfúrico, e posteriormente utilizado como aditivo químico em argamassas. O processo de geração do aditivo químico é explicado no capítulo metodologia como parte do procedimento experimental.

## CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

---

### 3.1 Planejamento Experimental

Na composição do traço foi utilizado o cimento *Portland* de alta resistência inicial (CPV - ARI). Essa escolha teve como objetivo principal o uso de cimento puro sem adições.

O traço da argamassa utilizado foi 1:4 (em massa), ou 1:2,4 (em volume), foi utilizada a relação a/c de 0,84 para atingir um índice de consistência de 260 +/- 5 mm, indicado pela ABNT NBR 13.276: 2005 para uma argamassa com melhor trabalhabilidade.

Para a metodologia dos ensaios, foi adotada a estratégia experimental do tipo fatorial, no qual o universo amostral da pesquisa constituiu-se de 5 tratamentos, ou seja: 4 níveis de adição de poliestireno e uma argamassa de controle (sem aditivo), nas idades de 7 dias (resistência à compressão) e 28 dias (demais ensaios). Adotando-se procedimentos sistematizados para a descrição e especificação do estudo.

O programa experimental foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a influência da adição de PSS nas propriedades do estado fresco e endurecido de uma argamassa de cimento *Portland*.

As variáveis de respostas adotadas foram: índice de consistência, retenção de água, absorção de água, índice de vazios, módulo estático de elasticidade, resistência à compressão, resistência à tração na flexão e resistência potencial de aderência à tração.

Para diferenciação dos traços em cada corpo de prova, adotou-se as nomenclaturas: o traço 1 sem adição de poliestireno, foi denominado de AR por ser a argamassa de referência. Os demais traços que possuíam aditivo químico foram chamados de A (argamassa) possuindo como sufixo o teor de PSS utilizado no traço: traço 2 (A0,2) com adição de 0,2% de poliestireno, traço 3 (A0,6) com adição de 0,6% e assim sucessivamente até o traço 5 (A1,4) com 1,4% de aditivo.

Visando uma otimização no universo da pesquisa, o experimento foi desenvolvido adotando-se delineamento experimental inteiramente casualizado, para dispersar possíveis erros de processo em todo o universo amostral, uma vez que ensaiando aleatoriamente os corpos de prova, um possível erro do experimento pode ser distribuído igualmente

entre as amostras. Vale ressaltar que os corpos de prova de cada traço, foram obtidos de uma única massada.

Para se avaliar a influência da adição de poliestireno sulfonado nas propriedades da argamassa em estado fresco, determinaram-se índice de consistência e retenção de água. As propriedades analisadas no estado endurecido foram absorção de água, absorção de água por capilaridade, índices de vazios, massa específica, módulo de elasticidade, resistência potencial de aderência à tração, resistência à tração na flexão e resistência à compressão. Todas as propriedades foram analisadas aos 28 dias de idade com exceção da resistência à compressão que também foi analisada aos 07 dias de idade.

Para iniciar a fase laboratorial foi calculada a quantidade de corpos de prova necessários aos experimentos, por meio dos indicativos descritos nas normas técnicas de cada ensaio e posteriormente o quantitativo de argamassa em volume (cm<sup>3</sup>); demonstrados no quadro 2.

Quadro 2 - Ensaio realizados para obtenção dos dados.

Ensaio	ABNT NBR	Nome	Idade	Amostras
E1	13.276	Índice de consistência	fresco	-
E2	9.778	Absorção de água, índice de vazios e massa específica	7 dias	2
E3	13.277	Retenção de água	fresco	1
E4	9.779	Absorção de água por capilaridade	28 dias	3
E5	15.258	Resistência potencial de aderência à tração	28 dias	2
E6	13.279	Tração na Flexão	7   28	6
E7	8.522	Módulo de elasticidade	28 dias	3
		Resis. à compressão	7   28	4

## 3.2 Caracterização dos materiais

### 3.2.1 Cimento

Conforme afirmado anteriormente, o cimento utilizado na pesquisa foi o cimento *Portland* CPV-ARI da marca comumente utilizada e difundida na região de

Uberlândia/MG, fornecido em sacos de 50 Kg comprado em uma loja de materiais de construção.

Parte dos ensaios físicos-mecânicos foram realizados nos laboratórios da Faculdade de Engenharia Civil – FECIV da Universidade Federal de Uberlândia - UFU segundo normas correspondentes da ABNT e parte foram fornecidos pelo fabricante (ver quadro 3). A determinação do índice de finura do cimento foi realizada segundo a ABNT NBR NM 3432: 1991. Verificou-se portanto que os resultados encontrados são aceitos pelos limites das normas correspondentes.

A massa específica ( $\rho$ ) foi determinada através do ensaio com o frasco de *Le Chatelier* e líquido que não interferia na hidratação do cimento segundo a norma ABNT NBR 6474: 1984.

Quadro 3 - Composição química, propriedades física e mecânicas do cimento usado

Compostos (Fabricante)	Teor (%)	Ensaio	Resultados
SiO <sub>2</sub>	19,59	Finura # 200 (ensaio)	1,9%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,08	Índice de finura (ensaio)	4,16 %
CaO	63,80	Início de Pega (fabricante)	119 min.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,11	Fim de Pega (fabricante)	178 min.
MgO	0,78	Massa específica (ensaio)	2,98 Mg/cm <sup>3</sup>
SO <sub>3</sub>	2,84	Resistência à Compressão (fabricante)	1 dia 29,4 MPa
K <sub>2</sub> O	0,83		3 dias 41,6 MPa
CO <sub>2</sub>	1,49		7 dias 45,8 MPa
C <sub>3</sub> A teórico	7,84		28 dias 52,6 MPa

### 3.2.2 Agregado miúdo

Foi utilizado areia natural quartzosa proveniente de loja comercial da região, os ensaios de caracterização foram realizados no laboratório da FECIV da UFU.

A massa unitária no estado solto foi determinada segundo a ABNT NBR 7251: 1982. O teor materiais pulverulentos foi determinado segundo a ABNT NBR 7219: 1987. O ensaio para aferir o teor de impurezas orgânicas foi realizado segundo a ABNT NBR NM 49: 2001, já o ensaio de determinação da massa específica foi realizado segundo a ABNT NBR NM 53: 2002,

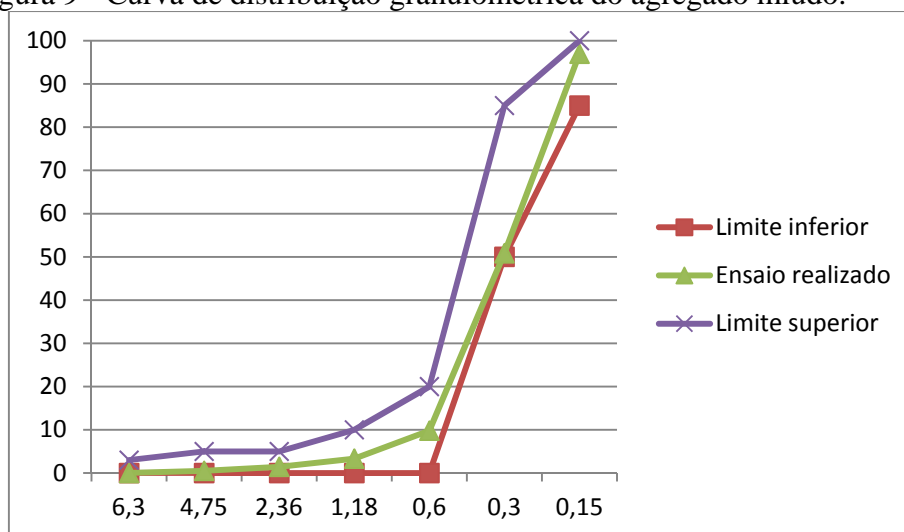
O ensaio de determinação da composição granulométrica foi realizado segundo a norma ABNT NBR NM 248: 2003, os resultados da análise granulométrica do agregado miúdo são apresentados juntamente com a caracterização física no quadro 4.

Quadro 4 - Distribuição granulométrica e caracterização física da areia

Abertura	Massa retida (g)	(%) retida	(%) retida acumulada
4,75 mm	2,5	2,50	0,51
2,36 mm	4,6	4,60	1,45
1,18 mm	9,2	9,20	3,33
600 $\mu\text{m}$	31,7	31,70	9,81
300 $\mu\text{m}$	200,9	200,90	50,85
150 $\mu\text{m}$	225,8	225,80	96,98
Fundo	14,8	14,80	100,00
<b>Dimensão máx. característica</b>			1,18
<b>Módulo de Finura</b>			1,63
<b>Massa Específica</b>			2,66 g/cm <sup>3</sup>
<b>Massa Unitária</b>			1,55 Kg/dm <sup>3</sup>
<b>Teor de Materiais Pulverulentos</b>			0,48%
<b>Teor de Impurezas Orgânicas:</b>			<300 PPM

Com os resultados adquiridos das porcentagens retidas nas peneiras foi possível determinar o módulo de finura da areia = 1,63 e a dimensão máxima de 1,18, caracterizando a areia como muito fina. A curva de distribuição granulométrica do agregado miúdo é apresentada na figura 9, juntamente com os limites granulométricos.

Figura 9 - Curva de distribuição granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: Autor (2012).

### 3.2.3 Poliestireno sulfonado

Conforme afirmado anteriormente, o Poliestireno sulfonado, utilizado nesta pesquisa foi produzido a partir de copos descartados da marca Zanatta. O material foi produzido através da rota heterogênea (processo químico), utilizando como agente sulfonante o Ácido Sulfúrico. Em relação à solução de PSS utilizada, em cada 100 ml de solução de PSS existia 17 g (massa sólida, precipitada e desidratada) de poliestireno sulfonado à partir dos copos descartados indicando que a solução de PSS apresenta uma concentração de 17%.

### 3.2.4 Água de amassamento

Utilizou-se água potável proveniente da rede municipal de abastecimento de água da cidade de Uberlândia. Para uma correta determinação da quantidade de água a ser utilizada nos traços desta pesquisa, foi realizado um estudo para adquirir um índice de consistência de 260 +/- 5 mm, segundo a ABNT NBR 13.276: 2005. Logo após o ensaio do índice de consistência, para um alastramento de 259 mm, foram utilizados 420 ml de água resultando em uma relação a/c de 0,84.

Após a caracterização dos materiais utilizados na pesquisa, fez-se a previsão de quantitativo de materiais que seriam utilizados por traço de argamassa. Esta previsão foi possível depois de ajustar o traço resultando portanto nas quantidades descritas no quadro 5. Vale salientar que não foi descontado a quantidade de água utilizada no processo de produção do PSS na quantidade de água adicionada na argamassa. Isto porque a água da solução do aditivo químico produzido é utilizada para a dispersão do polímero, portanto, faz parte do aditivo.

Optou-se, também neste estudo, em manter fixa a relação água a/c e verificar apenas a influência do aditivo nas propriedades da argamassa.

Quadro 5 - Quantitativo de materiais utilizados por traço.

Traço	Cimento (g)	Areia (g)	Fator a/c	Água (ml)	PSS (ml)	PSS/c
AR	2850,9	11403,7	0,84	2394,8	-	0,0
A0,2	2850,9	11403,7	0,84	2394,8	33,5	0,2%
A0,6	2850,9	11403,7	0,84	2394,8	100,6	0,6%
A1,0	2850,9	11403,7	0,84	2394,8	167,7	1,0%
A1,4	2850,9	11403,7	0,84	2394,8	234,8	1,4%
<b>Total</b>	<b>14254,7</b>	<b>57018,7</b>	<b>-</b>	<b>11974</b>	<b>536,6</b>	<b>-</b>

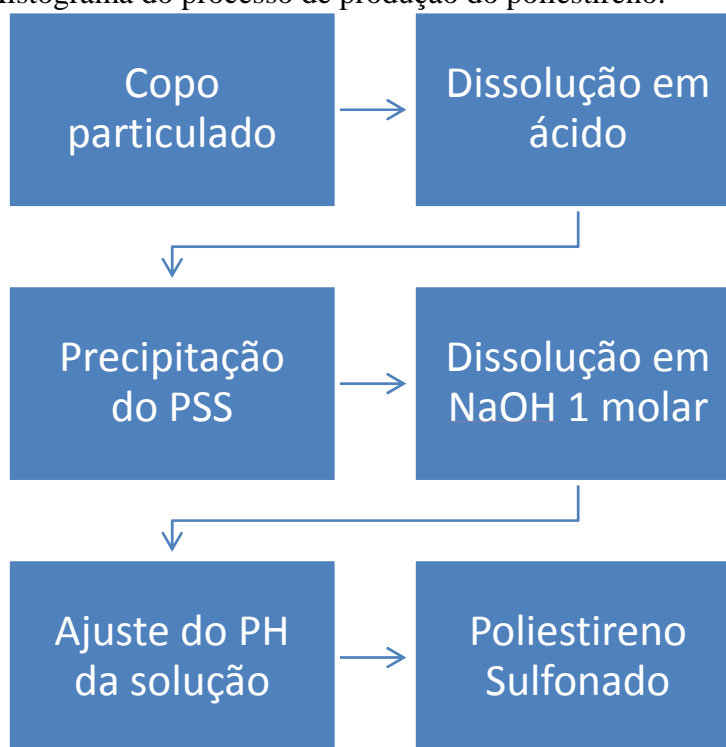
### 3.3 Procedimento experimental

#### 3.3.1 Poliestireno sulfonado

A solução de poliestireno saturado foi produzida por meio de processo químico, oriundo de copos plásticos descartados da marca Zanatta. Este processo foi realizado no laboratório do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia, todo o processo foi acompanhado e auxiliado pelo autor, com o intuito de compreender o método do processo necessário para a obtenção do poliestireno sulfonado como aditivo químico.

Para que fosse garantido uma uniformidade do material utilizado, foi escolhido uma marca única a ser utilizada nos ensaios, visto que existem vários fabricantes de copos de poliestireno. O histograma de produção do poliestireno é demonstrado na figura 10.

Figura 10 - Histograma do processo de produção do poliestireno.



Fonte: Autor (2012).

No processo de produção do PSS, primeiramente é preciso recortar com o auxílio de uma tesoura os copos plásticos de poliestireno; as partículas após esta etapa devem apresentar dimensões aproximadas de 10 x 5 mm. São excluídas deste processo as áreas dos copos que possuem maior concentração de material (Borda e fundo). Ao final do

procedimento é preciso possuir uma massa de no mínimo 10 g de copos particulados, para conseguir 17 g de precipitado de PSS e posteriormente 100 ml de solução química de Poliestireno Sulfonado. Nesta etapa são necessários aproximadamente 6,5 copos de plásticos de 200 ml ou pouco mais de 3 copos plásticos de 400 ml para adquirir uma massa de 10 g de copos particulado (após o processo de corte), como demonstra a figura 11.

Figura 11 - Copos plásticos após o processo de corte.



Fonte: Autor (2012).

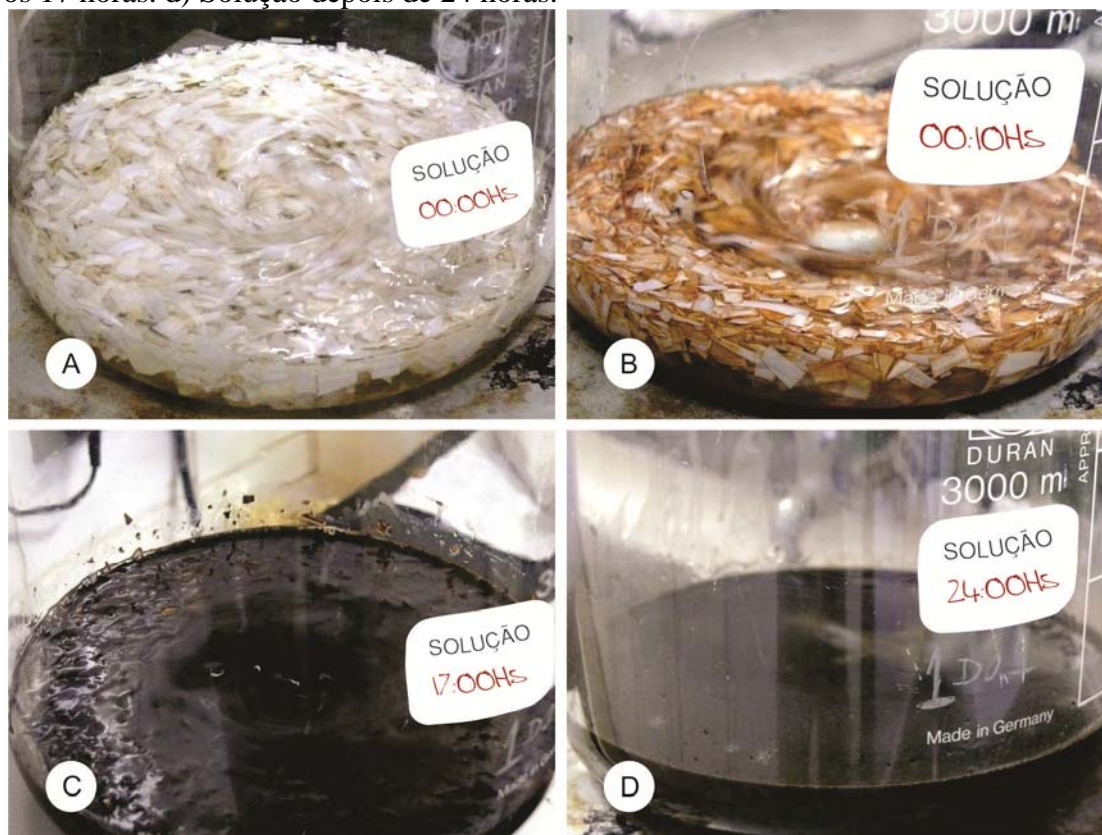
Após este processo, adicionou-se aos copos particulados, ácido sulfúrico como agente sulfonante e um catalisador para acelerar a reação química, pois, sem o uso deste agente químico o processo de sulfonação que tem um tempo de 24 horas, demoraria 72 horas.

Primeiramente o agente sulfonante foi colocado em um recipiente, para depois ser adicionado o catalisador que foi dissolvido pelo ácido sulfúrico com o auxílio do agitador magnético.

Depois que o catalisador foi dissolvido foram adicionados os copos plásticos já particulados (figura 12a), e teve então o início do processo de produção de Poliestireno Sulfonado. Imediatamente neste momento, a solução que antes era incolor começa a ter uma coloração marrom amarelado (figura 12b), e foi escurecendo à medida que foram dissolvidas as partículas dos copos plásticos como pode ser observado na figura 12c e 12d.



Figura 12 - a) Solução inicial à 0 horas. b) Solução após 10 minutos. C) Solução após 17 horas. d) Solução depois de 24 horas.



Fonte: Autor (2012).

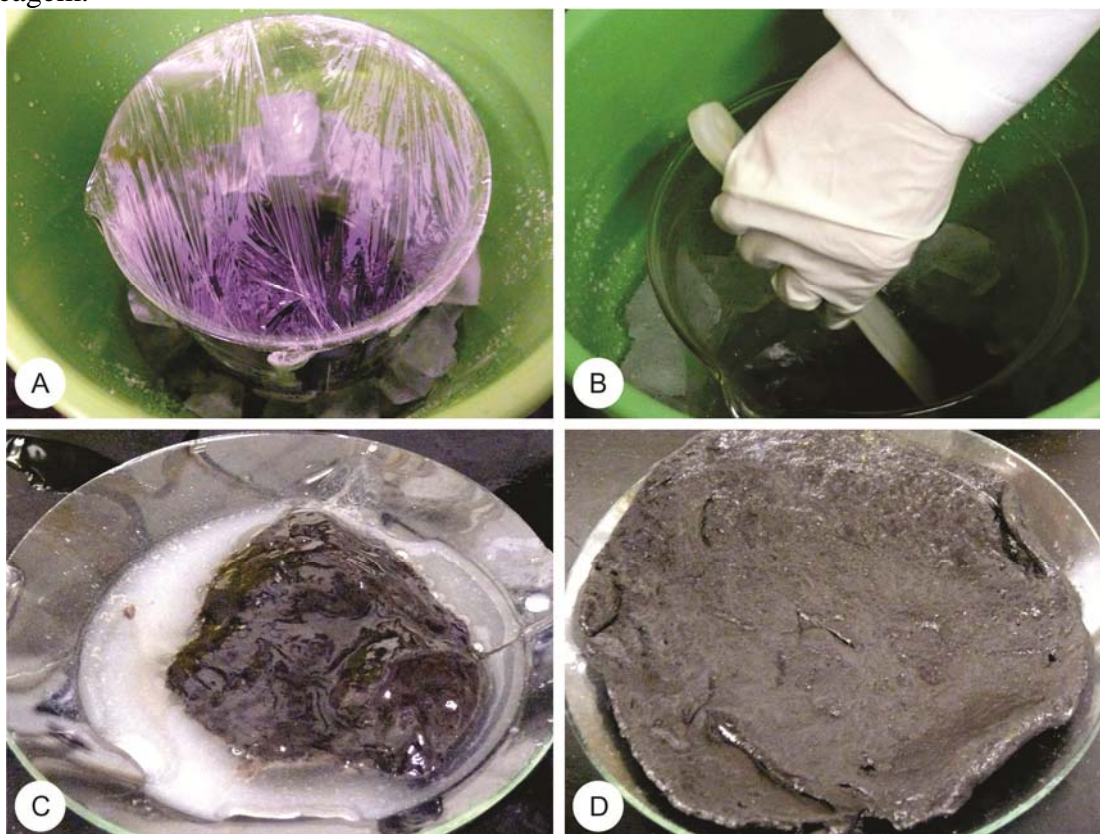
Na etapa seguinte, foi necessário precipitar apenas a massa de PSS que foi dissolvida em ácido sulfúrico. Para que isso ocorra, é preciso despejar água destilada gelada na solução, tomando o cuidado de colocar o recipiente da solução dentro de um outro recipiente, com dimensões maiores. Foi colocado neste uma quantidade de gelo e sobre o gelo foi preciso acrescentar sal com o intuito de abaixar ainda mais a temperatura dos cubos de gelo (figura 13a).

O uso do gelo com o sal justifica-se porque a reação química entre a solução de PSS e a água destilada é exotérmica liberando uma grande quantidade de calor, este processo teve a finalidade, portanto de baixar consideravelmente a temperatura do sistema, lembrando ainda que a água adicionada é gelada pelo mesmo motivo.

Depois que a água destilada foi adicionada, a massa de PSS precipita-se da solução e pode ser recolhida com o auxílio de uma espátula (figura 13b). O PSS é então separado e deve ser comprimido pela espátula, para expulsar o excesso de ácido que encontra-se dentro da massa de poliestireno sulfonado, o PSS precipitado com excesso de ácido é

demonstrado na figura 13c e a massa de PSS após secagem é demonstrada na figura 13d. Observa que nesta etapa, existe um material residual da mistura de ácido sulfúrico com água destilada, resíduo este que não é estudado nesta pesquisa.

Figura 13 - a) Solução sobre recipiente com gelo e sal. b) Recolhimento do PSS precipitado. c) Precipitado de PSS ainda com resíduo de ácido. d) Precipitado de PSS após secagem.



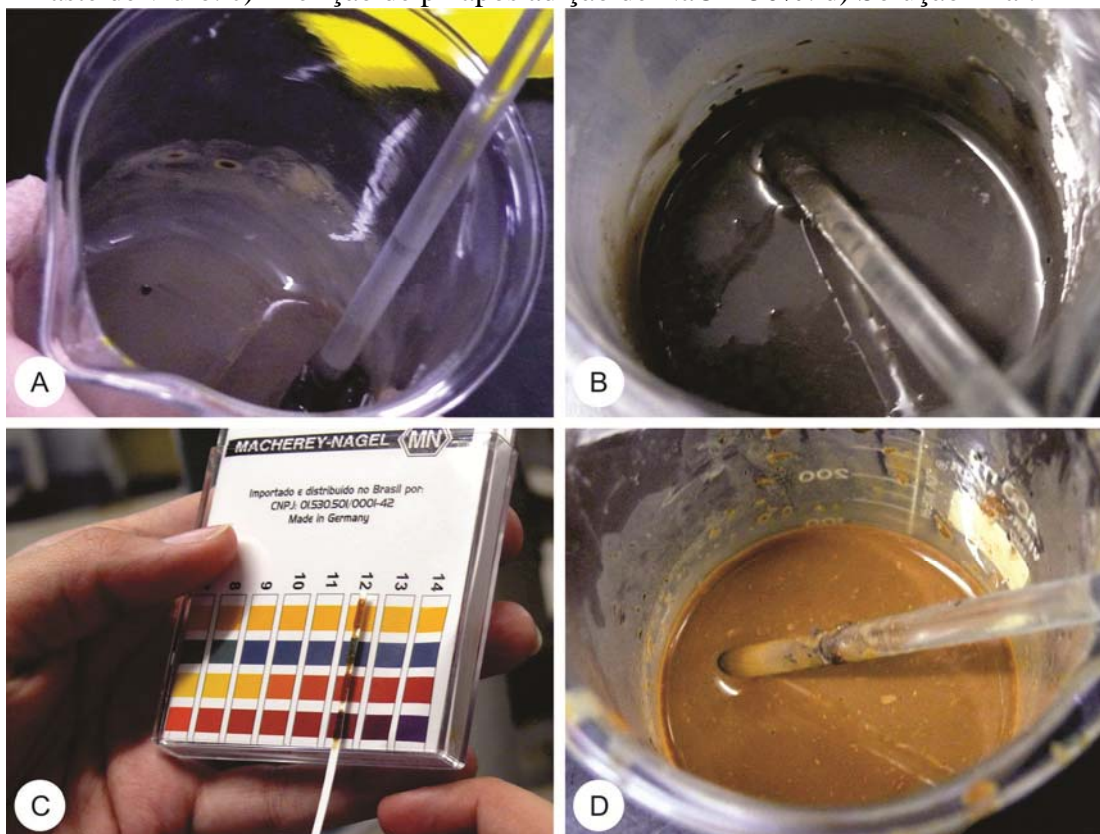
Fonte: Autor (2012).

Por último, esta massa de 17 g é colocada em um recipiente cilíndrico para ser dissolvida junto à uma solução de NaOH 1 mol (aproximadamente 40 ml), demonstrado na figura 14a. A solução foi preparada em um balão volumétrico onde foi colocado um mol de NaOH e o restante de água. A solução de poliestireno sulfonado tem uma concentração de 17%.

Quando a solução de NaOH 1 molar é adicionada à massa de PSS a coloração deste sistema torna-se mais clara, indicando que o meio encontra-se básico, ou seja, com  $\text{pH} > 7$  e após misturar-se vai tornando-se escura (figura 14b), indicando um meio ácido ( $\text{pH} < 7$ ). Para que a solução de PSS seja utilizada, é preciso torná-la básica, portanto, neste momento é adicionado uma solução de NaOH 50% (aproximadamente 20 ml), esta reação

também é exotérmica e deve ser aferida com o medidor de acidez, cujo processo é demonstrado na figura 14c e 14d.

Figura 14 - a) Solução após adição de NaOH 1 molar . b) Solução após agitação com haste de vidro. c) Aferição de ph após adição de NaOH 50%. d) Solução final.



Fonte: Autor (2012).

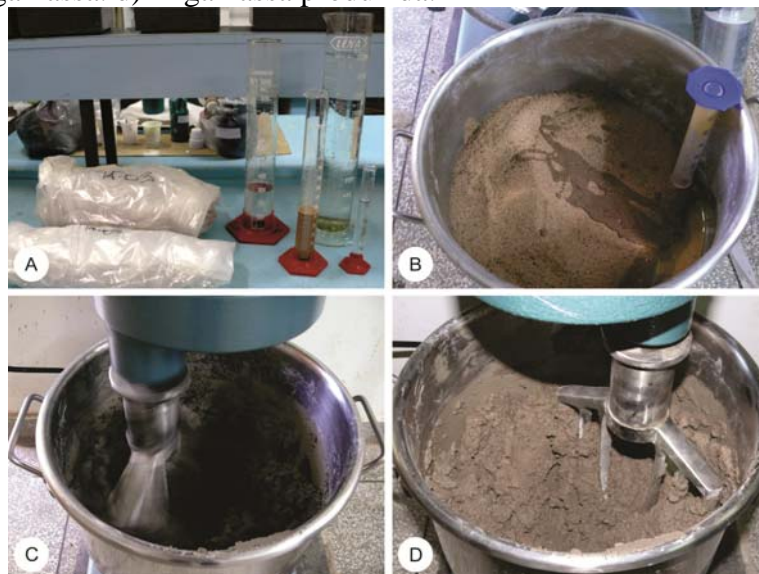
A massa inicial então passa a ser uma solução de Poliestireno Sulfonado, que ainda deve passar por um coador, para reter as partículas sólidas, deixando apenas a solução passível de ser utilizada. Este processo é realizado para facilitar a dispersão das partículas de PSS que são adicionadas nos traços de argamassa estudados nesta pesquisa.

### 3.3.2 Preparo das argamassas

Foram produzidas cinco argamassas variando apenas o teor de aditivo, cuja variação justifica-se visando estudar a influência deste aditivo nas propriedades nos estados fresco e endurecido das argamassas. Os materiais que foram utilizados na confecção dos traços, foram previamente pesados e separados em recipientes. Ressalta-se que o preparo da mistura foi realizado segundo a norma ABNT NBR 13276: 2005.



Figura 15 - a) Materiais separados. b) Adição do PSS à mistura. c) Início da produção da argamassa. d) Argamassa produzida.



Fonte: Autor, (2012).

### 3.3.3 Ensaio das argamassas no estado fresco

#### 3.3.3.1 Índice de consistência

Com a argamassa ainda em estado fresco, o primeiro ensaio realizado foi o índice de consistência segundo a ABNT NBR 13276: 2005, o índice de consistência, foi quantificado através da média das três determinações.

Figura 16 - a) Preenchimento do cone metálico. b) Argamassa após a retirada do cone metálico. c) Argamassa após 30 quedas. d) Aferição do alastramento.



Fonte: Autor (2012).

### 3.3.3.2 Retenção de água

O ensaio de determinação da retenção de água foi realizado segundo a ABNT NBR 13277: 2005.

Figura 17 - a) Equipamento utilizado no ensaio. b) Argamassa no início do ensaio. c) Argamassa no final do ensaio.



Fonte: Autor (2012)..

### 3.3.4 Ensaio das argamassas no estado endurecido

#### 3.3.4.1 Moldagem e cura dos corpos de prova

Para conferir as propriedades no estado endurecido das argamassas, foi necessário moldar corpos de prova cilíndricos (5 x 10 cm), prismáticos (com as dimensões de 4 x 4 x 16 cm, para resistência à tração na flexão) ou aplicar as argamassas sobre substrato padrão, para ensaio de resistência potencial de aderência à tração.

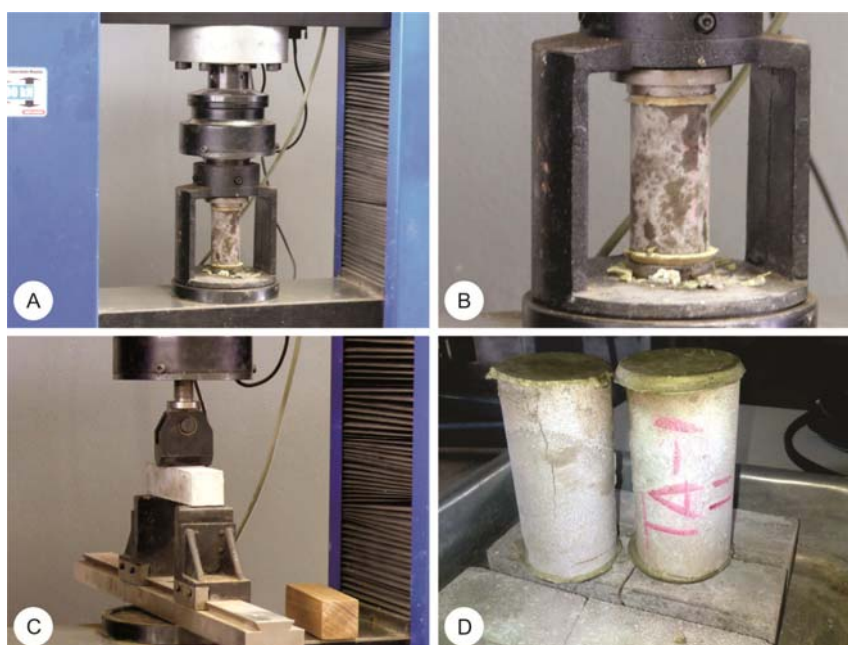
Os corpos de prova cilíndricos foram preenchidos em três camadas de volumes iguais, adensadas com soquete e rasadas com uma régua. Os corpos de prova prismáticos, foram preenchidos em duas camadas e adensados por meio da mesa de adensamento, aplicando em cada camada trinta quedas da mesa.

Com exceção aos corpos de prova dos ensaios de resistência à tração na flexão e resistência potencial de aderência à tração (ambos com cura seca ao ar), todos os corpos de prova tiveram cura úmida em tanque de imersão.

### 3.3.4.2 Determinação da resistência à compressão e à tração na flexão

Aos 7 e 28 dias de idade foram utilizados dois corpos de prova cilíndricos (dois para cada idade) para o ensaio de ruptura por compressão realizado conforme prescrito na norma ABNT NBR 7215: 1996. Os corpos de prova foram previamente capeados com enxofre. Os ensaios foram realizados na Máquina Universal de Ensaio, marca EMIC, modelo DL 60.000 como demonstrado nas figuras 18a, 18b, 18c e 18d.

Figura 18 - a) Equipamento utilizado no ensaio de módulo de elasticidade. b) Posicionamento do corpo de prova no ensaio de módulo de elasticidade. c) Posicionamento do corpo de prova no ensaio tração na flexão.



Fonte: Autor (2012).

Na idade de 28 dias foram ensaiados seis corpos de prova prismáticos para determinação da resistência à tração na flexão segundo a ABNT NBR 13279: 2005. No ensaio de tração na flexão foi utilizado a máquina de marca *Instron* modelo 5982 e célula de carga de 5 KN (figura 19b), indicada para ensaios de argamassa como demonstrado na figura 19a.

Figura 19 - a) Equipamento utilizado para ensaio de tração na flexão. b) Posicionamento do corpo de prova.



Fonte: Autor (2012).

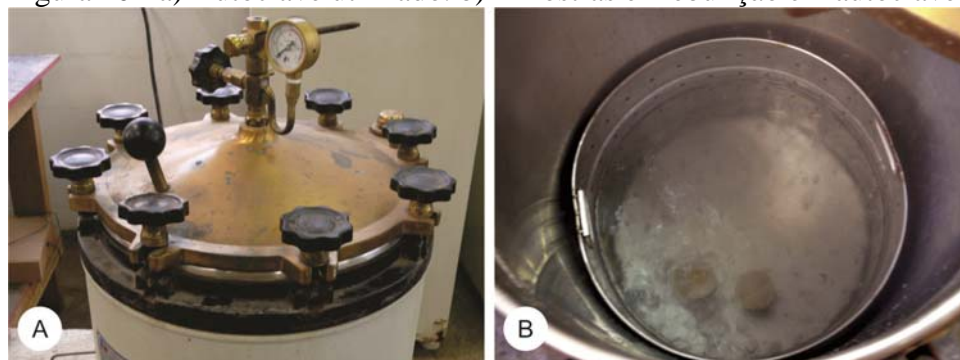
### 3.3.4.3 Determinação do módulo de elasticidade

A determinação do módulo estático de elasticidade à compressão foi aferido através da Máquina Universal de Ensaio, marca EMIC, modelo DL 60.000, na idade de 28 dias, com três corpos de prova cilíndricos. O ensaio foi realizado segundo a ABNT NBR 8522: 2008. Neste ensaio, previamente foi preciso determinar a média de resistência à compressão dos corpos de prova.

### 3.3.4.4 Absorção de água, índice de vazios e massa específica

As características de absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica, foram determinadas por meio de dois corpos de prova cilíndricos segundo a norma ABNT NBR 9778: 2005.

Figura 20 - a) Autoclave utilizado. b) Amostras em ebulição em autoclave.



Fonte: Autor (2012).



Para determinação da absorção de água por capilaridade foram ensaiados três corpos de provas aos 28 dias de idade de acordo com a norma ABNT NBR 9779: 1995.

### 3.3.4.5 Resistência potencial de aderência à tração

Este ensaio foi realizado por meio de um substrato padrão para que as argamassas fossem aplicadas em um único substrato buscando minimizar as possíveis variantes do ensaio. A depender do tipo de substrato utilizado, é possível encontrar diferentes resultados de resistência à tração, isso acontece porque os substratos, devido às suas respectivas porosidades, possuem maior ou menor interação com a argamassa.

O processo de moldagem do substrato padrão foi realizado segundo a ABNT NBR 14082: 2005 podendo ser observado na figura 21a, por meio do qual é feito um molde de madeira para ser preenchido com um concreto armado por uma tela.

Figura 21 - a) Produção do substrato padrão para ensaio de arrancamento. b) Posicionamento do molde para aplicação da argamassa. c) Traços de argamassa aplicados. d) Argamassas curadas.



Fonte: Autor (2012).

Após a cura do substrato segundo a ABNT NBR 14082: 2005, os traços de argamassa ensaiados foram aplicados na superfície previamente limpa. A aplicação contou com o auxílio de um gabarito de madeira para padronizar a quantidade de argamassa aplicada (figura 21b). Buscou-se aplicar os traços de argamassa com a mesma intensidade

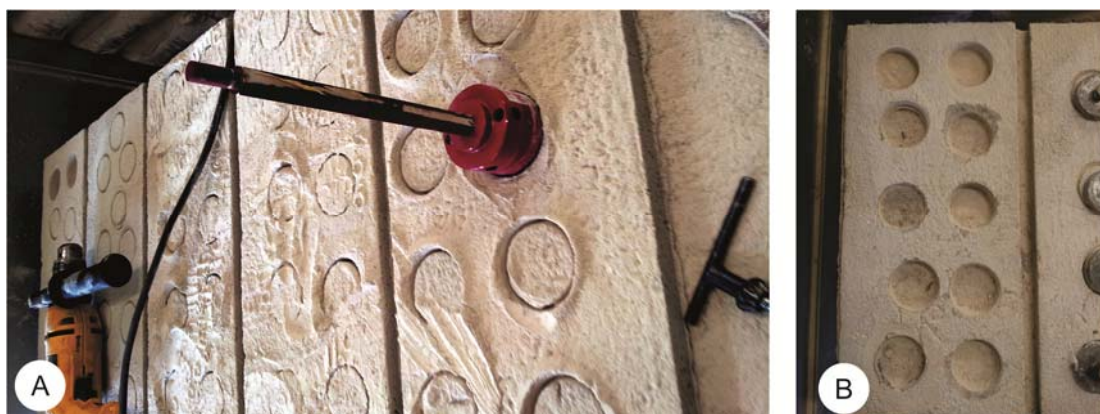


atirando-a de uma altura de aproximadamente 20 centímetros, respeitando as dimensões mínimas entre as amostras (figuras 21c e 21d) para alocação da máquina de ensaio.

Uma ressalva que deve ser feita sobre este ensaio é que o traço A0,2 foi perdido durante o mesmo, em virtude de que, provavelmente a argamassa teve descolamento (em sua totalidade) do substrato, indicando que provavelmente, por descuido, algo pode ter tocado a mesma, durante o tempo de cura. Logo, esta é a única análise que não aparece nos resultados deste traço por conta da escassez de tempo para confecção e ensaio do traço aditivado.

A resistência potencial de aderência à tração foi realizada segundo a ABNT NBR 15258: 2005. Na figura 22a pode-se observar a perfuração das argamassas já devidamente aplicadas e curadas sobre o substrato padrão, a figura 22b demonstra a disposição das amostras a serem ensaiadas em cada argamassa.

Figura 22 - a) Preparação dos corpos de prova para ensaio de arrancamento em substrato padrão. b) Argamassa após ensaio.



Fonte: Autor (2012).

Primeiramente foi necessário realizar a perfuração da argamassa aplicada no substrato padrão com o auxílio de uma furadeira profissional, essa perfuração foi circular, visto que, os corpos de prova são círculos de 5 cm de diâmetro. Após este processo foi realizado a limpeza do substrato com o auxílio de um pincel, e posteriormente foram coladas as pastilhas metálicas que foram acopladas no equipamento que realizou o ensaio de arrancamento.

A colagem das pastilhas metálicas foi feita por meio de composição resina - epóxi, com o cuidado de não deixar que escorra para o substrato, visto que poderia atrapalhar na aferição da resistência. Depois de 24h em repouso após a colagem, o equipamento

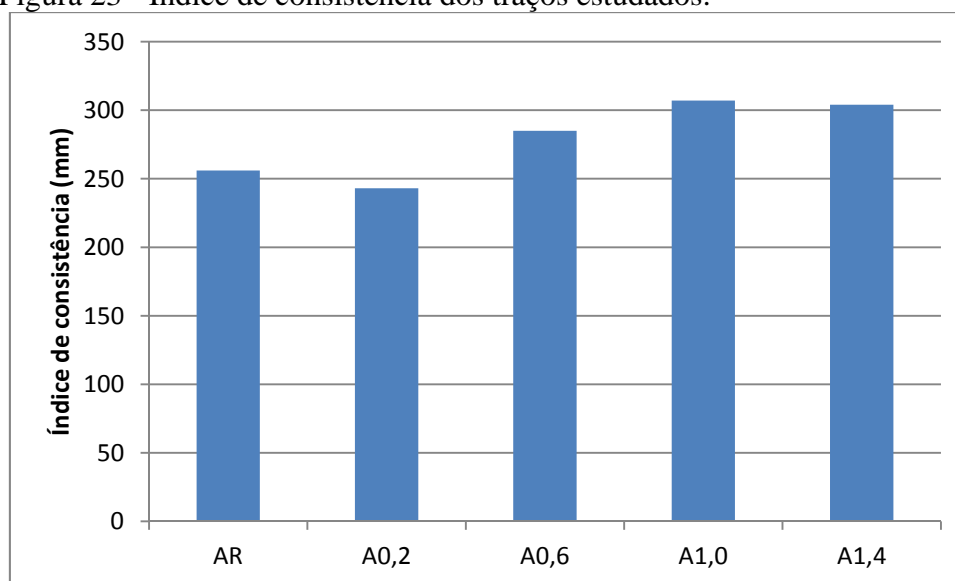
aderímetro para arrancamento e medição da aderência em argamassas, marca Pavitest, modelo digital foi instalado no substrato para então submeter a pastilha a uma força crescente de arrancamento, levando o corpo de prova à ruptura.

## CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados são apresentados na forma de gráficos de barras (média dos valores obtidos), nos quais no eixo das abscissas estão os traços de argamassa AR (traço de referência sem aditivo) à A1,4 (adição de 1,4% de PSS); e no eixo das coordenadas estão as características determinadas de forma crescente. Nos gráficos estão apresentados ainda os desvios padrão dos resultados. Os resultados individuais de cada ensaio são apresentados na seção de apêndices.

### 4.1 Índice de consistência

Figura 23 - Índice de consistência dos traços estudados.



Fonte: Autor (2012).

A argamassa de controle com uma relação a/c de 0,84 apresentou um índice de consistência ( $I_c$ ) médio de 256 mm, os traços de A0,2 à A1,4 apresentaram  $I_c$  médios de (243, 285, 307 e 304) mm respectivamente, nota-se que existe um aumento nos resultados em virtude da maior quantidade de aditivo de PSS, os resultados médios de três determinações para cada traço são apresentados na figura 23.

Este aumento no índice de consistência ocorre por conta de que o aditivo de poliestireno sulfonado tem efeito fluidificante do sistema como relatado por Silva, Roman e Gleize (1999); Silva et al., (2009) e Faria et al., (2011). O aumento ocorrido na plasticidade aconteceu devido à melhora na mistura dos componentes da argamassa e melhora na lubrificação do sistema como observado por Faria et. al (2011).

Observou-se que a argamassa com adição de PSS demonstra um aspecto mais fluído e coeso. Vale ressaltar que a relação a/c não foi alterada, e levando em consideração que o aditivo químico é uma solução, o aumento do Ic entre os traços era um resultado que havia sido previsto.

Em relação à argamassa de controle (AR), o traço A0,2 apresentou uma diminuição do IC médio de 5,07%; (o que não é um decréscimo significativo) e pode ser explicado pela possível interferência da umidade que pode ter afetado o ensaio em ambos os casos, visto que foram realizados em dias diferentes. Entretanto, observando os resultados seguintes, em que o A0,6 e A1,0 apresentaram aumento de 11,32% e 19,92% em relação ao Ic da argamassa de controle indicando, portanto, um incremento em relação ao Ic do traço AR. Nota-se ainda que o resultado médio da amostra A1,4 em relação ao A1,0 obteve uma ligeira queda no resultado, entretanto em relação à argamassa de controle nota-se um aumento de 18,75%.

A título de comparação, Faria et al., (2011) realizaram um estudo em que o traço utilizado na argamassa de controle foi de 1:3,93:0,7 em massa, com 6,4% de PSS em relação à massa de cimento e a quantidade de água utilizada na produção do PSS, não foi descontada na quantidade de água utilizada nos traços de argamassa.

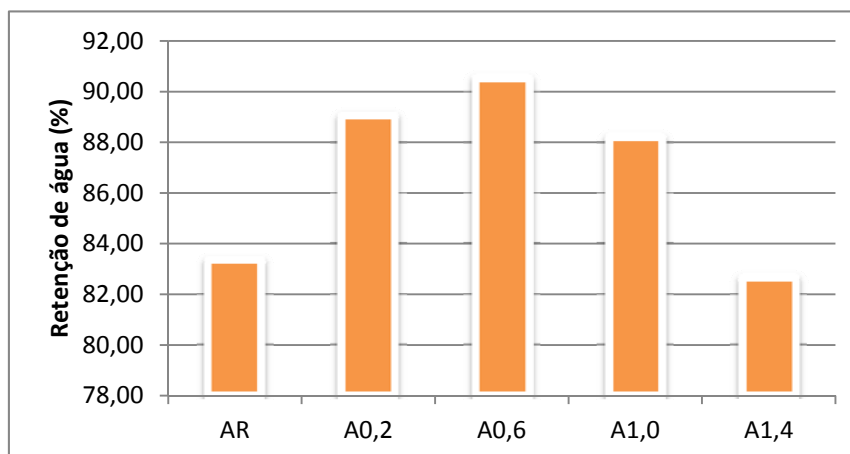
Os valores encontrados para o índice de consistência da argamassa de referência e para a modificada com PSS foram respectivamente 160,22 e 298,15mm, representando um aumento de 86,08% no índice de consistência da argamassa modificada com PSS em relação à referência. Com isso o aumento de 86,08% encontrado por Faria et al., (2011) é bastante elevado quando comparado aos encontrados nos traços desta pesquisa.

Esta diferença é explicada principalmente pelo alto teor de aditivo utilizado para compor o traço (6,4%) de PSS no estudo de Faria et al., (2011), já no caso da presente pesquisa, foi utilizado o valor máximo de 1,4% de PSS, nota-se que mesmo com a variação de dados entre as pesquisas, o uso de poliestireno indica um aumento no índice de

consistência, apresentando uma argamassa mais fluida e coesa quando comparadas com as respectivas referências.

## 4.2 Retenção de água

Figura 24 - Valores da retenção de água das argamassas estudadas.



Fonte: Autor (2012).

Pode-se observar neste estudo que as adições de 0,2% e 0,6% de aditivo polimérico resultaram no aumento da retenção de água em relação à argamassa de controle, indicando uma faixa ótima de adição do material. A partir de 0,6%, os valores decrescem indicando que a adição passou do ponto de saturação do material como demonstrado na figura 24.

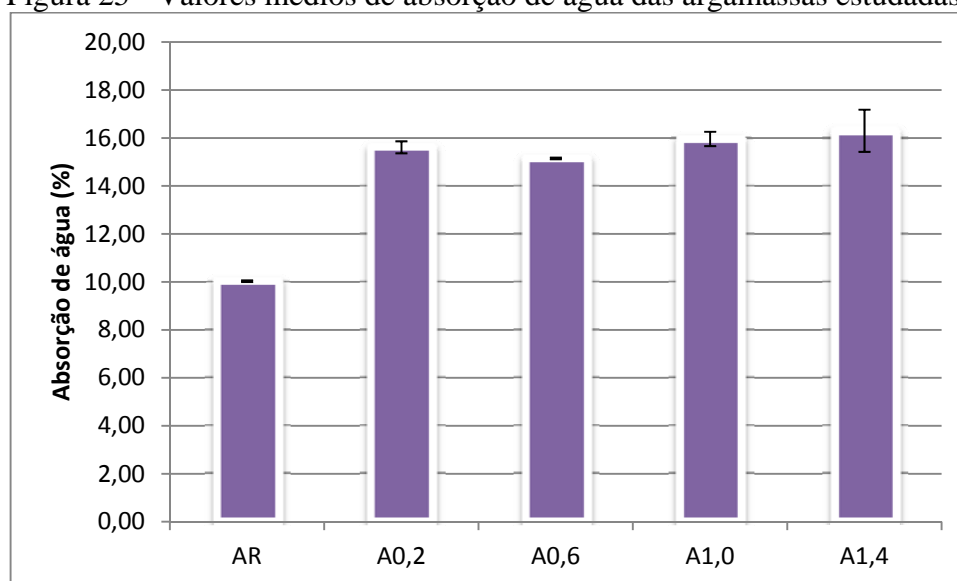
É possível notar que o traço da argamassa de controle apresentou uma retenção de água de 83,35%, e que o ponto ótimo de aditivo para este ensaio (A0,6) apresentou uma retenção de 90,55%; a variação entre os dois valores foi de 8,63%. É preciso ressaltar que com exceção do traço A1,4, todas as quantidades de aditivos ensaiadas apresentaram um aumento na retenção de água em relação à argamassa de controle.

O aumento da retenção de água através da incorporação de adição polimérica em argamassas era uma ação esperada como afirmado por Silva, Roman e Silva (1999, pág. 2) "as pequenas quantidades de polímeros adicionadas às argamassas [...] aumentam a capacidade de retenção de água, devido à uma formação de uma película muito fina e impermeável de polímeros". Neste sentido, os autores relatam ainda que as bolhas de ar incorporadas durante a mistura juntamente com as partículas de polímero, atuam promovendo um deslizamento entre as demais partículas da argamassa.

É importante ressaltar que até a adição de 0,6% de PSS à medida em que se aumenta a consistência da argamassa, aumenta-se também a retenção de água da mesma. Entretanto, após este teor de aditivo aumenta-se a plasticidade da argamassa enquanto a retenção de água diminui indicando que existe água livre no compósito.

### 4.3 Absorção de água

Figura 25 - Valores médios de absorção de água das argamassas estudadas.



Fonte: Autor (2012).

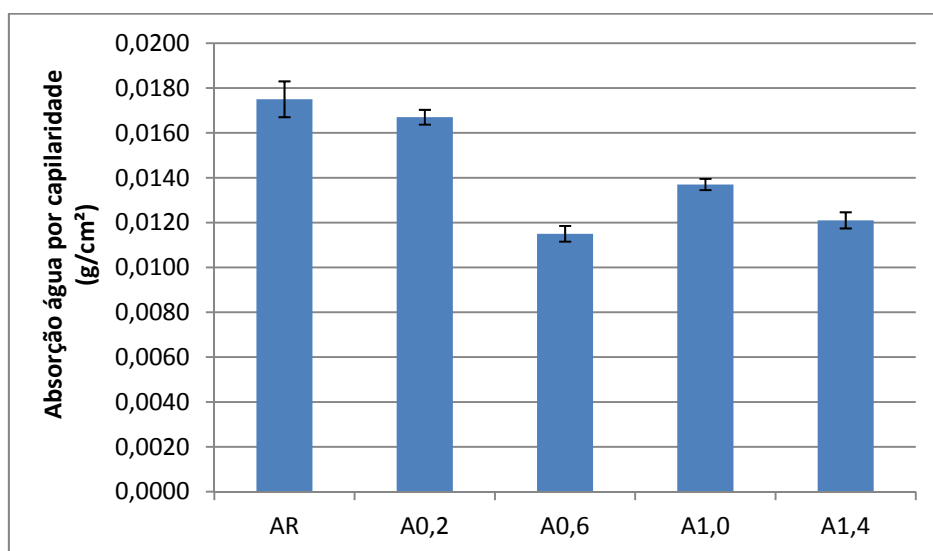
A absorção de água apresentou resultados médios com valores similares nos traços A0,2 à A1,4 (figura 25); todos os traços aumentaram em relação à argamassa de controle. Os resultados obtidos dos traços AR à A1,4 foram respectivamente, 10,03, 15,61, 15,15, 15,96 e 16,30%. Nos valores que são apresentados na figura 25, observa-se que em relação à argamassa de controle, os traços A0,2 à A1,0 obtiveram um aumento médio de 55,26%. O traço A1,4 por sua vez obteve um aumento de 62,51% em relação ao resultado do AR.

A absorção de água é uma propriedade que está diretamente relacionada a quantidade de poros que existe na argamassa, portanto quanto mais poroso for o material, é possível que seja também maior a absorção de água. Levando em consideração que água de amassamento durante a cura do corpo de prova tende a evaporar ocasionando vazios e analisando também que no caso desta pesquisa a relação a/c não foi modificada nos traços.

Pode-se perceber que a adição de PSS aumentou a absorção de água, o que pode indicar que a quantidade de vazios na argamassa pode ter aumentado, majorando seus resultados.

#### 4.4 Absorção de água por capilaridade

Figura 26 - Valores médios da absorção de água por capilaridade das argamassas estudadas.



Fonte: Autor (2012).

A permeabilidade é uma das propriedades que está diretamente ligada à absorção de água por capilaridade, visto que esta absorção é influenciada pela quantidade de poros com profundidade existentes, podendo ainda ocorrer a comunicação entre estes poros na pasta, facilitando desta forma a permeabilidade do meio.

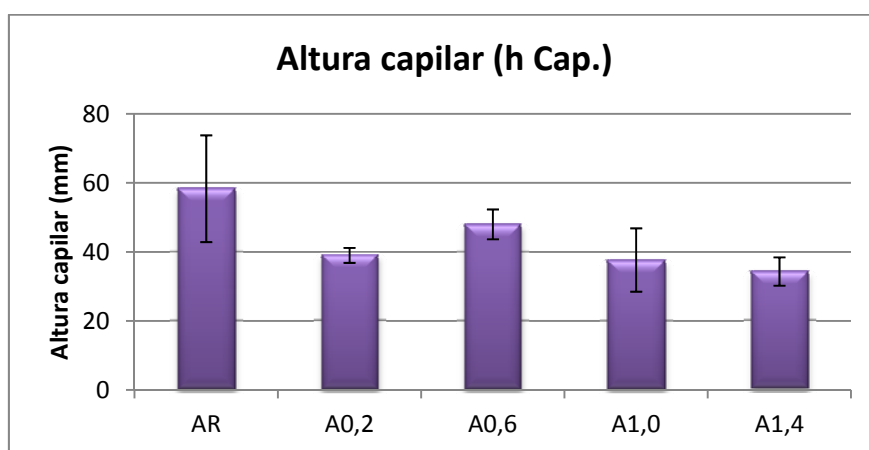
Neste contexto, os ensaios demonstraram (ver figura 26) que o uso do PSS em todas as quantidades diminuíram a absorção de água por capilaridade; nota-se que o aditivo como já demonstrado aumentou a absorção de água, o que pode indicar um possível aumento na quantidade de poros na pasta. Entretanto, os poros que foram aumentados, possivelmente são fechados e possuem estrutura mais refinada com poros menores, visto que, o aumento do uso do PSS na argamassa indica uma diminuição na absorção de água por capilaridade; assemelhando-se ao processo de incorporação de ar por aditivo, onde existe o aumento no número de poros, contudo, estes indicam não ser intercomunicáveis,

visto que a figura 27 demonstra que o uso de PSS possui uma tendência à diminuição da altura capilar.

Observa-se que a argamassa de controle, apresentou uma absorção de 0,0175 g/cm<sup>2</sup> e os traços de A0,2 à A1,4 apresentaram respectivamente 0,0167, 0,0115, 0,0137 e 0,0121 g/cm<sup>2</sup>. A maior variação aconteceu para a adição de 0,6% de PSS (A0,6) que apresentou uma diminuição da absorção em relação ao traço AR de 33,90%. A menor variação em relação à argamassa de controle aconteceu no traço A0,2 (4,02%).

Na figura 28 pode-se observar uma diminuição da altura capilar à medida em que se aumentou a quantidade de poliestireno sulfonado. A altura média para a argamassa de controle foi de 58,33 mm e as alturas dos traços de A0,2 à A1,4 foram 39; 48; 37,67 e 34,33 mm respectivamente.

Figura 27 - Alturas capilares médias encontradas na absorção de água por capilaridade.



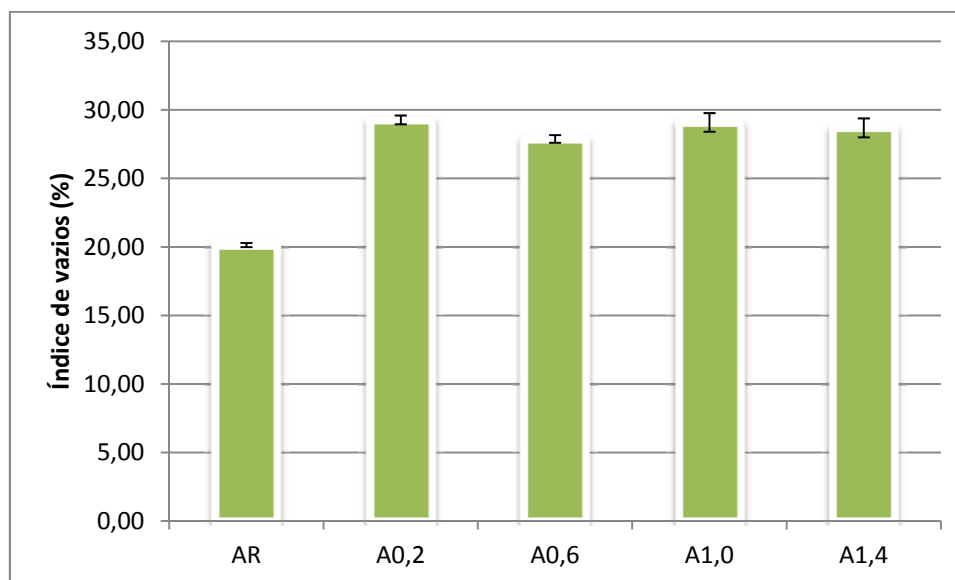
Fonte: Autor (2012).

O traço A1,4 apresentou a maior diminuição em relação ao traço AR (41,14%), e a menor variação em relação à referência foi apresentada pelo A0,6 (17,70%). Observa-se que mesmo que toda adição de PSS não apresente, necessariamente, um valor de altura capilar menor do que a adição anterior, como no caso da A0,2; todas as porcentagens adicionadas apresentaram valores inferiores à referência. Isto acontece possivelmente pela formação do filme polimérico que pode minorar os resultados, dificultando a absorção.



## 4.5 Índice de vazios

Figura 28 - Valores médios de índices de vazios dos traços estudados.



Fonte: Autor (2012).

No presente trabalho pode-se observar que o uso do aditivo poliestireno sulfonado indicou um aumento no índice de vazios das argamassas em relação ao traço de controle. Vale ressaltar que este aumento do índice de vazios encontrado aconteceu de maneira similar, independentemente do teor de aditivo utilizado.

O índice de vazios médio encontrado para a argamassa de controle (ver figura 24) foi de 20,14%, já para os traços A0,2 à A1,4 foram respectivamente 29,27, 27,88, 29,09 e 28,69%. Observa-se na figura 28 um aumento de 45,33% do traço A0,2 em relação à argamassa de controle (maior aumento).

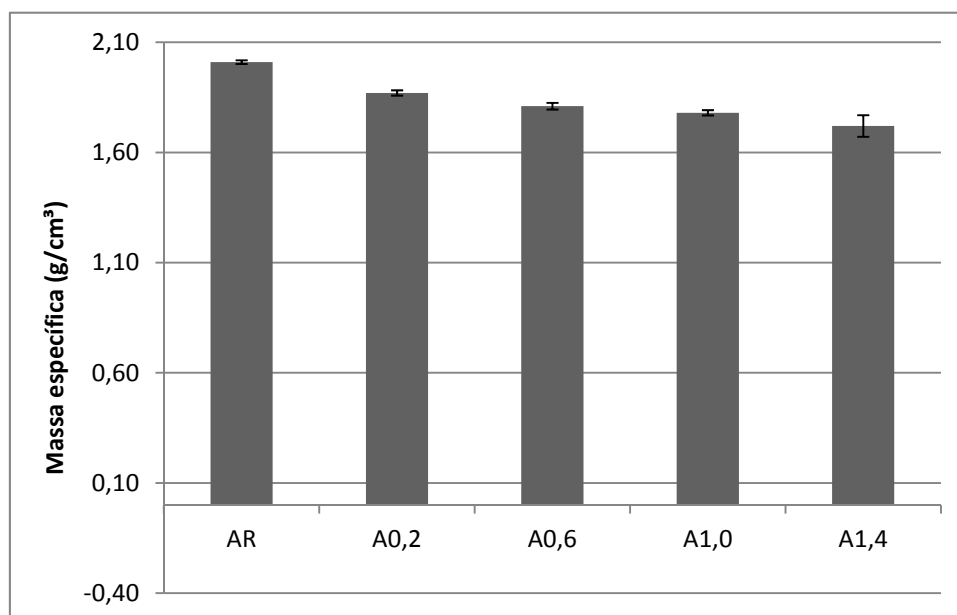
No processo de hidratação do cimento são formados os capilares que possuem água evaporável, de uma maneira geral, um compósito com uma relação a/c maior terá um maior número de capilares. Esta água livre dentro dos capilares acaba evaporando durante a cura da argamassa, deixando a estrutura do compósito mais porosa.

É possível perceber analisando índice de vazios juntamente com a absorção de água que o ganho nestas propriedades é constante e similar independente do teor de aditivo, portanto as variáveis estão relacionadas, ao se utilizar PSS em argamassa (independe do

teor) aumenta-se a absorção de água aumentando também índice de vazios, e isto porque, como já descrito, com mais água absorvida no sistema, maior será a quantidade de poros na pasta.

#### 4.6 Massa específica

Figura 29 - Valores médios da massa específica dos traços estudados.



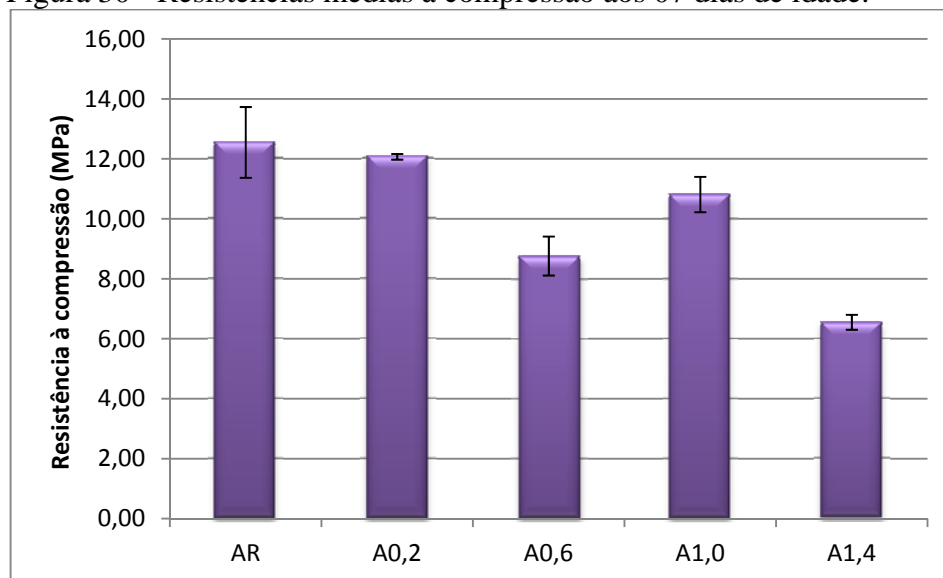
Fonte: Autor (2012).

Os resultados apresentados na figura 29 demonstram que maiores teores de aditivo possibilitaram valores médios menores da massa específica se comparados à argamassa sem adição de poliestireno. Observa-se que o traço com maior teor de aditivo apresentou um decréscimo de 14,42% em relação à argamassa de referência.

Essa redução acontece porque existe o aumento na quantidade de poros na argamassa com aditivos, que mesmo em pequenos teores, apresentaram ligeira incorporação de ar.

## 4.7 Resistência à compressão

Figura 30 - Resistências médias à compressão aos 07 dias de idade.

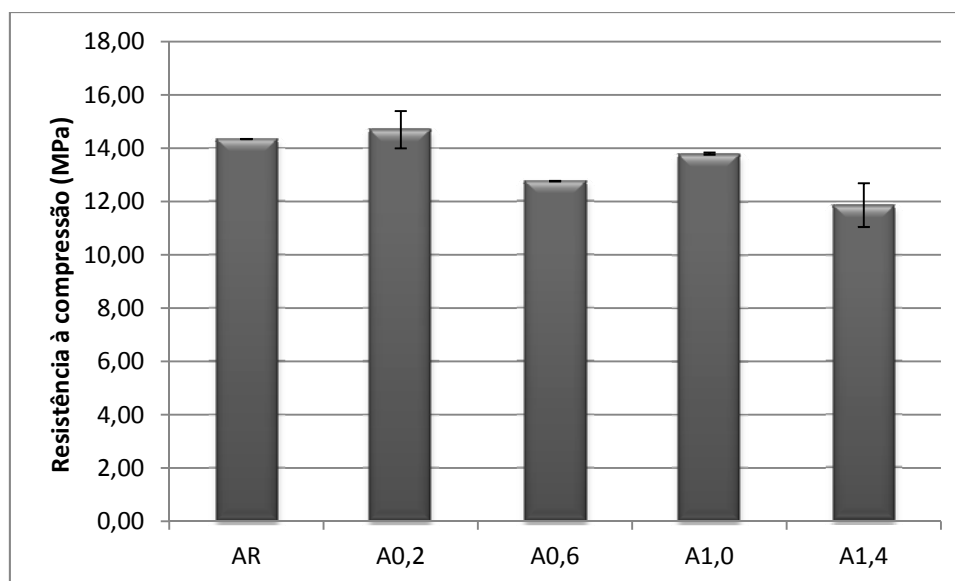


Fonte: Autor (2012).

A argamassa de referência apresentou resistência média aos sete dias de idade de 12,55 MPa, os traços A0,2 à A1,4 apresentaram respectivamente os resultados 12,07; 8,76; 10,81 e 6,55 MPa. Os resultados de resistência à compressão (ver figura 30), mostram que os traços A0,2 e A0,4 apresentaram as menores variações frente a resistência da argamassa de controle 3,82 e 13,86% respectivamente. A maior variação foi observada justamente na maior concentração de aditivo (A1,4) que apresentou uma diminuição de 47,80% em relação ao traço AR.

Nos ensaios realizados aos 28 dias de idade (figura 31), foi encontrado uma tendência de diminuição dos valores similares aos ensaios realizados aos de sete dias. Entretanto, a variação máxima entre ao traço AR (valor máximo) e o menor valor de resistência (A1,4) diminuiu consideravelmente; representando 17,28%.

Figura 31 - Resistências médias à compressão aos 28 dias de idade.

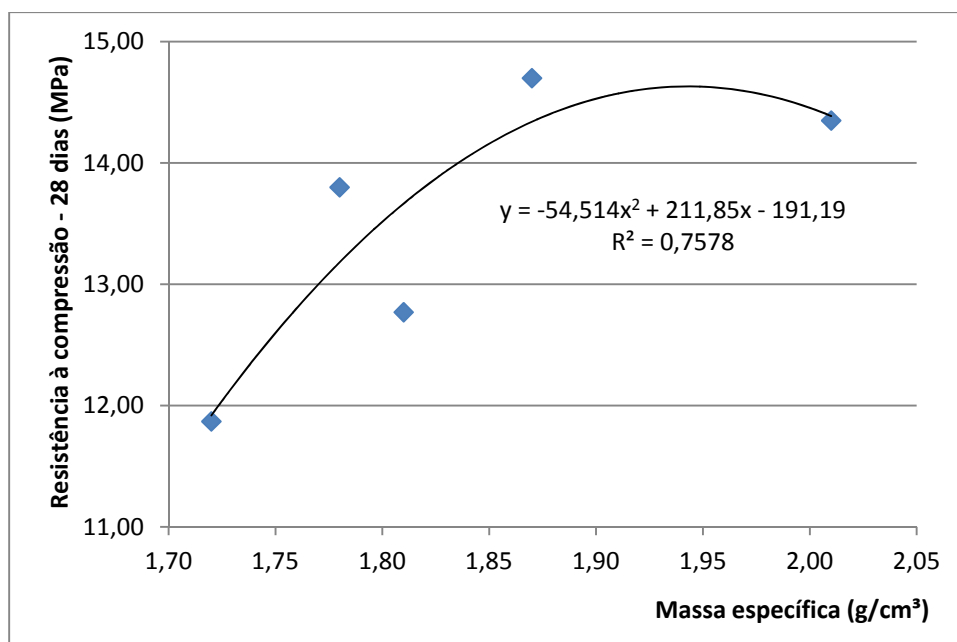


Fonte: Autor (2012).

A resistência máxima foi de 14,70 MPa (A0,2) e a mínima foi de 11,87 MPa no traço A1,4, com maior quantidade de aditivo observado na figura 31, os traços AR à A1,0 apresentaram respectivamente os valores 14,35; 14,70; 12,77 e 13,80 MPa.

Observa-se que o traço A0,2 não apresenta redução na resistência à compressão, assim como os resultados dos traços A1,0 e A1,4 não sofreram redução significativa, apesar do aumento do índice de vazios destas argamassas. Isto pode ser resultado da maior resistência das argamassas à microfissuração pela ação dos filmes poliméricos formados, como salientado por Ohama, (1998). Observa-se na figura 32, a variação dos valores da resistência à compressão aos 28 dias de idade com a massa específica.

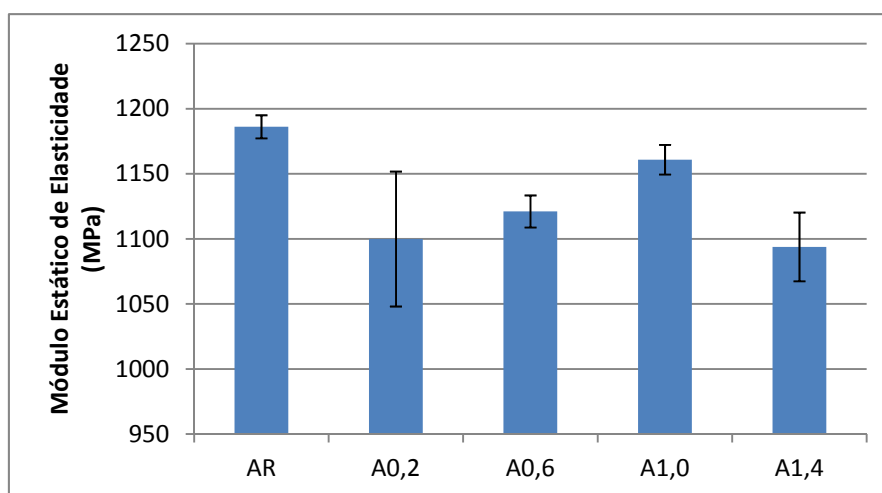
Figura 32 - Gráfico de resistência à compressão aos 28 dias x massa específica.



Fonte: Autor (2012).

#### 4.8 Módulo estático de elasticidade

Figura 33 - Valores médios dos módulos de elasticidade aos 28 dias de idade.



Fonte: Autor (2012).

O maior módulo estático de deformação (E) foi encontrado na argamassa de controle (AR), que apresentou um módulo de 1186,17 MPa. Os traços A0,2 à A1,4 apresentaram respectivamente os valores de 1099,93; 1121,12; 1160,86 e 1093,86 MPa. O

menor módulo foi encontrado para o traço A1,4 (com maior quantidade de PSS), em relação à argamassa de controle apresentou uma diminuição de 7,78% como demonstrado na figura 33.

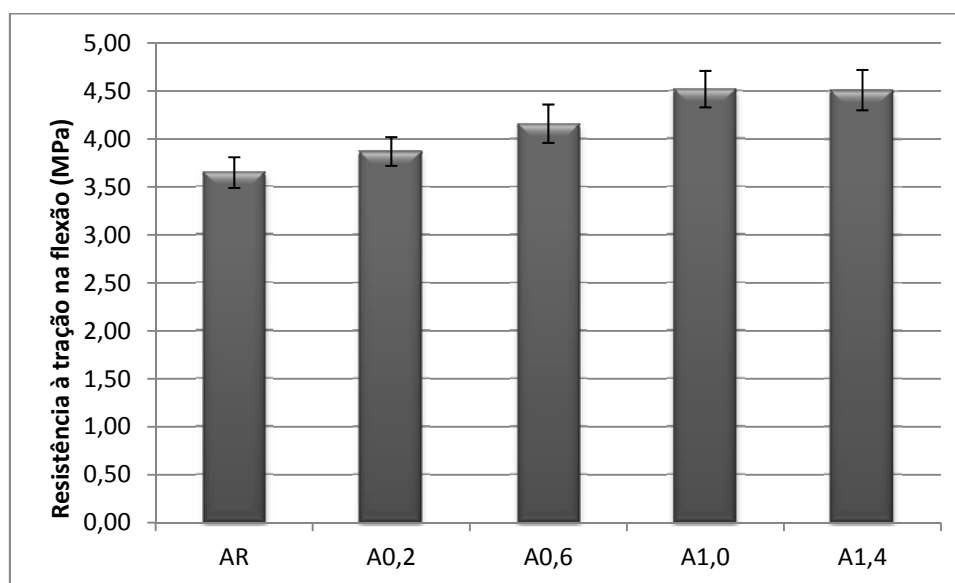
Tendo em vista que uma maior deformação relativa à uma dada tensão do material indica um menor módulo de elasticidade, esta é uma característica de grande importância da argamassa, visto que, analisa a capacidade da mesma absorver tensões averiguando qual será a deformação acarretada por essa tensão.

Nos resultados obtidos pode-se observar que de uma maneira geral, o uso do poliestireno sulfonado induz à diminuição do módulo de elasticidade, comparado com a argamassa de controle. Portanto, uma argamassa com PSS sujeita a uma determinada deformação, estará sob tensão menor do que uma argamassa sem PSS.

#### 4.9 Resistência à tração na flexão

Nota-se observando a figura 34 que os ensaios indicam um incremento da resistência à tração à medida em que se aumenta o teor de PSS até a sua saturação, indicando uma faixa ótima de dosagem (A1,0) e, após, a resistência permanece praticamente constante.

Figura 34 - Valores médios de resistência à tração na flexão aos 28 dias de idade.



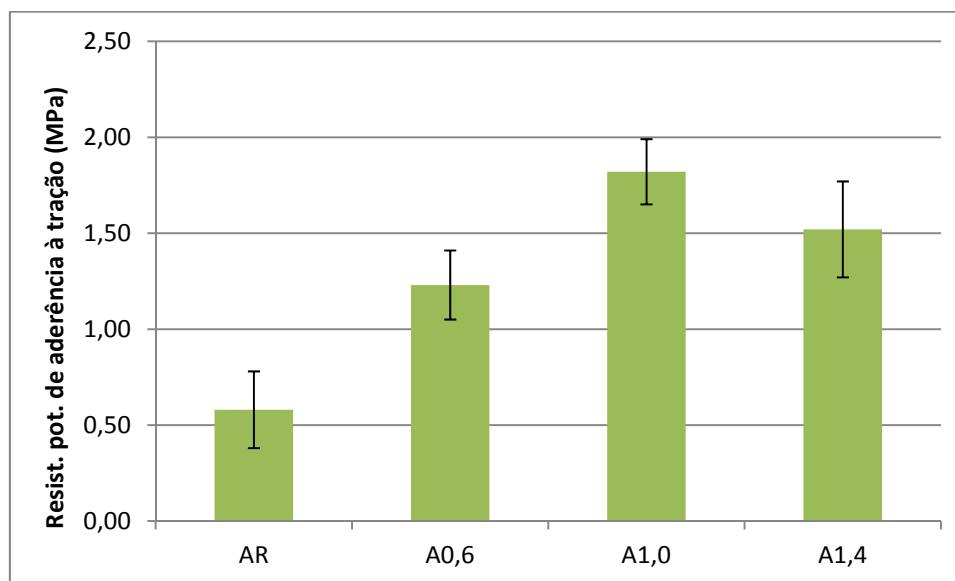
Fonte: Autor (2012).

A argamassa de referência apresentou uma resistência média à tração de 3,65 MPa, o menor incremento de resistência, 6,02%, aconteceu com a adição de 0,2% de PSS (A0,2) e o maior incremento de resistência foi de 23,72% que aconteceu no traço A1,0. Todos os traços com adição polimérica, em relação à referência apresentaram incrementos de resistência, os traços A0,2 à A1,4 apresentaram as resistências médias de 3,87; 4,16; 4,52 e 4,51 MPa, respectivamente.

Portanto, mesmo com teores baixos de PSS, a presença de polímeros na argamassa parece formar um filme na microestrutura da pasta, que tende a melhorar a resistência desta à tração, conforme salientado por Ohama, (1998) e Silva et al., (1999) e Assunção et al., (2001).

#### 4.10 Resistência potencial de aderência à tração

Figura 35 - Valores médios de resistência potencial de aderência à tração aos 28 dias.



Fonte: Autor (2012).

Nota-se na figura 35 que a argamassa de referência apresentou uma resistência média de 0,58 MPa e que os traços A0,6 à A1,4 apresentaram respectivamente 1,23; 1,82 e 1,52 MPa como resistência potencial de aderência à tração.

O ganho mais expressivo na resistência aconteceu no traço A1,0 que apresentou um aumento de 213,79% em relação à argamassa de referência (AR) e o menor aumento na

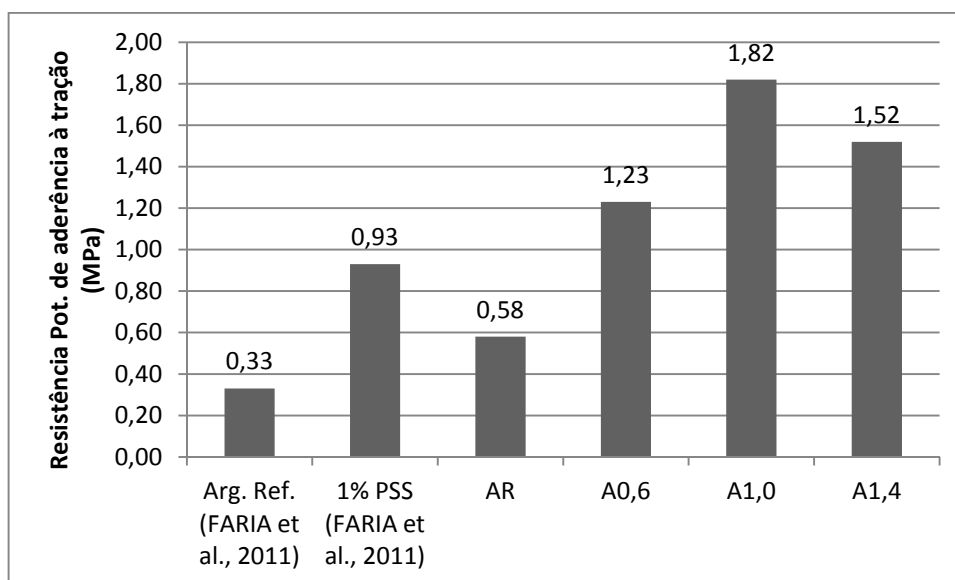
resistência potencial de aderência à tração aconteceu no traço A0,6 que obteve um ganho de 112,07%.

Como já afirmado por Faria et al., (2011), a adição do poliestireno sulfonado possibilita uma maior dispersão das partículas da argamassa, tornando-a mais homogênea. Desta forma, como era esperado após a revisão bibliográfica, ao utilizar o PSS haveria incremento de resistência potencial de aderência à tração, hipótese esta que foi comprovada após os ensaios.

No estudo do aproveitamento de poliestireno sulfonado à partir de copos plásticos feito por Faria et al., (2011) os autores observaram um aumento de 181,82% na resistência potencial de aderência à tração na argamassa com PSS em relação à argamassa de referência.

Pode-se observar ( ver figura 36) que os ganhos encontrados apresentam uma tendência de incremento de resistência até o ponto ótimo de dosagem, e logo após a saturação apresentam uma queda. Vale ressaltar que o incremento encontrado segue a tendência de ganho expressivo de resistência com o uso do PSS encontrada por Faria et al. 2011.

Figura 36 - Comparação das resistências encontradas por Faria et al. 2011 e esta pesquisa.



Fonte: Autor (2012).



## CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

Embora os estudos e análises tenham procurado abordar o máximo possível os aspectos relativos ao desenvolvimento, produção, uso e entendimento desta nova argamassa modificada com poliestireno quimicamente reciclado, é possível perceber que existe ainda muitos aspectos à serem estudados e analisados para indicar o melhor uso deste material, quer seja ele como argamassa de assentamento, revestimento, ou outra forma ainda não prevista.

Em busca de minimizar o impacto ambiental frente ao uso de embalagens plásticas de PS (copos plásticos), além de pensar também na redução de emissões de CO<sub>2</sub>, aspectos estes bastante discutidos e defendidos por encontros e organizações mundiais; esta pesquisa recomenda a utilização de poliestireno sulfonado à partir de copos plásticos como aditivo químico em argamassas, principalmente quando o intuito é buscar os aspectos que foram majorados ou minorados (dependendo do benefício buscado) na argamassa.

Por meio das análises realizadas é possível afirmar que o presente estudo encontrou indicativos de que o uso do PSS na argamassa diminui a massa específica, o módulo estático de elasticidade e a absorção de água por capilaridade. Por outro lado, notam-se indicativos de que são majorados os índices de consistência e de vazios, a retenção de água (até o ponto de saturação), a absorção de água, as resistências à tração na flexão, a resistência à compressão e por último, aumenta consideravelmente a resistência potencial de aderência à tração, à exemplo do traço A1,0 (1% de PSS) que apresentou um ganho acima de 200% em relação à argamassa sem o uso do poliestireno sulfonado.

Acerca do processo de produção do poliestireno sulfonado à partir de copos plásticos, nota-se que existe um resíduo da mistura do ácido sulfúrico com água destilada, este resíduo precisa ser estudado, para verificar qual possível utilização/destinação pode ser dada ao mesmo, é possível ressaltar ainda que o processo de produção é passível de ser replicado sem grandes dificuldades, visto que nesta pesquisa, o método de produção foi compreendido. Estas considerações indicam que após uma padronização detalhada do método de produção, o processo pode ser utilizado em escala industrial.

Observa-se que os indicativos encontrados possuem resultados promissores, entretanto, para serem melhor entendidos, visto que se trata de um material novo, devem ser analisados em traços diferentes, variando tipo e consumo de cimento, com adições minerais etc.

Mesmo levando em consideração todos os trabalhos e as análises experimentais realizados para esta dissertação nos laboratórios da Universidade Federal de Uberlândia, consideram-se os estudos como bastante elucidativos e promissores, porém, ainda preliminares, visto que, existem ainda vertentes e aspectos que podem ser melhor analisados com o intuito de entender corretamente as características deste novo aditivo químico frente ao seu uso na engenharia civil.

A pesquisa recomenda como trabalhos futuros, a investigação sobre a possível utilização do resíduo gerado na produção do poliestireno, além de recomendar a investigação das propriedades aqui já estudadas entretanto buscando verificar a melhor dosagem do poliestireno frente à pastas cimentícias, verificando desta forma a redução da relação a/c e a ação do polímero frente aos diferentes tipos de cimentos encontrados no mercado atual.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

AITCIN, P. C. **High performance concrete**. London: E&FN SPON, 1998.

AITCIN, P. C.; JOLICOEUR, C; MACGREGOR, J. G. Superplasticizers: How they work and why they occasionally don't. **Concrete International**. May. 1994.

ALMEIDA, M. L. O. e VILHENA, A. **Processamento do lixo: reciclagem do plástico**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 6474: 1994 – **Cimento portland e outros materiais em pó** - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. NBR 7215: 1996 - **Cimento Portland** - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. NBR 7219: 1987 - **Agregados** - Determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. NBR 7251: 1982 - **Agregado em estado solto** - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_. NBR 8522: 2008 - **Concreto** - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva de tensão-deformação. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. NBR 9778: 2005 – **Argamassa e concreto endurecidos** - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 9779: 1995 – **Argamassa e concreto endurecidos** - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. NBR 13276: 2005 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 13277: 2005 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 13279: 2005 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 14082: 2005 – **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas** - Execução do substrato-padrão e aplicação de argamassa para ensaios. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 15258: 2005 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** - Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. ABNT NBR NM 49: 2001 – **Agregado miúdo** - Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. ABNT NBR NM 53: 2002 – **Agregado miúdo** - Determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. ABNT NBR NM 248: 2003 – **Agregados** - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. ABNT NBR NM 3432: 1991 – **Cimento Portland** - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2003.

ASSUNÇÃO, R. M. N.; ROYER, B.; OLIVEIRA, J. S.; RODRIGUES FILHO, G.; MOTTA, L. A. C. **Utilização de Poliestireno sulfonado produzido a partir de copos plásticos de poliestireno reciclado, como aditivo em argamassas de cimento Portland tipo CPII32**. In: IX International Macromolecular Colloquium/6º Congresso Brasileiro de Polímeros, Gramado - RS, Anais, p.1857-1860, 2001.

ASSUNÇÃO, R. M. N.; ROYER, B.; RODRIGUES FILHO, G.; MOTTA, L. A. C. **Estudo viscosimétrico do PSS (poliestireno sulfonado) produzido a partir de copos plásticos descartáveis de PS (poliestireno)**. In: 25º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Poços de Caldas-MG, Livro de resumos, 2002.

ASSUNÇÃO R. M. N.; ROYER, B.; OLIVEIRA, J. S.; RODRIGUES FILHO, G.; MOTTA, L. A. C. Synthesis, characterization, and application of the sodium poly(styrenesulfonate) produced from waste polystyrene cups as na admixture in concrete. **Journal f Applied Polymer Science**, v.96, p.1534-1538, 2005a.

ASSUNÇÃO, R .M. N.; RODRIGUES FILHO, G.; ROYER, B.; OLIVEIRA, J. S.; MOTTA, L. A. C. **PI 0504109-0** Título: produção de poliestireno sulfonato de sódio (PSSNa) a partir de copos plásticos de poliestireno (PS) para a aplicação como aditivo superplastificante em concretos de cimento. Data do depósito 05/08/2005, 2005b.

\_\_\_\_\_. Synthesis, Characterization, and Application of the Sodium Poly(styrenesulfonate) Produced from Waste Polystyrene Cups as an Admixture in Concrete. **Journal of Applied Polymer Science**, v.96, p.1534-1538, 2004. Disponível em: <http://www.interscience.wiley.com>. Acesso em: 15/11/2011.

BAIGL D., SEERY T. A. P. e WILLAMS C. E. **Macromolecules**. S/l: s/e, 2002.

BRANDÃO, L. R. **Síntese e Caracterização de Membranas de Troca Iônica a partir de Copos e Pratos de Poliestireno Descartado**. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Uberlândia, 2004.

CARASEK, H. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007.

COLLEPARDI, S; et al. **Mechanisms of action of different superplasticizers for high performance concrete**. In: International conference on high performance concrete and performance and quality of concrete structures. Proceedings. Gramado: S/e, 1999.

COUTINHO, A. S. **Fabrico e propriedades do betão**. Lisboa: LNEC editora. V. 1997.

DIAS, J. F; CINTRA, A. M. e SILVA, T. J. **Estudo para aproveitamento de copos plásticos descartáveis em compósitos cimentícios**. Anais do IX seminário de desenvolvimento sustentável e reciclagem na construção civil. , S/l: CT MAB 2009, jun. de 2009.

FARIA, F. A. C., GOMIDE, D. D., VIEIRA, J. V., RODRIGUES FILHO, G., ASSUNÇÃO, R. M. N. e MOTTA, L. A. C. **Síntese do poliestireno sulfonado a partir de copos plásticos descartados e aplicação em argamassas para melhoria de suas propriedades de aderência**. 11º Congresso Brasileiro de Polímeros. Campos do Jordão – SP, 2011.

FILHO, G. R.; ASSUNÇÃO, R. M. N.; MARQUES, F. C. A.; CORRENTE, N. G.; MEIRELES, C S. Síntese de poliestireno sulfonado para aplicações no tratamento de água produzido a partir de copos e bandejas descartadas de poliestireno. In: **Química Nova**, Vol. 31, Nº8, s/e: s/l, 2008.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassa e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. São Paulo: Pini, 1994.

GETTU, R. e RONCERO, J. **Aditivos superfluidificantes para hormigones de latas prestaciones**. In: IV Simpósio sobre aditivos para hormigones. Madrid: s/e, 1998.

HARTMANN, C. T. **Avaliação do uso de aditivos superplastificantes base policarboxilatos em concretos de cimento Portland**. 2002. 133f. Dissertação (mestrado em engenharia civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

HARTMANN, C. T.; HELENE, P. R. L. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/330. São Paulo: EPUSP, 2003,

HSU, K. C. et al. Effect of addition time of a superplasticizer on cement adsorption and on concrete workability. **Cement and Concrete Composites**. V. 21. p. 425-430. 1999.

LANDIM, A. S; RODRIGUES FILHO, G. e ASSUNÇÃO, R. M. Use of polystyrene sulfonate produced from waste plastic cups as an auxiliary agent of coagulation, flocculation and flotation for water and wastewater treatment in Municipal Department of

Water and Wastewater in Uberlândia-MG, Brazil. In: **Polymer Bulletin**. v. **58**, p. 457-463: s/e, jun. 2007.

MALHOTRA, V. M. Superplasticizers: A global review with emphasis on durability and innovative concretes. In: International conference on superplasticizers and other chemical admixtures in concrete. **Proceedings**. Ottawa, Canada: V. M. Malhotra Editor, 1989.

OHAMA, Y. Polymer-based admixtures. **Cement and Concrete Composites**, v.20, p.189-212, 1998.

RAMACHANDRAN, V. S. e MALHOTRA, V. M. Superplasticizers. In: Concrete admixture handbook: **properties science and technology**. Canada: Noyes Publication, 1998.

ROYER, B.; ASSUNÇÃO, R. M. N.; RODRIGUES FILHO, G.; MOTTA, L. A. C. **Utilização de poliestireno sulfonado (PSSNa) produzido a partir da sulfonação de copos plásticos descartáveis de poliestireno (PS) para modificação da trabalhabilidade de concretos de cimento Portland**. In: XVI Encontro Regional da Sociedade Brasileira de Química-MG, Viçosa-MG. Livro de resumos, 2002.

ROYER, B.; ASSUNÇÃO, R. M. N.; RODRIGUES FILHO, G.; MOTTA, L. A. C. **Avaliação dos métodos de sulfonação heterogêneo e homogêneo na produção do PSSNa (Poliestireno sulfonado) a partir de copos plásticos descartáveis de PS (poliestireno)**. In: 26º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Poços de Caldas-MG, Livro de resumos, 2003.

ROYER, B.; ASSUNÇÃO, R. M. N.; RODRIGUES FILHO, G. e MOTTA, L. A. C. Efeito da aplicação do poliestireno sulfonado (PSSNa) como aditivo em argamassas e concretos de cimento Portland CPV32. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.15, n.1, p.63-67, 2005.

SANTOS, H. B. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento**. 2008. 50p. Monografia (Especialização em construção civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SAVASTANO, Jr. e WARDEN, P. G. Special theme issue: Natural fibre reinforced cement composites. In: **Cement & Concrete Composites**, v.25, n.5, p.517-624, 2003.

SILVA, D. A.; ROMAN, H. R. e GLEIZE, P. **Efeitos dos polímeros MHEC e EVA na microestrutura de pastas de cimentos Portland**. 5º Congresso Brasileiro de Cimento (CBC). Nov. 1999.

SILVA, D. A.; ROMAN, H. R. e SILVA, A. H. **Efeitos dos polímeros MHEC e EVA em algumas propriedades das argamassas colantes**. III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Vitória/ES, 1999.

SILVA, T. J.; RESENDE, K. K.; MOTTA, L. A. C.; VIEIRA, J. G.; ASSUNÇÃO, R. M. N. **Estudo da aplicação do poliestireno sulfonado produzido à partir de copos**

**plásticos descartados como aditivo plastificante em concretos.** Artigo publicado nos anais do 51° Congresso Brasileiro de Concreto (CBC). Out. 2009.

WAGNER, H. B.; GRENLEY, D. G. Interphase effects in polymer modified hydraulic cement. **Journal of Applied Polymer Science**, vol.22, 1978, p.813-822.

## APÊNDICES

Nos apêndices são apresentados as tabelas com os resultados individuais de cada ensaio laboratorial realizado, dividido sempre por ensaio, ou seja, são apresentados todos resultados de todos os traços separados por ensaios.

### 1 Índice de consistência

Traço	Índice de Consistência		Média (mm)
	Medição	(mm)	
AR	1	250	256
	2	259	
	3	258	
A0,2	1	242	243
	2	240	
	3	246	
A0,6	1	289	285
	2	280	
	3	285	
A1,0	1	304	307
	2	311	
	3	305	
A1,4	1	301	304
	2	308	
	3	303	

### 2 Absorção de água

Traço	Absorção de água		Média (%)
	Corpo de prova	(%)	
AR	1	9,99	10,03
	2	10,07	
A0,2	1	15,86	15,61
	2	15,36	
A0,6	1	15,19	15,15
	2	15,11	
A1,0	1	16,26	15,96
	2	15,67	
A1,4	1	17,18	16,30
	2	15,42	



### 3 Índice de vazios

Traço	Índice de vazios		Média (%)
	Corpo de prova	(%)	
AR	1	19,99	20,145
	2	20,30	
A0,2	1	29,60	29,28
	2	28,95	
A0,6	1	28,16	27,88
	2	27,60	
A1,0	1	29,77	29,09
	2	28,41	
A1,4	1	29,38	28,69
	2	28,00	

### 4 Massa específica

Traço	Massa específica		Média (g/cm <sup>3</sup> )
	Corpo de prova	(g/cm <sup>3</sup> )	
AR	1	1,825	1,82
	2	1,819	
A0,2	1	1,742	1,75
	2	1,758	
A0,6	1	1,74	1,74
	2	1,746	
A1,0	1	1,736	1,73
	2	1,727	
A1,4	1	1,708	1,71
	2	1,712	

### 5 Absorção de água por capilaridade - 72 horas

Traço	Absorção de água por capilaridade		Média (g/cm <sup>3</sup> )
	Corpo de prova	(g/cm <sup>3</sup> )	
AR	1	0,0173	0,0175
	2	0,0185	
	3	0,0166	
A0,2	1	0,0167	0,0166
	2	0,0162	
	3	0,0170	
A0,6	1	0,0111	0,0115
	2	0,0119	
	3	0,0114	
A1,0	1	0,0134	0,0137
	2	0,0137	
	3	0,0140	
A1,4	1	0,0118	0,0120
	2	0,0125	
	3	0,0118	

### 6 Módulo estático de elasticidade à compressão axial

Traço	Módulo estático de elasticidade		Média (MPa)
	Corpo de prova	Eci (MPa)	
AR	1	1173,66	1186,17
	2	1191,69	
	3	1193,17	
A0,2	1	-	1135,25
	2	1152,31	
	3	1118,18	
A0,6	1	1106,72	1121,12
	2	1119,81	
	3	1136,84	
A1,0	1	1171,34	1160,87
	2	1160,46	
	3	1150,80	
A1,4	1	1126,46	1093,86
	2	1093,39	
	3	1061,72	

## 7 Resistência à compressão axial

Traço	Resistência à compressão		Média (MPa)
	Corpo de prova	Fck (MPa)	
AR	1	14,36	14,36
	2	14,35	
A0,2	1	14	14,70
	2	15,4	
A0,6	1	12,76	12,77
	2	12,78	
A1,0	1	13,76	13,80
	2	13,84	
A1,4	1	11,05	11,87
	2	12,69	

## 8 Resistência à tração na flexão

Traço	Resistência à tração na flexão		Média (MPa)
	Corpo de prova	Rf (MPa)	
AR	1	3,80	3,65
	2	3,61	
	3	3,47	
	4	3,57	
	5	3,53	
	6	3,94	
A0,2	1	3,68	3,68
	2	3,1	
	3	4,04	
	4	3,9	
	5 - Exc.	4,01	
	6	-	
A0,6	1 - Exc.	4,79	4,16
	2	4,33	
	3	4,39	
	4	3,98	
	5 - Exc.	3,09	
	6	3,93	
A1,0	1	4,72	4,52
	2	4,34	
	3	4,62	
	4	4,33	
	5	4,33	
	6	4,78	
A1,4	1	4,74	4,51
	2	4,43	
	3 - Exc.	4,02	
	4	4,21	
	5	4,66	
	6 - Exc.	5,36	

### 9 Resistência potencial de aderência à tração

Traço	Resistência potencial de aderência à tração					Média (MPa)
	Corpo de prova	Ri (MPa)	Ruptura subs.	Rup. S/A	Ruptura Arg.	
AR	1	0,56		x		0,58
	2	0,29		x		
	3	0,47		x		
	4	0,85			x	
	5	0,87		x		
	6	0,57		x		
	7	0,44		x		
	8	-		-		
	9	-		-		
	10	-		-		
A0,6	1	1,19		x		1,23
	2 - Exc.	0,65		-		
	3	1,01		x		
	4 - Exc.	1,53		-		
	5	1,48		x		
	6	1,38		x		
	7 - Exc.	1,88		-		
	8	1,08		x		
	9 - Exc.	0,42		-		
	10	-		-		
A1,0	1 - Exc.	1,40		-		1,82
	2 - Exc.	1,46		-		
	3	1,81		x		
	4 - Exc.	2,44		-		
	5 - Exc.	2,3		-		
	6	1,54		x		
	7	1,96		x		
	8 - Exc.	2,39		-		
	9	2,03		x		
	10	1,77		x		
A1,4	1	1,12		x		1,52
	2	1,43		x		
	3	1,56			x	
	4	1,89			x	
	5 - Exc.	0,72		-		
	6 - Exc.	1,04		-		
	7 - Exc.	3,16		-		
	8 - Exc.	2,70		-		
	9	1,58		x		
	10	-		-		