

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

PAULO ROBERTO AXT JÚNIOR

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DA POLIURETANA EM ARGAMASSAS DE  
CIMENTO

Joinville

2016

PAULO ROBERTO AXT JÚNIOR

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DA POLIURETANA EM ARGAMASSAS DE  
CIMENTO

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Infraestrutura no Curso de Engenharia de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Orientador: Dr. Wagner Mauricio Pachekoski

Co-orientador: Dr. Luciano Senff

Joinville

2016

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pela conclusão de mais uma etapa e por se fazer presente em minha vida, me capacitando e tornando realidade os meus sonhos.

Aos meus pais Paulo e Marisa pelo amor e dedicação, sempre apoiando a busca dos meus objetivos, minha eterna gratidão.

A minha irmã Tatiane pelo total apoio, conselhos e incentivo ao longo de toda essa trajetória.

As minhas grandes amigas Alexia, Bruna, Bianca, Daniele e Mariane, agradeço pela companhia, momentos descontraídos e incentivos diante das dificuldades.

A Thalita de Andrade Silveira, minha grande parceira, tanto de estágio quanto de graduação, muito obrigado pelos conselhos nos momentos mais difíceis, pela grande amiga que és, meus sinceros agradecimentos.

A professora Andrea Pfützenreuter pelo total apoio, pelo conhecimento repassado e conselhos nos momentos que mais necessitei de ajuda, minha eterna gratidão.

Aos professores Wagner Mauricio Pachekoski e Luciano Senff, que com muita paciência e dedicação me orientaram tornando possível a realização deste trabalho.

Ao Laboratório de Polímeros do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC), campus Joinville, representado pela doutoranda Bruna Louise Silva, muito obrigado pelo auxílio.

Ao meu companheiro de laboratório Breno Castro Cardoso, agradeço pelos conhecimentos repassados para a realização desse trabalho.

Ao laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Santa Catarina, campus Joinville, representado pela bolsista Raissa Munhoz Cantera, muito obrigado pela ajuda, conselhos e cumplicidade ao longo de todas as atividades em laboratório. Sem você esse trabalho não teria sido realizado.

Agradeço a todos os professores e profissionais do Centro de Joinville, por terem feito parte da estrada que me fez chegar ao final deste ciclo.

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,  
mas lutei para que o melhor fosse feito. Não  
sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não  
sou o que era antes.”*

*Marthin Luhter King*

## RESUMO

A utilização de resinas poliméricas em matrizes de cimento abre um novo campo de aplicação na Construção Civil. No contexto atual, o concreto é uma das matérias primas mais consumidas mundialmente. Entretanto, mesmo com o crescente consumo este apresenta certas limitações. O desenvolvimento de argamassas com o uso de materiais não convencionais instiga os pesquisadores no mundo inteiro, pela busca por novas técnicas e aplicações que viabiliza sua utilização, melhora de desempenho e conseqüentemente, o aumento da durabilidade. Entre esses, o emprego de materiais poliméricos tem ajudado no aperfeiçoamento de propriedades complementares que não se conseguem com os componentes isolados. Por esta razão, a poliuretana é um interessante modificador a ser aplicado na argamassa devido as suas propriedades, como alta resistência a abrasão, excelente absorção de choques mecânicos e boa flexibilidade e elasticidade. O intuito deste trabalho consiste em estudar argamassas reforçadas com esferas micrométricas de poliuretanas. A metodologia será feita por pesquisa bibliográfica e posterior aplicação em laboratório. O método de polimerização em microemulsão foi empregado para produzir a poliuretana. Quatro formulações (0, 0,5%, 1 e 2% de PU) foram preparadas e caracterizadas a fim de analisar as propriedades da argamassa com a adição nos estados fresco e endurecido. Isso permitiu verificar que com a adição houve um aumento da porosidade e conseqüentemente da absorção de água, e uma redução da densidade. Houve uma pequena melhora na trabalhabilidade com a adição e um comportamento estatisticamente similar no ensaio de resistência à compressão. A variação de retração do material com o uso das adições foi irrelevante. A capacidade de retenção de água das poliuretanas foi uma importante característica observada durante a análise dos resultados.

**Palavras- chave:** Argamassa. Poliuretanas. Microesferas.

## **ABSTRACT**

The use of polymer resins in matrices made of cement opens a new field of application in Civil Construction. In the current context, concrete is one of the most consumed raw materials worldwide. However, even with increasing consumption, it presents certain limitations. The mortars development using unconventional materials instigates researchers worldwide, searching for new techniques and applications that enable their use, improving performance and, consequently, increasing durability. Among them, the use of polymeric materials has helped in the improvement of complementary properties that cannot be achieved with isolated components. For this reason, polyurethane is an interesting modifier that can be applied in the mortar because of its properties, such as high abrasion resistance, excellent mechanical shocks absorption and good flexibility and elasticity. The goal of this work is to study reinforced mortars with polyurethane micrometric beads. The methodology will be done by bibliographic research and subsequent laboratory application. The microemulsion polymerization method was applied to produce the polyurethane. Four formulations (0, 0.5%, 1 and 2% PU) were prepared and characterized in order to analyze the mortar properties in addition to the fresh and hardened conditions. This addition allowed the verification of porosity increasing and, consequently, the water absorption and density reduction. There was a small improvement in workability with addition and a statistically similar behavior in the compressive strength test. The variation of the material retraction with the use of the additions was irrelevant. The water retention capacity of the polyurethanes was an important characteristic observed during the results evaluated.

**key words** : Mortar. Polyurethanes. Microspheres

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diferentes alternativas de revestimento de parede: (A) camada mista (Chapisco, Emboço, Reboco e Pintura), (B) Camada única (chapisco + pintura), (C) Revestimento decorativo monocamada (RDM) .....	16
Figura 2: Consumo mundial de poliuretanos por segmentos de aplicação industrial	27
Figura 3: Reação genérica da formação de um poliuretano .....	27
Figura 4: Plano experimental .....	29
Figura 5: (a) Areia; (b) e (c) peneiras usadas. ....	31
Figura 6: (a) isocianato; (b) poliol. ....	31
Figura 7: (a) Tween 80; (b) Azeite de oliva. ....	32
Figura 8: Processo de Produção da Poliuretana: (a) Tween/Água/Azeite; (b) Sonificador; (c) amostra pós sonificador; (d) e (e) filtro a sucção; (f) estufa. ....	32
Figura 9: Esquema do Método Proposto. ....	33
Figura 10: Poliuretana: (a) e (b) amostra após retirada da estufa; (c) adição pronta para uso após ser peneirada .....	35
Figura 11: Materiais e equipamento utilizado para produção da argamassa: (a) cimento; (b) areia; (c) poliuretano; (d) água; (e) argamassadeira kitchenaid Stand Mixer 220V.....	36
Figura 12: Mesa para determinação da consistência das argamassas no estado fresco .....	38
Figura 13: Corpos de prova cilíndricos: (a) moldes; (b) após moldados; (c) após 28 dias.....	38
Figura 14: Ensaio de compressão: (a) Máquina utilizada; (b) Forma de colocação do corpo de prova.....	39
Figura 15: Amostras utilizadas para determinação das propriedades físicas. ....	40
Figura 16: (a) Estufa utilizada para secagem da amostra; (b) Pesagem da massa seca da amostra.....	40
Figura 17: (a) Amostras imersas; (b) Pesagem da amostra imersa.....	41
Figura 18: Pesagem da amostra com secagem de superfície .....	41
Figura 19: Corpos de prova utilizados para ensaio de retração .....	42
Figura 20: Comparador de expansibilidade.....	43
Figura 21: Curva granulométrica da areia utilizada.....	45
Figura 22: Espectrometria de infravermelho do particulado. ....	45

Figura 23: Granulometria por difração a laser. ....	46
Figura 24: Abertura da argamassa na mesa de consistência. ....	47
Figura 25: Densidade aparente das argamassas aos 28 dias de cura. ....	48
Figura 26: Porosidade aberta das argamassas aos 28 dias de cura. ....	49
Figura 27: Absorção de água das argamassas aos 28 dias de cura. ....	50
Figura 28: Relação Porosidade Aberta e Absorção de Água. ....	51
Figura 29: Relação entre Densidade Aparente e Porosidade Aberta. ....	51
Figura 30: Resultados obtidos no ensaio de compressão. ....	52
Figura 31: Relação Resistência à Compressão e Porosidade Aberta. ....	53
Figura 32: Retração das Argamassas com 7, 14, 21 e 28 dias. ....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ficha técnica do cimento para reboco da Votoran. ....	30
Tabela 2: Especificações Técnicas do papel filtro Quanty. ....	34
Tabela 3: Formulações das argamassas com teores distintos de poliuretano. ....	36
Tabela 4: Análise granulométrica da areia utilizada. ....	44
Tabela 5: Valores obtidos no ensaio de consistência e relação entre água/sólidos. ....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS

CFC's	Clorofluorcarbonos
MDI	Metileno Difenil Isocianato
PPG	Polipropileno glicol
PU'S	Poliuretanos
TDI	Tolueno Diisocianato

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1. OBJETIVOS .....	12
1.1.1. <b>Objetivo Geral</b> .....	<b>12</b>
1.1.2. <b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>12</b>
<b>2. REVISÃO TEÓRICA</b> .....	<b>14</b>
2.1. ARGAMASSAS .....	14
2.2. DEFINIÇÕES E APLICAÇÕES DAS ARGAMASSAS.....	14
2.3. PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS .....	17
<b>2.3.1. Propriedades das argamassas no estado fresco</b> .....	<b>17</b>
2.3.1.1. Trabalhabilidade .....	17
2.3.1.2. Consistência .....	18
2.3.1.3. Plasticidade.....	18
2.3.1.4. Retenção de Água .....	19
2.3.1.5. Densidade de massa.....	20
<b>2.3.2. Propriedades das argamassas no estado endurecido</b> .....	<b>20</b>
2.3.2.1. Retração .....	20
2.3.2.2. Resistência Mecânica .....	21
2.3.2.3. Absorção de Água .....	22
2.3.2.4. Porosidade aberta.....	22
2.4. ADIÇÕES .....	23
2.5. POLIURETANOS .....	24
<b>2.5.1. Definições e Aplicações</b> .....	<b>25</b>
<b>2.5.2. Reação química de polimerização</b> .....	<b>27</b>
<b>2.5.3. Polimerização por Emulsão</b> .....	<b>28</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>29</b>
3.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS .....	30
<b>3.1.1. Cimento</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1.2. Areia</b> .....	<b>30</b>
<b>3.1.3. Adição Polimérica</b> .....	<b>31</b>
<b>3.1.4. Aditivos</b> .....	<b>31</b>
3.2. PREPARO DO POLIURETANO POR MICROEMULSÃO .....	32
<b>3.2.1. Caracterização da Poliuretana</b> .....	<b>34</b>

3.3. DEFINIÇÃO DAS FORMULAÇÕES E PROCESSO DE MISTURA DA ARGAMASSA E POLIURETANO .....	35
3.4. REALIZAÇÃO DO ENSAIO NO ESTADO FRESCO .....	37
<b>3.4.1. Índice de Consistência.....</b>	<b>37</b>
3.5. ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO .....	38
<b>3.5.1. Resistência à Compressão Axial.....</b>	<b>38</b>
<b>3.5.2. Propriedades físicas: densidade aparente, absorção de água e porosidade aberta.....</b>	<b>39</b>
<b>3.5.3. Ensaio de Retração .....</b>	<b>42</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>44</b>
4.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS .....	44
<b>4.1.1. Areia .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1.2. Caracterização da Poliuretana .....</b>	<b>45</b>
4.2. TRABALHABILIDADE .....	46
4.3. PROPRIEDADES FÍSICAS .....	48
<b>4.3.1. Densidade Aparente .....</b>	<b>48</b>
<b>4.3.2. Porosidade Aberta.....</b>	<b>49</b>
<b>4.3.3. Absorção de Água .....</b>	<b>50</b>
4.4. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO .....	52
4.5. ENSAIO DE RETRAÇÃO .....	53
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>55</b>
5.1. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....	56
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento econômico mundial é mais rápido do que a taxa de crescimento da população, como resultado, o consumo per capita de produtos de todos os tipos vem aumentando globalmente. As principais matérias-primas consumidas a nível mundial são: cimento, madeira e aço (ENVIRONMENT, 2013).

Em 2011 a matéria prima que mais se destacou no consumo mundial foi o cimento, tendo 3,6 bilhões de toneladas métricas ou 1,1 bilhões de m<sup>3</sup> consumidos, seguido da madeira, o aço, os plásticos *commodities* e o alumínio (ENVIRONMENT, 2013). Em matéria de consumo, cada habitante do planeta consome em média, 10 toneladas de material por ano, sendo de 40% a 75% deste montante utilizados na indústria da construção civil (PERES, 2012).

Entretanto, mesmo com o seu elevado consumo, o concreto possui algumas desvantagens que afetam seu desempenho e limitam suas aplicações, tais como o grau de porosidade, a fraca adesão a certos materiais, a baixa resistência a meios agressivos e de água salgada e o isolamento acústico deficiente (BARRERA; LÓPEZ; CRUZ, 2013). Para superar essas desvantagens, a busca por tecnologias alternativas, que possibilitam a melhoria de algumas propriedades tem sido estudada.

A adição de diferentes tipos de materiais na argamassa vem sendo amplamente estudada, e tem como finalidade a melhoria de algumas propriedades, como aumento da trabalhabilidade e a resistência, bem como o retardo da velocidade das reações químicas que ocorrem no concreto (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2014). Entre estes materiais, o emprego de materiais poliméricos tem ajudado no aperfeiçoamento de propriedades complementares que não se conseguem com os componentes isolados.

Segundo o relatório do *American Concrete Institute* (ACI) as vantagens do concreto modificado com polímero são: elevada aderência nos pontos de ligamento entre um concreto pré-existente e um concreto novo, nos casos de recuperação estrutural; Resistência química e à abrasão (tráfego de pedestres); Resistência à flexão e tração; Permeabilidade e módulo de elasticidade reduzido; excelente

propriedade dielétrica; Baixa porosidade e absorção de água; Resistência a gelo/degelo. Esta grande faixa de variação de propriedades permite que o polímero seja utilizado em diversas aplicações na construção civil, como o uso de poliuretanos em escala micrométrica em argamassas visando o aprimoramento de propriedades mecânicas com o uso de pequenas quantidades do material (PALHARES; BRASIL; COSTA, 2015).

Poliuretanos (PU's) são materiais poliméricos importantes e versáteis, principalmente devido a algumas de suas propriedades, como alta resistência à abrasão, resistência ao rasgo, excelente absorção de choques mecânicos, boa flexibilidade e elasticidade. Poliuretanos com estas propriedades podem ser interessantes modificadores do concreto, melhorando suas propriedades mecânicas e físico-químicas (SILVA *et al.*, 2012).

Dessa maneira, este trabalho tem o objetivo de estudar argamassas reforçadas com esferas micrométricas de poliuretanos, visando principalmente à possibilidade de melhoria das propriedades mecânicas, como absorção de choques e redução de propagação de trincas.

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Polímeros e Compósitos e no de Materiais de Construção do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e no Laboratório de Polímeros do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Santa Catarina (UDESC).

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

Estudar argamassas reforçadas com esferas micrométricas de poliuretanas

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Produzir as microesferas de poliuretana, através da técnica de polimerização por emulsão;
- Realizar a mistura das composições estabelecidas de poliuretana com a argamassa;

- Medir propriedades como absorção, densidade, porosidade, resistência à compressão, retração e índice de consistência das composições preparadas;
- Averiguar variações das propriedades citadas anteriormente nas composições que contém a poliuretana em relação ao concreto sem modificações.

## 2. REVISÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados os principais aspectos sobre os materiais que fazem parte do estudo em questão, baseado em informações literárias e normas brasileiras. Assim sendo, inicialmente será feita uma abordagem sobre as argamassas, referenciando suas características físicas e mecânicas, bem como definições e aplicações deste material. Em seguida, uma apresentação sobre as adições que são incorporadas à argamassa, dando ênfase a aplicação de poliuretanas. Serão discutidas as suas características, aplicações, o processo de reação química e sua importância no mercado atual.

### 2.1. ARGAMASSAS

Os primeiros registros do emprego da argamassa como material de construção são da pré-história, sendo que as mais antigas eram feitas a base de cal e areia. Com o passar do tempo, novas tecnologias foram sendo desenvolvidas e finalmente chegou-se ao cimento Portland, um dos principais componentes das argamassas modernas. As argamassas industrializadas tiveram seu uso disseminado no Brasil a partir dos anos 90, pois o mercado passava a exigir cada vez mais rapidez nas obras o que levou a incorporação de novas tecnologias. Essa evolução contínua levou ao surgimento das argamassas industrializadas no final do século XIX na Europa e Estados Unidos (COUTINHO; PRETTI; TRISTÃO, 2013).

### 2.2. DEFINIÇÕES E APLICAÇÕES DAS ARGAMASSAS

Argamassas são misturas homogêneas de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 7200,1998).

Segundo Fiorito (2009) normalmente a argamassa utilizada em obras é feita com areia natural lavada, e os aglomerantes são em geral cimento Portland e cal

hidratada, ou com apenas um desses elementos. Os aditivos também podem entrar na constituição da argamassa, conferindo a ela características especiais.

Os tipos de argamassa dependem do aglomerante utilizado. Assim, existe argamassa de cal, de cimento e mista (cal e cimento), tanto para assentamento quanto para revestimento (FIORITO, 2009).

As argamassas de cimento, por oferecer maior resistência e especialmente pela condição favorável de endurecimento, são utilizadas em alvenarias de alicerces, além de chapiscos e em revestimentos impermeáveis, como no interior de reservatórios de água ou em pisos cimentados onde se exige resistência mecânica e ao desgaste. Em contra partida, as argamassas de cal são utilizadas para emboço e reboco, devido suas propriedade de plasticidade, elasticidade, endurecimento, além de proporcionar acabamento aprimorado, plano e regular. Já as argamassas mistas, onde é acrescentado cal na argamassa de cimento com a finalidade de torná-la mais plástica e facilitar o acabamento, são utilizadas em alvenarias estruturais, nos contra-pisos e especialmente nos emboços de forros e paredes (FIORITO, 2009).

As argamassas de assentamento são utilizadas na ligação de blocos e tijolos com função de vedação ou estrutural, enquanto que as de revestimento são indicadas para cobertura de emboço, revestimento de fachadas, revestimento interno como camada de regularização, bem como acabamentos com fins decorativos (NBR 13281, 2005).

Para se ter uma ideia numérica da importância do revestimento como elemento isolante, um revestimento de argamassa com espessura entre 30 a 40 % da espessura da parede, pode ser responsável por 50% do isolamento acústico, 30% do isolamento térmico e contribui em 100% pela estanqueidade de uma vedação de alvenaria comum (SZLAK *et al.*, 2002).

Dependendo das proporções entre os constituintes da mistura e sua aplicação no revestimento, as argamassas de assentamento de alvenaria recebem diferentes nomes em seu emprego:

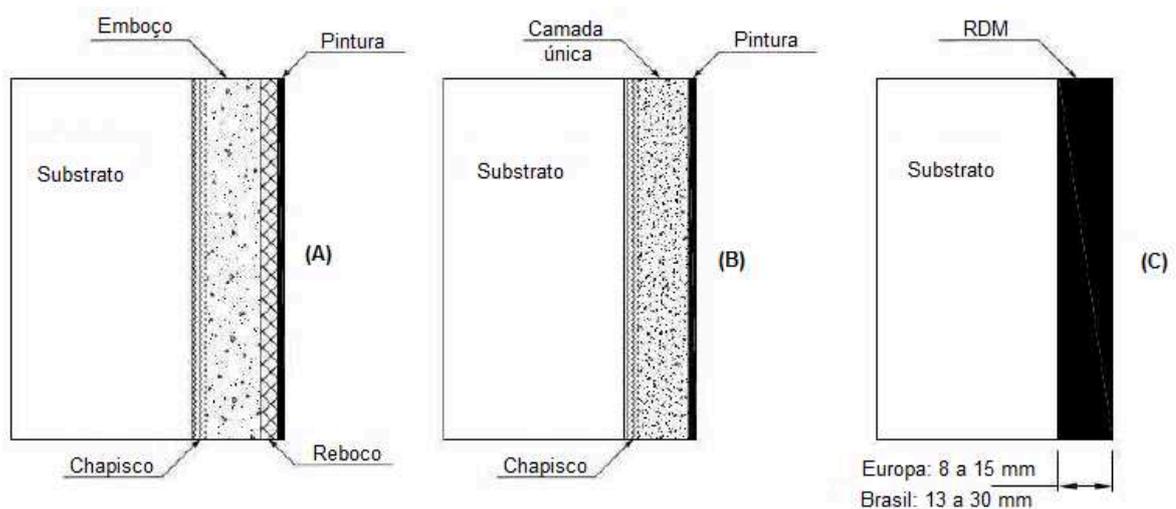
- (I) **Chapisco** é a camada de preparo da base e possui a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento (SZLAK *et al.*, 2002);
- (II) **Emboço** é uma camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base, propiciando uma superfície que permita

receber outra camada de reboco ou de revestimento decorativo (SZLAK *et al.*, 2002);

- (III) **Reboco** é a camada de cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento final (SZLAK *et al.*, 2002);
- (IV) **Massa única (emboço paulista)** é o revestimento executado numa única camada, exercendo as funções do emboço e reboco, sobre o qual é aplicada uma camada decorativa, como por exemplo, a pintura. Atualmente, é a mais utilizada em todo o Brasil (SZLAK *et al.*, 2002);
- (V) **Revestimento decorativo monocamada (RDM)** é um produto industrializado, ainda não normalizado no Brasil, muito utilizado na Europa, conhecida popularmente como monocapa, realiza a função de regularização e decoração em uma única camada (CARASEK, 2007).

A Figura 1 representa diferentes camadas para argamassa de revestimento, segundo sua aplicação:

Figura 1: Diferentes alternativas de revestimento de parede: (A) camada mista (Chapisco, Emboço, Reboco e Pintura), (B) Camada única (chapisco + pintura), (C) Revestimento decorativo monocamada (RDM)



Fonte: Carasek, 2007.

## 2.3. PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

As propriedades das argamassas são diretamente influenciadas pelos materiais empregados na sua execução. Estas propriedades são relevantes para a utilização final da mesma. As proporções dos vários materiais utilizados na elaboração da argamassa e a mistura resultante devem ser homogêneas e estar de acordo com o tipo de argamassa desejada. No seu estado inicial estes materiais ostentam boa plasticidade, mas, quando a mistura endurece, apresentam rigidez, resistência e aderência (ALMEIDA, 2010).

### 2.3.1. Propriedades das argamassas no estado fresco

A caracterização do comportamento das argamassas é avaliada através das propriedades no estado fresco. Esta caracterização deve de certa forma, também envolver e relacionar os parâmetros tradicionalmente conhecidos como, por exemplo: as condições de trabalhabilidade, consistência, plasticidade, retenção de água, densidade aparente, dentre outros (BAUER, 2005).

#### 2.3.1.1. Trabalhabilidade

Segundo Carasek (2007) a “trabalhabilidade é a propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas, em uma condição homogênea.” O mesmo afirma que a trabalhabilidade é resultante da conjunção de diversas outras propriedades, tais como: consistência; plasticidade; retenção de água; coesão; exsudação; adesão inicial, entre outras. Estas propriedades são de difícil mensuração e são analisados pela reologia.

Trabalhabilidade de uma argamassa é um conceito subjetivo que deve ser entendido como a maior ou menor facilidade de dispor a argamassa em sua posição final, cumprindo adequadamente sua finalidade, sem comprometer o bom andamento da tarefa em termos de rendimento e custo (RECENA, 2008, p. 37).

Para Bauer (2005) a trabalhabilidade é uma das mais importantes propriedades das argamassas no estado fresco. Bauer (2005) e Rilem (1982) *apud* Oliveira (2001) afirmam que “[...] a consistência e plasticidade são apontadas como as principais propriedades que determinam uma condição de trabalhabilidade das argamassas de revestimento.” (p.12).

Pode-se considerar que uma argamassa possui boa trabalhabilidade quando a mesma espalha-se facilmente sobre o substrato e adere a sua superfície. Não existe uma trabalhabilidade padrão a ser utilizada tanto no assentamento quanto no revestimento da alvenaria, portanto, sendo a trabalhabilidade considerada como uma propriedade subjetiva das argamassas (OLIVEIRA, 2001).

Uma boa trabalhabilidade das argamassas depende da combinação de diversos fatores como a qualidade dos agregados e dos aglomerantes, quantidade de água utilizada na mistura, consistência, capacidade de retenção de água da argamassa, tempo decorrido da preparação da argamassa, adesão, fluidez e massa. (ROMAN; MUTTI; ARAÚJO, 1999).

#### 2.3.1.2. Consistência

“[...] a consistência é a principal propriedade usada no controle da quantidade de água das argamassas. A consistência é a propriedade da argamassa pela qual esta tende a resistir à deformação e, ao manter-se esta consistência ao longo do tempo, tende também a manter esta resistência durante todo o período de aplicação.”. (OLIVEIRA, 2001, p. 13)

A consistência é definida por Carasek (2007) como uma propriedade na qual a argamassa tenha maior ou menor facilidade em deformar-se sob ação de cargas.

A quantidade de água adicionada à argamassa é o principal fator que influi nesta propriedade, onde se pode citar a relação água/aglomerante, relação aglomerante/agregado, granulometria do agregado e qualidade do aglomerante (OLIVEIRA, 2001).

#### 2.3.1.3. Plasticidade

Carasek (2007) define plasticidade como “a propriedade pela qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a retirada das tensões de deformações.”.

Segundo Oliveira (2001) “a plasticidade é a propriedade que permite a argamassa deformar-se e reter certas deformações após a redução das tensões a que a mesma foi submetida.”(p. 15). O mesmo afirma que a plasticidade de uma argamassa está diretamente ligada a sua consistência, coesão e retenção de água.

Para Cincotto (1995) *apud* Oliveira (2001) a plasticidade é influenciada basicamente pelo teor de ar, teor do aglomerante e pela intensidade de mistura das argamassas.

#### 2.3.1.4. Retenção de Água

“A retenção de água corresponde à propriedade que confere a argamassa a capacidade de essa não alterar sua trabalhabilidade, mantendo-se aplicável por um período adequado de tempo quando sujeita a solicitações que provoquem perda de água, seja ela por evaporação, sucção do substrato ou reações de hidratação.” (BAUER, 2005, p. 34).

Tristão (1995) *apud* Oliveira (2001) define a retenção de água, como “a capacidade da argamassa no estado fresco manter sua consistência quando submetida a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação, sucção ou absorção por uma superfície.” (p. 15).

Para Recena (2008) a retenção de água é “a capacidade de uma argamassa de liberar demoradamente a água empregada na sua preparação para o meio ambiente ou para substratos porosos. Quanto maior a quantidade de água empregada na preparação de uma argamassa, maior igualmente o volume de água a ser evaporado, gerando sempre retração por maior que seja a capacidade de uma mistura em reter água. Se a argamassa apresenta grande capacidade de retenção de água, a perda de água de amassamento é lenta, sendo desencadeado simultaneamente ao progressivo ganho de resistência o que garante a estruturação do material, minimizando a diminuição de volume e a probabilidade de instalação de processos de fissuração.” (p. 44).

A retenção de água determina as condições de manuseio das argamassas e influencia nas propriedades das mesmas no estado endurecido, como retração por secagem, aderência e resistência mecânica final. Para Oliveira (2001) os principais responsáveis pela capacidade de retenção de água das argamassas são os aglomerantes, devido a sua área específica.

“As argamassas que possuem elevada retenção de água permitem a hidratação do cimento sem perder a sua plasticidade, enquanto que as argamassas com baixa retenção de água dificultam o manuseio e podem

ocasionar a expansão do substrato.” (MUELLER, 1999 *apud* OLIVEIRA, 2001, p. 16).

A capacidade das argamassas de reter água é também de muita importância na garantia da aderência aos substratos, evitando o deslocamento de porções de argamassa empregadas em revestimentos de paredes e garantindo a homogeneidade das alvenarias pela manutenção da união dos vários elementos que a compõem na formação de um todo compacto (RECENA, 2008).

#### 2.3.1.5. Densidade de massa

Nakakura e Cincotto (2004) citam como propriedade importante no estado fresco para argamassa de assentamento e revestimento, a densidade de massa no qual é a relação entre a massa e o volume total da argamassa após 28 dias de cura.

“O valor da densidade de massa da argamassa é um indicativo da compacidade resultante da proporção de mistura agregado/aglomerante e da distribuição granulométrica do conjunto; determina indiretamente o volume de vazios incorporados pelos aditivos e a quantidade de água de amassamento perdida por evaporação.” (NAKAKURA; CINCOTTO, 2004, p. 16).

### 2.3.2. Propriedades das argamassas no estado endurecido

Para que as argamassas possam cumprir suas funções, algumas propriedades no estado endurecido devem ser conhecidas, como: resistência mecânica, retração, absorção de água e porosidade aberta.

#### 2.3.2.1. Retração

A retração é um processo sofrido pelas argamassas principalmente nas primeiras idades. A retração que ocorre ainda com as argamassas no estado fresco é uma questão de contração volumétrica do material pela saída da água utilizada na mistura. Já no estado endurecido a retração ocorre logo após o endurecimento da argamassa, resultante da reação química dos aglomerantes e da remoção da água absorvida nos produtos de hidratação, durante o processo de secagem (KOPSCHITZ, 1997 *apud* BASTOS, 2001, p. 20).

“A retração influencia de forma significativa quanto à estanqueidade e durabilidade dos revestimentos. Os fatores que afetam a retração das argamassas são o teor de aglomerante, o volume de água, a granulometria dos agregados e as condições ambientais.” (OLIVEIRA, 2001, p. 21).

Para Bastos (2001) a perda de água é a principal causa de retração. Entretanto, as argamassas podem estar sujeitas também à perda de água por sucção, quando aplicadas diretamente sobre substrato poroso. O autor ainda cita que a retração pode ter outras causas além da perda de água, como a retração térmica, retração por carbonatação na qual ocorre uma reação do dióxido de carbono do ar com compostos da pasta de cimento hidratada, a retração por hidratação do cimento e a retração autógena.

Dubaj (2000) afirma que tensões internas são provocadas pelo movimento de retração em consequência de uma diminuição de volume devida a perda de água para a base, por evaporação e, devido às reações de hidratação do cimento. Um consumo de água elevado é um forte indicativo do excesso de retração com probabilidade elevada de surgimento de fissuras e trincas, ficando o revestimento, portanto, sujeito a apresentar toda ordem de patologias. A retração pode ocorrer, também, após a secagem do revestimento, pela variação do grau hidrocópico do ambiente (p. 13).

Segundo Thomaz (1989) *apud* Oliveira (2001) afirma que “[...] a forma geométrica da peça influi sensivelmente na grandeza da retração. Quanto maior a relação área exposta da peça/volume da peça, maior a retração a ser desenvolvida.”.

#### 2.3.2.2. Resistência Mecânica

A resistência mecânica pode ser conceituada como “a propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento.” (SELMO, 1989 *apud* DUBAJ, 2000, p.12).

Para Bauer (2005) o principal responsável pelo desenvolvimento das propriedades mecânicas das argamassas de revestimento é o cimento. Contudo, misturas muito ricas em cimento provocam o aumento de retração hidráulica, além da redução da capacidade do material absorver pequenas deformações sem que ocorra fissuração (OLIVEIRA, 2001).

Segundo Rato (2006) “[...] a resistência mecânica de uma argamassa depende essencialmente de dois aspectos: o tipo de rede cristalina da matriz e o tipo de estrutura porosa. O primeiro está relacionado com o tipo de ligante e a forma como se deu o endurecimento da pasta. O segundo depende da quantidade, dimensão e forma dos poros.” (p. 63).

Para vários autores, entre eles Martinelli (1989) *apud* Dubaj (2000) a resistência mecânica é tida como uma das principais propriedades responsáveis pelo êxito das argamassas nas diversas funções do revestimento.

Uma grande resistência à compressão da argamassa não implica necessariamente em uma parede mais resistente, ou seja, em uma melhor solução estrutural (ROMAN, 1999 *apud* OLIVEIRA, 2001, p. 19).

Bauer (2005) também descreve que “[...] o acréscimo de água pode reduzir as resistências mecânicas do revestimento e contribuir para a ocorrência de fissuração devido à retração” (p. 13).

#### 2.3.2.3. Absorção de Água

A absorção de água é consequência da ação da capilaridade, isolada ou em conjunto com outras ações, como a pressão exercida pelo vento em situações de chuva. Porém sabe-se que a absorção de água possui ligação direta com a quantidade e o tamanho dos poros do material (RATO, 2006).

“A importância do estudo da absorção de água e da permeabilidade dos revestimentos de argamassa é vista quando se faz a análise da incidência de manifestações patológicas nestes revestimentos e constata-se que a umidade é uma das principais causas.” (DIAS; CARASEK, 2003, p. 543).

#### 2.3.2.4. Porosidade aberta

“A porosidade de um revestimento em argamassa está intrinsecamente ligada a sua composição, a seu procedimento de aplicação e ao processo de cura adotado, bem como à porosidade e à textura da superfície sobre a qual é aplicada.” (QUARCIONI *et al.*, 2009, p. 176).

Segundo Gomes (2008), para conferir trabalhabilidade nas argamassas utiliza-se uma quantidade de água superior a necessária para produzir as reações de endurecimento da mistura. Assim, a quantidade excessiva de água, que não é utilizada no processo de hidratação, é perdida superficialmente (por evaporação) ou

através do contato entre argamassa e substrato. Desta perda de água surge a porosidade da argamassa.

Quarcioni *et al.* (2009) afirma que a porosidade “[...] interfere na durabilidade do revestimento e tem particular importância por acumular umidade e propiciar o crescimento de fungos” (p. 167). O autor também cita que com os dados sobre a porosidade total de uma argamassa e o tipo e a distribuição de poros em sua microestrutura permitem inferir conclusões sobre os fenômenos que prejudicam o desempenho de determinado revestimento, assim como complementar as análises das propriedades mecânicas desses materiais.

Para Rato (2006) um material poroso é aquele que contém espaços não preenchidos por sólidos, normalmente ocupados por um fluido, sendo ar ou água e que a quantidade de água absorvida depende essencialmente do valor da porosidade na argamassa e que essas propriedades interferem diretamente no desempenho e durabilidade do material.

#### 2.4. ADIÇÕES

Adição é todo o material inorgânico finamente dividido, que pode ser adicionado à argamassa com o objetivo de obter ou melhorar propriedades específicas (ALMEIDA, 2010).

Segundo Ribeiro (2007) as adições são materiais extremamente finos, diminuem o volume de vazios, contribuindo para uma menor porosidade, reduzem a permeabilidade e, conseqüentemente, melhoram a resistência mecânica.

Esta prática foi inicialmente utilizada por razões de economia, tendo-se desenvolvido significativamente durante os anos 70, com a crise do petróleo. As adições minerais são as mais utilizadas atualmente, por razões ambientais e econômicas, uma vez que entre seus benefícios destacam-se a diminuição de emissão de  $CO_2$  na atmosfera gerada pela produção do clínquer e devido ao fato de as adições serem constituídas geralmente por resíduos industriais que não são lançados no meio ambiente (CARVALHO; GOMES; SIMÕES, 2013).

Além disso, há melhora das propriedades do concreto no estado fresco e endurecido, sendo o primeiro conseguido em termos de fluidez, resistência à segregação e exsudação, e o segundo consistindo em aumento de resistência e durabilidade devido ao refinamento de poros. Destes produtos, pode-se referir as

cinzas volantes, as escórias de alto-forno e o fíler calcário como sendo as mais empregadas (CARVALHO; GOMES; SIMÕES, 2013).

Uma das principais estratégias no desenvolvimento sustentável na indústria da construção civil é aumentar a durabilidade dos materiais. Normalmente, nos materiais a base cimento Portland isso pode ser conseguido com a substituição parcial do clínquer Portland por adições minerais. A presença de tais adições modifica as características microestruturais e as propriedades dos materiais no estado fresco e endurecido. No entanto, o desempenho de um material cimentício depende da interação das adições com o cimento, sendo relevante a seleção criteriosa dos muitos materiais disponíveis e das proporções dos constituintes para sua composição (SEFFF; HOTZA; REPETTE, 2010).

Porém, as argamassas modificadas com polímero têm sido objeto de estudo em diversas pesquisas no Brasil e em outros países, constatando-se que estas adições podem melhorar significativamente as propriedades de compósitos de cimento Portland, entre os quais se destacam as argamassas. Os polímeros são adicionados na forma de dispersão (látex ou emulsão) às argamassas durante a mistura (ALMEIDA; SICHIERI, 2006).

Argamassas com adições de polímero apresentam boas propriedades no estado fresco, tais como aumento na incorporação de ar resultando na melhora da trabalhabilidade e capacidade de retenção de água, favorecidas pela formação de filme ou membrana polimérica que restringe a perda de água por evaporação para o ambiente e por absorção pelo substrato, aumentando o tempo de hidratação do cimento (ALMEIDA; SICHIERI, 2006).

## 2.5. POLIURETANOS

O desenvolvimento comercial dos poliuretanos (PU's) começou na Alemanha no final da década de 1930, inicialmente com a fabricação de espumas rígidas, adesivos e tintas. Os elastômeros de PU's tiveram a sua origem no início da década de 1940, na Alemanha e Inglaterra. A década de 1950 registrou o grande desenvolvimento comercial dos PU's em espumas flexíveis. Durante a década de 1960, o uso dos clorofluorcarbonos (CFC's) como agente de expansão das espumas rígidas resultou no grande emprego deste material em isolamento térmico. Finalmente, na década de 1990 presenciou a preocupação com o meio ambiente,

com as pesquisas voltadas para a substituição dos CFC's considerados danosos à camada de ozônio terrestre (VILAR, 1999).

### **2.5.1. Definições e Aplicações**

Os PU's foram descobertos por Otto Bayer em 1937. Eles são normalmente produzidos pela reação de um isocianato (di ou polifuncional) com um polioliol ou outros reagentes contendo dois ou mais grupos reativos (VILAR, 1999).

Cerca de 90% dos polióis consumidos são polióis poliéteres de diferentes estruturas a base de polipropileno glicol (PPG), usados em espumas flexíveis em colchões e estofados. De todos os isocianatos consumidos, 95% são à base do tolueno diisocianato (TDI) e do metileno difenil isocianato (MDI) e seus derivados, sendo esse os diisocianatos de maior consumo atualmente no mundo (VILAR, 1999).

A natureza química bem como a funcionalidade dos reagentes pode ser escolhida de acordo com as propriedades desejadas. Esta flexibilidade de escolha de reagentes possibilita a obtenção de ampla variedade de compostos com diferentes propriedades físicas e químicas, que permite aos poliuretanos ocupar uma posição importante no mercado mundial de polímeros sintéticos de alto desempenho (VILAR, 1999).

Os polímeros poliuretanos são extremamente versáteis, podendo ser utilizados para a fabricação dos mais diferentes produtos, tais como adesivos, espumas rígidas e flexíveis, vedações e tintas. Certos tipos de poliuretanos podem ainda ser classificados como polímeros de alto desempenho, devido a sua eficiência no isolamento térmico, aos altos módulos de elasticidade que podem ser alcançados e a boa resistência à temperatura e agressores químicos (WIEBECK; HARADA, 2012).

É possível obter infinitas variações de produtos pela combinação de diferentes tipos de polióis, isocianatos e aditivos, tais como: extensores de cadeia, catalisadores, agentes de expansão, surfactantes, etc. (VILAR, 1999).

Dependendo da tecnologia aplicada, os poliuretanos podem apresentar características de polímeros termoplásticos ou termorrígidos (também chamados termofixos). Os polímeros termoplásticos são aqueles que sob efeito de temperatura e pressão, amolecem assumindo a forma do molde e sob nova alteração de

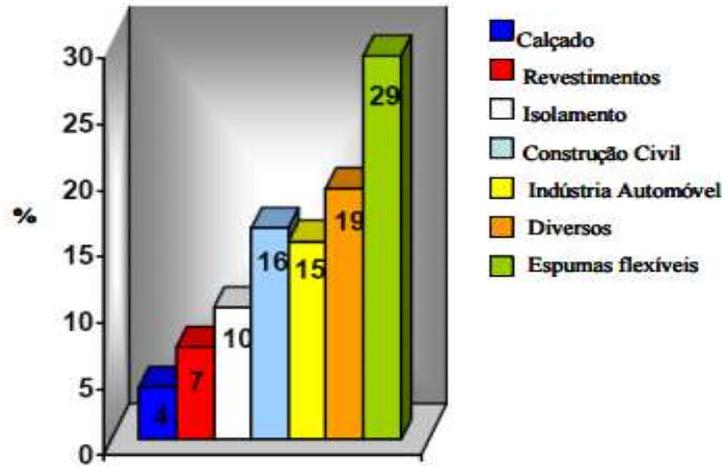
temperatura e pressão, reiniciam o processo de moldagem, sendo, portanto, recicláveis. Já os polímeros termorrígidos, sob efeito de temperatura e pressão, amolecem assumindo a forma do molde, mas quando aplicada nova alteração de temperatura e pressão, não faz efeito algum, tornando-os materiais insolúveis, infusíveis e não recicláveis (DANIEL *et al.*, 2011).

O poliuretano tem grande importância principalmente em indústrias químicas e petroquímicas como revestimento térmico em tubulações. A eficiência dos processos, custos de energia e manutenções nessas indústrias são diretamente afetados pelo desempenho do sistema de isolamento térmico, além de existir a busca pela sustentabilidade. Neste contexto, as espumas de poliuretano se destacam, pois, além de possuir ótima relação custo/benefício, é um dos materiais com melhor coeficiente de condutividade térmica (fator  $k$ ), facilmente processável, expansível e preenche com facilidade qualquer cavidade conferindo adesão e rigidez (ABE, 2008).

No Brasil, um ótimo exemplo da importância do poliuretano é a Petrobrás, que possui malha de 9500 km de tubulações para óleo e gás, sendo que aproximadamente 500 km são oleodutos térmicos isolados com poliuretano (ABE, 2008).

O mercado mundial dos poliuretanos, de acordo com dados publicados em 2000, correspondia a cerca de 8,5 milhões de toneladas. A Figura 2 mostra a percentagem de consumo de poliuretanos nos diferentes segmentos de aplicação industrial. Atualmente, a nível europeu e de acordo com dados da indústria, o setor dos poliuretanos gera anualmente um valor de mercado de aproximadamente 138 bilhões de euros e emprega cerca de 1.200.000 pessoas (FERNANDES, 2008).

Figura 2: Consumo mundial de poliuretanos por segmentos de aplicação industrial

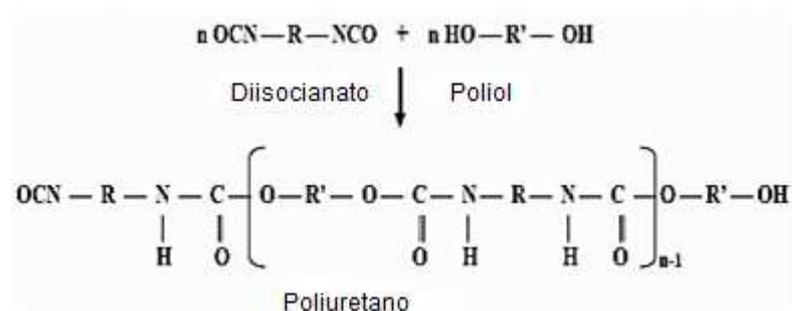


Fonte: Fernandes (2008, p. 5).

### 2.5.2. Reação química de polimerização

Os PU's são polímeros que contém o grupo uretano, também denominado carbonato. O grupo uretano resulta da reação do grupo isocianatos (NCO) com o grupo hidroxila (OH) conforme representado na Figura 3. Esse grupo não é na maior parte dos casos, o grupo funcional majoritário. A gama alargada de propriedades destes materiais advém da capacidade de incorporar outros grupos funcionais na cadeia do polímero (FERNANDES, 2008).

Figura 3: Reação genérica da formação de um poliuretano



Fonte: Fernandes (2008, p.6).

Os isocianatos reagem com compostos que apresentam na sua constituição átomos de hidrogênio ativos, como é o caso da reação com os álcoois para formar

ligações uretano. Apresentam também a capacidade de reagir com aminas formando uréias. A reação com água forma um intermediário que depois se decompõe numa amina e  $CO_2$  (FERNANDES, 2008).

### **2.5.3. Polimerização por Emulsão**

A polimerização é um tipo particular de reação química, na qual partindo de um ou mais tipos de moléculas (monômeros) ocorre a formação de uma molécula de alto peso molecular (polímero). Para que a reação de polimerização ocorra é necessário que as moléculas dos monômeros tenham no mínimo dois grupos reativos (ou funcionais).

Os polímeros são macromoléculas que são formadas unindo uma grande quantidade de pequenas moléculas. Estas pequenas moléculas que combinadas umas as outras formam os polímeros que são denominados monômeros e a esta reação dá-se o nome de polimerização (ODIAN, 2004).

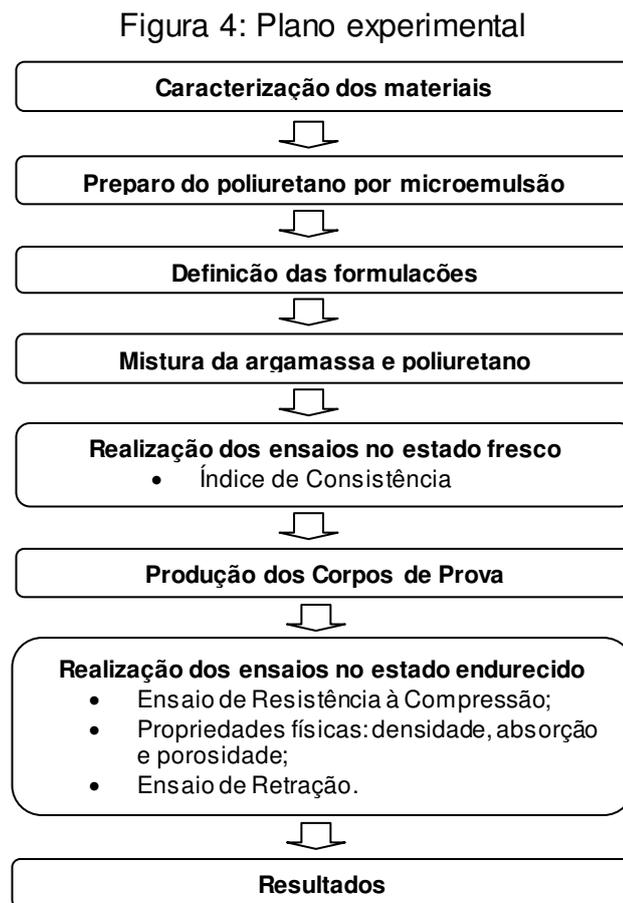
Polimerização pode ser distribuída em dois grupos: sistemas homogêneos e heterogêneos. No sistema heterogêneo, ocorre a polimerização em emulsão, que utiliza monômero, iniciador, solvente e emulsificante, resultando em um produto sob a forma de partículas muito pequenas e apresenta menor toxicidade e perigo ao meio ambiente (PEZZIN, 2010).

Emulsão é um sistema onde dois líquidos que não se misturam são dispersos um no outro. Micro emulsão é uma emulsão estável com partículas de tamanho variados de 50nm a 500nm, essa técnica normalmente é utilizada com a dispersão de partículas de fases oleosas em água. Normalmente as micro emulsões são preparadas com sistemas contendo uma fase oleosa, água, surfactante e um componente hidrofóbico. Nesse sistema o hidrofóbico suprime a troca de massa entre as partículas de óleos fazendo com que cada partícula dispersa se torne um nano-reator e produzindo partículas de polímeros tão pequenos quanto as partículas de óleo dispersa na emulsão (WILEY,2013).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é descrito o planejamento experimental, os materiais utilizados, o preparo e dosagem das argamassas, além dos ensaios realizados no estado fresco e endurecido.

A parte experimental do trabalho foi desenvolvida em diversas etapas. A produção da poliuretana, o preparo das argamassas e os ensaios foram realizados no Laboratório de Polímeros do departamento de Engenharia Mecânica da UDESC/Joinville e no Laboratório de Materiais de Construção da UFSC/Joinville. O fluxograma da Figura 4 resume as etapas do planejamento experimental executado.



Fonte: Autor, 2016.

Todas as etapas apresentadas no plano experimental da figura acima serão descritas nas sessões seguintes.

### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS

A seguir será apresentada a caracterização dos materiais utilizados nesse trabalho.

#### 3.1.1. Cimento

O cimento Portland CP II - Z da marca Votoran, foi utilizado por ser amplamente empregado nas obras de construção da região. Sua composição inclui silicatos de cálcio, alumínio e ferro, sulfato de cálcio, fíler carbonático e pozolona.

Algumas informações fornecidas pelo fabricante são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Ficha técnica do cimento para reboco da Votoran.

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

Fonte: VOTORANTIM, 2016.

#### 3.1.2. Areia

Para realização dos ensaios foi utilizado somente um tipo de areia seca, onde a mesma passou por um processo de peneiramento antes de sua utilização nos ensaios (Figura 5). Segundo critérios NBR NM ISO 3310-1, a abertura da peneira passante usada foram 2,36 e 4,75 mm.

Figura 5: (a) Areia; (b) e (c) peneiras usadas.



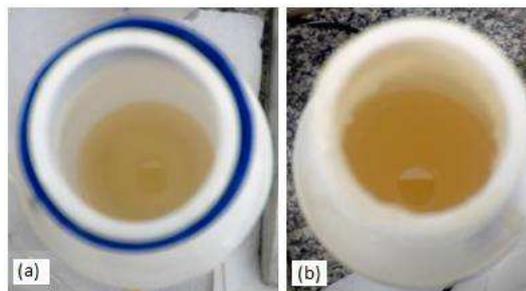
Fonte: Autor, 2016.

Segundo critérios da NBR 7214/82 a areia pode ser classificada entre média fina e fina.

### 3.1.3. Adição Polimérica

Para a produção do poliuretano utilizado como adição polimérica foi usada uma mistura de 100 partes de polioli para 72 partes de isocianato (massa/massa). O polioli utilizado é um polioli poliéster de nome comercial Lecopol E13001, enquanto o isocianato é um pré-polímero derivado do MDI com nome comercial Lecopol E13002 fabricado pela empresa Purcom Sistemas de Poliuretano Ltda (Figura 6).

Figura 6: (a) isocianato; (b) polioli.

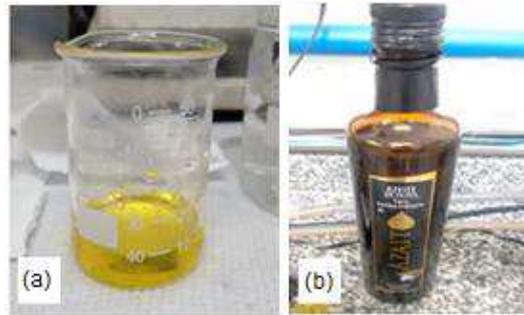


Fonte: Autor, 2016.

### 3.1.4. Aditivos

O Tween 80 foi utilizado como surfactante, este é um tensoativo não iônico, e possui como base o polietileno sorbitol éster. O azeite de oliva foi usado como estabilizante (Figura 7).

Figura 7: (a) Tween 80; (b) Azeite de oliva.



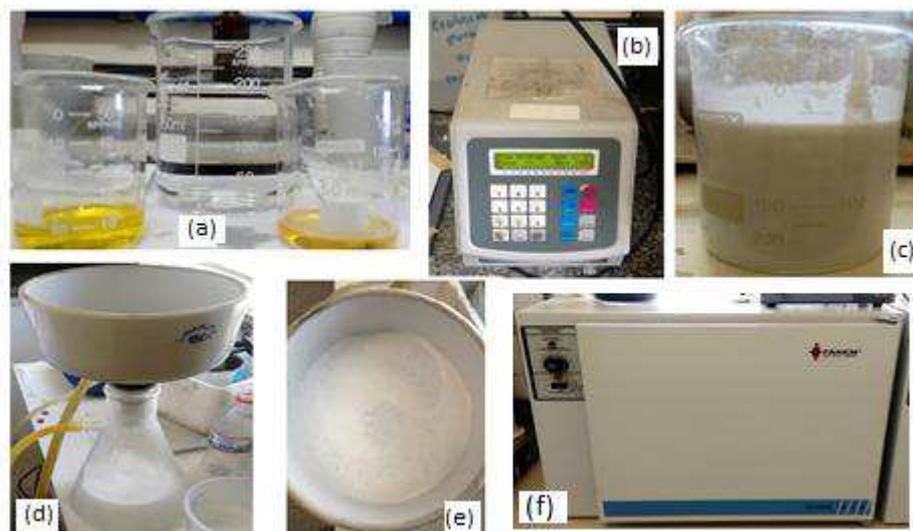
Fonte: Autor, 2016.

### 3.2. PREPARO DO POLIURETANO POR MICROEMULSÃO

O procedimento de preparo foi adaptado de um artigo científico sobre polimerização de poliuretano em microemulsão.

A produção das microesferas (Figura 8) consiste em uma primeira etapa de início da reação a seco, dispersão, sonificação e polimerização em água, secagem do produto e separação das partículas agregadas.

Figura 8: Processo de Produção da Poliuretana: (a) Tween/Água/Azeite; (b) Sonificador; (c) amostra pós sonificador; (d) e (e) filtro a sucção; (f) estufa.



Fonte: Autor, 2016.

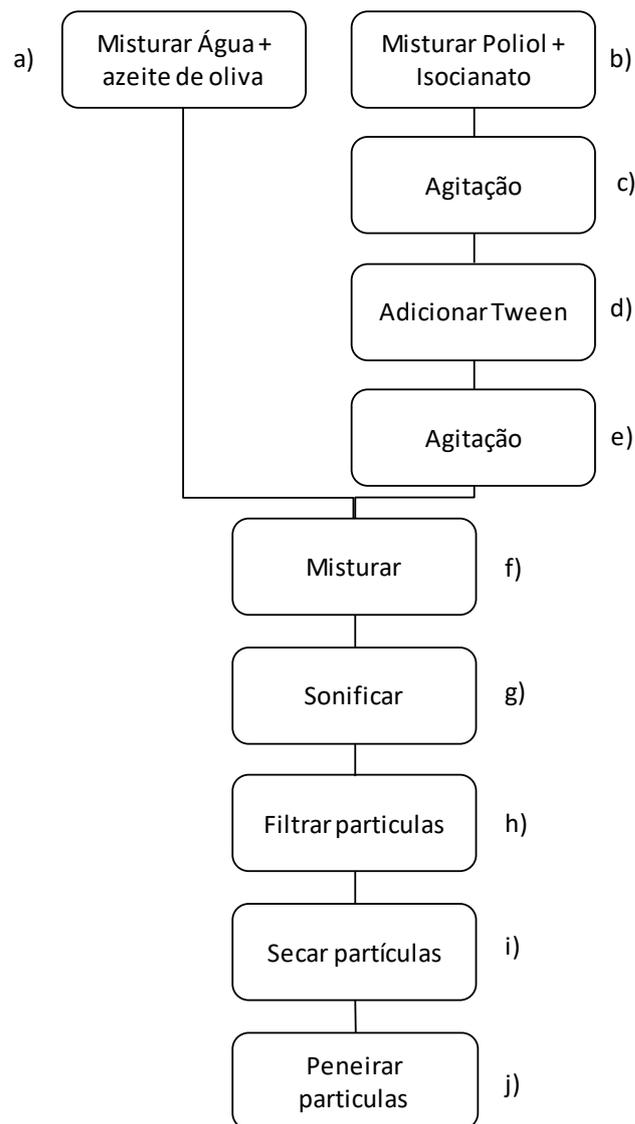
As quantidades de materiais utilizadas em cada amostra do método foram:

- 200 ml de água;

- 2,9 g de Polioli;
- 2,8 g de Isocianato;
- 0,5 g de azeite;
- 1,0 g de Tween 80;

O método de preparo da poliuretana é resumido na Figura 9:

Figura 9: Esquema do Método Proposto.



Fonte: Autor, 2016.

As especificações do procedimento de produção das poliuretanas foram:

- a) Misturar água + azeite de oliva
- b) Misturar polioli + isocianato;

- c) 1:30 min de agitação manual da mistura polioliol + isocianato;
- d) Adicionar Tween 80;
- e) 30 segundos de agitação manual da mistura Tween + (polioliol + isocianatos);
- f) Fazer a mistura em um becker dos itens a) e e);
- g) Sonificar por 15 minutos com uma amplitude de 100% do sonificador, a mistura do item f);
- h) Filtrar partículas em um filtro de sucção;
- i) Secar partículas a uma temperatura de 60°C na estufa por 24 horas;
- j) Peneirar partículas.

O modelo do sonificador utilizado foi o SONICS Vibracell VCx750 Ultrasonic disruptor de células. Para filtragem foi usado papel filtro quantitativo faixa preta da marca Quanty JP41- Cinza 0,00014g. Algumas especificações do filtro são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Especificações Técnicas do papel filtro Quanty.

<b>Diâmetro</b>	15 cm
<b>Filtração</b>	Rápida
<b>Gramatura</b>	80 g/cm <sup>2</sup>
<b>Permeabilidade ao ar</b>	55 l/s m <sup>2</sup>
<b>Maioria dos Poros</b>	28 µm

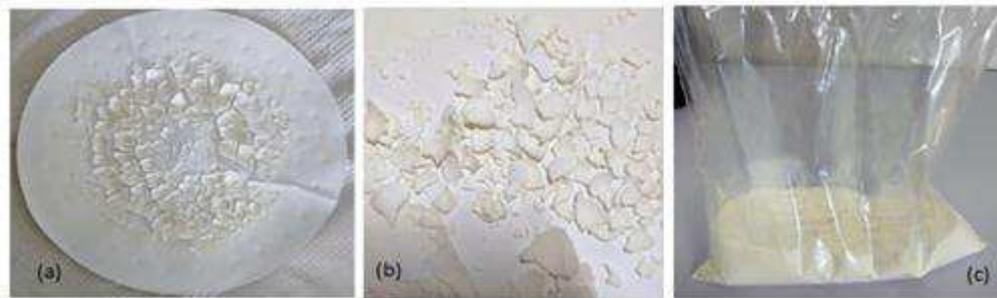
Fonte: Autor, 2016.

Após todo esse procedimento as amostras foram peneiradas após serem retiradas da estufa com o intuito de quebrar os aglomerados.

### 3.2.1. Caracterização da Poliuretana

Após a metodologia executada na produção das microesferas, se obteve o produto como mostra a Figura 10.

Figura 10: Poliuretana: (a) e (b) amostra após retirada da estufa; (c) adição pronta para uso após ser peneirada



Fonte: Autor, 2016.

Com o intuito de determinar os grupos funcionais do componente poliuretana pura, a espectrometria na região de infravermelho por transformada de Fourier foi utilizada. Os espectros do componente foram obtidos pelo espectrômetro FTIR Perkin Elmer Spectrum One, em uma faixa espectral de 4000 a 550  $\text{cm}^{-1}$ .

Para a análise de distribuição do tamanho de partículas, foi realizado o método de difração a laser com o auxílio do equipamento da marca SHIMADZU modelo SALD – 7001, o qual permite a determinação de tamanho de partículas de 10nm a 500 $\mu\text{m}$ . Para a execução desse método, as partículas foram sonificadas por mais 1 minuto em água com o objetivo de desagregá-las.

### 3.3. DEFINIÇÃO DAS FORMULAÇÕES E PROCESSO DE MISTURA DA ARGAMASSA E POLIURETANO

Neste trabalho, a metodologia empregada permitiu estudar a influência da adição do poliuretano (PU) em argamassas. Para tanto, foram produzidos corpos de prova variando os teores de PU (0, 0,5%, 1 e 2 % , em massa de cimento), buscando avaliar a influência da referida adição sobre as propriedades no estado fresco e endurecido. Além disso, a trabalhabilidade foi mantida constante pelo espalhamento horizontal da argamassa sobre a mesa no estado fresco de  $23 \pm 1$  cm, sendo possível analisar o efeito combinado das adições com a água.

A Tabela 3 mostra as formulações usadas para a produção dos corpos de prova, bem como a porcentagem do poliuretano, em relação à massa de cimento, adicionado à argamassa:

Tabela 3: Formulações das argamassas com teores distintos de poliuretano.

Traço	% PU	Areia (g)	Água (g)	Cimento (g)
I	0	900	150	300
II	0,5	900	150	300
III	1	900	150	300
IV	2	900	160	300

Fonte: Autor, 2016.

O procedimento experimental de preparo de todas as amostras seguiu o mesmo roteiro (Figura 11):

Figura 11: Materiais e equipamento utilizado para produção da argamassa: (a) cimento; (b) areia; (c) poliuretano; (d) água; (e) argamassadeira kitchenaid Stand Mixer 220V.



Fonte: Autor, 2016.

- Determinação da quantidade, em massa, dos materiais componentes do traço em estudo, necessários para moldagem dos corpos-de-prova;
- Determinação da quantidade de água necessária para que o traço atinja o índice de consistência desejado;
- Após a determinação dos traços, foi feita a pesagem dos materiais constituintes das formulações;

- d) Misturar o agregado, aglomerante e adição num saco plástico de modo que os sólidos fiquem homogêneos;
- e) Colocar a mistura na argamassadeira e adicionar água, e misturar manualmente por 1:30 min até que se obtenha uma mistura homogênea; após esse processo deixar na argamassadeira misturando por 1 min na velocidade 2 em uma rotação de aproximadamente 76 RPM; desligar e mexer manualmente por mais 1:30 min e voltar a deixar na argamassadeira misturando por 1 min na velocidade 2;

Após o preparo da argamassa, conforme explicado, procedeu-se a realização da moldagem dos corpos-de-prova.

### 3.4. REALIZAÇÃO DO ENSAIO NO ESTADO FRESCO

#### 3.4.1. Índice de Consistência

A trabalhabilidade da mistura é caracterizada pelo ensaio de mesa de consistência, que é normatizado pela NBR 13276:2005. O índice de consistência fisicamente é a média de 3 medições para cada formulação do diâmetro do quanto a argamassa molhou a superfície.

Com a finalidade de se obter argamassas com a trabalhabilidade semelhantes, o índice de consistência foi fixado em  $23 \pm 1$  cm para todas as formulações. Assim sendo, foi necessário variar a quantidade de água.

Foram aplicadas 30 quedas padronizadas seguida da medição dos diâmetros do espalhamento (em cm) da argamassa na mesa.

Neste ensaio, utilizou-se uma forma tronco-cônica de dimensões 8,0 e 12,5 cm de diâmetro e 6,5 cm de altura. A mesa de forma circular possui um diâmetro de 50 cm e pesa 12,0 kg (Figura 12).

Figura 12: Mesa para determinação da consistência das argamassas no estado fresco



Fonte: Autor, 2016.

### 3.5. ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

#### 3.5.1. Resistência à Compressão Axial

Este ensaio foi realizado com o objetivo de determinar a resistência mecânica à compressão axial de corpos de prova cilíndricos aos 28 dias de cura, dos diferentes traços de argamassa utilizados nesse trabalho.

Para realização desse ensaio, foi produzidos 12 corpos de prova cilíndricos em tubo PVC de 25 mm de diâmetro e 45 mm de altura (Figura 13). O ensaio foi baseado na norma NBR 7215:1996, mas os corpos de prova foram adaptados devido a pouca quantidade de adição. Para facilitar a desmoldagem dos corpos de prova foi passado óleo lubrificante semissintético da marca Ipiranga SAE 15W50.

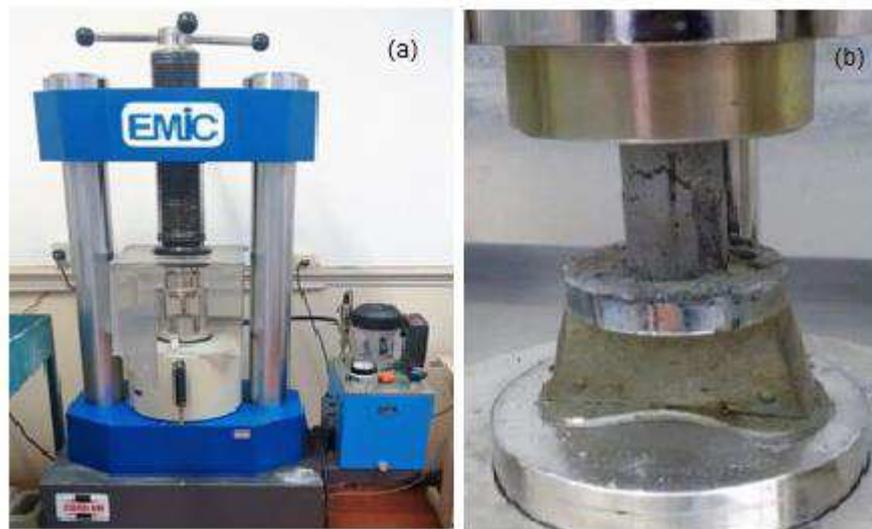
Figura 13: Corpos de prova cilíndricos: (a) moldes; (b) após moldados; (c) após 28 dias.



Fonte: Autor, 2016.

O equipamento utilizado para o ensaio foi a máquina universal da EMIC com capacidade de carga de 2000 KN (Figura 14) e possui um erro de calibração de 4%.

Figura 14: Ensaio de compressão: (a) Máquina utilizada; (b) Forma de colocação do corpo de prova.



Fonte: Autor, 2016.

Foi transmitido uma carga de compressão ao corpo de prova até o seu rompimento, numa velocidade de solitação de 0,2 MPa/s.

### **3.5.2. Propriedades físicas: densidade aparente, absorção de água e porosidade aberta.**

Para realização desse ensaio, foi produzidos 8 corpos de prova cilíndricos em tubo PVC de 25 mm de diâmetro e 45 mm de altura.

Aos 28 dias de cura, foi realizado o ensaio de caracterização física de acordo com a norma NBR 9778:2006, para determinar a densidade aparente, a absorção de água e a porosidade aberta através dos valores obtidos com as pesagens de massa seca, imersa e saturada de superfície seca.

Para cada uma das formulações foram quebrados 2 corpos de prova, com o auxílio de uma prensa, resultando em 6 ou 7 amostras (Figura 15).

Figura 15: Amostras utilizadas para determinação das propriedades físicas.



Fonte: Autor, 2016.

O método utilizado para a determinação destes parâmetros seguiu o princípio de Arquimedes, cujo procedimento consistiu em:

- a) Secagem das amostras a uma temperatura aproximadamente de 100°C e pesagem das mesmas em uma balança analítica com precisão de 0,01 g (Figura 16);

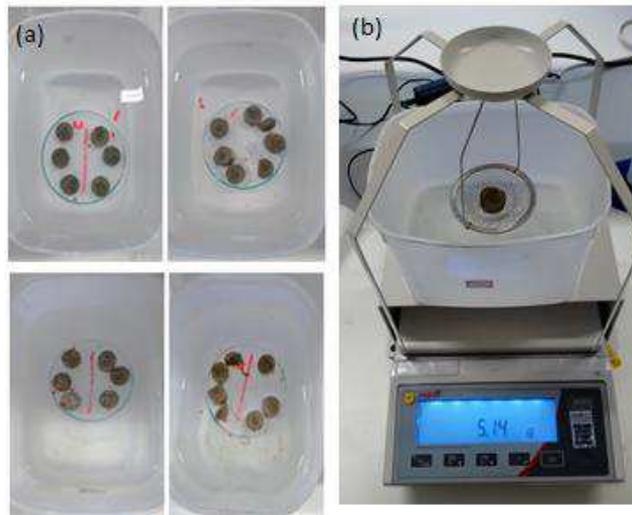
Figura 16: (a) Estufa utilizada para secagem da amostra; (b) Pesagem da massa seca da amostra.



Fonte: Autor, 2016.

- b) Imersão das amostras em água durante 72 horas, logo após foi realizada a pesagem imersa (Figura 17);

Figura 17: (a) Amostras imersas; (b) Pesagem da amostra imersa.



Fonte: Autor, 2016.

- c) Pesagem da amostra após secagem da superfície com o auxílio de um papel absorvente (Figura 18).

Figura 18: Pesagem da amostra com secagem de superfície



Fonte: Autor, 2016.

Através das pesagens realizadas e das equações 1, 2 e 3 constantes na norma NBR 9778:2006, foi possível definir as propriedades desejadas.

- a) Densidade Aparente (D) em g/cm<sup>3</sup>:

$$D = \frac{M_s}{M_{sat} - M_l} \quad (\text{Eq. 1})$$

b) Absorção de Água (A) em %:

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

c) Porosidade Aberta (P) em %:

$$P = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_I} \times 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

Sendo:

- $M_s$  = Massa seca (g);
- $M_{sat}$  = Massa saturada de superfície seca (g);
- $M_I$  = Massa Imersa (g).

### 3.5.3. Ensaio de Retração

Para a realização deste ensaio foram produzidos 3 corpos de prova para cada formulação, com as dimensões: 2,5 x 2,5 x 28,5 cm (Figura 19).

O processo de execução se deu através do preparo do material, a moldagem, a desmoldagem que ocorreu 24 horas após o processo anterior, onde os corpos de prova foram armazenados em local adequado (sem interferência humana) e por fim o procedimento de testes conforme a NBR 15261:2005.

Figura 19: Corpos de prova utilizados para ensaio de retração



Fonte: Autor, 2016.

A Figura 20 ilustra o equipamento comparador de expansibilidade utilizado no ensaio para medir a variação dimensional dos corpos de prova, este equipamento tem precisão de 0,001 mm. As leituras foram efetuadas em 1, 7, 14, 21 e 28 dias, após o procedimento de moldagem.

Figura 20: Comparador de expansibilidade.



Fonte: Autor, 2016.

Para calcular a porcentagem de retração dos corpos de prova, foi utilizada a equação:

$$Ct = \frac{DI}{C} \times 100$$

Onde:

- $Ct$  = *contração no tempo (%)*;
- $DI$  = *variação do comprimento do corpo de prova (mm)*;
- $C$  = *comprimento efetivo do corpo de prova (mm)*.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados dos ensaios realizados para a obtenção da poliuretana e da argamassa, nos estados fresco e endurecido, seguidos das análises e discussões.

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

#### 4.1.1. Areia

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos no ensaio de caracterização da areia, onde foi constatado que a mesma é classificada como areia entre média fina e fina.

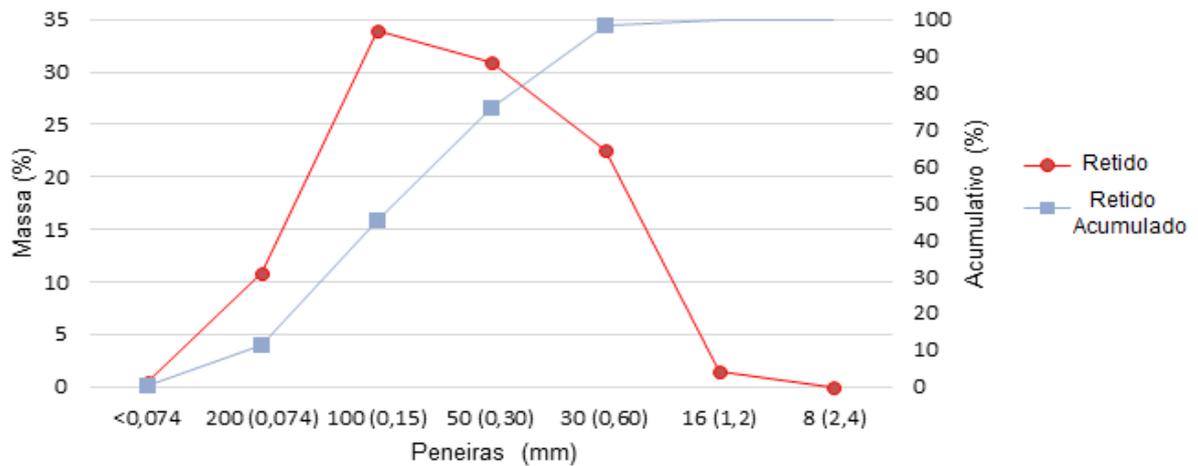
Tabela 4: Análise granulométrica da areia utilizada.

N <sup>o</sup> Peneira / Abertura (mm)	Material Retido (%)	Material Acumulado Retido (%)
<0,074	0,41	0,41
0,074	10,81	11,22
100 / 0,15	33,97	45,19
50 / 0,3	30,88	76,07
30 / 0,6	22,57	98,64
16 / 1,2	1,41	100
8 / 2,4	0	100
TOTAL	100	

Fonte: Autor, 2016.

A Figura 21 mostra a curva granulométrica da areia, formada a partir dos dados apresentados na tabela anterior.

Figura 21: Curva granulométrica da areia utilizada.

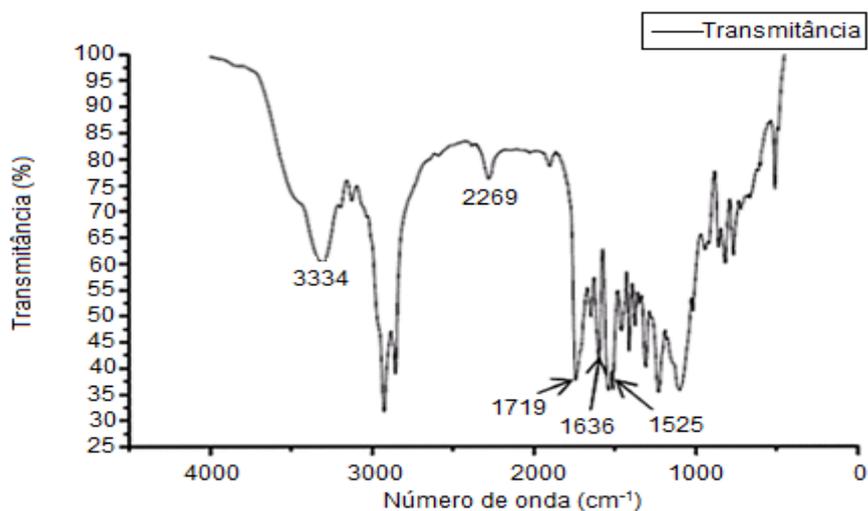


Fonte: Autor, 2016.

#### 4.1.2. Caracterização da Poliuretana

A Figura 22 apresenta o resultado da espectrometria de infravermelho do material particulado. O pico  $2269\text{ cm}^{-1}$  pode ser atribuído ao grupo NCO o que pode indicar a mistura de isocianato não polimerizado no resultado, provavelmente causada pela adição em excesso de isocianato. O de  $3334\text{ cm}^{-1}$  foi atribuído aos grupos aminas e é uma forte evidência da formação de poliuretana. O pico de  $1636\text{ cm}^{-1}$  foi atribuído à formação de ureia o que pode indicar reação com a água. O de  $1719\text{ cm}^{-1}$  foi atribuído à ligação C=O e de  $1525\text{ cm}^{-1}$  foi atribuído à ligação C-N-H (ZANETTI-RAMOS, 2006).

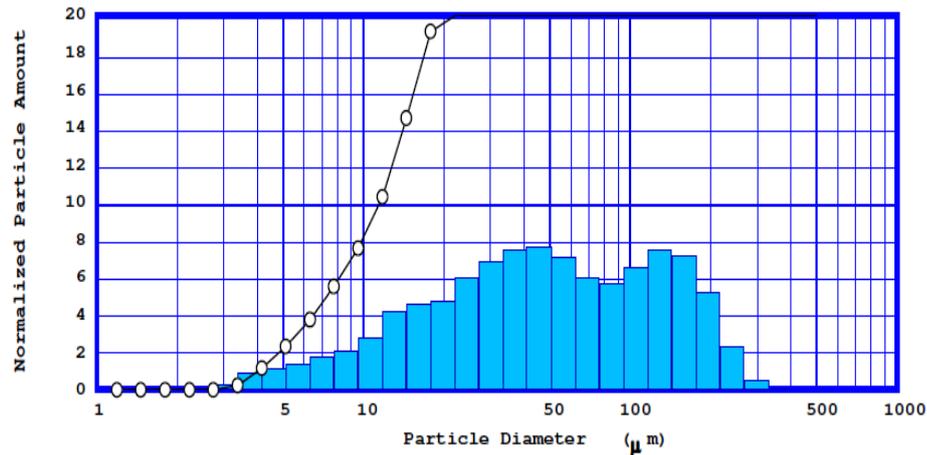
Figura 22: Espectrometria de infravermelho do particulado.



Fonte: Autor, 2016.

A Figura 23 mostra que as partículas se concentraram principalmente na região de 20-110 $\mu\text{m}$ , o que demonstra que o método obteve sucesso em polimerizar as partículas no tamanho micrométrico.

Figura 23: Granulometria por difração a laser.

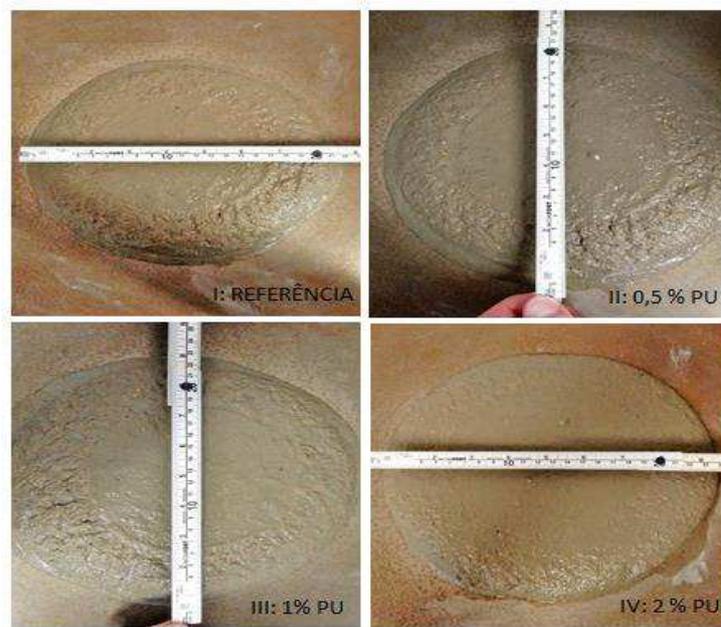


Fonte: Autor, 2016.

#### 4.2. TRABALHABILIDADE

Com a incorporação de teores de 0,5 % e 1% de PU, observou-se um ganho na trabalhabilidade verificada através do aumento do diâmetro de espalhamento na mesa. Já para o teor de 2%, com a mesma quantidade de água, houve uma perda na trabalhabilidade (consistência aproximadamente de 21 cm). Para compensar esse efeito, foram adicionados 10 g de água no traço de modo a obter um diâmetro dentro da consistência pré-estabelecida de  $23 \pm 1$  cm (Figura 24), o que resultou em um aumento da relação água/aglomerante e água/sólidos totais.

Figura 24: Abertura da argamassa na mesa de consistência.



Fonte: Autor, 2016.

Como foi mencionada no Capítulo 2 a consistência apresenta como alguns de seus fatores influentes a relação água/aglomerante. Os resultados (Tabela 5) mostram que à medida que se aumenta a relação água/aglomerante a atuação da adição de PU torna-se mais perceptível em aumentar a consistência (Carasek, 2007).

Tabela 5: Valores obtidos no ensaio de consistência e relação entre água/sólidos.

TRAÇO	% PU	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA (cm)	RELAÇÃO ÁGUA/AGLOMERANTE	RELAÇÃO ÁGUA/SÓLIDOS TOTAIS (%)
I	0	22,5	0,5	12,5
II	0,5	22,9	0,5	12,48
III	1	23,4	0,5	12,47
IV	2	24	0,533	13,27

Fonte: Autor, 2016.

O aumento na consistência é justificado por Almeida (2005) na qual relata que argamassas com adições de polímero apresentam boas propriedades no estado fresco, tais como o aumento na incorporação de ar resultando na melhora da trabalhabilidade. Esse comportamento é apresentado até 1 % de adição, não podendo aferir uma relação entre as amostras com adição de 0,5% e 1% com a de

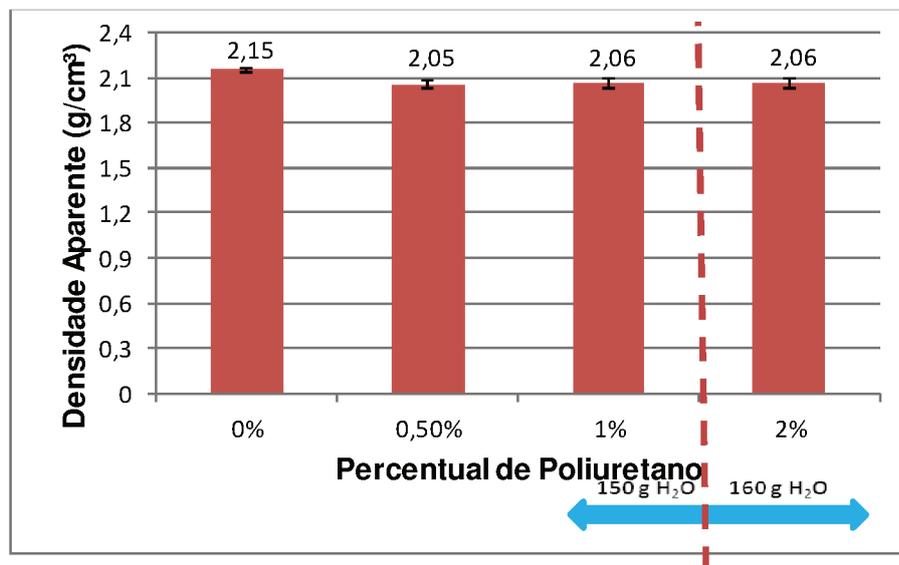
2% devido ao aumento de 10 g água. Seria necessário verificar com uma menor fração a adição entre 1 e 2% ,afim de observar o quanto 10g de água representa de mudança na composição.

#### 4.3. PROPRIEDADES FÍSICAS

##### 4.3.1. Densidade Aparente

Os resultados obtidos de densidade aparente dos corpos de prova são apresentados na Figura 25. Analisando esses dados é possível observar que a adição de PU nas argamassas causou uma redução de aproximadamente 5% na densidade em todas as amostras. Segundo Costa (2016) a densidade de massa das argamassas varia com o teor de ar e com a massa específica dos materiais constituintes, principalmente do agregado. Como a quantidade do agregado não variou, essa redução se justifica por um aumento no número de poros com a adição, devido à capacidade de incorporação de ar durante a mistura.

Figura 25: Densidade aparente das argamassas aos 28 dias de cura.



Fonte: Autor, 2016.

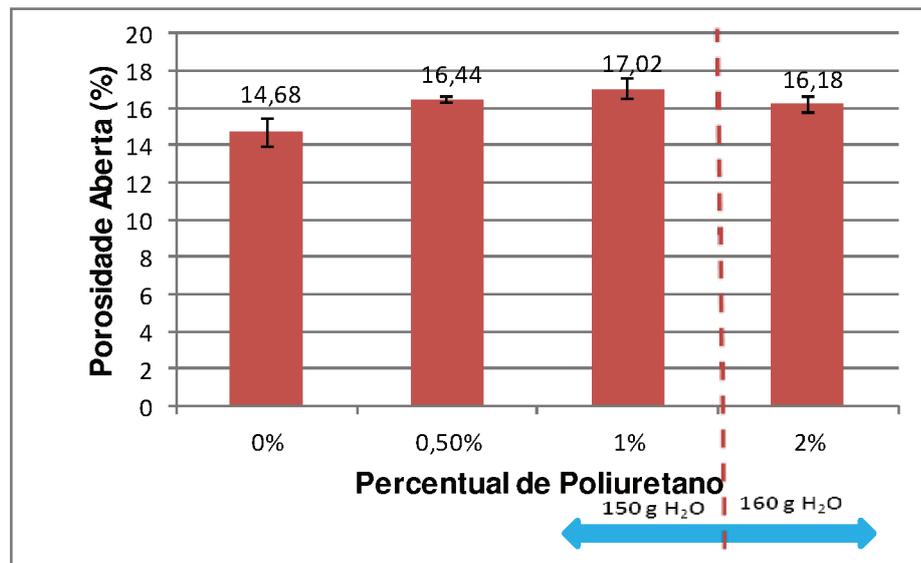
Com base na literatura, a tendência era que a amostra com 2% de adição, apresentasse densidade aparente menor com relação às demais amostras, uma vez que a mesma teve um aumento de 10 g de água, favorecendo a formação de uma

estrutura mais porosa, devido à evaporação de água dos espaços que inicialmente estavam preenchidos por água resultando em um maior número de vazios. No entanto, levando em consideração o desvio padrão, não se pode afirmar se houve variação da densidade aparente entre as amostras com adição de PU, devido às mesmas terem comportamentos estatisticamente iguais (QUARCIONI, et al; 2009).

#### 4.3.2. Porosidade Aberta

Na Figura 26 são apresentados os resultados das amostras após os 28 dias de cura, onde é possível notar que houve um aumento da porosidade aberta com a adição nas amostras em relação à referência. Ocasionalmente devido a PU ocupar um espaço na matriz que antes era ocupado por outra matéria prima com maior densidade.

Figura 26: Porosidade aberta das argamassas aos 28 dias de cura.



Fonte: Autor, 2016.

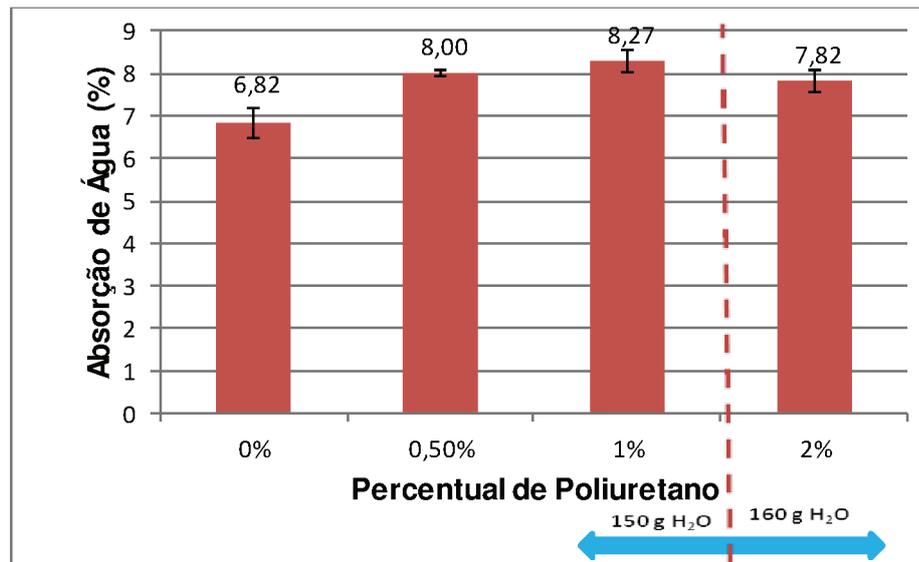
A maior média apresentada foi na amostra com adição de 1% de PU, que teve um aumento médio de 15,9 % da porosidade aberta em relação à amostra sem adição. Na amostra com 0,5 % de PU houve um aumento de 3,5 % em relação à de 1% de adição, podendo se observar que neste intervalo a variação da porosidade com adição é pequena, ou seja, a amostra está chegando a um ponto em que o efeito da adição está causando a máxima porosidade aberta do material, justificando

a necessidade de aumentar 10g de água ao ponto de se garantir a trabalhabilidade com 2 % de PU.

### 4.3.3. Absorção de Água

A Figura 27 apresenta os resultados obtidos da porcentagem de absorção de água nas amostras. O resultado mais relevante foi observado na amostra com 1% de PU, apresentando um aumento médio de 21,2 % em relação à amostra de referência. Rato (2006) afirma que materiais porosos terão maior absorção de água por capilaridade.

Figura 27: Absorção de água das argamassas aos 28 dias de cura.



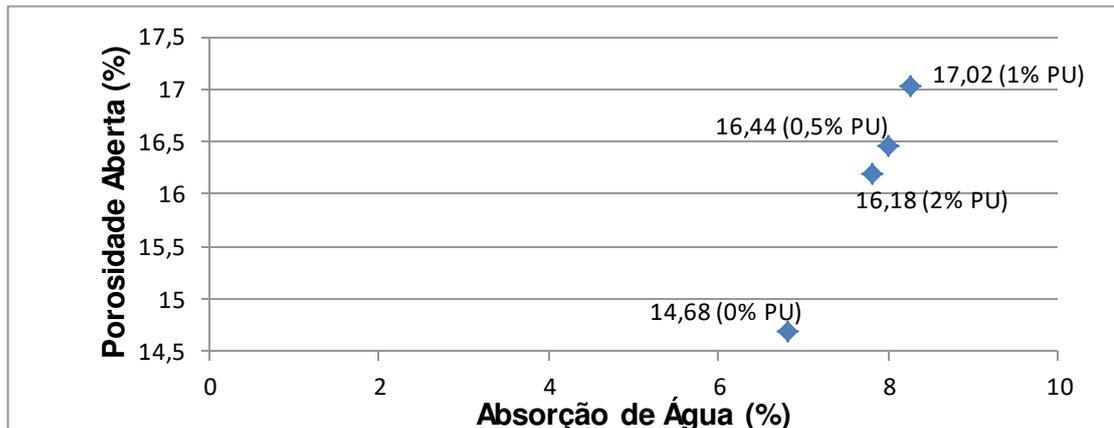
Fonte: Autor, 2016.

É possível afirmar que houve um aumento da absorção de água nas amostras com adição de PU. Isso se justifica pela capacidade de retenção de água das esferas de PU e a formação de poros na estrutura com a adição (ALMEIDA, 2005).

Na figura 28, é possível observar que as duas propriedades, porosidade aberta e absorção de água, são diretamente proporcionais entre si, seguindo um comportamento aproximadamente linear. Essa relação é justificada por Rato (2006) apud Silva (2015) na qual relata que “materiais porosos terão maior absorção de

água por capilaridade, além de aumentar proporcionalmente com o acréscimo de porosidade aberta” (p. 51).

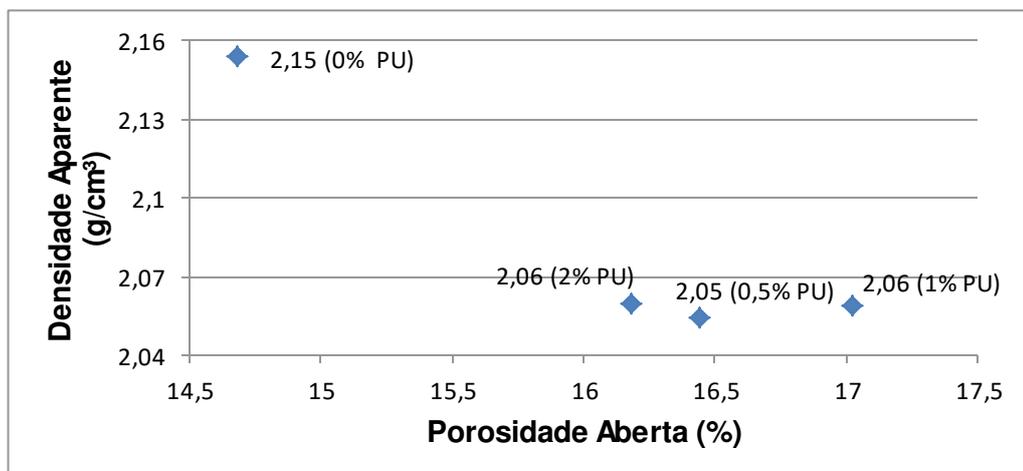
Figura 28: Relação Porosidade Aberta e Absorção de Água.



Fonte: Autor, 2016.

Na figura 29 mostra que as amostras com maior porosidade aberta foram as que apresentaram menor densidade aparente, levando em consideração a média dos resultados obtidos. Analisando o gráfico pode-se observar que a porosidade aberta apresentou comportamento inversamente proporcional à densidade aparente somente para a referência e tem relação direta com a absorção de água.

Figura 29: Relação entre Densidade Aparente e Porosidade Aberta.

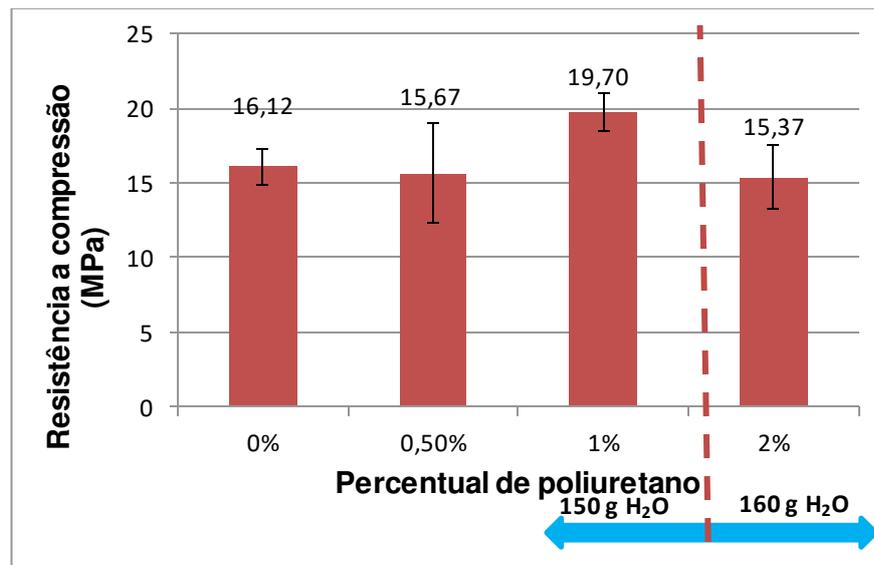


Fonte: Autor, 2016.

#### 4.4. RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

Os valores de resistência à compressão (Figura 30) foram obtidos aos 28 dias de cura, representados pelo valor médio de 3 corpos de prova cilíndricos para cada composição.

Figura 30: Resultados obtidos no ensaio de compressão.



Fonte: Autor, 2016.

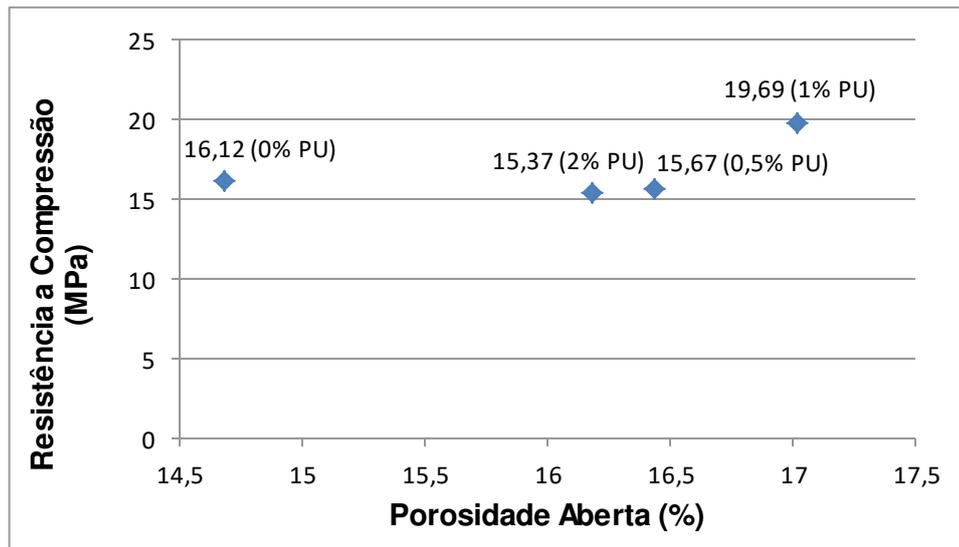
Analisando os resultados, se observa que o valor de 1% de PU apresenta uma tendência média estatisticamente similar ao de 0,5%. O mesmo não ocorre para o teor de 2% de PU, isso se justifica pela amostra possuir 10 g a mais de água (6,7% a mais do que amostra de referência, 0,5 % e 1% de PU) o que resulta em uma possível perda de resistência mecânica da mesma (BAUER, 2005).

Constata-se que em teores acima de 1% ocorre uma tendência média à redução da resistência a compressão, devido à necessidade da adição de 10 g a mais de água para garantir a trabalhabilidade estabelecida. Porém não se consegue estabelecer uma relação entre os traços que utilizam e aqueles que não utilizam adição em sua composição, devido a grande variação do desvio padrão.

Tanto a amostra com 0,5 % como a de 2% de adição de PU, segue um raciocínio lógico de uma redução de propriedade mecânica com um aumento de porosidade, comparados com a amostra sem adição (Figura 31). No caso da adição de 1 % de PU, observa-se um comportamento anômalo. Porém quando observado

o desvio padrão das amostras de 0,5 % e 1% de adição, verifica-se que as mesmas estatisticamente são idênticas, o que se verifica a necessidade de uma maior quantidade de corpos de prova.

Figura 31: Relação Resistência à Compressão e Porosidade Aberta.



Fonte: Autor, 2016.

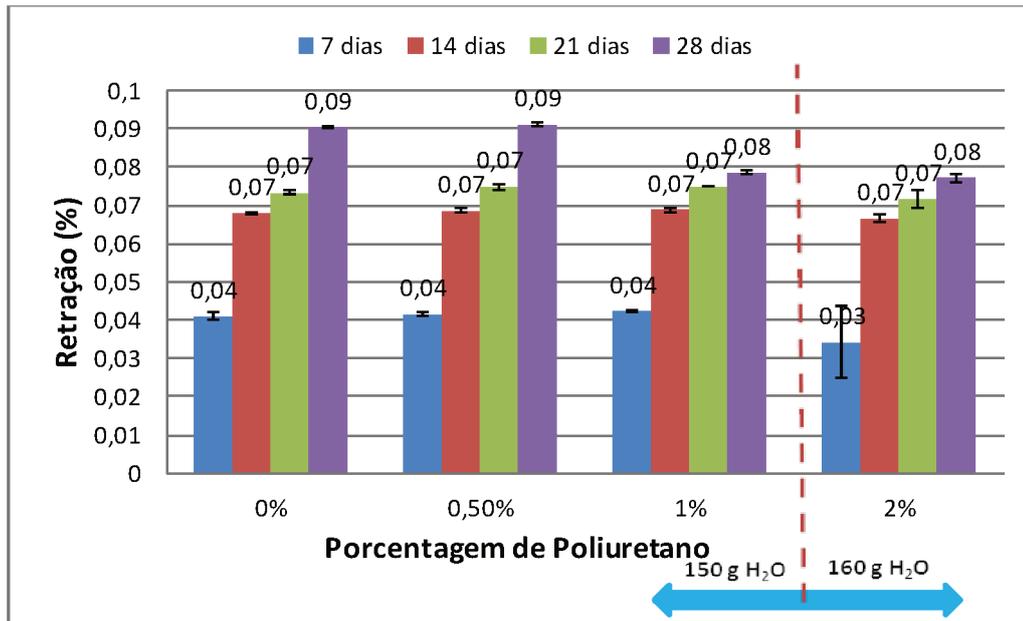
#### 4.5. ENSAIO DE RETRAÇÃO

A Figura 32 apresenta os resultados obtidos do ensaio de retração com 7, 14, 21 e 28 dias de cura. Observa-se que não houve diferença significativa entre os traços estudados.

As maiores variações foram encontradas nos primeiros 7 dias de cura para todas as amostras. Para Bastos (2001) a perda de água da pasta de cimento é a principal causa da retração, se não forem considerados os efeitos de contração térmica. Com base nessa afirmação, esses resultados se explicam devido a maior quantidade de água livre na argamassa para evaporar-se, o faz através de uma rede de capilares.

Foi possível observar que ao longo do tempo, houve uma menor variação da retração. Isso se justifica pelo fato de que com a estruturação progressiva da pasta de cimento devido à hidratação, há dificuldade de remoção da água, ocasionada pela diminuição do diâmetro médio dos capilares (BASTOS, 2001).

Figura 32: Retração das Argamassas com 7, 14, 21 e 28 dias.



Fonte: Autor, 2016.

Apesar do aumento de 6,7 % de água entre as amostras de 1 e 2 % PU, as mesmas apresentaram comportamento similar, o que mostra um comportamento não esperado e instigante, já que para Oliveira (2001) “os fatores que afetam a retração das argamassas são o teor de aglomerante, o volume de água, a granulometria dos agregados e as condições ambientais”. Constatando que é necessário verificar com uma menor fração a quantidade de PU nesse intervalo.

## 5. CONCLUSÃO

A utilização de resinas poliméricas em matrizes de cimento abre um novo campo de aplicação na Construção Civil. A escassez de pesquisa para contribuição do desenvolvimento dessa área traz a necessidade da procura por novos materiais. O uso da adição de Poliuretano em argamassas pode ser vista como uma inovação na busca pelo aperfeiçoamento das propriedades.

Os procedimentos necessários para analisar a aplicação de um novo material em argamassas que possua características técnicas que justifiquem a sua utilização, inclui a verificação de algumas propriedades. Entre elas, a resistência mecânica, trabalhabilidade, porosidade, absorção de água, densidade, retração, são propriedades importantes para inferir as características do desempenho de uma argamassa no estado fresco e endurecido.

Os resultados encontrados pelo ensaio de mesa demonstraram que a adição de PU promoveu um pequeno aumento na trabalhabilidade da argamassa. Foi constatado que para acrescentar 1% de PU na argamassa já contendo 1 % de PU, é necessário aumentar 6,7% de H<sub>2</sub>O, para garantir a trabalhabilidade.

Quanto às propriedades físicas, os resultados de densidade real aparente com adição de PU na argamassa resultaram em uma redução média de aproximadamente 5 %, indiferente do teor de adição, se comparado à referência. Verificou-se um aumento da absorção de água e porosidade com a adição, sendo que o teor de 1% de PU apresentou os índices mais elevados, com um aumento médio de 21,2% e 15,9%, respectivamente se comparado à amostra sem adição. Foi observada uma proporcionalidade entre a porosidade e a absorção de água, mostrando um comportamento linear entre as mesmas.

No ensaio de resistência a compressão, os valores apresentados estão todos numa mesma faixa, considerando os desvios padrão. O valor de 1 % de adição apresentou um valor anômalo, devido os maiores valores apresentados na resistência mecânica, absorção de água e porosidade. Levando em consideração os desvios padrão, pode dizer que as amostras de 0,5 % e 1 % de adição apresenta comportamento similares, o que se verifica a necessidade de uma maior quantidade de corpos de prova.

No ensaio de retração não houve diferença significativa entre os traços estudados. As maiores variações ocorreram nos 7 primeiros dias de cura. Foi

constatada que o acréscimo de água na formulação, é indiferente com a porcentagem de PU, ou seja, a retração não se altera.

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, sugere-se que seja analisado o comportamento da curva entre 1 e 2% de PU , para qual seria o máximo de acréscimo de adição que poderia ser feito para conseguir a maior resistência e a melhor trabalhabilidade, mantendo o mesmo padrão de água. Para a amostra com 1% de PU, novos ensaios serão realizados, para maior compreensão dos resultados que a mesma apresentou em relação às outras amostras da série.

### 5.1. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Análise de comportamento para achar o fator ideal entre 1 e 2 % de PU;
- Utilização de nanoesferas de PU;
- Estudar a viabilidade econômica da substituição de parte do agregado convencional por microesferas de PU;
- Aumentar o número de corpos de prova par estimar a média amostral das grandezas mensuradas.

## REFERÊNCIAS

- ABE, Rodnei Massamiti. **Studo do poliuretano de alta densidade para proteção externa de oleodutos térmicos**. 2008. 105 p. Dissertação (Mestrado) - Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica, São Paulo, 2008.
- ALMEIDA, Alessandra Feuzicana de Souza; SICHIERI, Eduvaldo Paulo. **Propriedades microestruturais de argamassas de cimento Portland com adições minerais e poliméricas utilizadas na fixação de porcelanato**: Estudo da influência de adições sobre a aderência entre argamassas modificado por polímero e telhas de porcelana de grés. São Paulo: Abc, 2006.
- ALMEIDA, Alessandra Feuzicana de Souza. **Estudo da Influência das Adições de Sílica Ativa e Copolímero Estireno Acrílico nas Propriedades de Argamassas para o Assentamento de Porcelanato**. 2005. 251 p. Tese (Doutorado) – Doutorado Integrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- ALMEIDA, José Luís Mesquita dos Santos Lima de. **Argamassas Tradicionais e Industriais de Alvenaria em Edifícios**. 2010. 108 p. Tese (Mestrado) – Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7200: **Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1998.
- \_\_\_\_\_. NBR 7214: **Areia normal para ensaio de cimento**. Rio de Janeiro, 1982.
- \_\_\_\_\_. NBR 7215: **Cimento Portland- Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996.
- \_\_\_\_\_. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção de água por imersão-índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2006.
- \_\_\_\_\_. NBR 13281: **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

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

\_\_\_\_\_. NBR 15261: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear)**. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR NM-ISSO 3310-1: **Peneiras de ensaio- Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico**. Rio de Janeiro, 1997.

BARRERA, Gonzalo Martínez; LÓPEZ, Miguel Martínez; CRUZ, Elisa Martínez. **Concreto Polimérico Reforzado con Fibras de Luffa**. 2013. 8 p. Faculdade de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, San Cayetano, México, 2012.

BASTOS, Pedro Kopschitz Xavier. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. 2001. 190 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Universidade de São Paulo - Escola Politécnica, Sao Paulo, 2001.

BAUER, Elton. **Revestimento de argamassa – Características e peculiaridades**. 1ªed. Brasília: LEM- UnB – SINDUSCOND/DF. 2005.

CARASEK, Helena. Notas de aula - **Argamassas**, cap. 26, Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2007. Acesso em: 4 out 2016

CARVALHO, Gabriel Augusto; GOMES, Murilo; SIMÕES, Victor Augusto Villardo. **Efeito da adição de sílica ativa, nanotubos de carbono e nanossilica na retração de argamassas de reparo de Cimento Portland**. 2013. 74 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 4. ed. São Carlos: Edufscar, 2014.

COSTA, Marianne Maron. **Tecnologia de Argamassas**: Curitiba: UFPR, 2016. Color.

COUTINHO, Sandra Moscon; PRETTI, Soraya Mattos; TRISTÃO, Fernando Avancini. Argamassa preparada em obra x argamassa industrializada para assentamento de blocos de vedação: Análise do uso em Vitória - ES. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, Vitória, v. 13, n. 21, p.41-48, maio 2013.

DANIEL, Alessandra Chagas *et al.* **Estudo das Características de um poliuretano com adição de fibras de coco**. Minas Gerais:UNA, 2011.

DIAS, Letícia Almeida; CARASEK, Helena. **Avaliação da permeabilidade e da absorção de água de revestimentos de argamassa pelo método do cachimbo**. V simpósio brasileiro de tecnologia. P. 543-555. 2003.

DUBAJ, Eduardo. **Estudo comparativo entre traços de argamassa de revestimento utilizadas em porto alegre**. 2000. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

ENVIRONMENT, Materials and The. **Materials and the Environment**: [S.l.]: Dovetail Partners, Inc., 2013. 50 slides, color.

FERNANDES, Isabel Patrícia Martins. **Dispersões Aquosas de Poliuretano e Poliuretano-ureia**: Concepção do Produto e Metodologias de Caracterização. 2008. 83 p. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Integrado em Engenharia Química, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2008.

FIORITO, Antonio J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos**: Estudos e Procedimentos de Execução. 2. ed. São Paulo: Pini Ltda, 2009.

GOMES, Adailton de Oliveria. **Propriedades das argamassas de revestimento de fachadas**. Escola Politécnica da UFBA. Comunidade da Construção, Salvados, 2008.

NAKAKURA, Elza Hissae; CINCOTTO, Maria Alba. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. São Paulo: EDUSP, 2004. 20p. (Série Boletim Técnico BT/PCC/359).

ODIAN, George. 2004. Principles of Polymerization. 4. Ed. New York : WinleyInterscience, 2004. 832 p.

OLIVEIRA, Maria Luiza Lopes de. **Influência da adição de fibras de Polipropileno em Argamassas**. 2001. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

PALHARES, Rodolfo de Azevedo; BRASIL, Lisarb Henneh; COSTA, Andrezza Grasielly. Tecnologia do Concreto Contendo Polímeros. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, Ceará, **Anais...** 2015.

Disponível em:

<[http://www.confex.org.br/media/Civil\\_tecnologia\\_do\\_concreto\\_contendo\\_polimeros.pdf](http://www.confex.org.br/media/Civil_tecnologia_do_concreto_contendo_polimeros.pdf)>. Acesso em: 03 maio 2016.

PERES, Paula. Construção civil é o ramo que mais consome materiais no mundo, afirma professor da Poli. **Ciência e Tecnologia**. Edição Nº: 110 14/11/2012. Disponível em: <<http://www.usp.br/aun/exibir?id=4848>>. Acesso em: 02 maio 2016.

PEZZIN, Sérgio Henrique. **Polimerização em Emulsão**: Joinville: Pgcem, 2010. Color.

QUARCIONI, Valdecir Angelo *et al.* Estimativa da porosidade de argamassas de cimento e cal pelo método de cálculo de volumes. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p.175-187, dez. 2009.

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

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Conhecendo Argamassa**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008. 192 p.

RIBEIRO, Rosemeri. **Aditivo ou Adição?** 2007. Disponível em: <<http://www.cimentoitambem.com.br/aditivo-ou-adicao/>>. Acesso em: 27 jun. 2016.

ROMAN, Humberto Ramos; MUTTI, Cristine do Nascimento; ARAÚJO, Hércules Nunes de. **Construindo em Alvenaria Estrutural**. Florianópolis: UFSC, 1999. 72 p.

SENEFF, Luciano; HOTZA, Dachamir; REPETTE, Wellington. Comportamento reológico de pastas de cimento com adição de sílica ativa, nanossílica e dispersante policarboxílico. **Matéria (RJ)**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p.12-20, 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-70762010000100003>

SILVA, Julio César da. **A Influência da Adição de Fibras de Polipropileno e Vermiculita Expandida em Argamassas com Nanotitânia**. 2015. 64 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2015.

SILVA, Marcos Anacleto da *et al.* Caracterização de nanocompósitos de poliuretano/montmorilonita organofílica por RMN de baixo campo. **Polímeros**, São Carlos, v. 22, n. 5, p.481-485, 18 out. 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-14282012000500014&lng=pt&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282012000500014&lng=pt&nrm=iso&tlng=en)>. Acesso em: 10 maio 2016.

SZLAK, Bruno *et al.* **Manual de Revestimentos de Argamassa**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2002. Acesso em: 04 out 2016

VILAR, Walter Dias. **Química e Tecnologia dos Poliuretanos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria Técnica Ltda., 1999.

VOTORANTIM. **Votorantim Cimentos**. Disponível em: <<http://www.vcimentos.com.br/htms-ptb/Default.htm>>. Acesso em Out, 2016.

WIEBECK, Hélio; HARADA, Júlio. **Plásticos de Engenharia: Tecnologia e aplicações**. São Paulo: Artliber, 2012.

WILEY. **Chemistry and Technology of Emulsion Polymerisation**. [s. l.]: John Wiley & Sons, 2013.

ZANETTI-RAMOS, Betina Giehl *et al.* Polyurethane nanoparticles from a natural polyol via miniemulsion technique. **Polymer**, [s.l.], v. 47, n. 24, p.8080-8087, nov. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymer.2006.09.057>.