



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil

Lais Fernandes Oliveira

**Desempenho do Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio
(LAS) na produção de misturas semiprontas para
argamassas de assentamento e revestimento**

Ouro Preto

2019

Desempenho do Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio (LAS) na produção de misturas semiprontas para argamassas de assentamento e revestimento

Lais Fernandes Oliveira

Monografia de conclusão de curso para obtenção do grau de Engenheiro Civil na Universidade Federal de Ouro Preto defendida e aprovada em 13 de dezembro de 2019 como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro Civil.

Área de concentração: Materiais e Componentes da Construção

Orientadores: Ricardo André Fiorotti Peixoto, D.Sc. – UFOP

Aline Santana Figueiredo, Engenheira Civil – UFOP

Ouro Preto

2019

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

O48d Oliveira, Lais Fernandes .
Desempenho do Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio (LAS) na produção de misturas semiprontas para argamassas de assentamento e revestimento. [manuscrito] / Lais Fernandes Oliveira. - 2019.
52 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientadores: Profa. Aline Santana Figueiredo, Prof. Dr. Ricardo André Fiorotti Peixoto.

Coorientador:
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.

1. Construção civil. 2. Concreto - Aditivos. 3. Argamassa. I. Figueiredo, Aline Santana . II. Peixoto, Ricardo André Fiorotti . III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 624

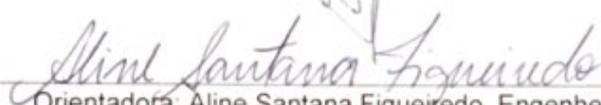
Desempenho do Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio na produção de misturas semiprontas para argamassas de assentamento e revestimento

Lais Fernandes Oliveira

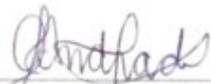
Monografia de conclusão de curso para obtenção do grau de Engenheiro Civil na Universidade Federal de Ouro Preto defendida e aprovada 13 de dezembro de 2019 como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro Civil.
Banca examinadora:



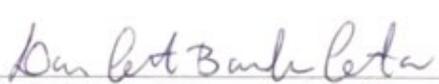
Orientador: Ricardo André Fiorotti Peixoto, D.Sc. - UFOP



Orientadora: Aline Santana Figueiredo, Engenheira Civil - UFOP



Membro: Humberto Dias Andrade, M.Sc. – UFOP



Membro: Lais Cristina Barbosa Costa, M.Sc. – UFOP

RESUMO

À medida em que a sociedade evolui, a população se torna mais exigente quanto aos produtos que consome. Essa exigência não raramente se dá na área da responsabilidade ambiental. A construção civil é um dos setores da economia que mais consomem produtos naturais não renováveis, estando entre eles a cal hidratada, que é muito utilizada para dar a trabalhabilidade desejada às argamassas. O presente trabalho avalia a estabilidade do aditivo incorporador de ar Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio, presente no detergente doméstico, na produção de argamassas fabricadas a partir de misturas semiprontas armazenadas previamente. O aditivo escolhido pode ser facilmente encontrado pelos consumidores, é biodegradável e é capaz de reduzir a utilização de cal hidratada para este nicho da construção civil. As misturas semiprontas propostas são compostas por areia e LAS e foram homogeneizadas e armazenadas por 180 dias. O desempenho deste material foi analisado tanto no estado fresco como no estado endurecido, de forma quantitativa e qualitativa. A partir destes resultados, o traço que resultou na argamassa com melhor desempenho foi replicado para material sem armazenamento prévio, a fim de se mensurar as perdas de efeito do aditivo em função do tempo. No entanto, observou-se que as argamassas preparadas a partir de misturas semiprontas armazenadas tiveram desempenho superior ao material que não fora armazenado antes de ser utilizado. Sugere-se, portanto, o armazenamento prévio deste material e futuros testes afim de viabilizar e estabelecer com exatidão o prazo de sua utilização como base para a produção de argamassas para assentamento e revestimento.

Palavras-chaves: construção civil, aditivo incorporador de ar, argamassas industrializadas

ABSTRACT

As society evolves, the population becomes more demanding about the products it consumes. This requirement often occurs in the area of environmental responsibility. Construction is one of the sectors of the economy that most consume non-renewable natural products, among them hydrated lime, which is widely used to give the desired workability to mortars. The present work evaluates the stability of the Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS), an air entraining agent for mortars present in the household detergent, in the fabrication of semi ready mixtures and its stored before being used to produce mortars. This additive can be easily found by consumers, is biodegradable and is able to reduce the lime use in this area of the construction. The proposed semi ready mixtures were composed of sand, LAS and water. These materials were homogenized and stored for 180 days. The performance of this material was analyzed in both fresh and hardened conditions. From these results, the best performing mortar was replicated to material without previous storage in order to measure the loss of effect of the additive as a function of time. However, it was observed that mortars prepared from stored semi ready mixtures outperformed material not stored before use. Therefore, it is suggested the prior storage of this material and future tests in order to enable and establish the exact term of its use as a basis for the production of mortars for laying and coating.

Keywords: construction, air entraining admixture, industrialized mortars.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Consumo de cal no território brasileiro por setores da economia em 2009 (Fonte: ABPC – Associação Brasileira dos Produtores de Cal) | 1 |
| Figura 2 – Mecanismo de incorporação de ar de surfactante adicionado à uma pasta de cimento (MEHTA e MONTEIRO, 2014) | 9 |
| Figura 3 – Coeficiente de inchamento | 13 |
| Figura 4 – medição de 0,5% de LAS em relação à massa do cimento em balança de precisão | 14 |
| Figura 5 – Esquema de metodologia adotada | 15 |
| Figura 6 – Armazenamento das amostras e suas etiquetas de identificação | 18 |
| Figura 7 – Argamassadeira de bancada | 20 |
| Figura 8 – Índice de consistência para misturas semiprontas armazenadas por 180 dias e 4,5% de umidade: (a) 0,005% de LAS; (b) 0,05% de LAS; (c) 0,5% de LAS.. | 23 |
| Figura 9 – Espalhamento para misturas semiprontas armazenadas por 180 dias e 4,5% de umidade: (a) 0,005% de LAS; (b) 0,05% de LAS; (c) 0,5% de LAS. | 24 |
| Figura 10 – Teste de rebote para mistura semipronta armazenada por 180 dias e 4,5% de umidade, com 0,5% de LAS..... | 25 |
| Figura 11 – Resistência à tração na flexão aos 28 dias para misturas semiprontas armazenadas por 180 dias | 26 |
| Figura 12 – Resistência à compressão axial aos 28 dias para misturas semiprontas armazenadas por 180 dias | 27 |
| Figura 13 – Placa para teste de arrancamento, moldada conforme normatização | 28 |
| Figura 14 – Pastilha com argamassa rompida após teste de arrancamento | 28 |
| Figura 15 – Resistência de aderência à tração aos 28 dias para misturas semiprontas armazenadas por 180 dias | 29 |

| | |
|---|----|
| Figura 16 – Teste de espalhamento para armazenamento zero dias de armazenamento | 30 |
| Figura 17 – Teste de rebote para zero dias de armazenamento (a) análise qualitativa; (b) análise quantitativa. | 31 |
| Figura 18 – Comparativo de resistência à tração na flexão para zero e 180 dias de armazenamento | 32 |
| Figura 19 – Comparativo de resistência à compressão para zero e 180 dias de armazenamento | 33 |
| Figura 20 – Teste de arrancamento para zero dias de armazenamento. | 34 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada úmida..... | 5 |
| Tabela 2 – Classificação das argamassas quanto a sua resistência à compressão | 6 |
| Tabela 3 – Classificação das argamassas quanto a sua resistência à tração na flexão..... | 6 |
| Tabela 4 – Classificação das argamassas quanto a sua resistência potencial de aderência a tração..... | 7 |
| Tabela 5 – Massa unitária do Cimento e da Cal Hidratada..... | 11 |
| Tabela 6 – Resultados obtidos a partir dos ensaios de caracterização da areia | 12 |
| Tabela 7 – Caracterização da areia | 13 |
| Tabela 8 – Traços definitivos | 17 |
| Tabela 9 – Parâmetros de identificação do material armazenado | 19 |
| Tabela 10 - Modelo de etiqueta utilizada para identificação de material..... | 20 |
| Tabela 11 – Classificação das argamassas de misturas semiprontas com 0,5% de teor de LAS e 4,5% de umidade..... | 35 |
| Tabela 12 – Quantitativos de dosagem para produção de argamassa a partir de material armazenado por 180 dias com 0,5% de LAS e 4,5% de teor de umidade... | 35 |

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AIA – Aditivo Incorporador de Ar

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CP – Corpo de Prova

LAS – Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio

NBR – Norma Brasileira

POP – Procedimento Operacional Padrão

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| Resumo | IV |
| Abstract..... | V |
| Lista de Figuras | VI |
| Lista de Tabelas..... | VIII |
| Lista de Siglas..... | IX |
| Sumário | X |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Justificativa | 2 |
| 1.2 Objetivos..... | 3 |
| 1.2.1 Objetivo Geral | 3 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos..... | 3 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 4 |
| 2.1 Argamassas..... | 4 |
| 2.2 Argamassas Industrializadas..... | 7 |
| 2.3 Aditivo Incorporador De Ar | 8 |
| 2.4 Detergente Doméstico Como Aditivo Incorporador De Ar | 9 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 11 |
| 3.1 Materiais | 11 |
| 3.2 Métodos..... | 14 |
| 3.2.1 Definição dos traços..... | 16 |
| 3.2.2 Produzindo as misturas semiprontas | 17 |
| 3.2.3 Produção da argamassa | 20 |
| 3.2.4 Testes no estado fresco..... | 21 |
| 3.2.5 Testes no estado endurecido | 21 |
| 4 RESULTADOS..... | 23 |
| 4.1 Testes para 180 dias de armazenamento | 23 |
| 4.1.1 Avaliação da consistência | 23 |
| 4.1.2 Espalhamento | 23 |
| 4.1.3 Rebote..... | 24 |
| 4.1.4 Resistência à Tração na Flexão..... | 25 |
| 4.1.5 Resistência à Compressão | 26 |
| 4.1.6 Arrancamento..... | 27 |
| 4.2 Testes para material sem armazenamento prévio..... | 29 |
| 4.2.1 Espalhamento | 30 |
| 4.2.2 Rebote..... | 31 |
| 4.2.3 Resistência à Tração na Flexão..... | 31 |
| 4.2.4 Resistência à Compressão | 33 |
| 4.2.5 Arrancamento..... | 34 |
| 4.3 Classificação da argamassa | 35 |
| 4.4 Instruções para dosagem | 35 |
| 5 CONCLUSÃO | 36 |
| 5.1 Sugestões para trabalhos futuros | 37 |
| 6 BIBLIOGRAFIA | 38 |

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento da economia e o constante aumento populacional, o consumo de matérias primas pela construção civil, advindas de recursos não renováveis, aumenta e seu impacto ambiental deve ser considerado. Sendo o setor de construção civil responsável pelo consumo de 15% a 50% dos agregados naturais extraídos (ANEPAC, 2012), a busca por insumos com menor impacto ambiental vem aumentando significativamente. Esta busca visa encontrar alternativas aos produtos tradicionais e conseqüente redução da extração de materiais provenientes de fontes não renováveis.

A cal é um aglomerante inorgânico, geralmente utilizada em argamassas para aumentar sua trabalhabilidade. No Brasil, a maior parte da cal produzida origina-se da calcinação de calcários ou dolomitos metamórficos, de diversas idades geológicas e pureza variável. São mais de 200 produtores espalhados pelo país, capazes de produzir até 9 milhões de toneladas por ano, que são escoadas por via rodoviária ou férrea (MME, 2009). Na Figura 1 pode-se observar o quão influente é a construção civil no consumo de cal produzida no país.

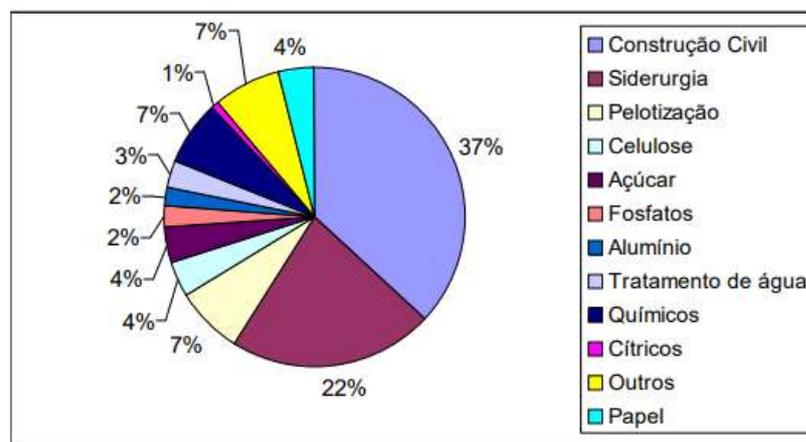


Figura 1 – Consumo de cal no território brasileiro por setores da economia em 2009
(Fonte: ABPC – Associação Brasileira dos Produtores de Cal)

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2009), até 2030 a produção de cal no Brasil poderá ser de até 8,0 milhões de toneladas por ano, sendo parte dessa

produção destinada à fabricação de argamassas industrializadas de cal e areia. Toda essa extensa cadeia produtiva faz a indústria da cal hidratada ser uma das mais poluidoras do país, contando desde a extração do material bruto até a entrega do produto final ao consumidor.

Por outro lado, o aditivo incorporador de ar (AIA), é um material adicionado em matrizes cimentícias com o objetivo de produzir microbolhas estáveis no sistema, melhorando sua trabalhabilidade (MEHTA e MONTEIRO, 2014). A utilização desse aditivo permite reduzir consideravelmente a utilização da cal hidratada como agente responsável pela melhora da trabalhabilidade de argamassas na construção civil. Adicionalmente, Mendes (2016) propôs a utilização do detergente de uso doméstico como aditivo incorporador de ar em matrizes cimentícias e obteve resultados satisfatórios, indicando a possibilidade de substituição integral à cal hidratada com esta finalidade nas argamassas de assentamento e revestimento.

1.1 Justificativa

A produção da cal consome diversos tipos de combustíveis fósseis como gás natural, óleo combustível, lenha e carvão mineral, o que coloca esse setor industrial como um dos mais poluidores do meio ambiente, desde a extração do calcário até a entrega do produto final ao consumidor (MME, 2009). Sendo o setor de construção civil o que mais absorve este insumo, observa-se a necessidade da redução do consumo deste aglomerante nas práticas tradicionais.

Em contrapartida, a utilização de Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio (LAS) como aditivo incorporador de ar para argamassas visa uma nova aplicação do princípio ativo de detergentes lava louça, que são biodegradáveis e, portanto, gerando menor impacto ambiental. Para a utilização do AIA proposto não há a necessidade de logística complexa para transporte do produtor ao consumidor final, visto que o detergente doméstico é um produto acessível a toda a população, sendo encontrado com facilidade, relativamente barato em comparação aos aditivos comerciais conhecidos, além de ter fácil aplicação e ser atóxico aos usuários (ANVISA, 2008).

Além disso, a argamassa produzida no canteiro de obras é comumente misturada com areia contendo umidade variada. Não são raras as vezes em que, para

compensar a diferença de umidade, os mestres de obra ou pedreiros adicionam água de forma indiscriminada aumentando, assim, a falta de controle e a variabilidade de traços, facilitando a ocorrência de patologias como fissuras e trincas (RECENA, 2012). Sendo assim, se faz necessário o desenvolvimento de técnicas que possam mitigar os erros de dosagem que possam ser cometidos durante a produção das argamassas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliação do desempenho do detergente de uso doméstico (LAS) como aditivo incorporador de ar, em substituição à cal hidratada, na produção e armazenamento de misturas semiprontas para argamassas de assentamento e revestimento.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Investigação do teor ideal de umidade e de LAS para a produção de uma mistura semipronta, através de testes no estado fresco e no estado endurecido das argamassas;
- Avaliação das propriedades no estado fresco das argamassas produzidas, a fim de se verificar os efeitos do tempo de armazenamento da mistura semipronta na aplicação do produto final;
- Avaliação das propriedades no estado endurecido das argamassas produzidas, a fim de se verificar os efeitos do tempo de armazenamento da mistura semipronta no desempenho do produto final;
- Desenvolvimento de uma dosagem de mistura semipronta com AIA e disponibilização de instrução a respeito da produção para o consumidor final, a fim de se reduzir erros de dosagem.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Argamassas

Os primeiros vestígios da utilização de argamassas como elemento da construção civil foram encontrados na região da Pérsia Antiga onde, ainda que de forma diferente da praticada atualmente, era usada com adição de gesso como ligante em seus monumentos. Sabe-se, no entanto, que o desenvolvimento das práticas do uso de argamassa na construção civil deu-se no Império Romano, onde durante séculos a cal foi muito utilizada como ligante (MARQUES, 2005).

Os romanos descobriram, então, que a calcinação de rochas calcárias que continham material argiloso poderia fornecer um material com resistência mecânica apropriada e ainda capaz de endurecer mesmo sob a água, o que é definido como caráter hidráulico. Surge assim a cal hidráulica, aglomerante inorgânico que oferece trabalhabilidade à argamassa no estado fresco - através da retenção de água na matriz - e que endurece a partir de reação com CO₂, não necessariamente em contato com o ar (RECENA, 2012).

Argamassa, por definição, é uma mistura homogênea entre um ou mais aglomerantes inorgânicos, água e agregado miúdo, que pode ser dosada em obra ou em instalação apropriada sendo que, em geral, utiliza-se o cimento e a cal como aglomerantes inorgânicos e a areia como agregado miúdo. As argamassas devem ter propriedades de aderência e endurecimento podendo ainda conter adições minerais e aditivos químicos (CARASEK, 2007).

Ainda segundo Recena (2012), argamassas devem desempenhar funções satisfatórias quanto à impermeabilização e regularização das superfícies em que são aplicadas, absorção de deformações naturais, proteção mecânica de substratos constituídos por sistemas de impermeabilização ou isolamento termo acústico, além de promover acabamento apropriado das superfícies dos elementos de vedação. De acordo com Carasek (2007), no que diz respeito às argamassas para assentamento de alvenarias e de revestimento, dentre suas principais funções está a capacidade de adesão à superfície de elementos de revestimento. Para tanto, o material deve

necessariamente apresentar estabilidade física, garantindo resistência mecânica compatível com as solicitações a serem aplicadas e capacidade de aderir à superfície de forma solidária, possuindo resistência de aderência satisfatória quanto às solicitações, além de trabalhabilidade apropriada à função destinada.

Segundo a NBR 13749 (ABNT, 2013), os parâmetros mínimos exigidos de resistência de aderência à tração de acordo com a finalidade de utilização de cada argamassa devem respeitar os valores dados na Tabela 1 .

| LOCAL | | ACABAMENTO | RA (MPa) |
|---------------|---------|-----------------------------|-----------------|
| PAREDE | Interna | Pintura ou base para reboco | ≥ 0,20 |
| | | Cerâmica ou laminado | ≥ 0,30 |
| | Externa | Pintura ou base para reboco | ≥ 0,30 |
| | | Cerâmica | ≥ 0,30 |
| TETO | | | ≥ 0,20 |

Tabela 1 - Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada úmida.

Além disso, a NBR 13281 (ABNT, 2005) diz que todas as argamassas utilizadas em assentamento de paredes ou em revestimentos de paredes e tetos devem ser classificadas de acordo com suas propriedades e características. Dentre as propriedades de classificação estão a resistência à compressão, resistência à tração na flexão e resistência potencial de aderência a tração, sendo os métodos de ensaio também especificados pela norma. As Tabelas 1 a 3 abaixo apresentam as classificações das argamassas de acordo com a norma.

| CLASSE | RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPA) | MÉTODO DE ENSAIO |
|---------------|---------------------------------------|-------------------------|
| P1 | ≤ 2,0 | ABNT NBR 13279 |
| P2 | 1,5 a 3,0 | |
| P3 | 2,5 a 4,5 | |
| P4 | 4,0 a 6,5 | |
| P5 | 6,0 a 9,0 | |
| P6 | > 8,0 | |

Tabela 2 – Classificação das argamassas quanto a sua resistência à compressão

| CLASSE | RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPA) | MÉTODO DE ENSAIO |
|---------------|---|-------------------------|
| R1 | ≤ 1,5 | ABNT NBR 13279 |
| R2 | 1,0 a 2,0 | |
| R3 | 1,5 a 2,7 | |
| R4 | 2,0 a 3,5 | |
| R5 | 2,7 a 4,5 | |
| R6 | > 3,5 | |

Tabela 3 – Classificação das argamassas quanto a sua resistência à tração na flexão

| CLASSE | RESISTÊNCIA POTENCIAL DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO (MPA) | MÉTODO DE ENSAIO |
|--------|---|------------------|
| A1 | < 0,20 | ABNT NBR 15258 |
| A2 | ≥ 0,20 | |
| A3 | ≥ 0,30 | |

Tabela 4 – Classificação das argamassas quanto a sua resistência potencial de aderência a tração

2.2 Argamassas Industrializadas

A NBR 13529 (ABNT, 2013) define como argamassa industrializada material proveniente de processo controlado, com dosagem precisa, fornecida em embalagem e produzida em instalações industriais. Além disso, a norma também define que a mistura semipronta para argamassa tem o preparo completado em obra por adição de aglomerante.

A principal vantagem oferecida pelas argamassas industrializadas e pelas misturas semiprontas é a homogeneidade, tanto na qualidade como no proporcionamento dos insumos. Com isso, a correção de dosagem na obra não é necessária, minimizando a variabilidade de propriedades e consequente ocorrência de defeitos como o aumento indiscriminado do fator água/cimento e a utilização de materiais com qualidade inferior ao projetado. Essa vantagem se torna um grande diferencial ao se tratar de argamassa para revestimento, onde estes defeitos ocorrem de forma mais constante, afetando a qualidade final da obra (RECENA, 2012).

Nakakura & Cincotto (2004) observaram que as argamassas preparadas em obra a partir de misturas industrializadas com cal não correspondem às especificações exigidas em normatização pois a metodologia de preparo do material em obra é diferente de laboratório. Casali *et al.* (2001) afirmaram que mesmo que a argamassa industrializada produzida com cal seja misturada em canteiro por 20 minutos em betoneira, a incorporação de ar não é satisfatória. Além disso, o tempo de mistura

praticável no canteiro de obras é de 1,5 a 3 minutos em betoneira e este tempo deverá ser suficiente para a incorporação de ar esperado.

As argamassas industrializadas produzidas com cal, empregadas em obra de forma incorreta ou negligente, além da variabilidade do traço, foram associadas à má qualidade do produto final. Desta forma, profissionais da construção civil buscaram alternativas para mitigar o problema, sugerindo alguns produtos que possam reduzir a utilização de cal em argamassas. Dentre estas alternativas, destacou-se a utilização dos aditivos incorporadores de ar (RECENA, 2012).

2.3 Aditivo Incorporador De Ar

Os aditivos incorporadores de ar podem ser empregados com o objetivo de melhorar a trabalhabilidade de concretos e argamassas, o que contribui para majorar a área de contato entre argamassas e o substrato (POLITO, 2008). O aditivo incorporador de ar (AIA) é um composto formado por uma classe de substâncias surfactantes ou tensoativos, ou seja, substâncias ativas superficialmente. Esse composto é capaz de produzir microbolhas sistematicamente separadas, evitando a formação de canais capilares (DU e FOLLIARD, 2005).

Segundo Lea (1971, p. 596, *apud* Mehta & Monteiro, 2014, p. 309), observa-se, na Figura 2, que os grupos polares estão orientados para a fase aquosa na interface ar-água. Com isso, a tensão superficial é reduzida formando-se bolhas que possuem menor tendência de se unirem. Observa-se ainda que, na interface sólido-água, os grupos polares ligam-se ao sólido promovendo forças direcionadoras na superfície do cimento, conservando os grupos apolares orientados para a fase aquosa. Desta forma, a superfície do cimento se torna hidrofóbica, permitindo o deslocamento da água pelo ar, que permanecerá ligado em formas de bolhas às partículas sólidas.

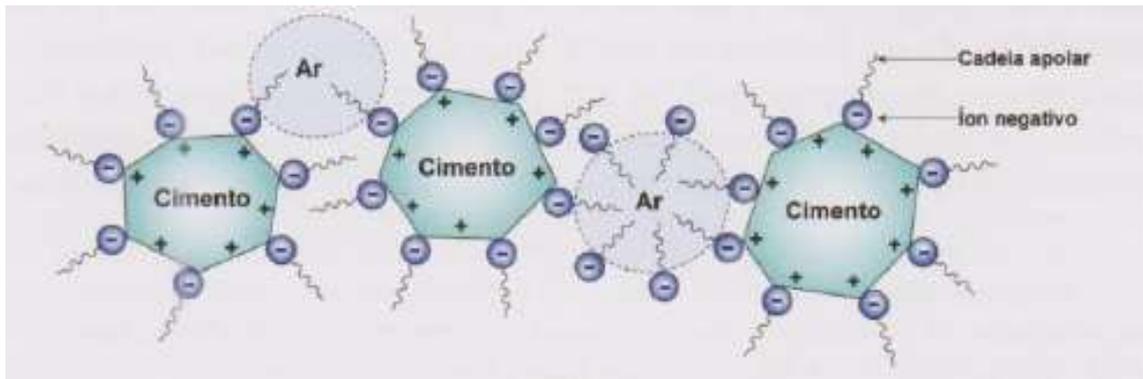


Figura 2 – Mecanismo de incorporação de ar de surfactante adicionado à uma pasta de cimento (MEHTA e MONTEIRO, 2014)

É comum que, na produção de argamassas, sejam utilizados aditivos incorporadores de ar, os quais formam pequenas bolhas e que aumentam o volume do material, dando boa trabalhabilidade até mesmo a argamassas de traços considerados muito fracos, como 1:8 e 1:12 (aglomerante : agregado) (RECENA, 2012). Os aditivos incorporadores de ar podem oferecer vantagens em relação a algumas propriedades quando aplicados a matrizes cimentícias para melhoria da trabalhabilidade, melhoria na coesão, aumento de volume, redução da exsudação e segregação, diminuição da quantidade de cimento a ser utilizada na mistura, resistência a ciclos de gelo e degelo, aumento do tempo em aberto da matriz e diminuição da permeabilidade (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

A distribuição uniforme dos vazios, assim como o teor de ar incorporado, é influenciada por fatores como a dosagem do AIA e o traço escolhido. Com maiores concentrações de aditivo são produzidos maiores volumes de ar que são distribuídos por toda a matriz, além disso, as características e a quantidade dos materiais sólidos influencia a distribuição dos vazios e evita a aglutinação das bolhas (RAMACHANDRAN, 1995) (DU e FOLLIARD, 2005).

2.4 Detergente Doméstico Como Aditivo Incorporador De Ar

Os surfactantes são moléculas ideais para a produção de detergentes domésticos devido às suas características anfipáticas, ou seja, apresentam características polares

e apolares. Essas moléculas possuem capacidade de interagir com a água e promover misturas com diferentes graus de polaridade (ex. água/óleo) (MENDES, 2016).

O Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio (LAS) é o surfactante mais utilizado no mundo para a produção deste produto de limpeza, devido ao seu baixo custo, satisfatório desempenho de detergência, agente emulsionante, agente molhante e produção de espuma (HAGER e BRACKMANN, 2004). Os detergentes domésticos são produtos testados quanto à sua toxicidade aos seres humanos, além de biodegradabilidade, de acordo com exigências da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2008).

Mendes (2016), portanto, propôs a utilização do detergente doméstico como aditivo incorporador de ar e obteve resultados satisfatórios. Observou-se que o AIA biodegradável baseado em Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio existente no detergente produz um sistema de espuma eficaz e estável mantendo o teor de ar incorporado tanto no estado fresco como no estado endurecido, o que permite a conservação das propriedades da argamassa. Verificou-se que, para dosagens entre 0,05% e 0,15% do AIA proposto, as propriedades das matrizes cimentícias foram melhoradas sem redução significativa na resistência mecânica, enquanto as dosagens acima de 0,2%, mesmo com redução do desempenho mecânico, ainda podem ser utilizadas como argamassas de assentamento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Os materiais utilizados para a produção das argamassas neste trabalho foram o cimento Portland, cal hidratada, areia de rio e LAS como aditivo incorporador de ar.

O aglomerante inorgânico principal utilizado foi o CP-IV-32-RS, cuja fabricação obedece a normatização definida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), devido à sua boa disponibilidade na região de Ouro Preto. Além disso, segundo Mehta & Monteiro (2014), o cimento tipo IV possui baixo calor de hidratação, o que propicia sua utilização para produção de argamassas para revestimentos. Para o preparo das argamassas de referência, foi utilizada cal hidratada aditivada - CHI, MASSICAL, da indústria de calcinação ICAL.

Como o traço foi escolhido em volume, foi definida a massa unitária do cimento e da cal hidratada, seguindo a normatização da NBR NM 45 (ABNT, 2006). Os valores obtidos estão apresentados abaixo na Tabela 5.

| MATERIAL | MASSA UNITÁRIA (g/cm³) |
|---------------------|------------------------|
| CIMENTO CP-IV-32-RS | 0,91 |
| CAL HIDRATADA | 0,46 |

Tabela 5 – Massa unitária do Cimento e da Cal Hidratada

A areia natural de rio utilizada nesta pesquisa é proveniente do município de Fonseca, Minas Gerais. Para a produção dos traços preliminares e misturas semiprontas, o material foi seco em estufa e caracterizado fisicamente, utilizando-se apenas o material passante na 2,4 mm, peneirado previamente. O agregado foi caracterizado a partir do ensaio de granulometria normatizado pela NBR NM 248 (ABNT, 2003), respeitando os limites permitidos a agregados miúdos pela NBR 7211 (ABNT, 2005). Também foram determinadas a massa unitária e massa específica da areia, segundo normatizado pela NBR NM 45 (ABNT, 2006) e NBR NM 52 (ABNT, 2009). Os resultados obtidos são descritos pelo Gráfico 1 e pela Tabela 6, a seguir.

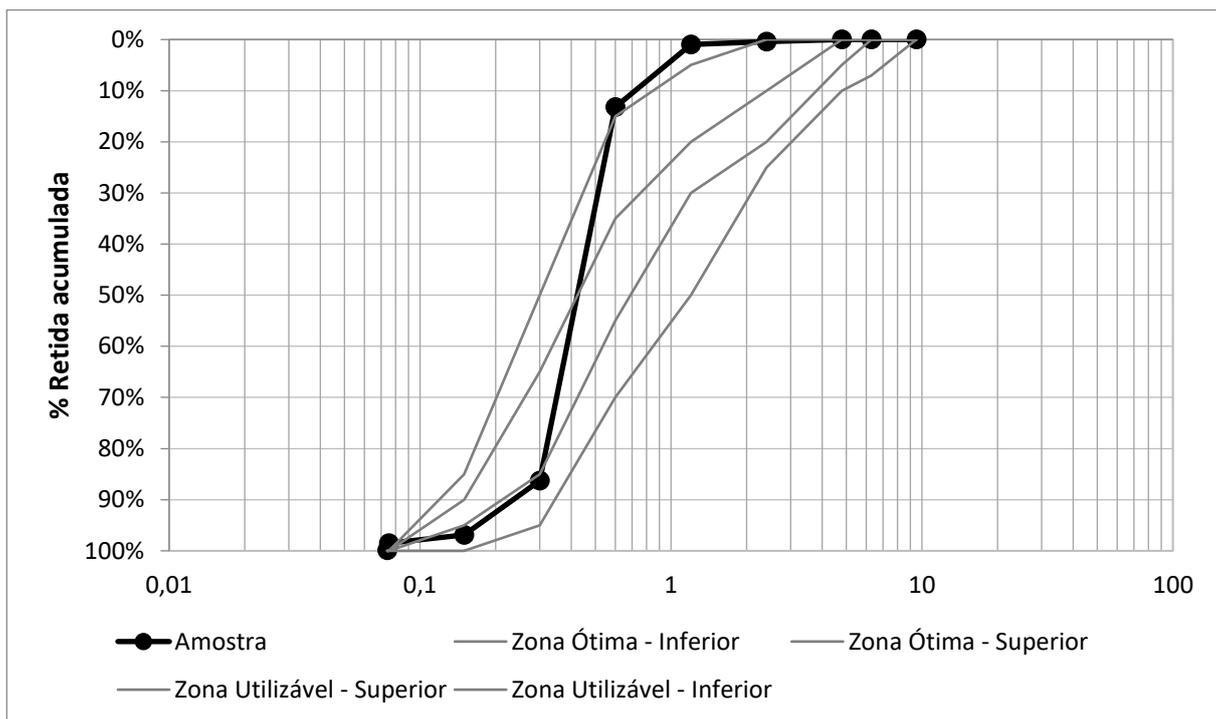


Gráfico 1 – Curva granulométrica de caracterização da areia

| | |
|---------------------------------------|------------------------|
| MÓDULO DE FINURA | 1,98 |
| DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA | 1,20 mm |
| MASSA UNITÁRIA | 1,36 g |
| MASSA ESPECÍFICA | 2,65 g/cm ³ |

Tabela 6 – Resultados obtidos a partir dos ensaios de caracterização da areia

Sendo assim, verificou-se que o módulo de finura da areia encontra-se dentro da zona utilizável superior, visto que este varia entre 1,55 a 2,20 segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005).

A partir desta caracterização foi realizado ensaio de inchamento da areia segundo a NBR 6467 (ABNT, 2006) para a definição da umidade crítica. A umidade crítica, segundo Mehta & Monteiro (2014) é o percentual de água obtido a partir do ensaio de inchamento e que representa o ponto de maior aumento de volume do agregado. Com este valor de umidade pode-se afirmar que todos os grãos de areia estão envolvidos por

água e, portanto, em contato com a umidade, que será o agente transportador das partículas de LAS. A variação de volume em função da umidade do agregado utilizado neste trabalho pode ser observada no gráfico abaixo. A linha polinomial ilustra a tendência do comportamento do inchamento em relação à umidade da amostra.

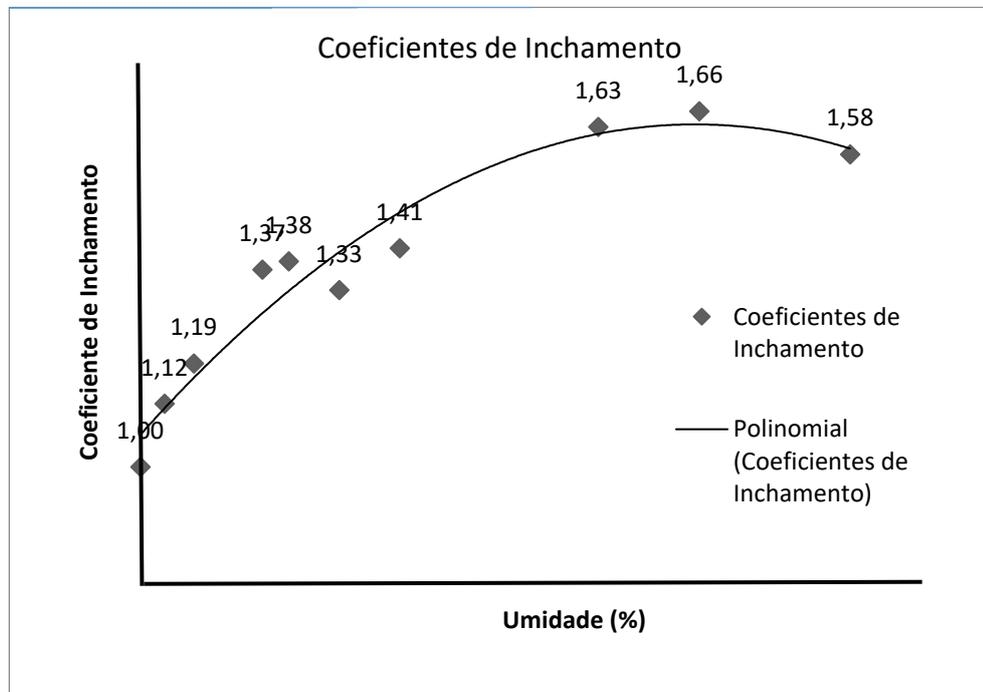


Figura 3 – Coeficiente de inchamento

A partir dos resultados da Figura 3 foi traçada uma reta tangente ao ponto máximo da polinomial, que forneceu os dados relativos à umidade crítica e o seu coeficiente de inchamento, indicados na Tabela 7, a seguir.

| | |
|----------------------------------|--------|
| UMIDADE CRÍTICA | 6,31 % |
| COEFICIENTE DE INCHAMENTO | 1,61 |

Tabela 7 – Caracterização da areia

Foi adotado o LAS presente no detergente neutro como aditivo incorporador de ar, conforme estudado e proposto por Mendes (2016). A Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) informa que o produto é composto por uma associação de tensoativos aniônicos entre 6 e 10%, compreendendo Linear Alquil Benzeno Sulfonato de sódio - LAS (CAS: 25155-30-0); Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Trietanolamina (CAS: 27323-41-7) e Lauril Éter Sulfato de Sódio (CAS:9004-82-4) (QUÍMICA AMPARO LTDA, 2019).

Para esta pesquisa, foram propostas três dosagens em massa de LAS em relação à quantidade de cimento utilizada. Foram propostas dosagens de 0,005%, 0,05% e 0,5%, seguindo o recomendado por Mendes (2016), a serem medidas em massa por balança analítica (modelo Fa2104n BIOPRECISA), conforme apresentado na Figura 4.



Figura 4 – medição de 0,5% de LAS em relação à massa do cimento em balança de precisão

3.2 Métodos

A metodologia adotada nesta pesquisa foi descrita brevemente no fluxograma apresentado pela Figura 5.



Figura 5 – Esquema de metodologia adotada

Na primeira etapa da pesquisa foi feita a caracterização dos materiais para a definição dos traços preliminares em volume. Foram então definidas as dosagens de aditivo a serem utilizadas e o teor de umidade necessário para promover sua distribuição por toda a matriz. Após a seleção dos parâmetros, foram ensacadas quantidades suficientes da mistura areia + LAS + umidade em embalagens hermeticamente fechadas por 180 dias. A partir do traço que apresentou melhor desempenho, foi realizada a verificação da estabilidade do aditivo incorporador de ar por meio da produção de argamassas com misturas semiprontas sem armazenamento prévio. Com isso, pôde-se comparar os resultados e analisar os efeitos do tempo na estabilidade do LAS.

3.2.1 Definição dos traços

Foram definidos os traços a partir da variação de umidade das amostras e variação das dosagens de LAS, mantendo a proporção de 1:1:6 (cimento : cal hidratada : areia), em volume. A utilização de cal hidratada não se faz necessária nos traços com aditivo, visto que sua função é exercida pelo LAS, que garante a trabalhabilidade necessária para a amostra. A NBR 13276 (ABNT, 2016) recomenda que seja utilizado 2,5 kg de material, a ser preparado em misturador mecânico. Com o intuito de garantir trabalhabilidade satisfatória da argamassa, o índice de consistência foi fixado em 260 mm \pm 5 mm de acordo com a NBR 16541 (ABNT, 2016).

A umidade crítica orientou a definição da quantidade de água utilizada para homogeneização do LAS com a areia. Esse parâmetro foi definido como umidade de homogeneização e variou entre três teores, são eles: 4,5%, 5,5% e 6,5% (umidade próxima à crítica). O modo de preparo da argamassa seguiu a NBR 16541 (ABNT, 2016), utilizando-se mistura semipronta já preparada com areia, LAS e umidade de homogeneização.

Portanto, para a parametrização dos traços necessários à produção das misturas semiprontas, foi proposta a variação de umidade nos traços de acordo com o objetivo final, de viabilidade econômica do produto. Serão testados nove traços que contam com umidade inicial suficiente para homogeneização da mistura areia + aditivo, sendo estes teores de umidade de 4,5%, 5,5% e 6,5%. A água de mistura somada a umidade

de homogeneização resulta na quantidade total de água necessária para a produção da argamassa. Sendo assim, a quantidade de água aplicada em função da umidade deverá ser compensada na água de mistura, de forma que não haja variação no fator água/cimento. Com a variação dos teores de umidade pretende-se verificar a possibilidade de redução do peso por amostra e, conseqüente, economia na fase de transporte do produto industrializado.

Finalmente, foram definidos os nove traços, demonstrados na Tabela 8, a partir da fixação dos fatores água/cimento e da variação das umidades iniciais e das dosagens do LAS.

| ID | TEOR DE LAS | UMIDADE (%) | UMIDADE (g) | AREIA (g) | CIMENTO (g) | a/c | ÁGUA TOTAL (g) | ÁGUA DE MISTURA (g) |
|-----|-------------|-------------|-------------|-----------|-------------|------|----------------|---------------------|
| LL1 | 0.005% | | | | | 0.97 | 353.1 | 279.6 |
| LL2 | 0.05% | 4.5 | 73.4 | 1632 | 364 | 0.86 | 311.6 | 238.1 |
| LL3 | 0.50% | | | | | 0.69 | 251.9 | 178.5 |
| LL4 | 0.005% | | | | | 0.97 | 353.1 | 263.3 |
| LL5 | 0.05% | 5.5 | 89.8 | 1632 | 364 | 0.86 | 311.6 | 221.8 |
| LL6 | 0.50% | | | | | 0.69 | 251.9 | 162.1 |
| LL7 | 0.005% | | | | | 0.97 | 353.1 | 247.0 |
| LL8 | 0.05% | 6.5 | 106.1 | 1632 | 364 | 0.86 | 311.6 | 205.5 |
| LL9 | 0.50% | | | | | 0.69 | 251.9 | 145.8 |

Tabela 8 – Traços definitivos

3.2.2 Produzindo as misturas semiprontas

Após a definição dos traços, as misturas de areia + LAS + umidade foram preparadas e armazenadas em embalagens hermeticamente fechadas (Figura 6). As misturas referentes às nove dosagens indicadas anteriormente foram armazenadas por 180 dias até o preparo das argamassas.



Figura 6 – Armazenamento das amostras e suas etiquetas de identificação

As misturas pré-fabricadas foram identificadas com etiquetas (Figura 6) e armazenadas em local fresco e arejado para simular as condições de armazenamento comerciais. Cada etiqueta foi utilizada para identificar o material de acordo com os parâmetros definidos na Tabela 9.

| | | |
|----------------------------|----|---|
| TIPO | | Para qual finalidade o material armazenado seria usado, podendo ser AR (areias destinadas a produção de argamassas para testes no estado fresco) ou CP (areias destinadas a produção de argamassas para testes no estado endurecido). |
| ID | | Código de identificação para controle interno. |
| IDADE DE TESTE | DE | Idade em que o material seria retirado da embalagem e utilizado para a produção de argamassa. |
| TEOR DE LAS | | Concentração (em percentual de volume) de LAS em relação à quantidade de cimento, variando entre 0,005%, 0,05% e 0,5%, conforme mencionado anteriormente. |
| TEOR DE UMIDADE | DE | Umidade inicial utilizada para a solubilização do LAS e sua devida homogeneização com a areia. |
| DATA DE ENSAQUE | DE | Data em que a mistura Areia + LAS + Umidade foi produzida e ensacada. |
| DATA DE MOLDAGEM | DE | Data prevista na qual o material atingiria a idade de teste proposta. Nesta data foram produzidos os corpos de prova para posteriores testes mecânicos além de execução dos testes previstos para o estado fresco do material. |
| DATA DE TESTES ENDURECIDOS | | Data prevista na qual o material atingiria 28 dias a partir de sua moldagem e seriam realizados os testes previstos para o estado endurecido. |

Tabela 9 – Parâmetros de identificação do material armazenado

| TIPO | ID | IDADE DE TESTE | TEOR DE LAS | TEOR DE UMIDADE | DATA DE ENSAQUE | DATA DE MOLDAGEM | DATA TESTE ENDURECIDO |
|------|-------|----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------------|
| AR | LL030 | 180 | 0,5 | 4,5 | 18/07/2018 | 14/01/2019 | 11/02/2019 |

Tabela 10 - Modelo de etiqueta utilizada para identificação de material

3.2.3 Produção da argamassa

Ao atingir as idades previstas para os testes com a mistura semipronta, as areias homogêneas com LAS e umidade foram misturadas com o restante da água e o cimento Portland, conforme previsto pela Tabela 8. Utilizou-se de mistura mecânica por meio de argamassadeira de bancada (Figura 7), seguindo as normas da NBR 16541 (ABNT, 2016). Efetuou-se testes de índice de consistência em cada amostra e foi adicionada a quantidade de água necessária para manutenção da trabalhabilidade da amostra conforme índice de consistência estabelecido.



Figura 7 – Argamassadeira de bancada

3.2.4 Testes no estado fresco

3.2.4.1 Índice de consistência

O índice de consistência, normatizado pela NBR 13276 (ABNT, 2016) em 260 +- 5mm, foi verificado a fim de se manter o padrão de trabalhabilidade proposto.

3.2.4.2 Espalhamento e rebote

Os ensaios de espalhamento e rebote foram realizados segundo Procedimento Operacional Padrão (POP), proposto por Matias (2018), do grupo de pesquisa RECICLOS – CNPq, situado nas dependências do Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Ouro Preto e se encontram descritos abaixo.

Para mensurar o espalhamento, foi preenchido com argamassa um recipiente de dimensões 10 cm x 14 cm x 10 cm. O recipiente foi então virado de cabeça pra baixo a uma altura de 30 cm da superfície inferior, coberta por plástico. A partir da queda do material, seu espalhamento foi analisado qualitativamente e quantitativamente. O resultado da análise quantitativa é dado em porcentagem de material que sofreu rebote, conforme Equação 1.

$$Rebote = \left(\frac{\text{material que não aderiu ao substrato}}{\text{material lançado}} \right) \times 100 \quad (1)$$

A fim de analisar o comportamento da argamassa para o rebote, foi padronizada a utilização de 1 kg de argamassa para o ensaio e o material foi projetado em um substrato padrão com o auxílio de uma colher de pedreiro. Para garantir uniformidade entre testes foram mantidos o operário e a distância de lançamento de 30 cm.

3.2.5 Testes no estado endurecido

3.2.5.1 Resistência mecânica

Para cada traço foram moldados três corpos de prova prismáticos de 4 cm x 4 cm x 16 cm, que foram ensaiados aos 28 dias quanto à resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial, de acordo com normatização prevista pela NBR 13279 (ABNT, 2005). Utilizou-se prensa EMIC, modelo DL 20000, com célula de carga de capacidade de 200 KN.

3.2.5.2 Arrancamento

Para a realização do ensaio de arrancamento, foram aplicadas porções de argamassa sob um substrato padrão para cada traço. O substrato-padrão, de dimensões (25 x 50) cm, foi preenchido com camada de 2 cm de argamassa para a realização dos ensaios prescritos pela NBR 15258 (ABNT, 2005). O ensaio foi realizado após 28 dias de cura do material aderido ao substrato.

4 RESULTADOS

As argamassas prontas foram ensaiadas para a idade de armazenamento de 180 dias da mistura de areia + LAS + umidade. O traço que apresentou desempenho mais satisfatório aos testes foi reproduzido para a material sem armazenamento prévio, a fim de se realizar a comparação dos efeitos do tempo de armazenamento no desempenho das argamassas produzidas a partir do material proposto.

4.1 Testes para 180 dias de armazenamento

4.1.1 Avaliação da consistência

Para fins de comparação entre os diferentes teores de LAS, o espalhamento da argamassa após o teste está ilustrado na Figura 8.

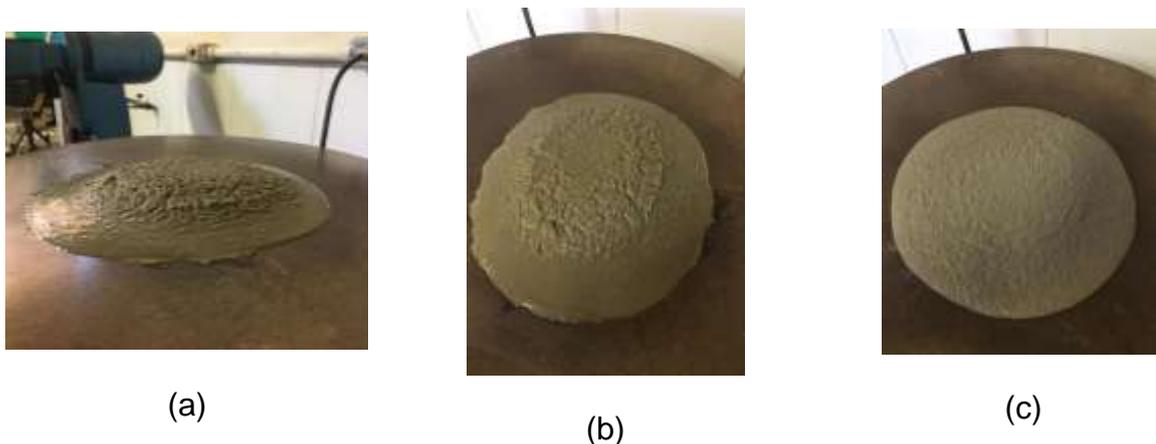


Figura 8 – Índice de consistência para misturas semiprontas armazenadas por 180 dias e 4,5% de umidade: (a) 0,005% de LAS; (b) 0,05% de LAS; (c) 0,5% de LAS.

Observou-se a ocorrência de exsudação em (a) e (b) e uma maior coesão do material em (c). Com isso, observa-se ineficiência da aplicação de pequenas dosagens de LAS na coesão do material, enquanto pode-se afirmar que ocorre melhoria significativa na trabalhabilidade ao utilizar-se maior teor do aditivo proposto.

4.1.2 Espalhamento

A Figura 9 ilustra a forma de espalhamento do material para as três diferentes concentrações de LAS.



(a)

(b)

(c)

Figura 9 – Espalhamento para misturas semiprontas armazenadas por 180 dias e 4,5% de umidade: (a) 0,005% de LAS; (b) 0,05% de LAS; (c) 0,5% de LAS.

Em análise qualitativa, houve pouca diferença entre (a) e (b) enquanto pode-se observar comportamento mais satisfatório em (c), onde houve uma melhoria significativa no espalhamento. A melhoria no espalhamento ocorreu devido à maior quantidade de LAS empregada e sua influência no aumento da trabalhabilidade do material. Este resultado já era esperado ao se analisar os resultados de índice de consistência, realizados anteriormente.

4.1.3 Rebote

A Figura 10 ilustra o melhor desempenho das argamassas produzidas a partir do material armazenado.



Figura 10 – Teste de rebote para mistura semipronta armazenada por 180 dias e 4,5% de umidade, com 0,5% de LAS.

Notou-se desempenho satisfatório quanto à quantidade de material que sofreu rebote na aplicação da argamassa, uma vez que grande parte do material aderiu ao substrato e a massa do material que sofreu rebote foi aproximadamente nula. O material que apresentou tal comportamento foi a argamassa produzida a partir do produto armazenado com 0,5% de LAS e 4,5% de umidade inicial.

4.1.4 Resistência à Tração na Flexão

A Figura 11 exhibe os resultados para o ensaio de resistência à tração na flexão.

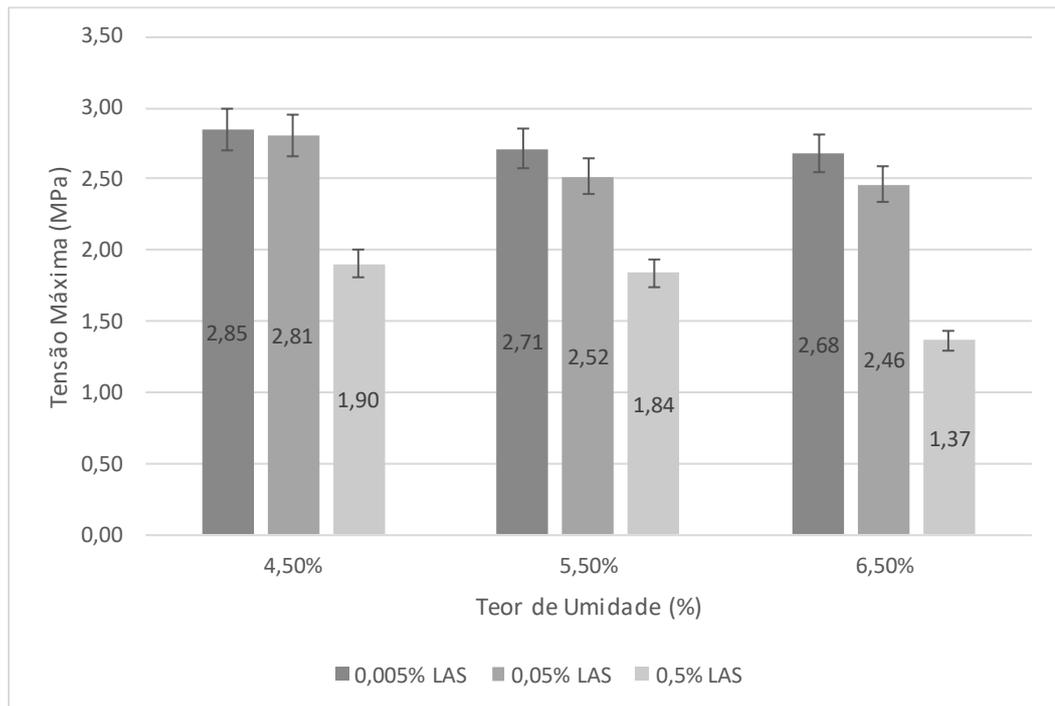


Figura 11 – Resistência à tração na flexão aos 28 dias para misturas semiprontas armazenadas por 180 dias

Observa-se comportamento semelhante entre as misturas com 4,5% e 5,5% teor de umidade de homogeneização, enquanto ocorre queda pouco significativa para o teor de umidade de 6,5%. Além disso, ocorre pouca variação de resistência entre os traços com teor de LAS de 0,005% e 0,05%. Por outro lado, os traços com maior teor de LAS sofreram grande perda de resistência, sendo possível observar queda de aproximadamente 50% na tensão máxima resistida entre os copos de prova com 0,005% e 0,5% de teor de LAS, o que indica a influência do aditivo na perda de resistência da argamassa, visto que há o aumento de pontos de fraquezas no material endurecido, conforme apresentado por Mendes (2016).

4.1.5 Resistência à Compressão

A Figura 12 indica os resultados do teste de resistência à compressão axial das argamassas.

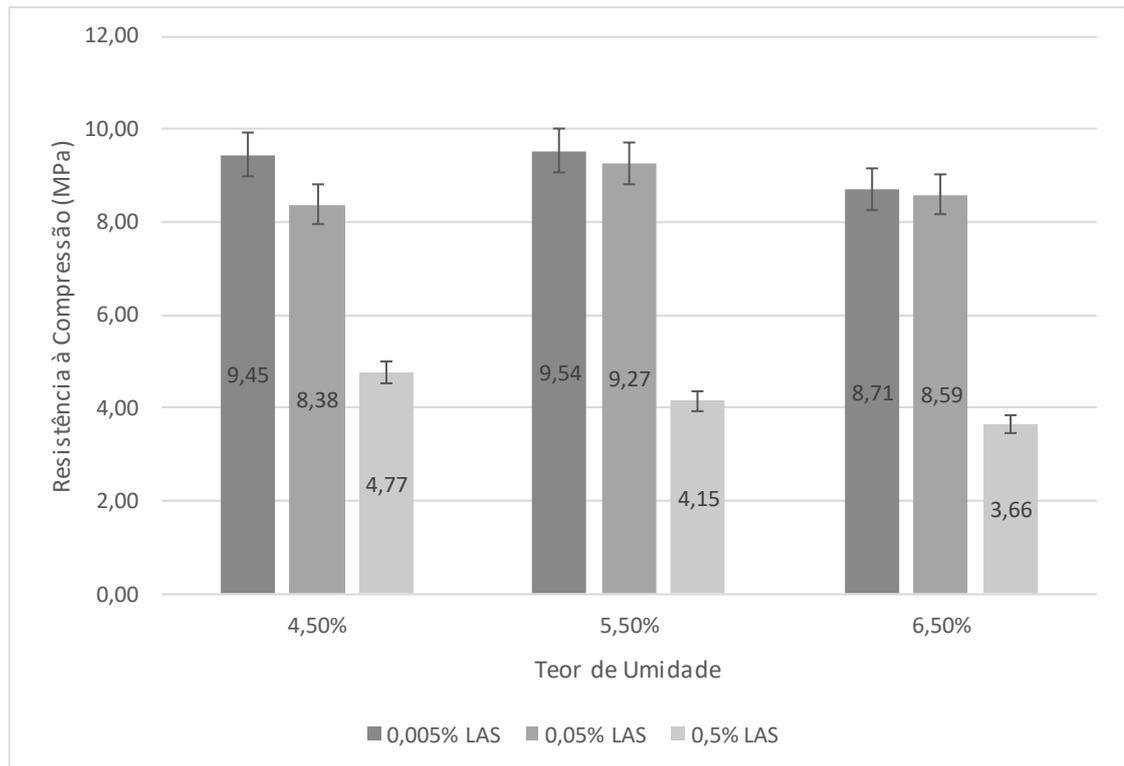


Figura 12 – Resistência à compressão axial aos 28 dias para misturas semiprontas armazenadas por 180 dias

Assim como exibido anteriormente, nota-se comportamento similar entre as misturas com 4,5% e 5,5% teor de umidade de homogeneização, enquanto ocorre queda pouco significativa para o teor de umidade de 6,5%. Ao se analisar os teores de aditivo, para as amostras com teor de LAS de 0,005% e 0,05% não foram observadas grandes variações na resistência à compressão. Por outro lado, para as amostras com maior concentração do AIA foi notada queda significativa de resistência à compressão para todos os teores de umidade. Este resultado se relaciona diretamente ao aumento da porosidade da argamassa e consequente aumento de pontos de menor resistência da matriz, sendo capaz de resistir a menores solicitações à medida em que se aumenta o teor de LAS.

4.1.6 Arrancamento

A Figura 13 ilustra a placa moldada após o teste de arrancamento, enquanto podemos observar a pastilha com argamassa rompida, mostrada na Figura 14.



Figura 13 – Placa para teste de arrancamento, moldada conforme normatização



Figura 14 – Pastilha com argamassa rompida após teste de arrancamento

Os resultados quantitativos do teste de arrancamento estão apresentados na Figura 15.

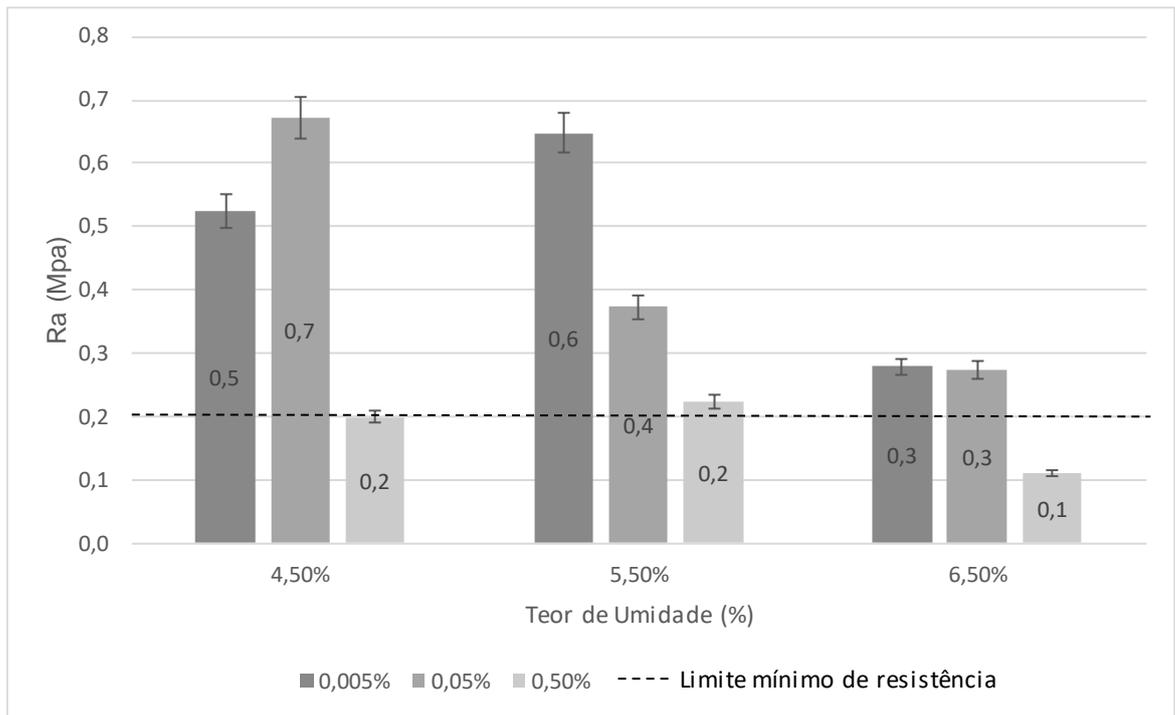


Figura 15 – Resistência de aderência à tração aos 28 dias para misturas semiprontas armazenadas por 180 dias

Da mesma forma que nos ensaios anteriores, observa-se uma relativa manutenção da resistência nos materiais com concentração de 0,005% e 0,05% de LAS e uma queda significativa neste parâmetro para os materiais com concentração de 0,5% de LAS, o que se deve ao aumento de índice de vazios e consequente descontinuidade da matriz cimentícia, provocando menor aderência da argamassa ao substrato.

De acordo com a NBR 13749 (ABNT, 2005), 8 dos 9 traços tiveram comportamento satisfatório à norma em relação à sua resistência de aderência à tração, indicando que os traços propostos possuem bom desempenho quanto a este parâmetro e que o material produzido poderá ser utilizado até 180 dias depois de seu preparo.

4.2 Testes para material sem armazenamento prévio

Para a escolha do traço ideal foram considerados os parâmetros de trabalhabilidade, resistência de aderência à tração e viabilidade econômica. A partir

do índice de consistência, notou-se que o traço com maior teor de LAS obteve-se a argamassa com melhor trabalhabilidade. Além disso, observou-se que o traço com maior teor de LAS e menor teor de umidade atende às especificações para resistência de aderência à tração. Com o menor teor de umidade permite-se trabalhar com menor peso por amostra, o que possibilita economia na fase de transporte do produto industrializado, viabilizando a proposta.

Portanto, para a verificação do desempenho do aditivo incorporador de ar em função do tempo, foram produzidas argamassas a partir de misturas semiprontas sem armazenamento prévio a partir de areia homogeneizada com teor de 4,5% de umidade e 0,5% de LAS.

4.2.1 Espalhamento

A argamassa apresentou desempenho suficiente para o ensaio de espalhamento, exibindo boa coesão e trabalhabilidade, como mostrado na Figura 16 – Teste de espalhamento para armazenamento zero dias de armazenamento



Figura 16 – Teste de espalhamento para armazenamento zero dias de armazenamento

Este resultado já era esperado, conforme testes realizados aos 180 dias de armazenamento.

4.2.2 Rebote

A Figura 17 ilustra o comportamento do material no ensaio do rebote realizado para as argamassas produzidas com 0,5% de teor de LAS e 4,5% de umidade.



(a)

(b)

Figura 17 – Teste de rebote para zero dias de armazenamento (a) análise qualitativa; (b) análise quantitativa.

Observa-se em análise quantitativa que 307,95 g de material sofreu rebote, o que corresponde a quase 31% da massa inicial ensaiada, não correspondendo ao esperado. O rebote excessivo de material pode ser causado pelo alto teor de LAS, que reduz a adesão do material ao substrato.

4.2.3 Resistência à Tração na Flexão

Devido à ausência de exigências mínimas para valores de resistência à tração na flexão das argamassas de revestimento, foi realizado o teste para fins de comparação

dos valores em diferentes tempos de armazenamento. Os resultados do teste e sua comparação com os anteriormente obtidos estão ilustrados na Figura 18.

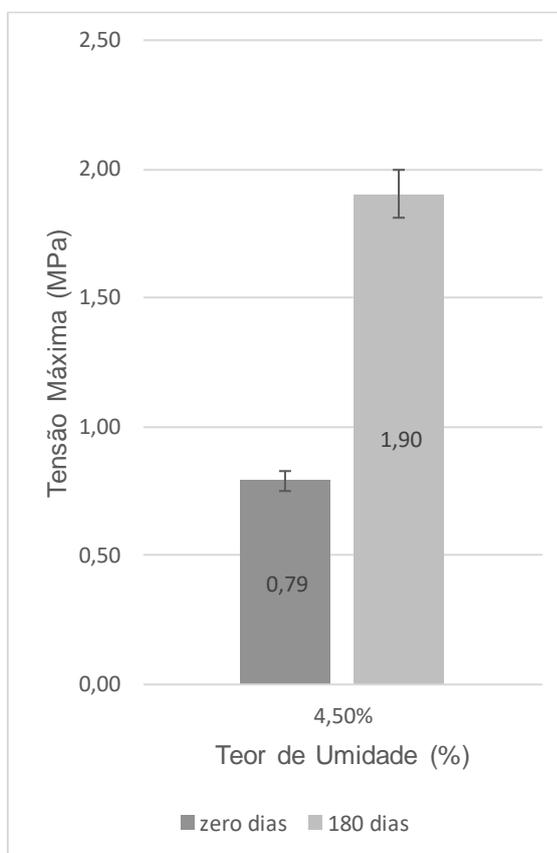


Figura 18 – Comparativo de resistência à tração na flexão para zero e 180 dias de armazenamento

Observa-se redução na tensão máxima de ruptura ao se comparar as duas idades de armazenamento. Sendo a alta resistência à tração um resultado positivo para argamassas de assentamento e revestimento, conclui-se que o traço escolhido teve um desempenho satisfatório quanto aos testes de tração e sofreu uma influência positiva com o tempo de armazenamento, visto que com maior tempo armazenado, menor foi a influência do LAS na incorporação de ar na matriz. Isso ocorre devido a biodegradabilidade do aditivo proposto e consequente perda de sua influência na produção de microbolha no sistema.

4.2.4 Resistência à Compressão

De forma análoga ao apresentado anteriormente, as amostras não armazenadas, com teor de LAS de 0,5% e 4,5% de teor de umidade foram testadas quanto à sua resistência à compressão. A análise dos resultados deste ensaio e comparação com os resultados aos 180 dias de armazenamento estão ilustrados na Figura 19.

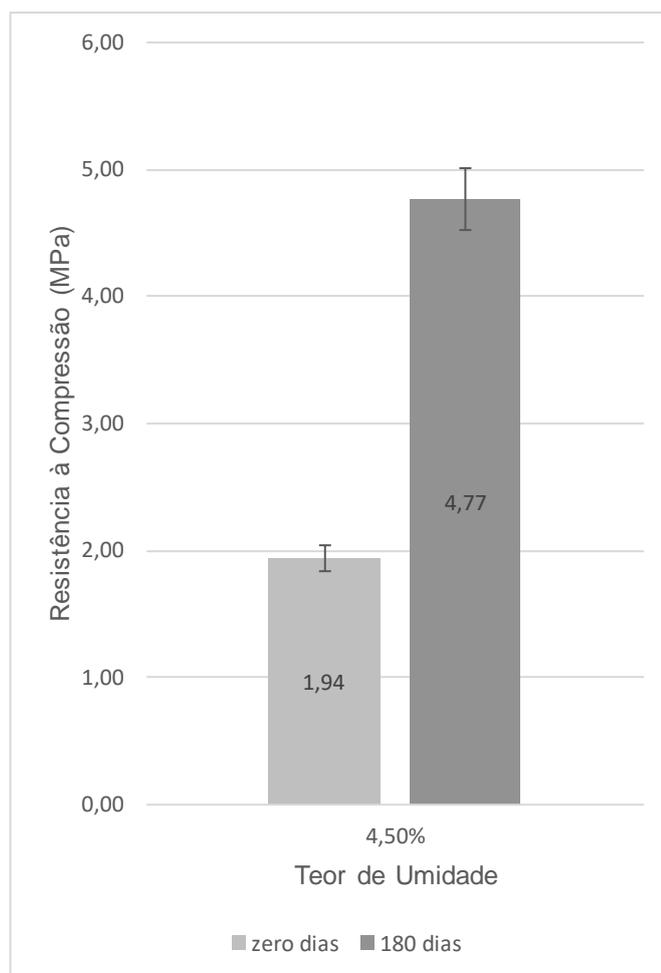


Figura 19 – Comparativo de resistência à compressão para zero e 180 dias de armazenamento

Observa-se que o traço escolhido obteve uma redução significativa na resistência à compressão na ausência de armazenamento. Como o aditivo incorporador de ar influencia diretamente na baixa resistência à compressão, pode-se concluir que o LAS perdeu parte de sua eficiência com o tempo, dado o incremento de resistência aos 180 dias.

4.2.5 Arrancamento

O resultado do ensaio de arrancamento realizado para mistura semipronta sem armazenamento prévio podem ser observados na Figura 20.



Figura 20 – Teste de arrancamento para zero dias de armazenamento.

Nota-se resultado diferente do esperado para o teste de arrancamento, visto que a argamassa foi arrancada do substrato não se rompendo na área de contato com a pastilha, onde a força fora aplicada. Esse comportamento possivelmente fora causado pelo alto teor de LAS na matriz, o que diminuiu a aderência do material ao substrato.

Apesar de se observar desempenho satisfatório quanto aos ensaios de espalhamento, resistência à tração na flexão e resistência à compressão, o comportamento das argamassas produzidas a partir de material sem armazenamento prévio não se mostrou suficiente para o ensaio de arrancamento e rebote, tendo em vista a ruptura insatisfatória do substrato padrão e o alto percentual de massa não aderida ao substrato.

4.3 Classificação da argamassa

De acordo com os requisitos exigidos para argamassas utilizadas em assentamento e revestimento de paredes e tetos pela NBR 13281 (ABNT, 2005) as argamassas testadas foram classificadas como observado na Tabela 11.

| Armazenamento | Resistência à Tração na Flexão | Resistência à Compressão | Resistência Potencial de Aderência à Tração |
|---------------|--------------------------------|--------------------------|---|
| - | R1 | P1 | Sem classificação |
| 180 dias | R2 | P4 | A1 |

Tabela 11 – Classificação das argamassas de misturas semiprontas com 0,5% de teor de LAS e 4,5% de umidade

4.4 Instruções para dosagem

A fim de disponibilizar instrução e reduzir erros de dosagem na produção da argamassa a partir do material armazenado por 180 dias, desenvolveu-se informativo com quantitativos de materiais a ser utilizados e método de mistura para o consumidor final. As quantidades podem ser verificadas na Tabela 12.

| Mistura semipronta de argamassa | Cimento | Água adicional |
|--|----------------|-----------------------|
| 1 kg | 213 g | 105 ml |

Tabela 12 – Quantitativos de dosagem para produção de argamassa a partir de material armazenado por 180 dias com 0,5% de LAS e 4,5% de teor de umidade

Método de mistura: o cimento e a água deverão ser misturados ao conteúdo da embalagem por, no mínimo, 4 minutos, para que seja garantida a homogeneização do material. Após a mistura, a argamassa poderá ser aplicada para revestimento em teto e paredes internas ou assentamento de blocos cerâmicos, respeitando-se as exigências mínimas de resistência em projeto.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados provenientes das análises realizadas, observa-se que foi possível desenvolver uma mistura semipronta para argamassa de revestimento e assentamento a partir da homogeneização de areia, detergente para uso doméstico e água, que poderá ser armazenada em embalagem hermeticamente fechada para posterior utilização. Ao contrário das argamassas industrializadas comercializadas atualmente, este material não tem em sua composição a cal hidratada, além de ser produzido com aditivo incorporador de ar (LAS) amplamente comercializado e atóxico.

Ao se analisar a trabalhabilidade, resistência de aderência à tração e viabilidade econômica de diferentes argamassas produzidas a partir de material armazenado, foi escolhido traço que melhor atendeu a estes critérios. Com a análise de consistência e coesão das argamassas, notou-se melhor trabalhabilidade com maior teor de LAS. Quanto às especificações para resistência de aderência à tração observou-se que o traço com maior teor de LAS e menor teor de umidade (viabilidade econômica) atende os parâmetros mínimos exigidos em norma.

Dentre os resultados obtidos pela produção de argamassa para revestimento armazenada por 180 dias, com 4,5% de umidade e 0,5% de LAS em relação à massa de cimento, estão:

- maior resistência à tração na flexão,
- menor resistência à compressão axial,
- resistência de aderência à tração equivalente ao mínimo exigido pela norma,
- boa coesão,
- bom espalhamento,
- boa trabalhabilidade,
- baixo rebote.

Estes parâmetros indicam que a utilização de mistura semipronta, armazenada por 180 dias, na produção de argamassa teve desempenho satisfatório ainda que o LAS tenha sofrido perda de eficiência, devido à sua biodegradabilidade.

Já quanto aos resultados obtidos para mistura semipronta sem armazenamento prévio, não foi possível observar desempenho satisfatório das argamassas, devido à sua pouca aderência tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, o que sugere a necessidade de armazenamento por um período mínimo antes de sua aplicação, provavelmente devido à alteração de desempenho do LAS ao longo do tempo na mistura.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Como o foco do trabalho é a produção de um novo tipo de mistura industrializada para argamassa e a verificação da sua estabilidade ao longo do tempo de armazenamento, sugere-se a produção de misturas com armazenamento a partir de 30 dias para verificar se seu comportamento será adequado à utilização. Caso o resultado seja positivo, seria possível garantir a faixa de tempo em que a mistura armazenada estaria apta para utilização.

6 BIBLIOGRAFIA

ABNT. **NBR NM 248 - Determinação da Composição Granulométrica.** Rio de Janeiro. 2003.

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

ABNT. **NBR 13281 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos.** Rio de Janeiro. 2005.

ABNT. **NBR 15258 - Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração.** Rio de Janeiro. 2005.

ABNT. **NBR 7211 - Agregados para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro. 2005.

ABNT. **NBR 6467 - Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio.** Rio de Janeiro. 2006.

ABNT. **NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro. 2006.

ABNT. **NBR NM 52 - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente.** Rio de Janeiro. 2009.

ABNT. **NBR 13529 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia.** Rio de Janeiro. 2013.

ABNT. **NBR 13749 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Especificação.** Rio de Janeiro. 2013.

ABNT. **NBR 13276 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro. 2016.

ABNT. **NBR 16541 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios**. Rio de Janeiro. 2016.

ANEPAC. **Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção**, 2012. Disponível em: <http://www.anepac.org.br/publicacoes/anuario/item/download/33_684700727e7a6db79679087fd27a7fd7>. Acesso em: 1 Novembro 2019.

ANVISA. Resolução RDC Nº 40 - Regulamento Técnico para Produtos de Limpeza e Afins. **Portal ANVISA**, 2008. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_40_2008.pdf/0dbd3b90-7406-4735-b5d7-b7dbdfb7f666>. Acesso em: 02 Junho 2019.

CARASEK, H. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007.

CASALI, J. M. et al. Avaliação da Influência do Processo de Mistura na Resistência à Compressão de Argamassas para Assentamento de Alvenaria Estrutural. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, Brasília, 2001.

DU, L.; FOLLIARD, K. J. Mechanisms of air entrainment in concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 35, p. 1463–1471, 2005.

HAGER, C.; BRACKMANN, B. **The Statistical World Of Raw Materials, Fatty Alcohols And Surfactants**. 6th World Surfactants Congress. Berlin: [s.n.]. 2004.

LEA, F. M. **The Chemistry of Cement and Concrete**. New York: Chemical Publishing Company, 1971.

MARQUES, S. M. F. **Estudos de argamassas de reabilitação de edifícios antigos**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Aveiro. Aveiro. 2005.

MATIAS, A. C. D. P. **Utilização de escórias de aciaria em argamassas sustentáveis para revestimento de alvenarias**. UFOP. Ouro Preto. 2018.

MEHTA, P.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2ª. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MENDES, J. C. **Viabilidade técnica do uso de Linear Aquil Benzeno Sulfonato de Sódio como aditivo incorporador de ar para matrizes cimentícias**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG. 2016.

MME. **Ministério de Minas e Energia**, 2009. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256652/P46_RT72_Perfil_do_Cal.pdf/414a14fd-4574-4b22-bc3b-d07a3955bc69>. Acesso em: 02 Junho 2019.

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 198. 2004.

POLITO, G. . E. A. **Análise microestrutural da interface entre argamassas de revestimento**. 50º Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo - SP: IBRACON. 2008.

QUÍMICA AMPARO LTDA. Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ - Lava Louças Ypê, 2019. Disponível em: <<https://www.ype.ind.br/uploads/produtos/fispq/FISPQ-LAVA-LOUCAS-REGULAR.pdf>>. Acesso em: 08 Novembro 2019.

RAMACHANDRAN, V. **Concrete Admixtures Handbook**. 2ª. ed. New Jersey: Noyes Publications, 1995.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo Argamassa**. 2ª. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012.