

**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA
BACHARELADO EM ENGENHARIA**

**HUMPHREY LIMA DE OLIVEIRA FILHO
MARCOS VINICIUS AGUILAR BOTELHO**

**VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA AO TEMPO DE PEGA E RESISTÊNCIA
MECÂNICA DO DETERGENTE NEUTRO UTILIZADO NA ARGAMASSA PARA
EMBOÇO COMO ELEMENTO NÃO NORMATIVO**

CARATINGA

2019

**HUMPHREY LIMA DE OLIVEIRA FILHO
MARCOS VINICIUS AGUILAR BOTELHO**

FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA

**VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA AO TEMPO DE PEGA E RESISTÊNCIA
MECÂNICA DO DETERGENTE NEUTRO UTILIZADO NA ARGAMASSA PARA
EMBOÇO COMO ELEMENTO NÃO NORMATIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil das Faculdades DOCTUM de Caratinga, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Materiais de construção.

Orientador: Prof. Thales Leandro de Moura

CARATINGA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA AO TEMPO DE PEGA E RESISTÊNCIA MECÂNICA DO DETERGENTE NEUTRO UTILIZADO NA ARGAMASSA PARA EMBOÇO COMO ELEMENTO NÃO NORMATIVO, elaborado pelo(s) aluno(s) HUMPREY LIMA DE OLIVEIRA FILHO e MARCOS VINICIUS AGUILAR BOTELO foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

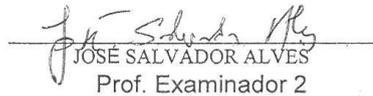
Caratinga 02/12/2019


THALES LEANDRO DE MOURA

Prof. Orientador


VINICIUS MURILO

Prof. Avaliador 1


JOSE SALVADOR ALVES

Prof. Examinador 2

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por todas as coisas deste mundo. Em segundo lugar, à minha família, pais e orientadores, a todos os amigos que fizeram parte desta jornada acadêmica.

Sei que o caminho ainda é longo e que apenas uma etapa está se concluindo. Também sei que não existem atalhos e nem caminhos fáceis nesta jornada, mas tenho plena certeza que, com a ajuda de vocês, estou sempre um passo mais perto de obter minha realização!

MARCOS VINICIUS AGUILAR BOTELHO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus e aos meus pais, meus maiores incentivadores, que acreditaram em meus sonhos e objetivos. Agradeço à universidade, que abriu portas para que estes sonhos se tornassem realidade. Agradeço também ao corpo docente assim como ao meu orientador, que me auxiliaram nessa caminhada para que esta obra fosse concluída de maneira satisfatória.

HUMPHREY LIMA DE OLIVEIRA FILHO

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.

Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota. ”

(Madre Teresa de Calcutá)

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%	Porcentagem;
C	Graus Celsius;
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária;
C ₃ A	Silicato tri cálcico;
CP	Cimento Portland;
ELS	Estado Limite de Serviço;
EPI	Equipamento de Proteção Individual;
$g/dm^2/min^{\frac{1}{2}}$	Coeficiente de capilaridade: Grama por decímetro quadrado multiplicado pela raiz quadrada do tempo, em minutos;
g	Gramas;
LAS	Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio;
kg/dm^3	Quilograma por decímetro cúbico;
kg/m^3	Quilograma por metro cúbico;
kg	Quilograma;
ml/kg	Mililitro por quilograma;
ml	Mililitros;
MPa	Megapascal;
NBR	Norma Brasileira;
PVC	Policloreto de vinila;
R\$	Real brasileiro;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Argamassa em pó, sendo adicionada a água.	18
Figura 2: Cimento Portland em pó.....	20
Figura 3: Areia de rio lavada	21
Figura 4: Cal hidratada (hidróxido de cálcio) em pó	23
Figura 5: Emboço de argamassa comum.....	26
Figura 6: Adição de cal hidratada à argamassa	27
Figura 7: Molécula polar de Linear Aquil Benzeno Sulfonato de Sódio	30
Figura 8: Efeito das moléculas surfactantes nas interfaces	31
Figura 9: Bolhas estabilizadas pelo princípio ativo dos incorporadores de ar	32
Figura 10: Diâmetro dos corpos de prova	33
Figura 11: Confecção dos corpos de prova.....	36
Figura 12: Cimento utilizado nas argamassas para teste.....	38
Figura 13: Execução do teste de Vicat.....	38
Figura 14: Utilização de argamassa com detergente na obra	40
Figura 15: Ruptura dos corpos de prova, 28 dias de idade	45
Figura 16: Evolução da resistência à compressão no decorrer do tempo.....	46
Figura 17: Tempo de início e fim de pega das argamassas.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação da areia segundo sua granulometria	21
Tabela 2: Classificação de argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos segundo a NBR 13281	25
Tabela 3: Rompimento dos corpos de prova com 24 horas de idade	41
Tabela 4: Rompimento dos corpos de prova com 3 dias de idade	42
Tabela 5: Rompimento dos corpos de prova com 7 dias de idade	43
Tabela 6: Rompimento dos corpos de prova com 28 de idade	44
Tabela 7: Exigências mecânicas e reológicas para argamassas	45
Tabela 8: Tempos de início e fim de pega, obtidos pelo teste de Vicat	46

RESUMO

FILHO, Humphrey Lima de Oliveira, BOTELHO, Marcos Vinicius Aguilár. **VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA AO TEMPO DE PEGA E RESISTÊNCIA MECÂNICA DO DETERGENTE NEUTRO UTILIZADO NA ARGAMASSA PARA EMBOÇO COMO ELEMENTO NÃO NORMATIVO**. Caratinga, 2019. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2019.

O presente trabalho tem como objetivo verificar a influência do detergente neutro na argamassa em relação ao seu tempo de pega e resistência a compressão mecânica. A metodologia empregada consistiu na realização de entrevistas para constatar como o material não normativo é utilizado nas obras, os dados foram levantados onde definiu-se duas medidas de 5 e 10 mililitros de detergente por quilograma de cimento. O traço de argamassa utilizado foi de 4:1 no caso das argamassas comum e a argamassa com detergente, para a argamassa com adição da cal, utilizou o traço 4:1:1. Foram executados testes de compressão axial e o teste de Vicat, para amostra de argamassa comum, argamassa cal e argamassa com detergente. Estes testes, juntamente com as entrevistas, visam constatar as características das argamassas utilizadas nos estudos, nos critérios analisados, durante o processo de execução do traço das argamassas foi possível observar que o traço com detergente na proporção de 5 ml/kg de cimento, apresentou uma melhor trabalhabilidade quanto a sua plasticidade e consistência. Com base nos resultados obtidos nos testes, nos relatos dos profissionais que utilizam o detergente e nas observações feitas pelos autores, firmou-se que apesar de pequenas variações, os resultados obtidos foram satisfatórios.

Palavras-Chave: Argamassa. Detergente. Análise de Resistência. Tempo de pega. Incorporador de ar.

ABSTRACT

FILHO, Humphrey Lima de Oliveira, BOTELHO, Marcos Vinícius Aguiar. **VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA AO TEMPO DE PEGA E RESISTÊNCIA MECÂNICA DO DETERGNETE NEUTRO UTILIZADO NA ARGAMASSA PARA EMBOÇO COOM ELEMENTO NÃO NORMATIVO.** Caratinga, 2019. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil - Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2019.

The present work aims to verify the influence of neutral detergent on the mortar in relation to its setting time and resistance to mechanical compression. The methodology employed consisted of conducting interviews to see how non-normative material is used in the works, the data were collected where two measures of 5 and 10 milliliters of detergent per kilogram of cement were defined. The mortar trait used was 4: 1 for common mortars and the detergent mortar for the lime added mortar used the 4: 1: 1 trait. Axial compression tests and the Vicat test were performed for common mortar, lime mortar and detergent mortar samples. These tests, together with the interviews, aim to verify the characteristics of the mortars used in the studies, in the analyzed criteria, during the process of execution of the mortar trace it was possible to observe that the trace with detergent in the proportion of 5 ml / kg of cement, presented better workability for its plasticity and consistency. Based on the results obtained in the tests, the reports of professionals who use the detergent and the observations made by the authors, it was concluded that despite small variations, the results obtained were satisfactory.

Key-words: Montar. Detergent. Resistance analysis. Catch time. Air incorporator .

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Contextualização	14
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	15
1.3 Justificativa	15
2 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 Argamassa	18
3.2 Cimento	19
3.3 Areia	20
3.4 Água	22
3.5 Cal	22
3.6 Classificação das argamassas	24
3.7 Argamassa Comum (cimento o único aglomerante)	25
3.8 Com adição de cal	26
3.9 Características Da Argamassa	27
3.9.1 Resistencia Mecânica	27
3.9.2 Tempo de Pega.....	28
3.9.3 Plasticidade	28
3.9.4 Consistência	29
3.10 Detergente	29
3.10.1 Composição química.....	29
3.10.2 Ação na argamassa.....	31
4 METODOLOGIA	33
4.1 Definição da pesquisa	34

4.2 Entrevista	34
4.3 Determinação da umidade da areia	35
4.4 Confeção dos corpos de Prova segundo NBR-7215	35
4.4.1 Dosagem	35
4.4.2 Moldes e Confeção	36
4.5 Rompimento dos corpos de prova	37
4.6 Teste de Vicat	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1 Entrevistas	40
5.2 Rompimento dos corpos de prova	41
5.2.1 Rompimento dos corpos de prova com 24 horas de idade	41
5.2.2 Rompimento dos corpos de prova com 3 dias de idade.....	42
5.2.3 Rompimento dos corpos de prova com 7 dias de idade.....	43
5.2.4 Rompimento dos Corpos de Prova com 28 dias de Idade	44
5.3 Determinação do tempo de pega pelo teste de Vicat	46
6 CONCLUSÃO	50
7 REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O revestimento é uma etapa muito importante na execução da obra, uma vez que se torna a maior parte visível da edificação, normalmente serve como referência na avaliação de qualidade final ou durante as fases da obra. No entanto as alvenarias e os revestimentos argamassados são tecnologias construtivas que remontam seu uso desde a idade média. Com a passar do tempo, essa técnica veio sofrendo algumas mudanças até os dias de hoje (CANDIA; FRANCO, 1998).

Inicialmente as alvenarias eram utilizadas como elemento de vedação e estrutural, sendo composta por tijolos cerâmicos assentados e revestidos com argamassa a base da mistura de cal e areia. Com a evolução do método passando a utilizar o cimento Portland, as argamassas conseguiram alcançar uma maior resistência e aderência (NAKAKURA e colaboradores, 2005).

Estudos comprovam de que a cal garante uma maior plasticidade e retenção de água na argamassa, evitando destacamentos em seu assentamento e os componentes da alvenaria e minimizando a retração na secagem, tanto das argamassas de assentamento quanto das de revestimento (SILVA e colaboradores, 2006). Diante disso, existem rumores de que a adição de detergente pode conferir a argamassa às mesmas características que a cal, sendo esse o estudo de caso do presente trabalho.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Verificar a influência na resistência à compressão axial e tempo de pega do detergente neutro uso como aditivo incorporador de ar nas argamassas para revestimento, empiricamente utilizado na construção civil.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Conhecer o uso do detergente neutro na argamassa para emboço e identificar a proporção que é utilizado empiricamente em obras da região.
- b) Verificar a resistência à compressão axial da argamassa de revestimento com a utilização do detergente neutro, seguindo traço comumente utilizado em obra; comparar a resistência mecânica das argamassas com cal, argamassa comum e com duas diferentes dosagens de detergente, de forma a comparar seu desempenho quanto a estas características.
- c) Analisar o comportamento da argamassa com mistura de detergente neutro em relação ao tempo de pega das argamassas comum e com cal.
- d) Investigar se o uso do detergente (nos critérios analisados) possui algum efeito prejudicial que inviabilize sua utilização nas argamassas de revestimento.

1.3 JUSTIFICATIVA

A pesquisa gera um conhecimento científico sobre uma ação já adotada (empiricamente) na construção civil. Com base em experimentos e comparações com literatura existente, analisando de forma fidedigna a influência do detergente neutro na argamassa, quanto as características finais do material. Isto se obteve por meio da comparação da argamassa com detergente e das argamassas comum e com adição da cal, nos critérios de resistência à compressão e tempo de pega.

O presente trabalho se justifica por comparar as argamassas com a adição de detergente neutro com a argamassa com cal e argamassa comum, buscando verificar se o detergente pode gerar efeitos negativos no produto (nos critérios analisados).

Quanto à segurança e conforto dos usuários, o trabalho é justificável pelo fato de que, caso o detergente influencie negativamente a resistência à compressão da argamassa, fazendo com que o produto não atinja os limites de resistência mínimos desejados, pode haver consequências na durabilidade do revestimento, fazendo com que o mesmo atinja o ELS precocemente. Vale ressaltar que existem diversas variáveis relacionadas à durabilidade da argamassa de revestimento além

dos referidos neste trabalho.

Nesse trabalho, o emprego de detergente nas argamassas já é utilizado empiricamente na construção civil, porém ainda é necessária uma investigação quanto a potencialidade de efeitos nocivos do seu uso no revestimento. Com base neste escopo, a pesquisa desenvolvida agrega à literatura este comparativo entre as diferentes argamassas, gerando conhecimento acerca do emprego deste material não normativo e se há ou não problemas relacionados a seu emprego, nos critérios analisados.

2 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Capítulo 1: Trata-se da introdução à monografia, composta de maneira clara e objetiva, o problema de pesquisa, a justificativa, os objetivos a serem alcançados e desenvolvimento da pesquisa.

Capítulo 2: Apresenta a revisão bibliográfica para conhecimento e entendimento do conteúdo abordado.

Capítulo 3: Apresenta o processo de dosagem da argamassa, os ensaios realizados para caracterização do tempo de pega e resistência a compressão mecânica de acordo com normas da ABNT e toda metodologia aplicada no estudo.

Capítulo 4: Determinação dos resultados obtidos no laboratório e discussão abordando a viabilidade do material proposto em relação a cal hidratada.

Capítulo 5: Conclusões finais do tema proposto.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Argamassa

O uso da argamassa, pelo menos em sua forma primitiva, já vem sendo empregada há milênios. Segundo Selmo (1989), nos livros de BOLTSHAUER (1963), utilizou-se argila crua em construções de taipa, pau a pique e para envolver estruturas mais resistentes de madeira.

Segundo Westphal (2004), o uso da Argamassa no Brasil iniciou-se no primeiro século de seu descobrimento, sendo esta utilizada no assentamento de construções de pedra, utilizando como agregados conchas de mariscos queimadas (funcionando como a cal) e óleo de baleia como aglomerante.

A argamassa hoje é vista como um material bastante complexo, sendo constituída principalmente de materiais inertes¹ e de uma pasta com propriedades aglomerantes, com minerais e água e, dependendo da situação, pode conter ainda materiais aditivos (SABBATINI, 1986). Na Figura 1, observa-se a argamassa na forma que é comercializada atualmente.

Figura 1: Argamassa em pó, sendo adicionada a água.



Fonte: Constru Facil RJ, 2019

Apesar de não desenvolver função estrutural, muitas das características da argamassa devem ser atendidas para que o produto final seja de qualidade e atenda as exigências de qualidade esperadas (SALVI, 2017). Apesar disso, observa-se, no

¹ Agregados miúdos que não sofrem reações químicas

cotidiano da construção civil, o uso de aditivos alternativos empregados sem comprovação científica de sua eficácia e segurança.

A argamassa mista é composta fundamentalmente de agregados miúdos e de aglomerantes, que geralmente são o cimento Portland, o cal e aditivos (SILVA, 2006), porém, o emprego de aditivos alternativos como o detergente, em substituição dos materiais normativos cuja eficácia já é comprovada, pode trazer riscos ao produto final (como o ELS atingido prematuramente, por exemplo), uma vez que seu efeito é desconhecido e os revestimentos precisam ter características suficientemente eficazes para resistir às solicitações impostas sobre eles (SALVI, 2017).

3.2 Cimento

O cimento utilizado atualmente teve origem por volta do ano de 1756, quando um engenheiro chamado John Smeaton procurava uma mistura que endurecesse e ficasse resistente mesmo em presença da água. Tal mistura era necessária para a reforma do farol Edystone, na Inglaterra. Após alguns testes, descobriu-se que uma mistura de argila com calcário, após calcinada, após hidratada e seca, tornava-se tão dura quanto as rochas utilizadas na construção. Porém, foi Joseph Aspdin, um pedreiro, que patenteou a mistura em 1824, batizando-a de cimento Portland, em referência a ilha de Portland, local onde foi feita a descoberta (TAYLOR, 1967). Pode-se utilizar nas argamassas o cimento Portland CP III - Z, com adição de material pozolânico, ou o CP II - F, com adição de material carbonático - fíler.

O cimento agrega às argamassas elevada resistência à compressão. Apesar disso, por enrijecer rapidamente, muitas vezes é necessário adicionar aditivos para retardar a pega do material (SILVA, 2006).

Diferentes aditivos conferem ao cimento diferentes propriedades. A adição de fíler (CP III – F), por exemplo, confere ao produto maior resistência à tração e menor índice de vazios. Já o emprego da pozolana como aditivo, o cimento adquire características de impermeabilidade mais elevada, devido ao ligante hidráulico formado pela reação da sílica ativa presente na pozolana com a cal (SILVA e col., 2013). A Figura 2 mostra o cimento Portland em sua forma de produto final.

Figura 2: Cimento Portland em pó



Fonte: Engenharia 360, 2019

3.3 Areia

A adição dos agregados miúdos às misturas de argamassa, assim como a areia, além de proporcionar redução do custo final do produto, também proporciona propriedades que não conferem à pasta endurecida, por si só. A redução de custos se dá pela substituição, em parte, dos constituintes mais caros da mistura, como a cal e o cimento, que possuem custo energético elevado, por elementos menos onerosos. Não se limitando a fatores econômicos, a adição de agregados como a areia aumenta a coesão e reduz a contração da pasta (AGOPYAN, 1988).

Segundo o PD 6472(BSI, 1974), a granulometria da areia é um fator determinante para o acabamento superficial ou a decoração que se pretende alcançar como resultado final.

As areias seguem a classificação de grossas, médias, ou finas, através do módulo de finura. Tal classificação segue os parâmetros estabelecidos pelas dimensões dos grãos, descritos pela Tabela 1.

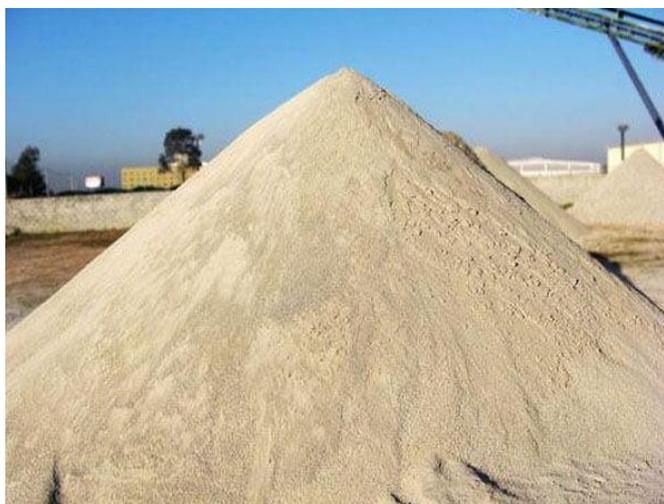
Tabela 1: Classificação da areia segundo sua granulometria

Tipo de Areia	Tamanho Nominal (mm)		Módulo de Finura (MF)
	Mínima	Máxima	
Muito Fina	0,15	0,6	MF <2,0
Fina	0,16	1,2	2,0 <MF <2,4
Média	1,2	2,4	2,4 <MF <3,2
Grossa	2,4	4,8	MF >3,2

Fonte: Adaptado de UTFPR 02/11/2019.

Ainda, segundo Carneiro (1993), o índice de vazios do agregado são características tecnológicas que interferem diretamente no consumo de água e aglomerantes de amassamento das argamassas. Segundo o autor, quanto maior o índice de vazios, maior será o consumo de água e aglomerantes, gerando como consequência uma maior retração durante a secagem da massa.

Muitos materiais presentes nos agregados podem ser prejudiciais às argamassas; por possuírem baixa resistência mecânica, ou serem mais suscetíveis e até mesmo originarem reações químicas patológicas com os aglomerantes; além de interferirem na hidratação do cimento ou na carbonatação da cal, reduzindo a aderência entre a pasta e o agregado (CARNEIRO, 1993). Estes constituintes indesejáveis podem ser eliminados do produto final por meio de lavagem, exceto para areias retiradas de rios muito poluídos (AGOPYAN, 1988). Na Figura 3, observa-se a areia de rio lavada, na forma que é estocada.

Figura 3: Areia de rio lavada

Fonte: Material de Construção RJ, 2019.

3.4 Água

A água no uso da argamassa possui três funções específicas: contribui para a trabalhabilidade, hidrata o cimento e facilita a carbonatação da cal (ASTM C270, 1991).

A água utilizada não deve conter impurezas responsáveis por efeitos danosos na argamassa, a curto ou longo prazo. A água salobra não deve ser utilizada, uma vez que aumenta o risco de eflorescências. É conveniente também evitar águas com terra ou partículas sólidas em suspensão (PIANCA, 1967). Portanto, a água potável é a indicada para o assentamento da argamassa de revestimento (CARNEIRO, 1993).

Além disso, deve-se respeitar a dosagem prevista na norma ABNT NBR 13529:2013, que define a proporção em massa de água para cimento, de $1,27^2$, ou $1,45^3$.

3.5 Cal

Segundo Guimarães (2002), é provável que o homem tenha descoberto no início da Idade da Pedra, no período Paleolítico. Ainda, segundo este autor, foram encontradas ruínas onde o solo argiloso foi estabilizado com cal para a construção da pirâmide de Shersi, onde hoje se encontra o Tibet, no terceiro milênio antes de Cristo.

A cal virgem é produzida com o calcinamento de calcários e dolomitos, à temperatura de aproximadamente 1000°C , pela perda de alguns de seus constituintes (SILVA, 2006).

De acordo com a ABNT NBR 7175, de 2003, a cal hidratada é um pó seco cuja obtenção se dá pela correta hidratação da cal virgem, composta principalmente de hidróxido de cálcio, ou da mistura de hidróxido de cálcio e de magnésio.

A utilização da cal em argamassas sempre esteve presente; porém, com o atual e crescente uso de aditivos, a cal muitas vezes está deixando de ser presente.

² Considerada uma massa unitária de $1,39 \text{ kg/dm}^3$ para o cimento na transformação do traço.

³ Considerada uma massa unitária para o cimento de $1,20 \text{ kg/dm}^3$ na transformação do traço.

Sabe-se, porém, que o não uso da cal provoca perda da durabilidade do revestimento (RAGO; CINCOTTO, 1999).

Além da durabilidade proporcionada pela cal, quando aplicada em estado fresco e em proporção correta, esta proporciona à argamassa maior plasticidade, garantindo maior trabalhabilidade e produtividade na execução do revestimento (RAGO; CINCOTTO, 1999). Outro benefício da cal na argamassa é a absorção de água, impedindo a saturação excessiva de água pela base (SILVA, 2006). A Figura 4 mostra a cal hidratada em pó, na forma em que é comercializada.

Figura 4: Cal hidratada (hidróxido de cálcio) em pó



Fonte: IndianMart, 2019.

Em uma comparação básica, sem aprofundar nas influências exercidas por estes materiais nas características finais da argamassa de revestimento, observa-se alguns pontos importantes: A cal hidratada, segundo a ficha de informações de segurança de produto químico (elaborado pela Química CREDIE, 2009), provoca irritação na pele, se friccionada pelas vestes, pode produzir irritação ou queimadura grave na córnea ou conjuntiva, se ingerido provoca irritação no aparelho digestivo, irritação das vias respiratórias; fazendo com que para sua aplicação seja necessário a utilização de EPI. No meio ambiente, por se tratar de uma substância cáustica, provoca a elevação da alcalinidade nos cursos de água.

3.6 Classificação das argamassas

A NBR 13530 (ABNT, 1995) descreve a classificação das argamassas segundo os seguintes critérios:

- a) Quanto à natureza do aglomerante: argamassa aérea e hidráulica;
- b) Quanto ao número de aglomerantes: argamassa simples e mista;
- c) Quanto ao tipo de aglomerante: argamassa de cal, de cimento e de cimento e cal;
- d) Quanto à função do revestimento: argamassa de chapisco, de emboço e de reboco;
- e) Quanto à forma de preparo ou fornecimento: argamassa dosada em central, preparada em obra, industrializada e mistura semi pronta para argamassa;
- f) Quanto a propriedades especiais: argamassa aditivada, de aderência melhorada, colante, redutora de permeabilidade, de proteção radiológica, hidrófoba e termo isolante.

Geralmente utiliza-se nas obras as argamassas de cal, cimento e areia, também conhecidas como mistas (SILVA, 2006).

Antigamente, norma NBR 13281 (ABNT, 1995) Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos Requisitos, estabelecia as seguintes exigências mecânicas e reológicas para as argamassas dosadas em obra ou industrializadas:

- a) Resistência à compressão aos 28 dias (MPa) – NBR 13279 (ABNT, 1995);
- b) Capacidade de retenção de água (%) – NBR 13277 (ABNT, 1995);
- c) Teor de ar incorporado – NBR 13278 (ABNT, 1995).

A partir de 31 de outubro de 2005, com a reformulação da norma NBR 13281 (ABNT, 2005) com o mesmo título, foi ampliado 7 requisitos para as argamassas:

- a) P – Resistência à compressão (MPa) – NBR 13279 (ABNT, 2005);

- b) M – Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m³) – NBR 13280 (ABNT, 2005);
- c) R – Resistência à tração na flexão (MPa) – NBR 13279 (ABNT, 2005);
- d) C – Coeficiente de capilaridade (g/dm² /min^{1/2}) – NBR 15259 (ABNT, 2005);
- e) D – Densidade de massa no estado fresco (kg/m³) – NBR 13278 (ABNT, 2005);
- f) U – Retenção de água (%) – NBR 13277 (ABNT, 2005);
- g) A – Resistência potencial de aderência à tração (MPa) – NBR 15258 (ABNT, 2005).

Sendo que, exceto a resistência potencial de aderência à tração (que foi subdividida em 3 classes), cada requisito foi subdividido em 6 classes. As argamassas são então classificadas conforme suas respectivas características e propriedades (Tabela 2). No caso de sobreposição de faixas, considera-se a maior como classificação (SILVA, 2006).

Tabela 2: Classificação de argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos segundo a NBR 13281

Classes	P	M	R	C	D	U	A
	MPa	kg/m ³	MPa	g/dm ² /√min	kg/m ³	%	MPa
1	≤ 2,0	≤ 1200	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1400	≤ 78	≤ 0,20
2	1,5 a 3,0	1000 a 1400	1,0 a 2,0	1,0 a 2,5	1200 a 1600	72 a 85	≥ 0,20
3	2,4 a 4,5	1200 a 1600	1,5 a 2,7	2,4 a 4,0	1400 a 1800	80 a 90	≥ 0,30
4	4,0 a 6,5	1400 a 1800	2,0 a 3,5	3,0 a 7,0	1600 a 2000	86 a 94	-
5	5,5 a 9,0	1600 a 2000	2,7 a 4,5	5,0 a 12,0	1800 a 2200	91 a 97	-
6	> 8,0	> 1800	> 3,5	> 10,0	> 2000	95 a 100	-

Fonte: ABNT, 2005

3.7 Argamassa comum (cimento o único aglomerante)

A argamassa de cimento é composta, fundamentalmente, por cimento, agregado miúdo e água. Esta argamassa adquire alta resistência mecânica em um curto espaço de tempo, em contraposição de ter pouca trabalhabilidade e baixa retenção de água (SILVA, 2006). Este tipo de argamassa tem usos bastante específicos, não sendo utilizadas em revestimentos.

Pode ser utilizada como chapisco, uma vez que aumenta a resistência de

aderência do revestimento de argamassas mistas em paredes de alvenaria e estruturas de concreto armado (SILVA, 2006). A Figura 5 mostra um emboço executado com argamassa comum.

Figura 5: Emboço de argamassa comum



Fonte: Pedreira, 2019.

3.8 Com adição de cal

Com a adição da cal hidratada em argamassas de cimento, há uma redução significativa do módulo de elasticidade, sem que a resistência à tração seja igualmente afetada. Isto resulta, em última análise, na máxima resistência de aderência da argamassa, aumentando assim sua vida útil (JOHN, 2003).

Segundo Carasek e colaboradores. (2001), foram feitos muitos estudos indicando que na medida que se aumenta a quantidade de hidróxido de magnésio na composição da cal, em relação ao hidróxido de cálcio, há também o aumento na capacidade de aderência da argamassa.

Sendo assim, a cal atua como um importante material constituinte da argamassa (Figura 6), apesar de, devido à grande variedade deste material estar sendo fornecida no mercado, muitos produtos acabam por não atender os requisitos propostos pela ABNT NBR 7175, de 2003 (CUKIERMAN e col., 2003).

Figura 6: Adição de cal hidratada à argamassa



Fonte: Mapa da Obra, 2019.

3.9 Características da argamassa

Apesar de a argamassa possuir diversas características, estas ainda variando para cada tipo de mistura, neste trabalho optou-se por focar apenas naquelas importantes para que o objetivo proposto seja alcançado. Estas características estão ligadas diretamente na durabilidade do revestimento e na trabalhabilidade da argamassa.

3.9.1 Resistência Mecânica

A resistência à compressão axial é a propriedade na qual a argamassa resiste à cargas aplicadas sobre ela, após seu endurecimento. Li e colaboradores (2006); Collodetti; Picheti; Gleize (2009) descobriram uma grande relação entre a porosidade e a resistência à compressão de pastas cimentícias.

Os aditivos incorporadores de ar provocam um aumento na porosidade da argamassa, o que melhora sua trabalhabilidade, contribuindo para um aumento na área de contato entre o substrato e o substrato, porém, no estado endurecido, há perdas na resistência mecânica. Outro aditivo utilizado para melhorar a trabalhabilidade sem perdas de resistência mecânica é a cal que, apesar disso, apresenta perdas de resistência de aderência nas argamassas de revestimento (CASALI e colaboradores,

2003; POLITO e colaboradores., 2008).

Monte e colaboradores (2007) também estudaram o módulo de elasticidade e a resistência mecânica de argamassas de cimento e relataram a queda dessas propriedades ocorrendo de forma proporcional ao aumento de ar incorporado.

3.9.2 Tempo de Pega

O tempo disponível para a execução dos revestimentos de argamassa, uma vez que a mistura é hidratada é função dos tempos de início e fim de pega (JOHN e colaboradores. (2002).

O tempo de pega da argamassa é influenciado por diversos fatores. Argamassas com cimentos com maior teor de C_3A , por exemplo, reagem mais rapidamente à água, resultando em um tempo de pega menor. Outra característica que influencia é a composição do clínquer, cuja adição de gesso deve ser ótima, com o objetivo de retardar a pega e aumentar a trabalhabilidade (ARMANGE, 2005).

Grandes concentrações de Cromo (Cr), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) no clínquer de cimento presente na argamassa podem afetar na hidratação e, conseqüentemente no tempo de pega. Quando ao Cromo, sua presença acelera a hidratação e o tempo de pega, enquanto que o Níquel não influencia na hidratação, apesar de causar um ligeiro efeito retardante no tempo de pega segundo, Stephan e colaboradores. (1999), Trezza e Ferraiulo (2003).

Ainda, segundo John e colaboradores. (2002), uma vez mantida a relação água/gesso constante, ao efetuar a adição de agregado, há redução progressiva do tempo de início de pega. Ainda, segundo eles, tal comportamento é explicado pelo efeito de nucleação do agregado, o que facilita no início da precipitação do produto hidratado (gipsita).

3.9.3 Plasticidade

A plasticidade é a propriedade pela qual a argamassa, ainda no estado fresco, tende a conservar-se deformada após a redução das tensões de deformação. A plasticidade e a consistência da argamassa são as propriedades que

efetivamente caracterizam sua trabalhabilidade, sendo influenciadas pelo teor de ar aprisionado, pelo teor dos aglomerantes e sua natureza e, ainda, pela intensidade de mistura das argamassas (CINCOTTO e colaboradores., 1995).

A plasticidade adequada cada mistura de argamassa, segundo sua finalidade e modo de aplicação, demanda uma quantidade ótima de água, resultando em uma consistência ótima, sendo isto uma consequência da adição de água destes materiais (CASCUDO e colaboradores., 2005).

3.9.4 Consistência

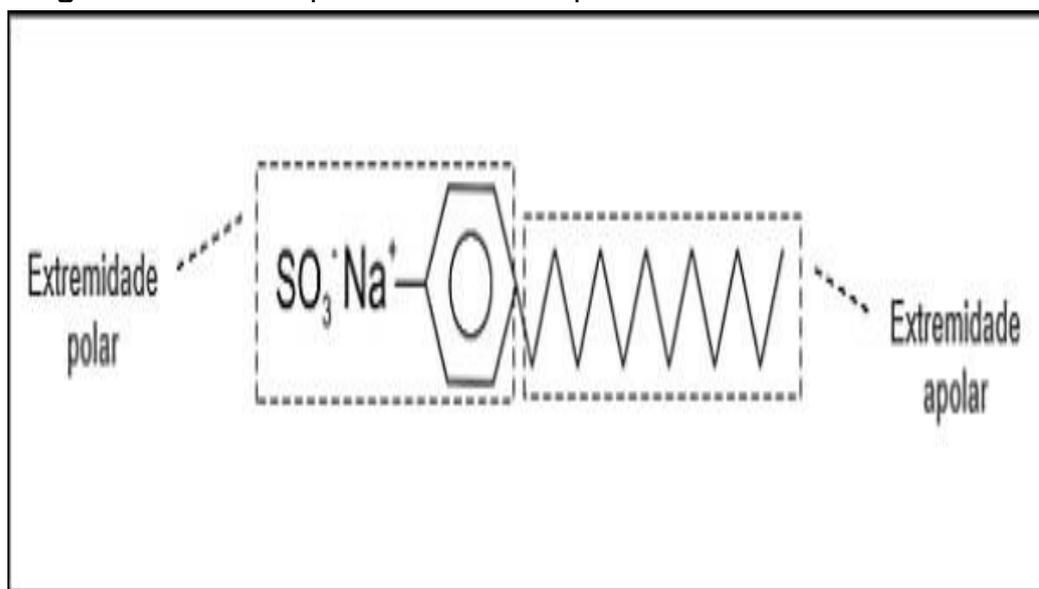
Para Cincotto e colaboradores (1995), a consistência é a propriedade que faz com que a argamassa no estado fresco tende a resistir a deformação. Esta propriedade é diretamente relacionada com a dosagem de água, sendo ainda influenciada pelos seguintes fatores: relação água/aglomerante, relação aglomerante/areia, granulometria do agregado miúdo, natureza e qualidade do aglomerante (SILVA, 2006).

Normalmente nas argamassas de consistência plástica a fluida, pode haver manifestação de exsudação de água, o que interfere na trabalhabilidade. Isso faz com que sejam necessárias constantes misturas para homogeneização do material, podendo prejudicar a adesão da argamassa ao ser lançada na base (SELMO, 1989).

3.10 Detergente

3.10.1 Composição química

Dentre outros componentes, o detergente possui em sua composição química tensoativo aniônicos, corantes, espessantes, substâncias surfactantes, entre outros (MORO, 2017). Os aditivos incorporadores de ar são formados por substâncias surfactantes, que seguem o mesmo princípio ativo dos detergentes modernos. Tal efeito incorporador de ar é proporcionado pela substância Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio (LAS). Estas substâncias surfactantes possuem uma extremidade polar e outra apolar, auxiliando na redução da tensão superficial (Figura 7).

Figura 7: Molécula polar de Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio

Fonte: Adaptado de Moro, 2017

A extremidade polar dessa molécula se une por adsorção à superfície das partículas cimentícias. Sendo assim, a superfície do material se torna hidrofóbica, enquanto que a outra extremidade exerce a estabilização entre as bolhas de ar incorporadas. Salienta-se, com certo grau de importância, que a partícula hidrofóbica gerada por essa reação retarda bastante a hidratação do cimento, sendo que uma dosagem acima do ideal pode retardar excessivamente essa reação (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

O LAS é uma das principais substâncias na composição química dos detergentes domésticos sendo que, em contrapartida aos incorporadores de ar tradicionais, estes se encontram em larga variedade e disponibilidade no mercado, são biodegradáveis e atóxicos (ANVISA, 2008).

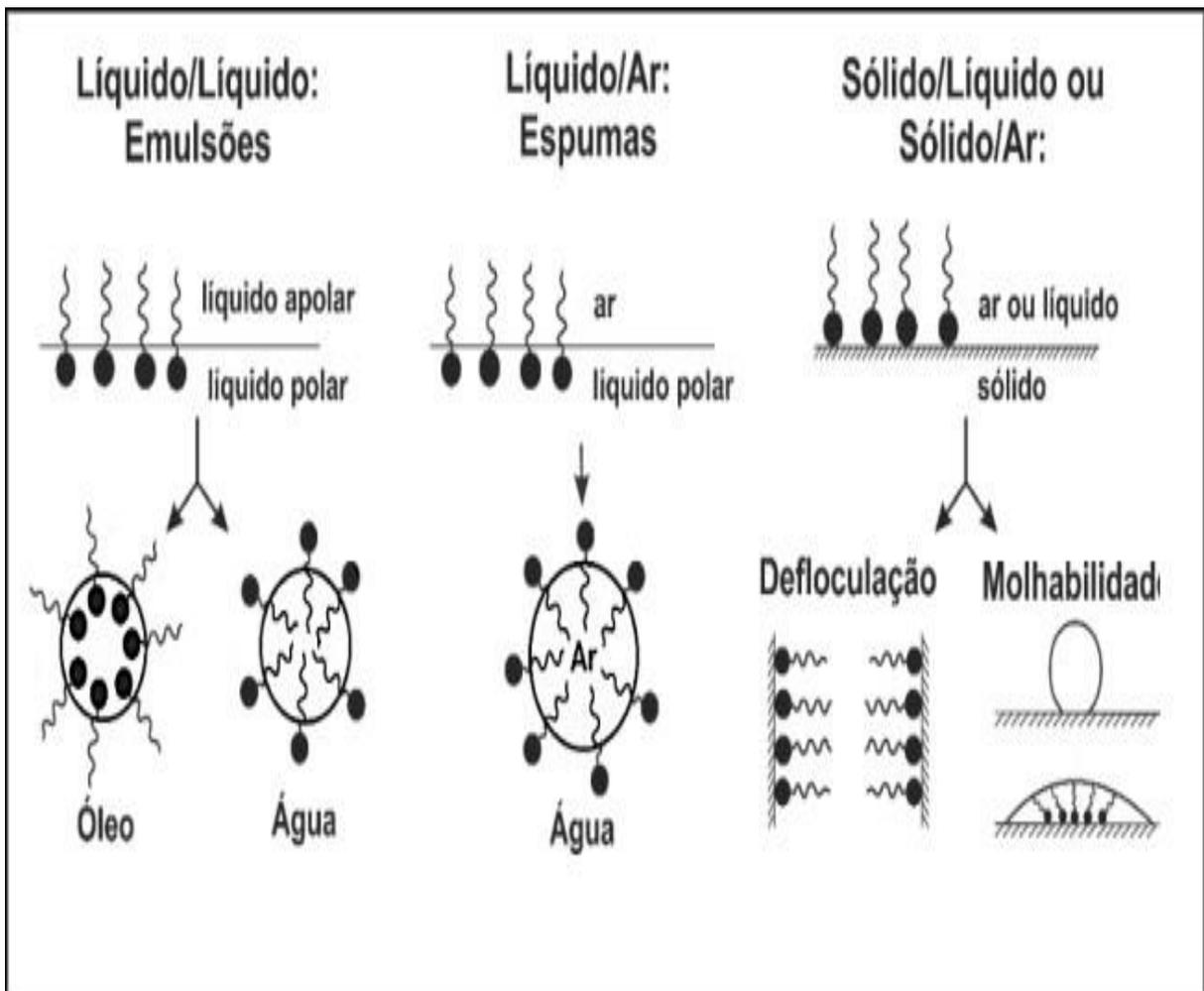
A classificação dos detergentes se dá por meio do tipo de tensoativo empregado como princípio ativo (AMARAL; JAIGOBING; JAISINGH, 2007). Grande parte destes tensoativo tem moléculas com um grupo hidrófilo e hidrófobo em extremidades opostas. A parte hidrófoba é constituída de hidrocarbonetos, enquanto a hidrófila é a parte polar, podendo ser aniônica, catiônica e não iônica. O LAS é um tensoativo aniônico, isto é, em solução aquosa se ioniza gerando íons orgânicos negativos, responsáveis pela atividade superficial. Além disso, essa característica é que o torna biodegradável (ANVISA, 2008).

3.10.2 Ação na argamassa

A ação do detergente na argamassa é similar a dos aditivos incorporadores de ar. Estes aditivos, por sua vez, introduzem microbolhas na matriz cimentícia, melhorando sua trabalhabilidade e reduzindo a proporção de água (MORO, 2017).

As substâncias surfactantes (como o LAS) são compostos que diminuem a tensão superficial da água por meio do balanço químico das moléculas (YOUNG e col., 1998). Ainda, segundo Moro (2017), na região fronteira entre as duas camadas imiscíveis do material, essas moléculas se alinham e sua extremidade polar (hidrofílica) se combina com a água (polar) enquanto que sua extremidade apolar se combina com outro líquido não polar (Figura 8). Esse alinhamento reduz a energia interfacial, promovendo a emulsão estável entre os líquidos antes imiscíveis.

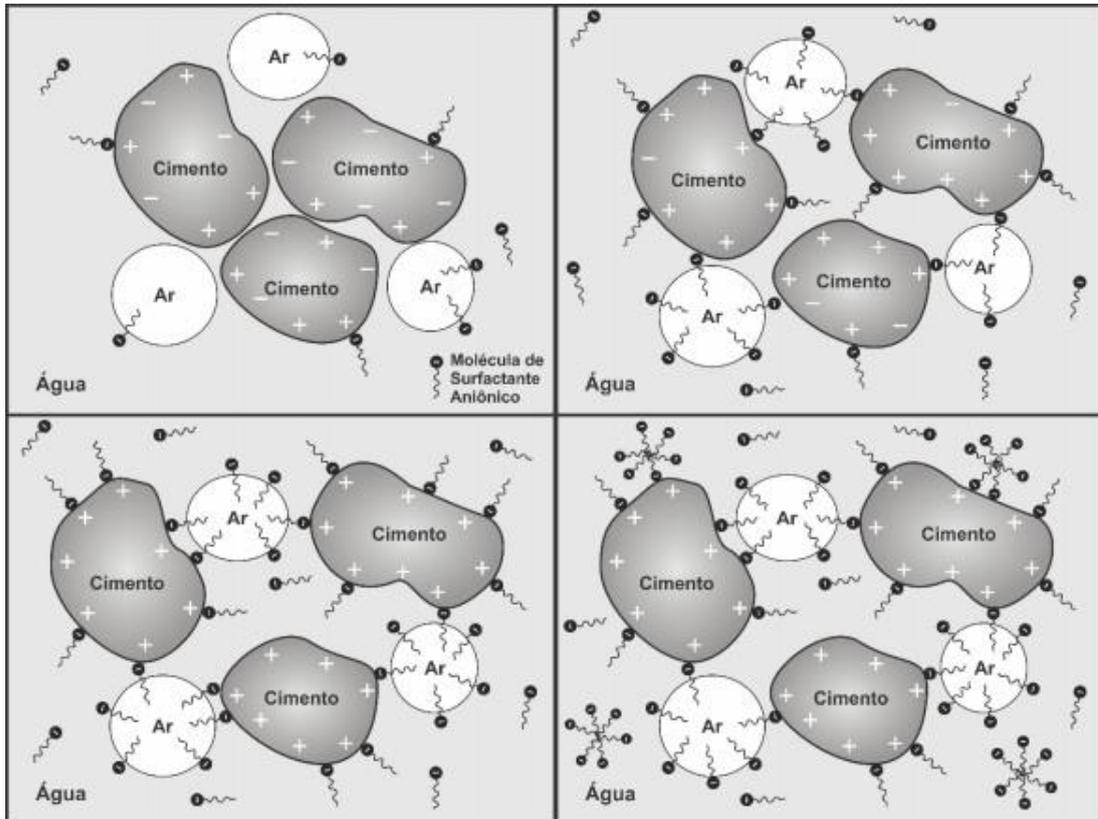
Figura 8: Efeito das moléculas surfactantes nas interfaces



Fonte: Adaptado de Moro, 2017

Como consequência na argamassa, as bolhas de ar incorporadas em sua matriz são estabilizadas de forma a impedir que se coalesçam (se unam, Figura 9), ou que migrem à superfície e se desfaçam (MORO, 2017).

Figura 9: Bolhas estabilizadas pelo princípio ativo dos incorporadores de ar



Fonte: Adaptado de Moro, 2017

4 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos aqui descritos foram realizados segundo as normas específicas, com total atenção para a dosagem das misturas. Porém, por falta de moldes compatíveis no laboratório em que os testes de rompimento foram executados, optou-se por moldes alternativos, feitos com tubos de PVC 50 milímetros (diâmetro externo), cortados em 10 centímetros de altura, e possuindo 4,7 centímetros de diâmetro interno, um milímetro menor que o descrito pela norma. Sendo assim, para o cálculo da resistência à compressão, utilizou-se o diâmetro de 4,7 cm para o cálculo da área, resultando numa resposta mais fidedigna dos cálculos à realidade.

Foram feitos os rompimentos em distintas idades: 24 horas, três dias, sete dias e 28 dias para os diferentes traços. Para cada idade, foi feito um grupo de corpos de prova para cada tipo de mistura, sendo que cada grupo possui quatro unidades. A comparação direta dos resultados encontra-se no capítulo seguinte.

Figura 10: Diâmetro dos corpos de prova



Fonte: Os Autores, 2019

4.1 Definição da pesquisa

A presente pesquisa teve foco principal na obtenção de resultados por experimentos práticos para posterior comparação, baseando-se em literatura existente. Uma vez que a pesquisa depende da idade de amostras para obtenção das variáveis analisadas (resistência à compressão e tempo de pega), a mesma necessitou de uma significativa parcela de tempo para ser concluída, resultando em dados satisfatórios para os objetivos desejados.

Quanto à natureza, a pesquisa é aplicada, uma vez que busca a geração de conhecimento científico para práticas já adotadas empiricamente em construções por todo o país, a fim de validar ou refutar seu funcionamento, com base na resistência e durabilidade do produto em questão.

Quanto a abordagem, a pesquisa é qualitativa, uma vez que há direta observação dos resultados obtidos nos experimentos e verificando de forma análoga como estes resultados influenciam no cotidiano.

A pesquisa, ainda, se classifica (quanto ao procedimento adotado) como *ex-post facto*, uma vez que é realizada após a ocorrência dos experimentos, onde não se tem controle das variáveis.

4.2 Entrevista

Foi feita uma entrevista com profissionais da construção civil, no intuito de obter dados sobre como as argamassas com adição de detergente são vistas no cotidiano. Para uma abordagem completa, consideraram-se as seguintes questões:

- a) Cargo do entrevistado;
- b) Tempo de experiência na construção civil;
- c) Tempo de utilização do detergente na argamassa;
- d) Como descobriram os efeitos do detergente neste material;
- e) Qual o resultado obtido;
- f) Qual a diferença da argamassa que não utiliza detergente;
- g) Qual traço de argamassa e qual porcentagem de detergente utilizam;

- h) Se existem casos de problemas e ou reclamações quanto ao revestimento onde foi feito o uso do detergente.

As respostas obtidas nessas questões serviram como base para os testes de compressão e tempo de pega realizados, fornecendo os parâmetros do traço e da proporção de detergente utilizada. As entrevistas foram realizadas *in loco*, no momento da execução de uma obra.

4.3 Determinação da umidade da areia

Para que se obtenha uma redução da variação de água da argamassa, foi feito o controle da umidade da areia. Neste trabalho, considerou-se a umidade de 9%.

Pesou-se a quantidade amostral de 1 kg de areia úmida. Após, efetuou-se o aquecimento do material, até que se obtenha a massa seca (ponto em que não há variação da massa com o aquecimento do material), isto é, 0% de umidade.

$$U_{\%} = \frac{100 * (M_a - M_s)}{M_s}$$

(Eq. 4.1)

4.4 Confecção dos corpos de prova segundo a NBR-7215

4.4.1 Dosagem

Para a dosagem da argamassa utilizada nos corpos de prova, adotou-se o traço na proporção de 4:1 (argamassa comum) e 4:1:1 (argamassa com cal), mesma proporção comumente utilizada em obras.

Para a mistura, utilizou-se, portanto, 624 gramas de cimento, 400 mililitros de água, 1872 gramas de areia média e 187 gramas de cal. Para os corpos com a adição de detergente, adotou-se duas situações distintas na utilização do produto: na primeira, usando um acréscimo de cinco mililitros por quilograma de cimento

(primeira amostra) e, na segunda, dez mililitros por quilograma de cimento (segunda amostra).

4.4.2 Moldes e Confeção

Utilizaram-se moldes de PVC (Figura 11), previamente untados com óleo de enxofre de baixa viscosidade. Cada molde de foi cortado ao meio, verticalmente, de forma a facilitar o desmolde. Os primeiros corpos de prova (Figura 10) foram curados por 24 horas e rompidos. Os demais corpos, exceto os da cal hidratada, foram mergulhados na água. Foram feitos um total de 64 corpos de prova, 16 para cada traço.

Figura 11: Confeção dos corpos de prova



Fonte: Os Autores, 2019

4.5 Rompimento dos corpos de prova

Para a determinação da resistência à compressão dos corpos de prova (exceto os com adição de cal), submeteu-se as amostras à cura úmida. Os rompimentos foram feitos com diferentes idades: 24 horas, três dias, sete dias e 28 dias.

Aplicou-se um carregamento na prensa hidráulica, aumentando-o progressivamente sobre os corpos de prova, até a ruptura da amostra.

4.6 Teste de Vicat

Para a avaliação da trabalhabilidade das argamassas, efetuou-se o teste de Vicat.

Adotou-se, o traço de 4:1:1 (argamassa com cal) e 4:1 (argamassa comum), resultando nas seguintes medidas para as argamassas:

- a) Argamassa com cal: 624 g de cimento, 400 mililitros de água, 1,872 kg de areia e 187 g de cal;
- b) Argamassa comum (4:1): 624 g de cimento, 400 mililitros de água e 1,872 kg de areia;
- c) Argamassa com detergente (proporção de 5 ml por quilograma de cimento, traço 4:1): 624 g de cimento, 400 mililitros de água, 1,872 kg de areia e 3,12 mililitros de detergente neutro;
- d) Argamassa com detergente (proporção de 10 ml por quilograma de cimento, traço 4:1): 624 g de cimento, 400 mililitros de água, 1,872 kg de areia e 6,24 mililitros de detergente neutro.

Os testes feitos com a argamassa comum e mista (com cal), foram realizados no dia 8 de novembro de 2019, com temperatura ambiente de 26 °C enquanto que para as argamassas com detergente, os testes foram realizados no dia 11 de novembro de 2019, com temperatura ambiente de 28 °C). Para o cimento, utilizou-se o Portland CP-III (Figura 12), e para a cal, utilizou-se a hidratada CH-IV.

Figura 12: Cimento utilizado nas argamassas para teste



Fonte: Os Autores, 2019

Durante o teste (Figura 13), cronometraram-se os tempos característicos das amostras por meio do aparelho de Vicat. No decorrer do ensaio dois pontos são bem característicos e nestes ocorrem mudanças bruscas na reologia da pasta de cimento: o primeiro ocorre um aumento da viscosidade da pasta conhecido como início de pega; o segundo ponto conhecido como fim da pega ocorre à passagem do estado plástico para o estado sólido.

Figura 13: Execução do teste de Vicat



Fonte: Os Autores, 2019

O teste apresentado na figura acima foi realizado de acordo com a NBR 65 (ABNT, 2003), seguindo todos critérios descritos pela norma.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Entrevistas

As entrevistas realizadas *in loco*, no momento da execução de uma obra (Figura 13), foram feitas com profissionais que fazem o emprego do detergente na argamassa de revestimento, com quantidades que variam por volta de 10 ml por kg de cimento. Os profissionais apresentaram os seguintes relatos:

- a) Entrevistado 1: pedreiro, 45 anos de idade sendo 20 anos na profissão e conheceu o uso do detergente por meio da indicação de uma engenheira. Faz uso de 200 ml por saco de cimento (aproximadamente 4 ml/kg de cimento) há de seis meses. O profissional ainda relata mais leveza na massa, melhor trabalhabilidade e manuseio, maior facilidade no sarrafeamento e acabamento mais estético. Não há, até o momento, histórico de reclamações ou patologias e indica o uso do material para outros profissionais;
- b) Entrevistado 2: pedreiro, 28 anos de idade, sendo 12 anos de experiência em obras. Descobriu o uso do detergente pela *internet* e fez a utilização do produto há cerca de 3 anos. O profissional relata que o emprego do detergente deixa a massa mais leve e de fácil manuseio. Em comparação, as argamassas com cal secam mais rapidamente. Apesar de, até o presente momento não haver reclamações quanto ao uso do produto, o profissional diz não fazer mais seu emprego, tendo rotineiramente adotado o uso da cal;
- c) Entrevistada 3: engenheira, 28 anos de idade, sendo 5 anos de experiência na engenharia. Descobriu o uso do detergente durante a execução de uma obra na cidade de Ipatinga-MG há cerca de dois anos, local onde segundo ela tal prática vem sendo muito utilizada. A profissional diz que faz o uso do detergente há pouco tempo e constatou uma trabalhabilidade melhor. Segundo ela, apesar do pouco tempo de utilização, seus demais colaboradores não fazem mais argamassas sem o emprego do detergente
- d) Entrevistado 4: mestre de obras, 47 anos de idade sendo 22 de experiência

em obras. Descobriu o uso do detergente através de uma engenheira civil da região da cidade de Ipatinga. Segundo ele, o detergente proporciona uma melhor trabalhabilidade e manuseio da argamassa durante todo o processo do emboço, além de possibilitar um aumento na produtividade dos serviços prestados. Embora utilize o detergente a pouco mais de um ano, o profissional alegou que até hoje não ocorreu nenhum problema com seus serviços prestados e já recebeu diversos elogios pela metodologia de trabalho adotada.

Com base nestes relatos, elaboraram-se os corpos de prova com argamassa comum e argamassa com cal para controle e comparação dos dados. Para o detergente, adotou-se a proporção de 5 ml/kg de cimento e 10 ml/kg de cimento, com o intuito de verificar qual é a melhor forma de utilização, nos critérios analisados.

Figura 10: Utilização de argamassa com detergente na obra



Fonte: Os Autores, 2019

5.2 Rompimento dos corpos de prova

O rompimento dos corpos de prova, realizados em laboratório, revelou a evolução das resistências das argamassas de forma satisfatória, alcançando as resistências esperadas.

5.2.1 Rompimento dos corpos de prova com 24 horas de idade

Durante rompimento nas primeiras 24 horas após a confecção dos corpos de prova, executado no dia 20 e 22 de outubro de 2019, observou-se que a diferença na resistência à compressão axial foi relativamente pequena. O resultado para os diferentes tipos de argamassas encontram-se nas subseções a seguir.

Tabela 3: Rompimento dos corpos de prova com 24 horas de idade

ARGAMASSA COMUM – 4:1			
Corpo de Prova	Tf	MPa	Média = 1,41 Mpa
1	0,27	1,56	
2	0,30	1,73	
3	0,21	1,21	
4	0,20	1,15	
ARGAMASSA COM CAL – 4:1:1			
Corpo de Prova	Tf	MPa	Média = 1,18 MPa
1	0,25	1,44	
2	0,19	1,09	
3	0,16	0,92	
4	0,22	1,27	
ARGAMASSA C/ 5ML DE DETERGENTE / KG DE CIMENTO 4:1			
Corpo de Prova	Tf	Mpa	Média= 1,05 MPa
1	0,16	0,92	
2	0,18	1,04	
3	0,21	1,21	
4	0,18	1,04	
ARGAMASSA C/ 10ML DE DETERGENTE / KG DE CIMENTO 4:1			
Corpo de Prova	Tf	MPa	Média = 1,15Mpa
1	0,23	1,32	
2	0,18	1,04	
3	0,20	1,15	
4	0,19	1,10	

Fonte: Os Autores, 2019

5.2.2 Rompimento dos corpos de prova com sete dias de idade

O rompimento dos corpos de prova com três dias de idade ocorreu no dia 22 e 24 de outubro de 2019. Observa-se, pelos resultados (Tabela 4), um gradiente de resistências entre a argamassa comum, argamassa com adição de cal e as argamassas com detergente.

Estes resultados coincidem com a pesquisa literária realizada (CASALI e colaboradores, 2003; POLITO e colaboradores, 2008), onde consta que a adição da cal, bem como o aumento do ar incorporado, provoca perda na resistência à compressão axial. Apesar disso, a evolução das resistências se deu de forma satisfatória, não servindo, neste caso, como critério para o descarte do uso de detergente nas argamassas.

Tabela 4: Rompimento dos corpos de prova com 3 dias de idade

ARGAMASSA COMUM – 4:1			
Corpo de Prova	tf	Mpa	Média = 7,59 Mpa
1	1,42	8,18	
2	1,32	7,61	
3	1,29	7,43	
4	1,24	7,15	
ARGAMASSA COM CAL – 4:1:1			
Corpo de Prova	Tf	Mpa	Média = 6,12 MPa
1	1,01	5,82	
2	0,99	5,71	
3	1,22	7,03	
4	1,03	5,94	
ARGAMASSA C/ 5ML DE DETERGENTE / KG DE CIMENTO 4:1			
Corpo de Prova	Tf	Mpa	Média= 5,23 Mpa
1	0,86	4,96	
2	1,01	5,82	
3	1,01	5,82	
4	0,75	4,32	
ARGAMASSA C/ 10ML DE DETERGENTE / KG DE CIMENTO 4:1			
Corpo de Prova	Tf	MPa	Média = 4,61 MPa
1	0,88	5,07	
2	0,58	3,34	
3	0,98	5,65	
4	0,76	4,38	

Fonte: Os Autores, 2019

5.2.3 Rompimento dos corpos de prova com sete dias de idade

No rompimento dos corpos de prova com sete dias de idade, observou-se que a evolução das resistências dos corpos de prova se deu de forma mais aleatória; porém, ainda de forma satisfatória.

Nota-se que a argamassa sem aditivos possui resistência à compressão consideravelmente maior; enquanto que a argamassa com cal (que serviu de controle para comparação neste trabalho) aproxima-se das amostras com uso de detergente. Não se observou defeitos nos corpos de prova dos ensaios.

Tabela 5: Rompimento dos corpos de prova com 7 dias de idade

ARGAMASSA COMUM – 4:1			
Corpo de Prova	Tf	MPa	Média = 8,18 Mpa
1	1,40	8,07	
2	1,89	10,89	
3	1,22	7,03	
4	1,17	6,74	
ARGAMASSA COM CAL – 4:1:1			
Corpo de Prova	Tf	Mpa	Média = 7,92 Mpa
1	1,52	8,76	
2	1,46	8,42	
3	1,32	7,61	
4	1,20	6,92	
ARGAMASSA C/ 5ML DE DETERGENTE / KG DE CIMENTO 4:1			
Corpo de Prova	Tf	Mpa	Média= 6,95 MPa
1	1,14	6,57	
2	1,16	6,69	
3	1,16	6,69	
4	1,36	7,84	
ARGAMASSA C/ 10ML DE DETERGENTE / KG DE CIMENTO 4:1			
Corpo de Prova	Tf	Mpa	Média = 7,58 MPa
1	1,32	7,61	
2	1,39	8,01	
3	1,22	7,03	
4	1,33	7,67	

Fonte: Os Autores, 2019

Segundo a NBR 5739, a ruptura destes corpos se deu de forma colunar. Vale

ressaltar que os corpos submetidos a cura úmida apresentam resistências à compressão até 30% inferiores aos que passaram por cura seca.

5.2.4 Rompimento dos corpos de prova com 28 dias de idade

Concluindo os rompimentos dos corpos de prova, os ensaios com 28 dias de idade ocorreram no dia 16 e 18 de novembro de 2019 (Figura 15). Este rompimento resume, de forma conclusiva, que a adição do detergente não causa efeitos negativos suficientes para seu descarte, no que diz respeito a resistência à compressão.

Observa-se, com estes resultados (Tabela 6), que a resistência se deu de forma inversamente proporcional à adição de detergente, fato provavelmente relacionado ao aumento de ar incorporado (Monte e colaboradores., 2007).

Tabela 6: Rompimento dos corpos de prova com 28 de idade

ARGAMASSA COMUM – 4:1			
Corpo de Prova	Tf	Mpa	Média = 11,95 Mpa
1	2,0	11,53	
2	2,08	11,99	
3	2,31	13,31	
4	1,9	10,95	
ARGAMASSA COM CAL – 4:1:1			
Corpo de Prova	Tf	Mpa	Média = 9,86 MPa
1	1,69	9,74	
2	1,83	10,55	
3	1,71	9,86	
4	1,61	9,28	
ARGAMASSA C/ 5ML DE DETERGENTE / KG DE CIMENTO 4:1			
Corpo de Prova	Tf	Mpa	Média= 9,80 MPa
1	1,95	11,24	
2	1,76	10,14	
3	1,57	9,05	
4	1,52	8,76	
ARGAMASSA C/ 10ML DE DETERGENTE / KG DE CIMENTO 4:1			
Corpo de Prova	Tf	Mpa	Média = 9,51 MPa
1	1,5	8,65	
2	1,78	10,26	
3	1,54	8,88	
4	1,78	10,26	

Fonte: Os Autores, 2019

Figura 115: Ruptura dos corpos de prova, 28 dias de idade



Fonte: Os Autores, 2019

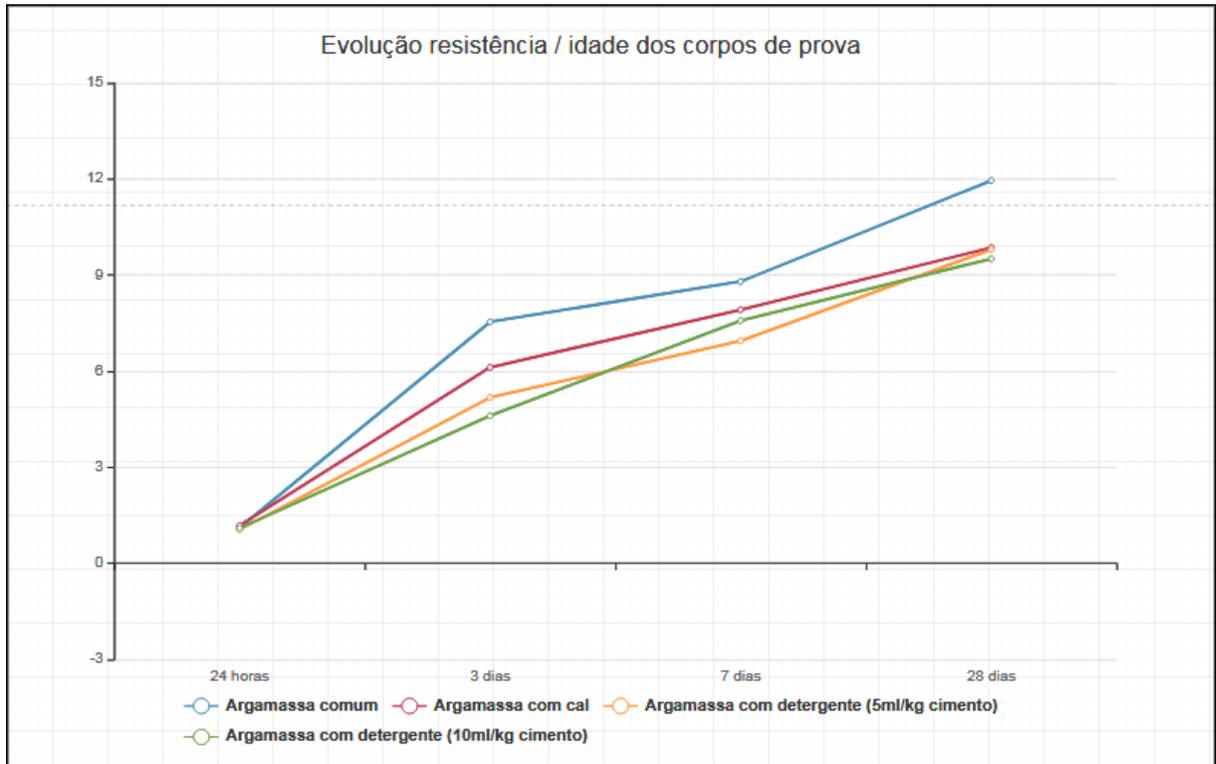
Os resultados demonstram, ainda, que as amostras estudadas se encaixam no tipo 3, sendo este o tipo que apresenta maior resistência entre as tensões de materiais entre a cola e revestimento. Esta classificação se dá pela Tabela 7, presente na NBR 13281 (ABNT, 2005).

Tabela 7: Exigências mecânicas e reológicas para argamassas

Características	Identificação	Limites
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	$\geq 0,1e < 4,0$
	II	$\geq 4,1e \leq 8,0$
	III	$>8,0$
Capacidade de retenção de	Normal	$\geq 8,0e \leq 9,0$
	Alta	$>9,0$
Teor de ar incorporado (%)	A	<8
	B	$\geq 8e \leq 18$
	C	>18

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005a).

A Figura 16 apresenta a evolução das resistências à compressão para os diferentes tipos de argamassa estudados, desde o primeiro até o último rompimento.

Figura 126: Evolução da resistência à compressão no decorrer do tempo

Fonte: Os Autores, 2019

5.3 Determinação do tempo de pega pelo teste de Vicat

No decorrer do teste de Vicat, ficou evidente que a proporção de dez mililitros de detergente por kg de cimento possui um maior tempo de pega (Tabela 8), porém, como há uma maior quantidade de ar incorporada, sua resistência à compressão axial cai (conforme observado nos testes de compressão). Observaram-se resultados semelhantes nas pesquisas de Collodetti, Picheti e Gleize (2009).

Tabela 8: Tempos de início e fim de pega, obtidos pelo teste de Vicat

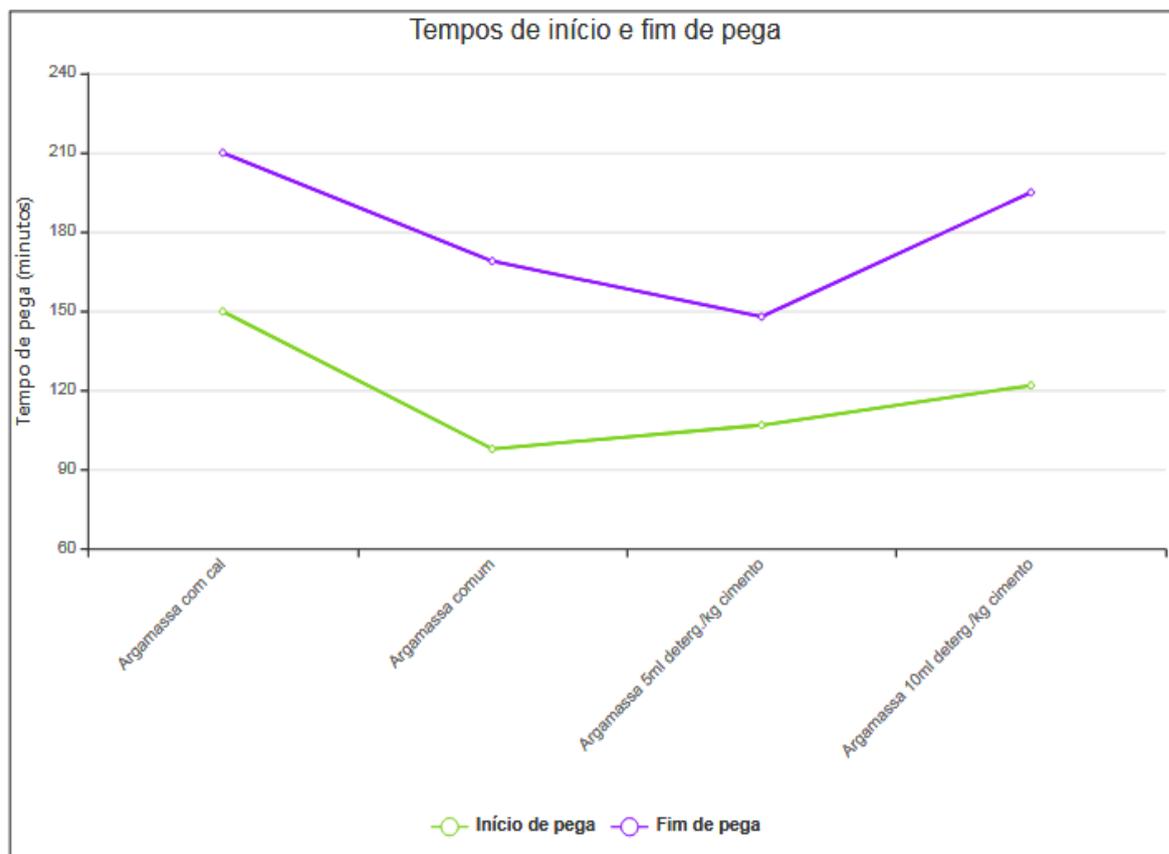
ARGAMASSA	INÍCIO DA PEGA	FIM DA PEGA
Argamassa com cal	2 h. 30 min. 21 seg.	3 h. 30 min. 47 seg.
Argamassa comum	1 h. 38 min. 22 seg.	2 h. 49 min. 52 seg.
Argamassa com detergente 5 ml / kg de cimento	1 h. 47 min. 52 seg.	2 h. 28 min. 22 seg.
Argamassa com detergente 10 ml / kg de cimento	2 h. 02 min. 44 seg.	3 h. 15 min. 10 seg.

Fonte: Os Autores, 2019

Quanto a trabalhabilidade, consistência, plasticidade e adesão inicial, foi comprovado pelo teste de Vicat que o detergente neutro proporciona um aumento dessas características, evidenciados pelos tempos de início e fim de pega. Apesar de, nas pesquisas, estar evidente que a partícula cimentícia hidrofóbica gerada ao adicionar detergente neutro nas argamassas acelera a hidratação do cimento, diminuindo o tempo de pega (MEHTA; MONTEIRO, 2014 apud MORO, 2017); os testes feitos com dez mililitros de detergente por quilograma de cimento registraram o contrário, isto é, um aumento dos tempos de pega.

Os resultados para a argamassa com detergente foram semelhantes aos obtidos por Moro (2017), sendo que a argamassa com maior proporção do detergente apresentou maior trabalhabilidade, resultando em um produto final com maior trabalhabilidade e, para a menor proporção de detergente (5 ml/kg de cimento), menor tempo de pega (Figura 17). A trabalhabilidade se deve, principalmente, a maior plasticidade e consistência que o produto proporciona sem ser fluida (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995; SELMO, 1989).

Figura 17: Tempo de início e fim de pega das argamassas



Fonte: Os Autores, 2019

Os resultados obtidos nos testes demonstram que a argamassa comum possui baixo tempo de pega (tanto inicial quanto final), enquanto as argamassas com cal e detergente possuem um aumento desta característica. Para as argamassas com detergente, a que diz respeito a menor proporção assemelha-se, em tempo de pega, com a argamassa comum; enquanto que a argamassa com maior proporção do produto (10 ml/kg de cimento) possui tempos de pega semelhantes à argamassa com cal.

6 CONCLUSÃO

Por meio dos resultados obtidos e analisados, pode-se concluir que a redução da resistência à compressão axial devido as adições da cal e do detergente neutro nas argamassas, eram esperadas, uma vez que há um índice de vazios maior no revestimento.

A partir da comparação dos resultados e das pesquisas efetuadas, observa-se uma grande eficiência do detergente neutro como incorporador de ar e, apesar do alto índice de vazios, não há conexão entre os poros no interior do revestimento, tendo como resultado um produto que apesar de poroso é resistente à compressão.

Quanto ao tempo de pega, os resultados obtidos na argamassa contendo cinco mililitros de detergente por quilograma de cimento são satisfatórios, comprovados tanto no teste de Vicat, quanto na pesquisa literária. Os relatos obtidos pelas entrevistas confirmam a aplicabilidade prática do detergente.

Portanto, os objetivos da pesquisa foram alcançados. O tempo de pega para a primeira amostra de detergente 5 ml/kg de cimento, foi reduzido em relação a amostra de 10ml/kg de cimento, mas em contrapartida, observou-se melhor trabalhabilidade devido a plasticidade e consistência do produto, portanto concluiu-se que a argamassa contendo a proporção de detergente 5ml/kg de cimento apresentou menores alterações.

Sugere-se para pesquisas futuras a análise do uso do detergente considerando mais critérios, como plasticidade, impermeabilidade e vida útil. Vale ressaltar que a resistência à compressão não deve ser deixada de lado nestes estudos, uma vez que se constatou uma queda desta característica com o aumento de ar incorporado.

Apesar de os detergentes e os incorporadores de ar tradicionais terem o mesmo princípio, atuando por meio de substâncias surfactantes, também se sugere investigar se os demais componentes do detergente podem provocar alguma reação patológica no revestimento com o passar do tempo, especialmente por se tratar de um material não normativo.

7 REFERÊNCIAS

AGOPYAN, A. A. **A Importância da Pureza dos Agregados Para Argamassas e Concretos**. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. São Paulo, 1988.

ARMANGE, Luciana Cristina. **Utilização de Areia de Fundação Residual Para Uso Em Argamassa**. Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, Centro de Ciências Tecnológicas - CCT, 2005.

AMARAL, L.; JAIGOBING, A. G.; JAISINGH, S. **Dossiê Técnico: Detergente Doméstico**. Instituto de Tecnologia do Paraná, 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Specification for Mortar Unit Mansory**. Filadélfia, 1991.

ANVISA. **Resolução N^o 40 - Regulamento Técnico para Produtos de Limpeza e Afins**. 2008. Disponível em:
<http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_40_200874064735b5d7b7dbdfb7f666>. Acesso em novembro de 2019.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos**. NBR 13281, 1995.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração**. NBR 15258, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade**. NBR 15259, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água.** NBR 13277, 1995.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** NBR 13278, 1995.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** NBR 13279, 1995.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.** NBR 13280, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos.** NBR 13281, 2005.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Cimento Portland – Determinação do tempo de pega.** NBR NM 65

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia.** NBR 13529, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas.** NBR 13530, 1995.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Cal hidratada para argamassas - Requisitos**. NBR 7175, 2003

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **Guide to Specifying the Quality of Building Mortars**. PD 6472, Londres, 1974.

BOLTSHAUSER, J. **História da arquitetura**. v. 1. Belo Horizonte: Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, 1963.

CANDIA, Mario Collantes; FRANCO, Luiz Sérgio. **Contribuição ao Estudo das Técnicas de Preparo da Base no Desempenho dos Revestimentos de Argamassa**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1998.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV., 2001, Brasília.

CARNEIRO, Arnaldo Manoel. **Revestimento Externo em Argamassa de Cimento, Cal e Areia - Sistemática das Empresas de Construção Civil de Porto Alegre**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

CASALI, J.M., et al. **Efeito da incorporação de ar nas propriedades de uma argamassa industrializada para assentamento de blocos de concreto para alvenaria estrutural**. V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. São Paulo-SP, ANTAC, 2003.

CASCUDO, O.; CARASEK, H.; CARVALHO, A. **Controle de argamassas industrializadas em obra por meio do método de penetração do cone**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, Florianópolis, 2005.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995.

CUKIERMAN, J.; COSTA, M. R. M. M.; SEABRA, M. **Programa de qualidade da cal hidratada para a construção civil – histórico do setor e avanço conquistados**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, São Paulo, 2003.

FERNANDES, Celso Peres. **Estudo Dos Processos De Condensação E Migração De Umidade Em Meios Porosos Consolidados. Análise Experimental De Uma argamassa De Cal E Cimento**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1990.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal – Fundamentos e aplicações na engenharia civil**. São Paulo, Pini, 2002.

JOHN, V. M. **Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., São Paulo, 2003.

LI, Y.; CHEN, Y.; WEI, J.; HE, X.; ZHANG, H.; ZHANG, W. **A study on the relationship between porosity of the cement paste with mineral additives and compressive strength of mortar based on this paste**. *Cement and Concrete Research*, v.36, 2006.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. **Concreto: Microestrutura, Propriedade e Materiais**. 2^a ed. São Paulo, Ibracon, 2014.

MONTE, R., e col. **Avaliação da influência do teor de ar no módulo de elasticidade de argamassas**. VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Recife, ANTAC, 2007.

MORO, Taís Kuster. **Novo Aditivo Incorporador de Ar Biodegradável para Matrizes Cimentícias**. Universidade Federal de Ouro Preto, 2017.

NAKAKURA, Elsa Hissae; CINCOTTO, Maria Alba; BASTOS, Pedro Kopschitz. **Ensaio de Retração de Argamassas Nos Estados Fresco e endurecido - Contribuição Para a Normalização Brasileira**. Primeiro Congresso Nacional de Argamassas, São Paulo, 2005.

PIANCA, João Baptista **Manual do Construtor**. Porto Alegre, 1967.

POLITO, G., e col. **Análise micro estrutural da interface entre argamassas de revestimento sobre blocos cerâmicos**. Quinquagésimo Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo-SP, IBRACON, 2008.

Química Credie Ltda. **Cal Hidratada**. Ficha de Informações de Segurança de Produto Químico FISPQ, Manaus, 2009.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. **Influência do tipo da cal hidratada na reologia de pastas**. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

SABBATINI, F. H. **Patologia das argamassas de revestimentos – aspectos físicos**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO, 3., 1986, São Paulo.

SALVI, Chanalisa Ruggini. **Avaliação da Resistência á Tração de Argamassas de Revestimento Sobre Diferentes Substratos na Cidade de Guaporé/RS.**

Universidade do Vale do Taquari, UNIVATES, Curso de Engenharia Civil, 2017.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassa de cimento portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SILVA, Francimar José; MOTA, João Manoel de Freitas; GALVÃO, Simone Perruci. **Ação da Pozolana Metacaulim em Matriz Cimentícia.** 55° Congresso Brasileiro do Concret. Outubro de 2013.

SILVA, Narciso Gonçalves. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária.** Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SILVA, Narciso Gonçalves; CAMPITELI Vicente Coney. **Influência dos Finos e da Cal nas Propriedades das Argamassas.** ENTAC, Florianópolis, 2006.

SOUSA, j.G.G; BAUER, E; GUIMARÃES, E.A. **Estudo da Consistência de Argamassas pelo Método de Penetração Estática de Cone.** VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas Florianópolis, maio de 2005.

STEPHAN, D.; MALLMANN, R.; KNÖFEL D.; HÄRDTL, R. **High intakes of Cr, Ni, and Zn in clinker - Part II: Influence on the hydration properties.** Cement and Concrete Research, 1999.

TAYLOR, H.F.W. **Enciclopedia de la química industrial - la química de los**

cementos. v. 1. Bilbao, Espanha, 1967.

TREZZA, M.A; FERRAIUELO, M.F. **Hydration study of limestone blended cement in the presence of hazardous wastes containing Cr(VI).** Cement and Concrete Research, volume 33, p. 1039–1045, 2003.

WESTPHAL, E. H. **Argamassas.** Florianópolis: UFSC. Disponível em <http://www.arq.ufsc.br/>. Acesso em novembro de 2019.

YOUNG, J. F.; MINDESS, S.; GRAY, R. J.; BENTUR, A. **The Science and Technology of Civil Engineering Materials.** Prentice Hall, 1998.