

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

BRUNO PORCINIO ALVES

**AVALIAÇÃO DE CASOS DE RETRAÇÃO EM ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO DEVIDO AO USO DE “CAL LÍQUIDA”**

UBERLÂNDIA

2018

BRUNO PORCINIO ALVES

**AVALIAÇÃO DE CASOS DE RETRAÇÃO EM ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO DEVIDO AO USO DE “CAL LÍQUIDA”**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal
de Uberlândia, como requisito para obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador Prof. Dr. Paulo Roberto Cabana Guterres

UBERLÂNDIA

2018

**AVALIAÇÃO DE CASOS DE RETRAÇÃO EM ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO DEVIDO AO USO DE “CAL LÍQUIDA”**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal
de Uberlândia, como requisito para obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Uberlândia, 21 de dezembro de 2018.

Prof. Dr. Paulo Roberto Cabana Guterres, UFU/MG

Prof. Dr. Jean Rodrigo Garcia, UFU/MG

Prof. Dr. Joaquim Mário Caleiro Acerbi, UFU/MG

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho àqueles que comigo caminham:

Nadine, Hélio, Dulce, Luzia, amigos e familiares.

.

AGRADECIMENTOS

Durante todo o período de realização do trabalho tive o apoio e a colaboração de várias pessoas às quais tenho muito a agradecer. Todas essas pessoas, sem exceções, foram essenciais para a conclusão do trabalho, mas algumas delas merecem um agradecimento especial devido a maior intimidade e grau de importância ao longo de minha trajetória.

Ao meu orientador Professor Dr. Paulo Roberto Cabana Guterres, pela orientação com sabedoria, paciência e amizade. Por acreditar no meu potencial para a realização deste trabalho e por respeitar e compreender o meu momento de trabalho conciliado com a finalização do curso.

Aos Técnicos do Laboratório de Materiais Wanderly e Cristiane, por me auxiliarem na execução dos ensaios deste trabalho com muita competência e paciência.

À Nadine, por me ajudar na preparação de diversos ensaios laboratoriais, por me motivar e me manter focado na conclusão desse trabalho.

“Seja a mudança que você quer ver no mundo”

Mahatma Gandhi

RESUMO

O presente trabalho avalia a medida da retração de argamassas com aditivo plastificante, popularmente conhecido como “cal líquida”, baseado em traço 1:1:6 (cimento:cal:areia) comumente utilizado em revestimentos na cidade de Uberlândia-MG. Pôr a retração ser um fenômeno que se inicia logo após a mistura dos materiais secos com a água e ocorre com a argamassa nos estados fresco e endurecido, têm-se como objetivo deste trabalho comparar duas parcelas deste fenômeno em laboratório, sendo elas: a) de minutos após moldagem, até 24 horas; b) de 48 horas após a moldagem, até 28 dias. No estado fresco, foram avaliadas propriedades como consistência, plasticidade e trabalhabilidade. Já no estado endurecido, foram moldados corpos de prova para diferentes idades (24 horas, 7 dias e 28 dias), sendo eles corpos de prova prismáticos de 4x4x16 cm para ensaios de tração na flexão e cilíndricos de 5x10 cm para ensaios de compressão, além de placas de 50x50 cm com espessura de 1,5 cm (representando uma média da espessura utilizada na região) para ensaios de aderência e avaliação da permeabilidade através do método do cachimbo.

Palavras-chave: Argamassas, “cal líquida”, retração, fissuras.

ABSTRACT

This article evaluates the measure of mortar retraction with plasticiser additive, well-known as “liquid-lime”, based on 1:1:6 (cement:lime:sand) very used in coatings at the city of Uberlândia-MG. Because the retraction is a phenomenon originated by the mix of dry materials with water and occurs with the mortar in fresh and hardened states, this article’s aim is to compare two segments in lab, with a) a minute after modelling, until 24 hours; b) 48 hours after modelling, until 28 days. In fresh state, the properties were evaluated as texture, plasticity and workability, and in the hardened state, the proof-bodies utilized were modelling for different ages (24 hours, 7 days, and 28 days), which are prismatic proof-bodies of 4x4x16cm for bending traction trial and cylinders of 5x10cm for compression trials, and also plates of 50x50cm with thickness of 1,5cm (representing a rate of the thickness used in the region) for adherence trials, and permeability evaluation through the pipe's method.

Keywords: Mortars, "liquid-lime", retraction, fissures.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos do Trabalho	11
1.1.1	Objetivo Geral	11
1.1.2	Objetivos Específicos	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Revestimento em Argamassa	12
2.1.1	Substratos para aplicação da argamassa	13
2.1.2	Chapisco	13
2.1.3	Emboço	14
2.1.4	Reboco	15
2.1.5	Massa única (emboço paulista)	15
2.2	Propriedades da argamassa de revestimento	15
2.2.1	Estado fresco	15
2.2.2	Estado endurecido	17
2.3	Aditivos	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1	Materiais Utilizados	21
3.2	Métodos utilizados	23
3.2.1	Planejamento experimental	23
3.2.2	Caracterização dos materiais	26
3.2.3	Produção dos painéis em substrato de concreto	29
3.2.4	Preparo das argamassas	33
3.3	Ensaio Realizados	34
3.3.1	Argamassa no estado fresco	34
3.3.2	Argamassa no estado endurecido	37

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1	Caracterização Física dos Materiais	44
4.1.2	Massa específica e massa unitária	45
4.2	Estado Fresco	45
4.2.1	Ensaio de consistência.....	45
4.2.2	Densidade de massa no estado fresco	46
4.3	Estados Endurecido.....	48
4.3.1	Densidade de massa no estado endurecido	48
4.3.2	Resistência à compressão axial	49
4.3.3	Resistência à tração na flexão	51
4.3.4	Resistência de aderência à tração	53
4.3.5	Absorção de água pelo Método do Cachimbo	56
4.3.6	Patologias observadas	59
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
	REFERÊNCIAS	64
	APÊNDICES	68
	APÊNDICE A – Resultados da análise granulométrica para areia fina e média.	68
	APÊNDICE B – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração.....	69

1 INTRODUÇÃO

A argamassa é usualmente definida como uma massa plástica advinda da mistura de um ou mais materiais ligantes, uma parcela de material inerte (geralmente areia) e água, tendo a capacidade de endurecimento posterior (OLIVEIRA, 1992). Além disso, conforme ABNT NBR 13281:2005, a argamassa pode ou não conter aditivo ou adições, podendo ser dosada tanto em obra quanto em instalação própria (argamassa industrializada).

Por se tratar de elementos cruciais ao processo construtivo brasileiro, as argamassas representam uma grande área na destinação de recursos, tempo e mão de obra, e também estão intimamente ligadas a ocorrência de patologias (OLIVEIRA e MENEZES, 2015). QUARCIONI e CINCOTTO (2005) em citação de OLIVEIRA e MENEZES (2015), afirma que as argamassas de assentamento e revestimento, que anteriormente eram feitas a partir de cal, pozolanas e areias silicosas, passaram a ter o cimento Portland incorporado em sua composição, proporcionando uma cura mais rápida advindas das propriedades cimentícias. Sobre essa perspectiva, a cal deixa de ser um elemento obrigatório a mistura de argamassa e passa a ser uma das diferentes opções presentes no mercado.

O atual cenário da construção civil busca execuções ágeis, priorizando sempre materiais e métodos que proporcionem baixo custo e tempos mínimos às etapas construtivas, o que fez com que as cales tradicionais fossem, parcialmente ou totalmente, removidas das misturas de argamassa. A remoção das cales nas misturas de argamassa tem sido fator preponderante ao aparecimento de patologias e sua ausência dificulta a trabalhabilidade por parte da mão de obra, já que a mesma atua como plastificante, retentora de água e aglomerante nas pastas (OLIVEIRA e MENEZES, 2015). O presente trabalho visa discutir sobre a viabilidade de um dos substitutos da cal nas misturas de argamassa para revestimento presentes no mercado, a “cal líquida”.

Caracterizada como um aditivo plastificante para argamassas de revestimento, a “cal líquida”, como é popularmente conhecida, confere plasticidade e trabalhabilidade às argamassas a base de cimento, dispensando o uso da cal hidratada. Para avaliar esta e outras propriedades da “cal líquida”, foi estipulado um traço em volume que servisse de referência e que fosse comumente utilizado na cidade de Uberlândia-MG, sendo composto por uma parcela de cimento, uma parcela de cal hidratada ou volume de “cal líquida” pré-determinado pelo fabricante, e seis parcelas de uma mistura de areia média-fina.

As propriedades da argamassa, os substratos, as técnicas de execução e as condições ambientais do local onde se constrói o edifício são os principais fatores que influenciam no desempenho dos revestimentos de argamassa. O desconhecimento desses aspectos e da relação entre eles pode ser apontado como um dos principais fatores determinantes da grande incidência de manifestações patológicas nos revestimentos (PEREIRA, 2007, p.1).

Nesse contexto, o presente trabalho avalia momentos iniciais de pós-aplicação e em idades subsequentes, pelo uso de métodos que simulem, em laboratório, situações próximas das condições de obras encontradas na cidade de Uberlândia, estabelecendo um comparativo entre um mesmo traço utilizando a cal hidratada e a “cal líquida” para, a partir disso, determinar quais as consequências que a utilização da “cal líquida” pode proporcionar ao comportamento, desempenho e durabilidade das argamassas de revestimento.

A realização do trabalho possibilitou investigar as propriedades das argamassas com “cal líquida” em seus estados fresco e endurecido, utilizando os ensaios propostos pela ABNT NBR 13281:2015 como base, além de verificar o comportamento e o desempenho dessas argamassas quando aplicadas em parede de concreto.

1.1 Objetivos do Trabalho

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho consiste em compreender o comportamento da movimentação da água na argamassa; tendo “cal líquida” em sua composição e aplicada sobre substratos de alvenarias, e os possíveis fenômenos de retração e descolamento do revestimento; levando em consideração as condições às quais estão sujeitos estes revestimentos, quer em termos de solicitações quer em termos de deformações. Serão avaliados momentos iniciais de pós-aplicação e em idades subsequentes; pelo uso de métodos que simulem, em laboratório, situações próximas das condições de obras encontradas na cidade de Uberlândia. Complementarmente, às avaliações comportamentais dirigidas às possíveis retrações, os revestimentos de argamassas, com uso de “cal líquida”, serão submetidos aos ensaios de aderência ao suporte, caracterizando seus comportamentos em relação à estabilidade de fixação ao substrato.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, tem-se como objetivos intermediários:

- Avaliar as alterações nas propriedades de argamassas de revestimento feita com traço padrão (comumente utilizado nas construções em Uberlândia-MG) através da utilização de “cal líquida” em sua composição.
- Estabelecer comparativo entre traço 1:1:6 (cimento:cal:areia) utilizando cal hidratada e “cal líquida”.
- Realizar ensaios de consistência na argamassa em seu estado fresco.
- Estudar o desempenho físico-mecânico das argamassas no estado endurecido através de ensaios propostos pela ABNT NBR 13281:2005.
- Executar placas de revestimento em parede de concreto para avaliação de desempenho segundo ABNT NBR 15575:2013.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Revestimento em Argamassa

A argamassa, conforme ABNT NBR 13281:2005, é classificada como uma mistura homogênea entre partes, em suas devidas proporções, de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, sendo opcional a presença de aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento posterior. Vale ressaltar que, em grande parte das argamassas utilizadas nas obras da região, utiliza-se areia lavada como agregado miúdo, cimento Portland como aglomerante e cal hidratada.

Outra definição de argamassa é a de um material composto por duas frações distintas, sendo uma delas a fração ativa, representada pelos aglomerantes, e a outra a fração inerte, composta pelos agregados. PEREIRA (2007), lembra que a maior parte das argamassas mistas tem sua fração ativa representada pelo cimento e pela cal hidratada, sendo o primeiro elemento responsável por grande parte da resistência mecânica e, o segundo, pela capacidade de deformação das argamassas. Diferentemente da fração ativa, a fração inerte, composta por areia, não participa das reações de endurecimento.

Os tipos de argamassas são especificados a partir de sua finalidade, sendo elas: assentamento, revestimento de paredes e tetos, argamassa de uso geral, argamassa para reboco, argamassa decorativa em camada fina e argamassa decorativa em monocamada (ABNT NBR 13281:2005).

A ABNT NBR 13529:1995 define revestimento em argamassa como sendo cobertura de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, apto a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final. O revestimento de argamassa de areia será constituído pelas seguintes camadas contínuas, superpostas e uniformes:

- Emboço (*massa grossa*), aplicado sobre a superfície chapiscada
- Reboco (*massa fina*), aplicado sobre emboço

Conforme dito anteriormente, os revestimentos de argamassa podem ser compostos por uma ou mais camadas, sendo os limites de espessura para revestimentos de paredes e tetos internos e externos indicados pela ABNT NBR 13749:1996 conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Espessuras admissíveis revestimentos internos e externos.

Revestimento	Espessura (mm)
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Tetos interno e externo	$e \leq 20$

Fonte: ABNT NBR 13749:1996.

2.1.1 Substratos para aplicação da argamassa

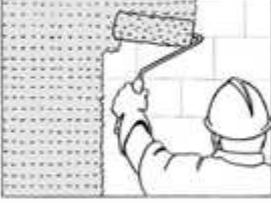
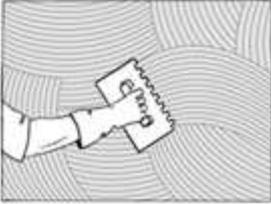
Para todos os casos, o sistema de revestimento em argamassa deve ser aplicado sobre base ou substrato composto por um conjunto bem aderido e contínuo que atenda os critérios de desempenho globais. Em casos que o mesmo não atenda a esses requisitos (atendimento a execução e desempenho satisfatórios), deve-se optar pela utilização de elementos que proporcionem, de maneira satisfatória, uma solução em âmbito geral como por exemplo a utilização do chapisco como preparação de base para aplicação da argamassa (BAUER, 2005).

2.1.2 Chapisco

Com espessura entre 3mm e 5mm, o chapisco é um procedimento de preparação da base que cobre a superfície desejada com uma camada de argamassa fina, tornado a base áspera e aderente para receber a argamassa de revestimento. O chapisco convencional, normalmente feito com uma argamassa fluída no traço 1:3 (cimento:areia) em volume, deve ser projetado energeticamente, de baixo para cima, contra a superfície a ser revestida. A aplicação deverá ser feita sobre superfície previamente umedecida, o suficiente para que não ocorra a absorção da água necessária à cura da argamassa (YAZIGI, 2009, p.490).

Segundo a ABCP (2002), os chapiscos corriqueiramente utilizados podem ser diferenciados conforme a Figura 1.

Figura 1 – Principais tipos de chapisco quanto a aplicação (Modificado ABCP, 2002)

<p>Chapisco tradicional – feito a partir de argamassa fluida de cimento e areia média-grossa no traço 1:3 a 1:5 (cimento:areia) e aplicado a partir de lançamento energético sobre a superfície desejada, com o auxílio de uma colher de pedreiro.</p>	
<p>Chapisco rolado – composto por argamassa de traço 1:3 (cimento:areia), empregada em sua maior parte junto a adesivos poliméricos látex. A aplicação é feita com rolo de pintura (rolo para textura), exigindo boas condições de planeza do substrato para uma correta aplicação.</p>	
<p>Chapisco industrializado – trata-se de uma argamassa industrializada que deve ser misturada com água e aplicada sobre substrato com o uso de desempenadeira dentada (processo similar à argamassa colante para assentamento de cerâmica). Sua aplicação resulta em filetes orientados que representam a rugosidade obtida.</p>	

Fonte: Modificado ABCP (2002).

2.1.3 Emboço

Os sistemas de revestimento podem ser compostos por uma ou mais camadas, ou seja, por emboço e reboco ou camada única. Em casos em que há a presença do emboço, o mesmo tem a função de cobrir e regularizar a superfície do substrato ou chapisco, resultando em uma superfície apta a receber a camada de reboco ou revestimento posterior. Para tanto, o emboço deve possuir uma porosidade e textura superficial compatível com a capacidade de aderência da camada de acabamento (ABNT NBR 7200:1998).

Segundo CÂNDIA (1998) o emboço geralmente é a camada mais espessa do revestimento, possuindo aderência ao substrato e oferecendo textura adequada para à aplicação de outra camada subsequente.

2.1.4 Reboco

O reboco é uma segunda camada de revestimento utilizada para cobrir o emboço, oferecendo uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou se constitua no acabamento final. Sua espessura é apenas o necessário para constituir uma superfície lisa contínua e íntegra.

2.1.5 Massa única (emboço paulista)

Quando o revestimento é feito em camada única, o mesmo é executado diretamente sobre os substratos, sem a necessidade de se aplicar o emboço. Neste caso, a camada única desempenha duplo papel, atendendo às exigências do emboço e da camada de acabamento (reboco) (BAUER, 2005). BAUER (2005), ainda comenta sobre os sérios problemas advindos de espessuras excessivas (superiores a 5cm) de emboço ou para camada única, podendo causar não só sobrecargas como também problemas de retração e provável fissuração.

2.2 Propriedades da argamassa de revestimento

2.2.1 Estado fresco

O estado fresco envolve propriedades importantes e crucias à elaboração do conceito de trabalhabilidade da argamassa.

2.2.1.1 Consistência e plasticidade

A consistência representa a facilidade em que a argamassa tem de se deformar sob ação de cargas. A ABNT NBR 7215:1996 propõe o ensaio para determinação do índice de consistência normal a partir do abatimento de um corpo de prova tronco-cônico em mesa padronizada (*flow table*) que possibilite deferir 30 golpes para a partir disso, seja feito a medida do diâmetro da base do tronco de cone. Esse índice representa a capacidade das argamassas em resistir à deformação aplicada, possibilitando a classificação das argamassas em secas (a pasta preenche os vazios entre os grãos), plásticas (a pasta forma uma fina película e atua como lubrificante na superfície dos grãos dos agregados) e fluidas (os grãos ficam imersos na pasta) (SILVA, 2006).

A plasticidade é a propriedade no qual a argamassa, em seu estado fresco, tende-se a permanecer deformada após a redução das tensões de deformação, sendo uma propriedade importante para a fase de acabamento do revestimento. As argamassas podem ser classificadas quanto a plasticidade em: argamassas gordas, argamassas médias e pobres (magras), conforme a quantidade de aglutinante presente na pasta (OLIVEIRA e MENEZES, 2013).

2.2.1.2 Retenção de água

A retenção de água é uma propriedade associada a capacidade da argamassa, em seu estado fresco, manter sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provoquem perda de água de amassamento, seja por evaporação ou pela absorção de água da base. A retenção de água deve prevalecer diante de solicitações que provoquem perda de água como, a evaporação, a sucção do substrato e a hidratação do cimento e carbonatação da cal (CINCONTTO et al., 1995).

2.2.1.3 Coesão

Argamassas ditas coesas são aquelas que não apresentam problemas relacionados a segregação entre os agregados miúdos e a exsudação da água, a pasta é visualmente homogênea sem distinção entre as fases dispersas e a matriz aquosa (OLIVEIRA e MENEZES, 2015). A coesão na argamassa refere-se às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e as ligações químicas da pasta aglomerante (CINCOTTO et al., 1995).

2.2.1.4 Adesão inicial

A adesão inicial é capacidade de união inicial entre a argamassa em seu estado fresco e o substrato. Segundo ROSELLO (1976) citado por SILVA (2006), a adesão inicial é uma propriedade advinda das características reológicas da pasta aglomerante e a baixa tensão superficial da pasta, sendo função inversa ao consumo de aglomerantes e, dessa forma, propiciando adesão física ao substrato.

2.2.1.5 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade representa a facilidade com que a argamassa pode ser misturada, transportada, aplicada, consolidada e acabada em uma condição homogênea. Para SABBATINI (1984), uma argamassa pode ser considerada trabalhável quando se distribui com facilidade ao ser assentada, não gruda na ferramenta ao longo da aplicação, não segrega durante o transporte, não endurece quando em contato com superfícies absorptivas e permanece plástica tempo suficiente para que toda operação seja executada.

A determinação da trabalhabilidade é resultado da junção das propriedades citadas em tópicos anteriores (consistência e plasticidade, retenção de água, coesão e adesão inicial) com o acréscimo de outras propriedades como exsudação (tendência de separação da água e dos agregados devido efeito da gravidade) e a densidade de massa (relação entre massa e volume do material).

O grande volume de propriedades a serem tratadas tornam a avaliação, quantificação e prescrição de valores de trabalhabilidade das argamassas uma difícil tarefa, uma vez que depende de fatores que vão além dos citados, como habilidade de execução por parte da mão de obra, de propriedades do substrato e da técnica de aplicação (CASCUDO et al., 2005).

2.2.2 Estado endurecido

As propriedades da argamassa em seu estado endurecido estão diretamente ligadas a durabilidade do revestimento, nesse estado avalia-se a sua resistência a fissuração, a penetração de agentes agressivos e a deformações (de origem térmica, higroscópica ou advindas de recalques) impostas pela estrutura (OLIVEIRA e MENEZES, 2015).

2.2.2.1 Aderência

A aderência ao substrato é uma das principais características para a argamassa de revestimento, ela representa a resistência à tração existente entre a argamassa e a base. Para CARASEK (2007) é de suma importância o conhecimento acerca das características da base, garantindo uma boa aderência a partir da interação entre os materiais (argamassa e base) e, dessa forma, evitar com que ocorra o deslocamento da argamassa.

A aderência deriva da união de três propriedades da interface argamassa-substrato, sendo elas a resistência de aderência à tração, a resistência de aderência ao cisalhamento e a extensão de aderência (dada pela razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida). Segundo SANTOS (2008), fatores como as condições de rugosidade, a umidade e absorção do substrato, os componentes da pasta, a espessura de aplicação e a capacidade retentora de água da argamassa influenciam diretamente as suas propriedades de aderência.

2.2.2.2 Resistência mecânica

Para CARASEK (2007), a resistência mecânica é a propriedade dos revestimentos em apresentar um estado de consolidação interna tal que apresentem aptidão para suportarem esforços mecânicos diversos, sendo geralmente traduzidos por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento. A ABNT NBR 13279:2005 padroniza ensaios para obtenção da resistência a compressão e tração, sendo o primeiro feito em corpos de prova cilíndricos e o segundo feito a partir de ensaio de tração na flexão em corpos de prova prismáticos.

A obtenção da resistência a tração é um aspecto relevante por se tratar do método que caracteriza a resistência da argamassa aos esforços que provocam fissuração (OLIVEIRA e MENEZES, 2013). Diferentemente a relevância dada aos valores obtidos para resistência a tração, os valores de resistência a compressão, não representam um bom requisito para avaliação do desempenho das argamassas, mas são fundamentais ao controle de qualidade da argamassa (CAVALHEIRO, 1995).

2.2.2.3 Permeabilidade

A permeabilidade é a propriedade das argamassas responsável por caracterizar aspectos físicos da pasta em seu estado fresco, tais como o teor de ar incorporado, o teor de finos e a retenção de água.

2.2.2.4 Retração

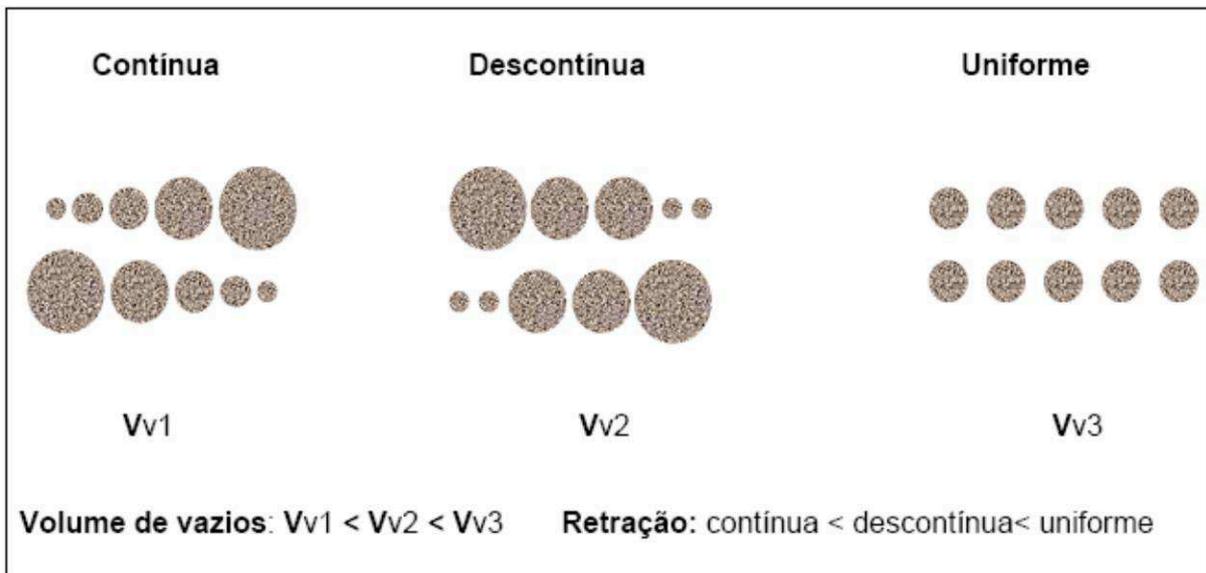
A retração é a propriedade associada a variação de volume da pasta aglomerante devido à perda acentuada da água de amassamento e pelas reações de hidratação dos aglomerantes. Esta propriedade apresenta papel fundamental ao desempenho das argamassas quanto a durabilidade

e estanqueidade; e sua ocorrência acentuada está diretamente relacionada ao aparecimento de fissuras nos revestimentos.

As argamassas apresentam maior disponibilidade ao aparecimento de fissuras quando: ricas em cimento (devido à suas reações químicas de hidratação); quando há alta relação água/aglomerante e as mesmas retraem devido à perda excessiva de água de sua composição; em clima quente e seco com ventos fortes acelerando a evaporação; e devido a elevado volume de vazios a ser preenchido pela pasta aglomerante.

Quanto maior o teor de finos nas argamassas, maior será o seu volume de vazios e, portanto, maior será a quantidade de água de amassamento para preenche-los. Por exigirem mais água, a presença do alto teor de finos interfere no endurecimento da argamassa e leva a uma redução de sua resistência mecânica advindas da alta relação água/aglomerante. A Figura 2 exemplifica a relação entre volume de vazios, granulometria do agregado miúdo e a retração.

Figura 2 – Classificação das areias quanto à distribuição granulométrica e sua influência na retração plástica



Fonte: Carasek (2008).

A areia existente na argamassa atua como uma espécie de esqueleto sólido, evitando parte das variações volumétricas por secagem e, por consequência, os riscos de fissuração.

Em casos em que a secagem da argamassa é estabelecida de maneira lenta, a mesma dispõe de tempo suficiente para atingir uma resistência a tração necessária para suportar as tensões internas que surgem. Mas quando o clima é quente, seco e com ventos, a perda de água é acelerada e risco de fissuração é acentuado.

BASTOS (2001) em citação de SILVA (2006), classifica a retração da argamassa conforme o seu estado físico em:

- Retração plástica: advinda da perda de água da argamassa antes da pega do cimento. Nessa condição física da argamassa, a fração sólida dispõe de mobilidade entre as partículas umas das outras, e a diminuição do volume do sistema corresponde ao volume de água perdida;
- Retração no estado endurecido: conhecida como retração por secagem, ocorre após a pega do cimento e tem sua magnitude de retração total conforme o grau de dificuldade encontrado para a remoção da água.

2.3 Aditivos

Os aditivos são produtos químicos que podem ser adicionados a argamassa afim de melhorar características como plasticidade, tempo de utilização, resistência mecânica, impermeabilidade, aparência e durabilidade.

SANTOS (2008), cita os principais aditivos empregados nas argamassas, sendo eles:

- Plastificantes, que visam melhorar a trabalhabilidade das argamassas;
- Incorporadores de ar, que proporcionam melhor plasticidade, adesão inicial e aumentam a retenção de água, mas em contrapartida, reduzem a resistência a tração, compressão e aderência;
- Retardadores de pega, que retardam o início da hidratação do cimento;
- Adesivos, que proporcionam aderência química ao substrato;
- Impermeabilizantes, que reduzem a permeabilidade da argamassa;
- Hidrofugantes, que reduzem a absorção de água da argamassa sem impedir que a mesma troque gases com o meio;
- Retentores de água, que são polímeros usualmente utilizados na forma de solução, com a finalidade de modificar ou melhorar propriedades como: resistência, deformabilidade, adesão, impermeabilidade e durabilidade.

2.1.1 Aditivo Plastificante: “cal líquida”

Com designação popular criada por fabricantes de produtos líquidos cuja principal função é incorporar bolhas de ar nas argamassas, a “cal líquida”, aditivo produzido à base de resinas

naturais e plastificantes, confere trabalhabilidade (liga) às argamassas em seu estado fresco. Maior parte do aditivo vendido no mercado é constituído por elevado percentual de água e uma pequena parcela de um resíduo, que em análise de espectrofotometria no infravermelho, revela a presença preponderante de sais de ácido lignossulfônico (GUIMARÃES et al., 2004).

Não existe nenhuma norma técnica da ABNT vigente para o controle desse tipo de produto. Segundo GUIMARÃES et al. (2004), a incorporação de vazios internos nas argamassas proporcionado pela “cal líquida”, pode comprometer a atividade aglomerante do cimento e provocar seu rápido envelhecimento, apresentando trincas, fissuras, esfarelamento (pulverulência) e até mesmo provocando seu descolamento.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho visa analisar as consequências advindas da utilização de aditivo plastificante “cal líquida” nas argamassas de revestimento produzidas em obras na cidade de Uberlândia-MG. Para tanto, foi estipulado um traço padrão em volume de 1:1:6 (cimento:cal:areia) que representasse o traço comumente utilizado na cidade.

A partir do traço citado é feito um comparativo entre argamassas que utilizaram cal hidratada em sua composição (mais utilizadas nas obras) e argamassas que utilizaram “cal líquida” conforme especificação do fabricante.

3.1 Materiais Utilizados

Para a produção das argamassas a serem ensaiadas, foram escolhidos materiais conforme popularidade dos produtos mais utilizados por grandes construtoras em Uberlândia-MG. Vale ressaltar que todos os materiais empregados nos ensaios obedecem aos critérios de aceitação estabelecidos pelas normas vigentes da ABNT, garantindo que sua utilização não ofereça nenhuma interferência aos resultados obtidos.

A opção por materiais (principalmente o cimento, a cal hidratada e a “cal líquida”) vastamente utilizados na cidade de Uberlândia-MG permite aos resultados maior aproximação ao que é realmente executado em obras da cidade.

A opção e característica dos materiais são representadas a seguir:

Cimento Portland

Para a realização dos ensaios, foi utilizado o cimento Itaú CP II-Z-32 da marca Votorantim. Esse cimento é composto de clínquer (calcário e argila) e pozolana, sendo indicado para fabricação de argamassa de assentamento e revestimento. A Tabela 2 oferece maiores detalhes quanto ao teor de cada componente do cimento Portland composto, para as classes de resistência de 25, 32 e 40 Mpa (atingidas aos 28 dias).

Tabela 2 – Teores dos componentes do cimento Portland composto

Sigla	Classe de resistência	Componentes (% em massa)			
		Clinquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
CP II-Z	25 32 40	94 - 76	-	6 - 34	0-10

Fonte: ABNT 11578:1991

Cal hidratada

A cal hidratada utilizada para realização dos ensaios foi a Cal Hidratada CH III Itaú fabricada pela Votorantim Cimentos. Segundo o fabricante, a cal atende aos requisitos técnicos da norma ABNT NBR 7175:2003 (Cal hidratada para argamassa – Requisitos), sendo composta por hidróxidos de cálcio e magnésio e indicada como componente de argamassas de assentamento e revestimento para uso interno e externo.

A cal citada é facilmente encontrada no comércio da região e utilizada pelas construtoras de Uberlândia-MG.

Aditivo plastificante: “cal líquida”

A “cal líquida” utilizada foi a Sikanol Alvenaria da marca Sika. O fabricante descreve o produto como um aditivo de base sintética concentrado capaz de proporcionar às argamassas frescas ótima liga e efeitos plastificantes e estabilizadores, tornando-as de consistência mais plástica e

com constante lubrificação. O produto é indicado para argamassas de rebocos internos e externos e para assentamento de alvenarias de modo geral.

A proporção utilizada nas argamassas produzidas para os ensaios obedece ao que é sugerido pelo fabricante, sendo o produto adicionado a água de amassamento na dosagem de 100 ml a 300 ml para cada saco de cimento de 50 kg.

Areia (fina e média)

Neste estudo, a utilização da areia média compôs o chapisco (traço 1:3 de cimento:areia) aplicado sobre substrato de parede de concreto para produção das placas de argamassa 50 cm x 50 cm com 2,0 cm de espessura. Para as demais argamassas, as areias fina e média foram misturadas em proporções iguais para produção do traço padrão (1:1:6 de cimento:cal:areia) utilizado nos ensaios de tração na flexão, compressão e para as placas submetidas aos ensaios de arrancamento e avaliação da permeabilidade pelo método do cachimbo.

A areia utilizada foi fornecida pelo laboratório de materiais da Universidade Federal de Uberlândia e sua extração, feita pela empresa Eldorado localizada na cidade de São José dos Campos – SP.

Para a averiguação da distribuição granulométrica da areia fornecida, utilizou-se as peneiras da série normal indicadas na ABNT NBR 7211:2009.

Água

Para realização dos experimentos, foi utilizado a água obtida pelo fornecimento público da rede DMAE (Departamento Municipal de Água e Esgoto) de Uberlândia. A princípio considera-se que toda água potável é apropriada para o uso em argamassas, sendo assim, não foi realizado nenhum ensaio para caracterização da água utilizada.

3.2 Métodos utilizados

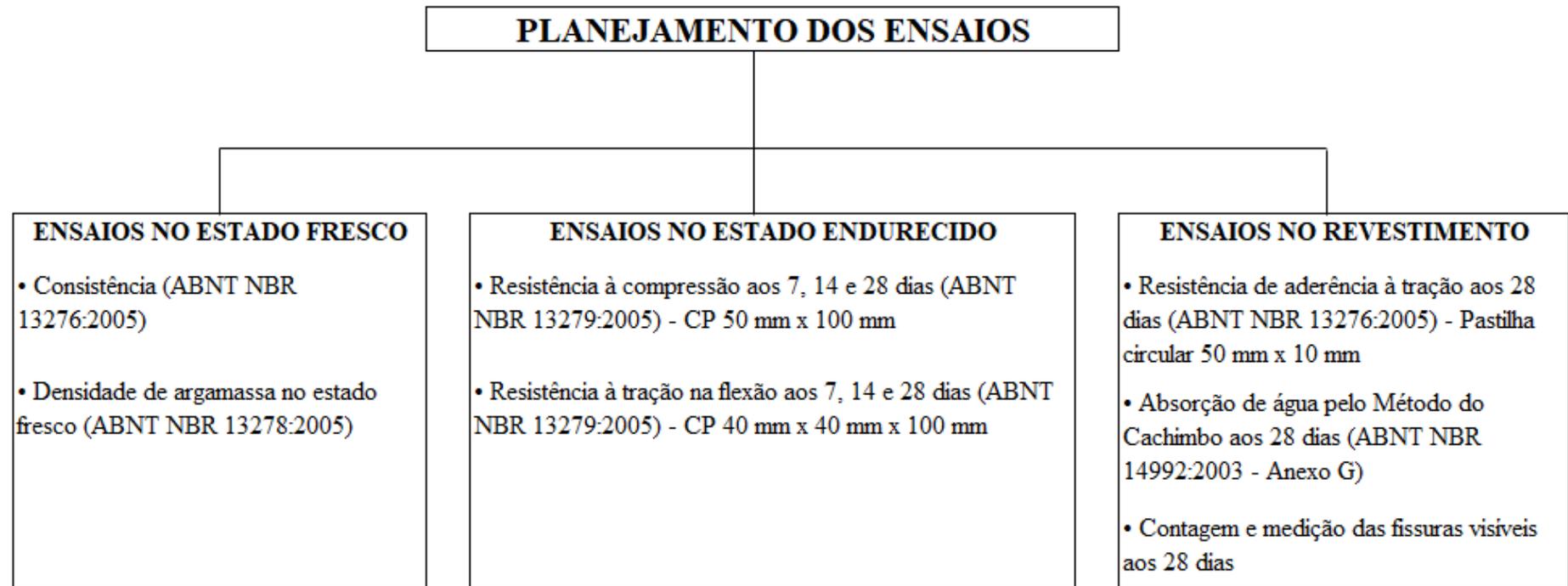
3.2.1 Planejamento experimental

O presente trabalho foi desenvolvido com intuito de identificar a influência da “cal líquida” na confecção de argamassas sob traço de 1:1:6 (cimento:cal:areia), sendo o mesmo comumente utilizado na cidade de Uberlândia-MG. Para tanto, foram avaliadas propriedades das

argamassas nos estados fresco e endurecido e suas propriedades quando aplicada como revestimento em substrato de concreto.

A Figura 3 resume os ensaios realizados para as argamassas em seus estados fresco, endurecido e aplicadas como revestimento em substrato de concreto.

Figura 3 - Diagrama dos ensaios no estado fresco, endurecido e no revestimento



Fonte: Autor (2018).

3.2.2 Caracterização dos materiais

3.2.2.1 Granulometria

A caracterização da areia fina e média utilizada nos traços de argamassa, foi obtida a partir das peneiras da série normal indicadas na ABNT NBR 7211:2009. A vibração das peneiras foi feita manualmente nas condições expressas pela Figura 4.

Figura 4 – Peneiras da série normal sobrepostas para realização do ensaio



Fonte: Autor (2018).

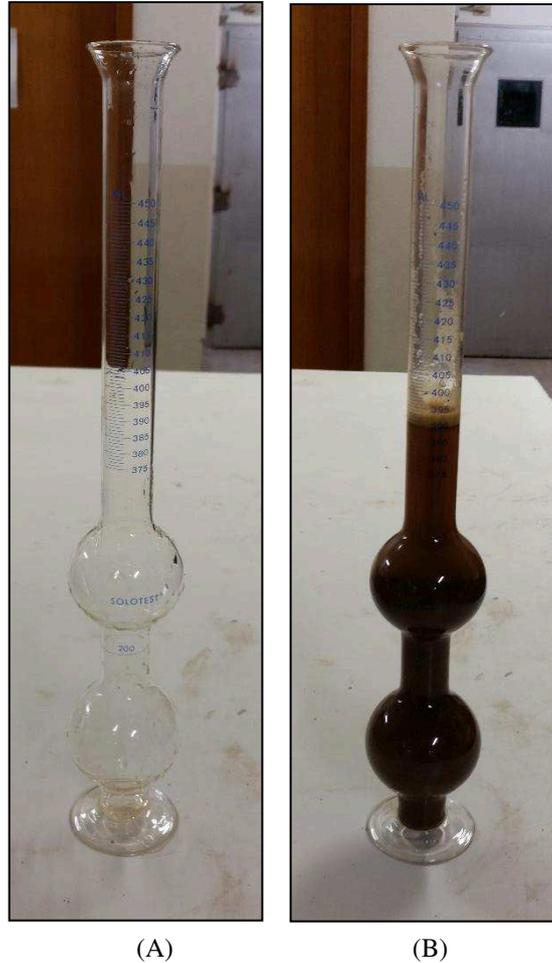
A análise granulométrica garantiu que o diâmetro máximo e o módulo de finura se enquadrem aos critérios estabelecidos por norma.

3.2.2.2 *Massa específica e massa unitária*

A massa específica é definida como a massa do material por unidade de volume, excluindo os poros internos das partículas (vazios). Já a massa unitária, segundo a ABNT 7810:1983, é a massa da unidade de “volume aparente” do agregado, isto é, incluindo na medida deste volume os vazios entre os grãos.

A massa específica das areias média e fina foram obtidas conforme os princípios da ABNT NBR 9779:1987, utilizando o frasco de Chapman para a avaliação do volume ocupado pela areia excluindo seus vazios. O volume a ser utilizado para o cálculo da massa específica é obtido pela diferença do volume final do líquido no frasco (com água até a marca de 200 cm³ e 500 g de areia seca em estufa a 110°) com o volume inicial (somente água até a marca de 200 cm³). A Figura 5 demonstra algumas das etapas do ensaio e a Equação 1 expressa a fórmula aplicada para obtenção dos resultados.

Figura 5 – Determinação da massa específica da areia a partir de frasco de Chapman



(A) Frasco de Chapman a ser utilizado – (B) Frasco de Chapman com 200 ml de água e 500g de areia fina seca, devidamente agitados em repouso para posterior leitura

Fonte: Autor (2018).

$$\delta = \frac{500}{L-200} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

δ = massa específica do agregado miúdo, expressa em g/cm³;

L = leitura final do frasco;

Os valores para massa específica do cimento e cal foram obtidos através do fabricante em fichas de informações de segurança dos compostos químicos do material, fazendo desnecessário a análise destes insumos. Para a determinação da massa unitária foi utilizado a ABNT NBR NM 45:2006, valor importante para a conversão do traço volumétrico para traço em massa. Os resultados foram obtidos pela Equação 2.

$$\gamma = \frac{M_{RA} - M_R}{V_R} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

γ = massa unitária em kg/m³;

M_{RA} = Massa do recipiente mais amostra;

M_R = Massa do recipiente;

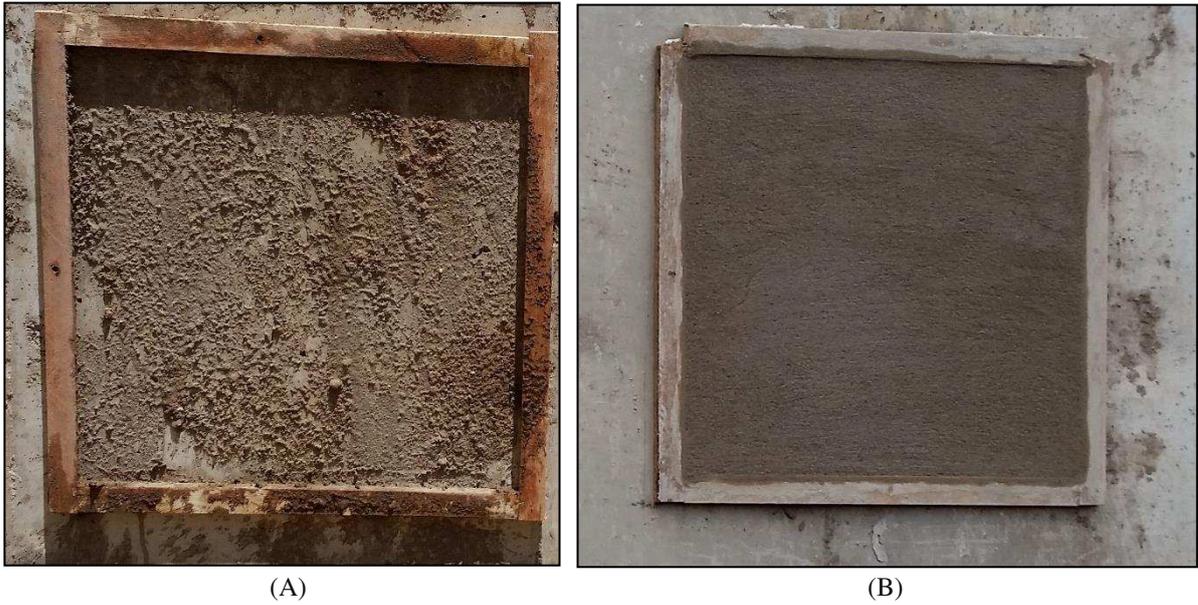
V_R = Volume do recipiente.

3.2.3 Produção dos painéis em substrato de concreto

As argamassas utilizadas nos painéis para a realização posterior do ensaio de arrancamento e avaliação da permeabilidade (Método do Cachimbo), foram produzidas no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Uberlândia. Sua aplicação foi feita em massa única, sobre substrato de parede de concreto localizada ao fundo do laboratório, exposto a ações climáticas, simulando a dinâmica de um cômodo não coberto com faces internas e externas.

Anterior à aplicação dos revestimentos em argamassa; foram feitas e posicionadas molduras em madeira afim de garantir as dimensões e espessura esperadas para os painéis (50cm de largura por 50cm de altura e 1,5cm de espessura); aplicado chapisco de traço de 1:3 (cimento:areia grossa) de modo a preencher pelo menos 75% da área disponível pela moldura, aplicado o revestimento em camada única sob o traço 1:1:6 (cimento:cal:areia) e acertado suas arestas com a desempenadeira conforme Figura 6.

Figura 6 – Etapas para produção dos painéis de argamassa



(A) Chapisco realizado dentro a moldura – (B) Modelo finalizado

Fonte: Autor (2018).

Foram produzidos um total de 6 modelos de painéis revestidos em argamassa, sendo o painel localizado na extremidade esquerda na Figura 7 - (A) e na extremidade direita na Figura 7 - (B) produzidos apenas a categoria de teste e, portanto, não foram utilizados para a execução de nenhum dos ensaios propostos

Figura 7 – Painéis finalizados na parte externa e interna da parede



(A)

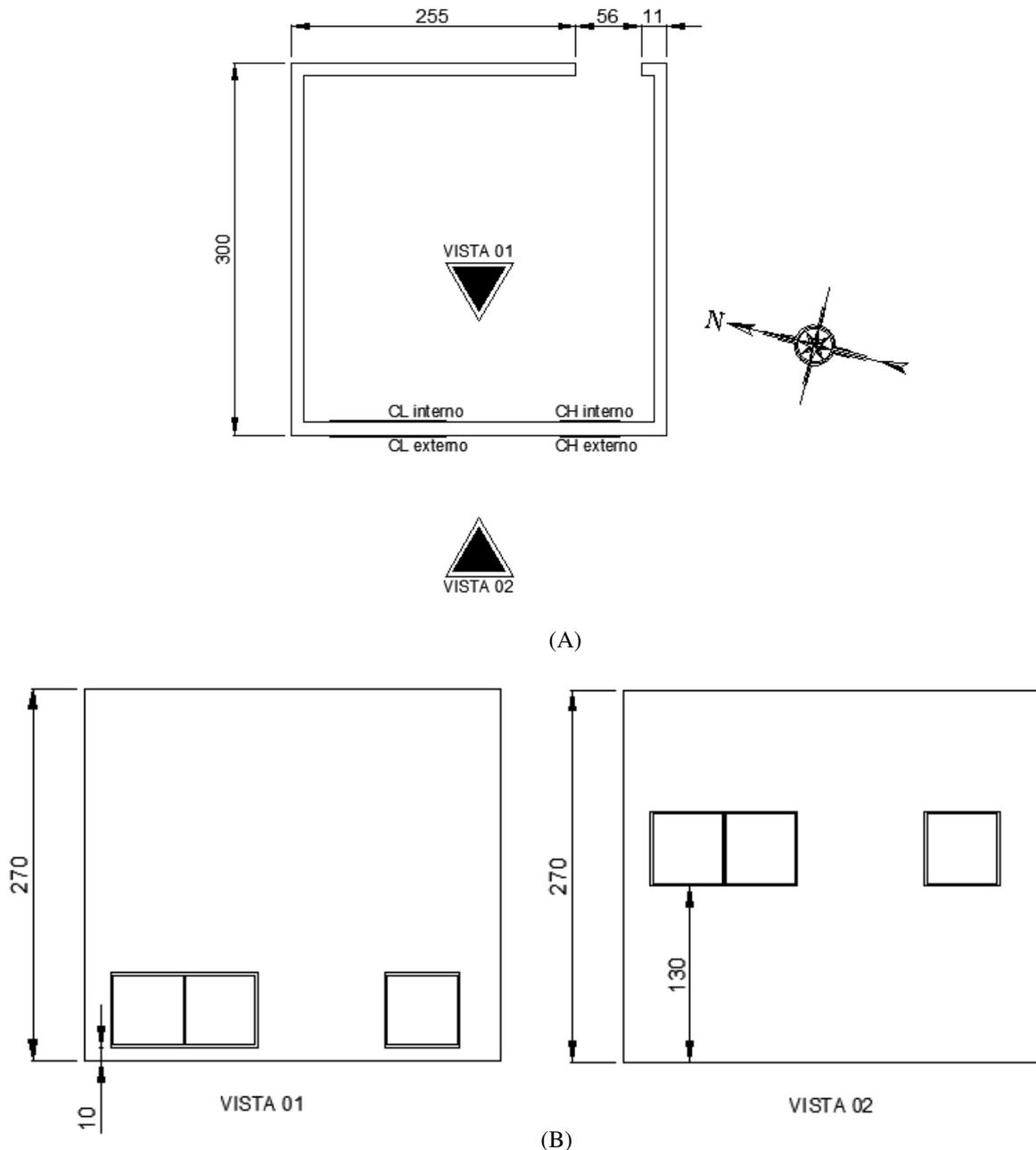


(B)

(A) Painel na face externa da parede não avaliada – (B) Painel na face interna da parede não avaliada

Fonte: Autor (2018).

Na face externa da parede, os painéis foram posicionados a uma altura de 130cm do piso com o intuito de receberem maior incidência solar ao longo do dia. Já os painéis localizados na face interna da parede, foram posicionados a 10cm do piso, com intuito de receberem o mínimo possível de incidência solar. Os detalhes do posicionamento dos painéis de argamassa podem ser vistos pela Figura 8.

Figura 8 – Posicionamento dos painéis de argamassa

(A) Croqui do local de aplicação dos painéis CL e CH – (B) Vista das faces interna e externa da parede

Fonte: Autor (2018).

Dos 4 painéis avaliados, 2 foram produzidos com a utilização de cal hidratada CH III e 2 produzidos com a utilização de “cal líquida”. Destes painéis, foi posicionado um painel de cada espécie na face externa da parede e um de cada espécie na face interna da parede. Os painéis foram identificados como: CH externo e CH interno para argamassa com cal hidratada aplicada na face interna e externa e, CL externo e CL interno, para argamassa com cal hidratada aplicada na face interna e externa.

3.2.4 Preparo das argamassas

As argamassas foram produzidas no Laboratório de Materiais da Universidade Federal de Uberlândia e tiveram o auxílio de um pedreiro para a execução dos painéis assentados em substrato de concreto. A mão-de-obra e a argamassa de revestimento são aqui consideradas condições fixas, já que foram controladas para não ocorrerem oscilações e assim exercerem influência na avaliação do revestimento.

Conforme as construtoras entrevistadas, o traço em volume 1:1:6 (cimento:cal hidratada:areia média-fina) é comumente utilizado na execução de reboco em massa única na cidade de Uberlândia. O traço segue a proporção de 1 parte de cimento, 1 parte de cal hidratada ou volume de “cal líquida” sugerido pelo fabricante e 6 parcelas de areia média-fina. Foi adotado a proporção de 200ml de “cal líquida” para um saco de cimento de 50kg conforme indicação do fabricante. A Tabela 3 representa o traço utilizado convertido para massa com as devidas proporções dos materiais.

Tabela 3 – Traço padrão utilizado em volume e em massa

Traço	Volume			Massa (Kg)				A/C
	Cimento	Cal	Areia	Cimento	Cal	Areia		
						Fina	Média	
CH	1	1	6	1	0,62	4,28	4,24	1,78
CL	1	1	6	1	0,62	4,28	4,24	1,15

Fonte: Autor (2018).

A mistura das argamassas foi feita com auxílio de argamassadeira planetária com capacidade de 20 litros conforme Figura 9.

Figura 9 – Argamassa produzida em aragamassadeira no traço em volume 1:1:6



(A)

(B)

(A) Argamassadeira planetária utilizada para mistura dos materiais – (B) Argamassa CL pronta

Fonte: Autor (2018).

3.3 Ensaios Realizados

3.3.1 Argamassa no estado fresco

O seguinte tópico caracteriza de maneira básica as argamassas produzidas com a utilização de cal hidratada e “cal líquida” no estado fresco. Para esta avaliação, considerou-se apenas o índice de consistência obtido a partir do abatimento de corpos de prova tronco de cone na mesa de abatimento conforme a ABNT NBR 13276:2002.

3.3.1.1 Índice de consistência

A avaliação da consistência das argamassas foi feita em função de seu espalhamento após a aplicação de um determinado número de golpes na mesa de consistência. Depois de devidamente moldado e desformado, a argamassa em forma de tronco cônico recebeu 30 golpes exercidos pela mesa de consistência (Figura 10) conforme previsto pela ABNT NBR 13276:2002. O índice de consistência proposto pela ABNT NBR 13276:1995 é de $255\text{mm} \pm 10\text{mm}$, sendo as dosagens feitas afim de se obter argamassas com valores dentro desta faixa. O

espalhamento do material foi mensurado com o auxílio de um paquímetro com precisão de 0,05mm.

Figura 10 – Determinação do índice de consistência



(A)

(B)

(A) Argamassa modelada em tronco cônico para o ensaio – (B) Mensuração do espalhamento com paquímetro

Fonte: Autor (2018).

3.3.1.2 Densidade de massa no estado fresco

A ABNT NBR 13278:2005 define a metodologia utilizada para a obtenção da densidade de massa no estado fresco, sendo seus critérios obedecidos na execução do ensaio. Primeiramente, utilizou-se um recipiente cilíndrico de PVC com volume aproximado de 400ml para a colocação de 3 camadas submetidas a 20 golpes cada e, mais 5 golpes finais em uma última camada a ser arrasada com régua. O procedimento foi realizado apenas 1 vez para cada traço (CH e CL) e os cilindros preenchidos com argamassa foram pesados conforme Figura 11.

Figura 11 – Pesagem do recipiente cilíndrico preenchido com argamassa



Fonte: Autor (2018).

A densidade de massa é obtida aplicando-se a Equação 2, resultando em um valor para a argamassa CH e um para a CL.

$$D = \frac{M_c - M_v}{V_r} \times 1000 \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

M_c = Média da massa do recipiente cilíndrico de PVC, contendo a argamassa de ensaio, em g;

M_v = massa do recipiente cilíndrico de PVC vazio, em g;

V_r = volume do recipiente cilíndrico de PVC, em cm^3 .

3.3.2 Argamassa no estado endurecido

No estado endurecido, os dois traços de argamassa (CH e CL) foram submetidos a ensaios mecânicos para avaliação da resistência a compressão axial e tração na flexão para as idades de 24 horas, 14 dias e 28 dias.

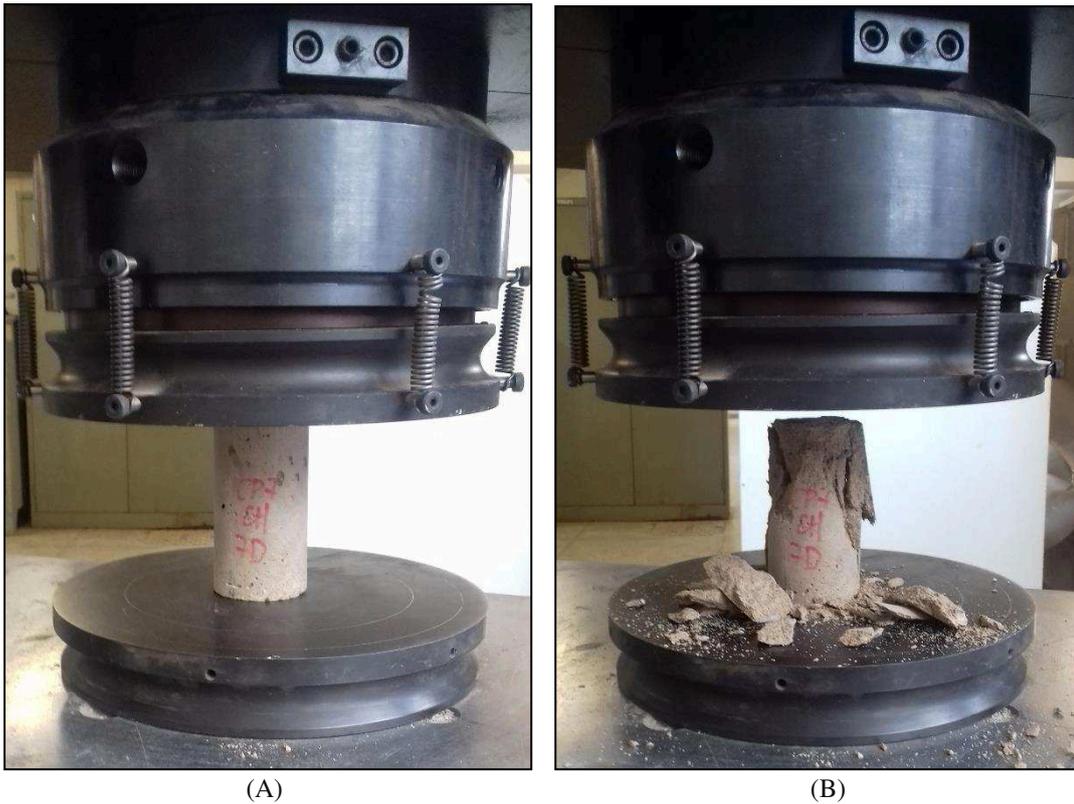
Nos painéis de argamassa, foi executado o mapeamento da fissuração, avaliado a permeabilidade através do Método do Cachimbo e realizado o ensaio de arrancamento para obtenção de valores de aderência a tração aos 28 dias.

3.3.2.1 Resistência à compressão axial

Determinou-se a resistência a compressão para os corpos de prova nas idades de 24 horas, 7 dias e 28 dias. Foram ensaiados 6 corpos de prova de dimensões 50 mm x 100 mm para cada idade, sendo 3 deles com CH e 3 com CL.

Os ensaios foram realizados conforme critérios apresentados pela ABNT NBR 13279:2005 com adequação referente a forma dos corpos de prova ensaiados, sendo estes cilíndricos ao invés dos prismáticos propostos pela norma conforme demonstrado na Figura 12.

Figura 12 – Ensaio de compressão axial



(A) Corpo de prova cilíndrico de CH a ser ensaiado aos 7 dias de idade – (B) Ruptura do corpo de prova

Fonte: Autor (2018).

3.3.2.2 Resistência à tração na flexão

A avaliação da resistência a tração foi feita seguindo os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 13279:2005. Foram ensaiados um total de 9 corpos de prova CH e 9 corpos de prova CL de dimensões 40mm x 40mm x 160mm em uma prensa da marca Instron conforme mostrado pela Figura 13.

Figura 13 – Ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Autor (2018).

A resistência a tração é obtida através da Equação 4.

$$R_f = \frac{1,5 F_f L}{40^3} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

R_f é a resistência à tração na flexão, em megapascals;

F_f é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons;

L é a distância entre os suportes, em milímetros;

3.3.3 Revestimento

3.3.3.1 Resistência de aderência à tração

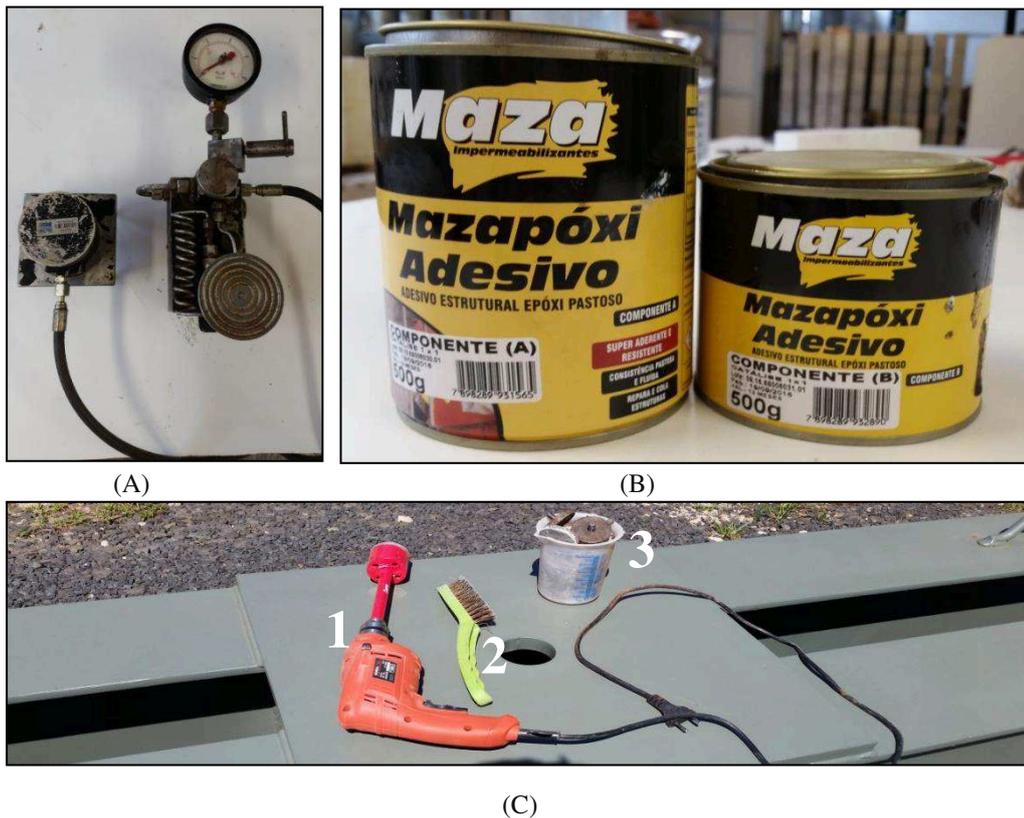
Para a determinação da resistência de aderência, foi realizado o ensaio de arrancamento nos painéis de revestimento de 50cm x 50cm e 1,5cm de espessura aos 28 dias de idade. O ensaio é adaptado aos procedimentos citados pela ABNT NBR 13276:2005, sendo extraídos apenas 5 corpos de prova por painel ao invés dos 6 propostos pela norma conforme representado pela Figura 14. Os equipamentos e materiais utilizados são expressos pela Figura 15.

Figura 14 – Pannel de argamassa CL interna com pastilhas coladas e numeradas



Fonte: Autor (2018).

Figura 15 – Aparelhagem e materiais necessários a realização do ensaio



(A) Equipamento hidráulico – (B) Adesivo estrutural epóxi – (C) 1- Furadeira com serra copo acoplada, 2- Escova de aço e 3- Pastilhas circulares.

Fonte: Autor (2018).

As etapas realizadas para execução do ensaio são as seguintes:

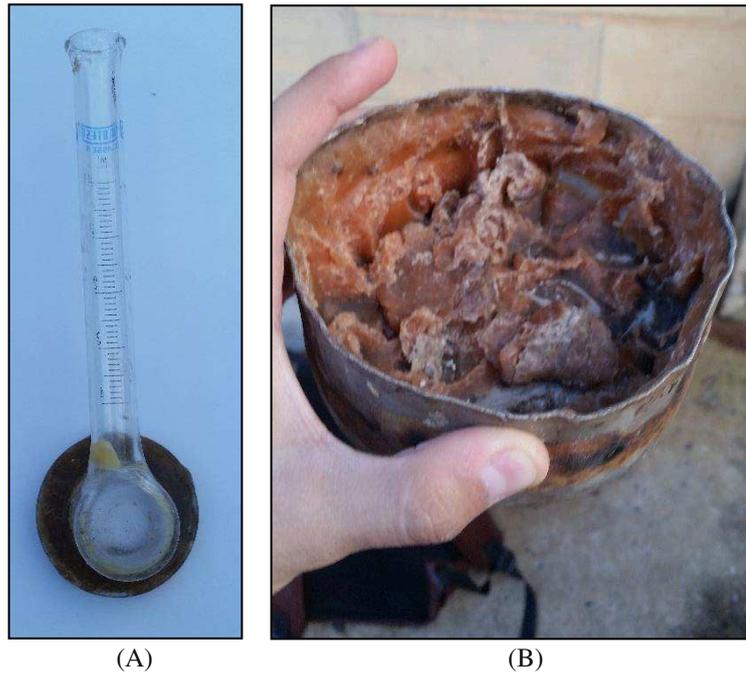
- Perfuração das placas de argamassa com auxílio de uma serra copo com 50 mm de diâmetro externo acoplada em furadeira;
- Limpeza da superfície do corpo de prova a receber a cola com escova de aço;
- Colagem das pastilhas circulares de 50mm e 15mm de espessura com adesivo estrutural epóxi envolvendo as pastilhas com tiras de papelão a fim de evitar o escorrimento da cola;
- Arrancamento dos corpos de prova (após secagem da cola) com equipamento hidráulico;
- Preenchimento dos resultados obtidos em tabela padronizada da ABNT NBR 13276:2005;

Os tabela utilizada para coletar todos os dados fornecidos pelo ensaio está apresentada no Apêndice B.

3.3.3.2 Absorção de água pelo Método do Cachimbo

Para a verificação da permeabilidade à água superficial das argamassas citadas, foi utilizado o Método do Cachimbo (POLISSENI, 1986). Trata-se de um ensaio não normatizado no Brasil que permite a quantificação da água absorvida pelo revestimento ao longo de um período de tempo específico. Para a realização do ensaio, utiliza-se um cachimbo de vidro graduado em 0,1ml a ser fixado no revestimento com massa de calafetar. O cachimbo de vidro, após devidamente fixado com massa de calafetar (sem oferecer vazamentos), deve ser preenchido cuidadosamente com água até o nível de referência zero (pressão inicial de 92mm de coluna de água). Os materiais utilizados para a execução do ensaio podem ser vistos pela Figura 16.

Figura 16 – Ensaio de absorção de água pelo Método do Cachimbo



(A) Cachimbo graduado em 0,1ml – (B) Massa de calafetar

Fonte: Autor (2018).

A redução na altura de água corresponde a vulnerabilidade do material quanto à penetração da água. O ensaio foi realizado nos 4 painéis de argamassa (CL e CH) com idade de 28 dias, fixando 1 cachimbo em cada um dos painéis (Figura 17).

Figura 17 – Ensaio de absorção de água pelo Método do Cachimbo (POLISSENI, 1986)



Fonte: Autor (2018)

Nos casos em que o ensaio indicou valores exorbitantes de absorção foi desprezado o resultado afim de garantir que erros como a má fixação ou posicionamento inadequado do cachimbo (acima de fissuras visíveis) não fossem cometidos. Foram realizadas leituras do cachimbo a cada 5 minutos até completar-se 15 minutos de ensaio ou o nível de água atingir a marca de 4,0ml, fazendo-se um total de duas leituras em cada um dos painéis.

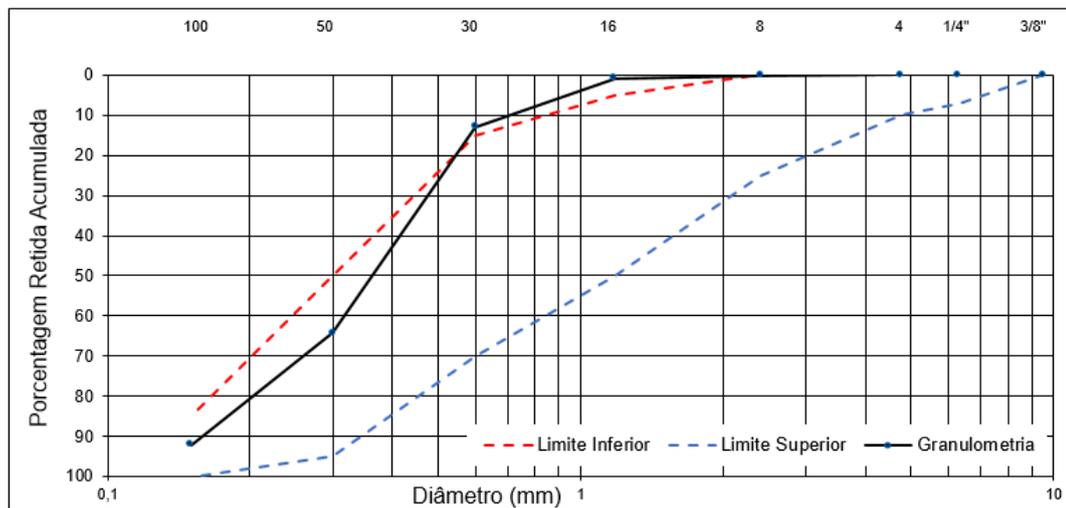
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização Física dos Materiais

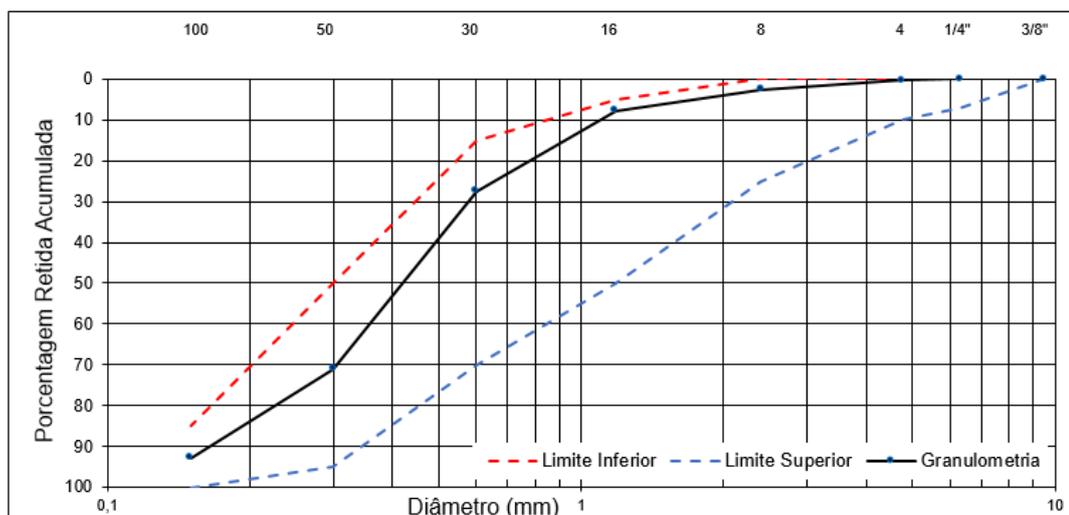
4.1.1 Granulometria

A caracterização granulométrica enquadrou as areias no intervalo do módulo de finura da zona utilizável que varia de 1,55 a 2,20. A Gráfico 1 apresenta as curvas granulométricas obtidas para as areias fina e média do laboratório partindo dos expressos pelo Apêndice A.

Gráfico 1 – Curvas granulométricas obtidas pela caracterização



(A)



(B)

(A) Curva granulométrica da areia fina – (B) Curva granulométrica da areia média.

Fonte: Autor (2018).

4.1.2 Massa específica e massa unitária

A massa específica das areias média e fina foram obtidas conforme os princípios da ABNT NBR 9779:1987, utilizando o frasco de Chapman para a avaliação do volume ocupado pela areia excluindo seus vazios. Os valores para massa específica do cimento e cal foram obtidos através do fabricante em fichas de informações de segurança dos compostos químicos do material, fazendo desnecessário a análise destes insumos.

Para a determinação da massa unitária foi utilizado a ABNT NBR NM 45:2006, valor importante para a conversão do traço volumétrico para traço em massa. Os resultados foram obtidos estão dispostos na Tabela 4 juntamente aos valores de massa específica.

Tabela 4 – Massa específica dos sólidos e massa unitária

Material	Massa Específica (kg/m³)	Massa unitária (kg/m³)
Areia fina	2639	1474
Areia média	2625	1459
Cal	2210	636
Cimento	3000	1033

Fonte: Autor (2018).

4.2 Estado Fresco

4.2.1 Ensaio de consistência

As argamassas produzidas tiveram sua consistência enquadrada na faixa de 255mm \pm 10mm conforme proposto pela norma ABNT NBR 13276:1995. Tal escolha se justifica pela trabalhabilidade oferecida pela argamassa nesta faixa de consistência e pelo fato de o controle dessa característica no estado fresco nortear a análise de desempenho no estado endurecido. Além disso, a opção por essa faixa de valores foi averiguada após a realização de testes iniciais em que as argamassas apresentaram exsudação e segregação.

O índice de consistência foi obtido pela média dos valores ensaiados, a Tabela 5 apresenta os resultados do traço em estudo.

Tabela 5 – Índice de consistência para os traços produzidos

Traço (1:1:6)	Diâmetro (mm)			Relação a/c	Índice de consistência (mm)
	Medida 1	Medida 2	Medida 3		
Cal Hidratada (CH)	264,20	258,80	254,40	1,78	259,13
Cal Líquida (CL)	257,69	250,00	258,00	1,15	255,23

Fonte: Autor (2018).

Pelos resultados obtidos, percebe-se que a utilização de “cal líquida” ofereceu valores menores para relação água/cimento na mistura. Tal resultado era esperado, já que a “cal líquida” é feita a base de resinas naturais e plastificantes que dão liga às argamassas e, portanto, oferecem maior fluidez com menos quantidade de água ao se comparar com o traço de cal hidratada.

A cal hidratada funciona como uma espécie de lubrificante na mistura, reduzindo o atrito entre os grãos de areia e aglutinando a areia ao restante dos componentes da massa. Sua ausência na argamassa CL trouxe um aspecto poroso e visualmente pouco coeso ao revestimento. Segundo GUIMARÃES et al. (2004), a “cal líquida” provoca a incorporação de vazios na argamassa que podem comprometer a atividade aglomerante do cimento e ocasionar rápido envelhecimento da massa a partir do aparecimento de trincas, fissuras, esfarelamento (pulverulência) e até mesmo provocando seu descolamento.

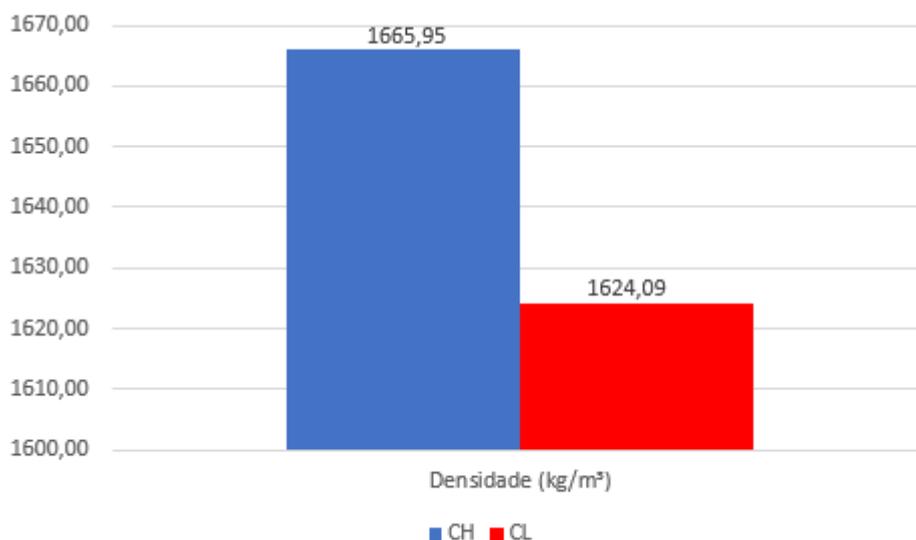
4.2.2 Densidade de massa no estado fresco

A avaliação da densidade de massa no estado fresco foi feita determinando o peso da argamassa em um determinado volume conhecido. Tal fator é inversamente proporcional ao teor de ar incorporado na mistura, quanto menor o teor de ar na argamassa, maior será a sua densidade. Os resultados obtidos podem ser vistos pela Tabela 6 e Gráfico 2, no qual se apresenta a densidade das argamassas CH e CL.

Tabela 6 – Densidade de massa no estado fresco

Traço	Mc (g)	Mv (g)	Vr (cm ³)	Densidade (kg/m ³)
CH	747,4	130,5	370,3	1665,95
CL	731,9	130,5	370,3	1624,09

Fonte: Autor (2018).

Gráfico 2 – Densidade de massa no estado fresco

Fonte: Autor (2018).

Houve uma diferença significativa de densidade entre as argamassas CH e CL. As argamassas com cal hidratada apresentam maior densidade devido a presença do aglomerante no traço padrão representar maior peso do que o volume equivalente de aditivo para a produção de um mesmo traço. Além do ponto citado, a “cal líquida” incorpora bolhas de ar quando utilizada na argamassa, resultando em pequenos pontos vazios dentro da mistura e, portanto, resultando em menor densidade ao se comparar com a argamassa de CH.

Diante dos resultados obtidos, os traços CH e CL podem ser classificados como D4 segundo a ABNT NBR 13281:2005 conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Densidade de massa no estado fresco

Classe	Densidade de massa no estado fresco kg/m ³	Método de ensaio
D1	≤ 1400	ABNT NBR 13278
D2	1200 a 1600	
D3	1400 a 1800	
D4	1600 a 2000	
D5	1800 a 2200	
D6	> 2000	

Fonte: ABNT NBR 13281:2005.

4.3 Estados Endurecido

4.3.1 Densidade de massa no estado endurecido

A densidade de massa dos corpos de prova prismáticos endurecidos com 28 dias de idade, foi feita a partir da média de massa de três corpos de prova de cada traço (CH e CL), dividindo o valor obtido por seus volumes. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 8 – Densidade de massa no estado endurecido

Traço	b (mm)	H (mm)	Comprimento (mm)	Massa (g)	Volume (cm ³)	Densidade (Kg/m ³)
CH1	41,1	40	160,4	483,00	263,7	1831,64
CH2	40,9	40,1	160,3	490,00	262,9	1863,78
CH3	40,35	40,2	161,35	486,2	261,7	1857,70
CL1	40,3	39,14	160,3	391,6	252,8	1548,76
CL2	40,9	39,85	160,15	408,4	261,0	1564,61
CL3	40	39,15	160,1	384,7	250,7	1534,40

Fonte: Autor (2018).

A diferença existente entre a densidade dos corpos de prova endurecidos CH e CL existe por conta da presença da cal hidratada no traço CH, tornando a argamassa mais densa ao se comparar com a quantidade equivalente de cal líquida no traço CL. Para a produção de 1 traço padrão de CH necessita-se de 620 g de cal hidratada, já para a produção do traço CL utiliza-se apenas 4 mL de cal líquida, correspondendo a aproximadamente 4 g do produto. O fato de a cal líquida incorporar ar a mistura também pode ter influenciado diretamente na densidade dos corpos de prova endurecidos, tomando os espaços da massa por pequenas bolhas de ar.

A ABNT NBR 13281:2005 classifica as argamassas quanto a densidade de massa aparente no estado endurecido. A partir dos resultados obtidos, a argamassa CH foi classificada como M6 e, a argamassa CL, como M4 conforme expresso pela Tabela 8.

Tabela 9 – Densidade de massa aparente no estado endurecido

Classe	Densidade de massa aparente no estado endurecido kg/m ³	Método de ensaio
M1	≤ 1200	ABNT NBR 13280
M2	1000 a 1400	
M3	1200 a 1600	
M4	1400 a 1800	
M5	1600 a 2000	
M6	> 1800	

Fonte: ABNT NBR 13281:2005.

4.3.2 Resistência à compressão axial

Nesta etapa da caracterização mecânica, foram ensaiados 3 corpos de prova em 3 diferentes idades (24 horas, 7 dias e 28 dias) para cada um dos dois traços produzidos (CH e CL), totalizando 18 corpos de prova ensaiados. O ensaio foi feito no Laboratório de Estruturas da Universidade Federal de Uberlândia e executado conforme descrição da ABNT NBR 13279:2005. Os resultados obtidos estão expressos na Tabelas 10 e Gráfico 3.

Tabela 10 – Resistência à compressão

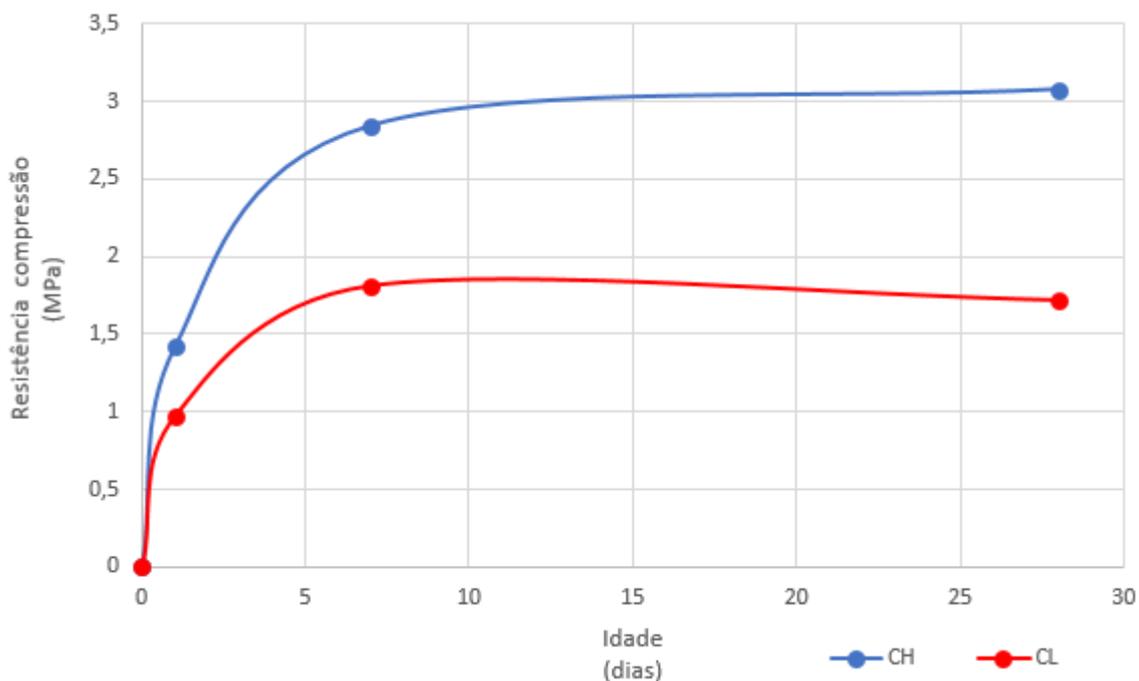
Idade	Resistência à compressão (MPa)		Média (MPa)
	CP	Valor	
24 horas	CP1 - CH	1,26	1,42
	CP2 - CH	1,58	
	CP3 - CH	1,42	
7 dias	CP4 - CH	2,36	2,84
	CP5 - CH	3,04	
	CP6 - CH	3,13	
28 dias	CP7 - CH	3,1	3,08
	CP8 - CH	2,93	
	CP9 - CH	3,2	
24 horas	CP10 - CL	1,04	0,97
	CP11 - CL	1,19	
	CP12 - CL	0,68	
7 dias	CP13 - CL	1,77	1,81
	CP14 - CL	1,91	
	CP15 - CL	1,75	
28 dias	CP16 - CL	1,58	1,72
	CP17 - CL	1,96	
	CP18 - CL	1,61	

(A)

(B)

(A) Resistência à compressão dos corpos de prova CH – (B) Resistência à compressão dos corpos de prova CL

Fonte: Autor (2018).

Gráfico 3 – Resistência à compressão axial dos corpos de prova CH e CL

Fonte: Autor (2018).

Nota-se que o traço CH obteve melhores resultados quanto a resistência à compressão ao comparar com o traço CL. Em estudo similar, Lara, Salvador e Garcia (2017), estabeleceram comparativo entre a resistência à compressão de argamassas de revestimento à base de cal hidratada e aditivo plastificante líquido. Os resultados obtidos por esse estudo expressam uma pequena variação de valores de suporte, no qual o traço com cal hidratada apresentou maior capacidade.

FORTI (2017), em estudo para avaliar a influência da cal hidratada nas características da argamassa de revestimento, verificou um crescente aumento na resistência à compressão na presença de porcentagens maiores de cal hidratada em traço padrão. No entanto, para um acréscimo de 20% de cal no traço, percebeu-se uma queda na resistência que, segundo FORTI (2017), é devido a argamassa possuir um volume de cal ideal a ser utilizado.

Os resultados obtidos foram enquadrados nas diferentes classes de resistência aos 28 dias propostas pela ABNT NBR 13281:2005, conforme mostrado na Tabela 11. O traço CH foi classificado como pertencente a classe P3 e o traço CL classificado como classe P2.

Tabela 11 – Resistência a compressão

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	5,5 a 9,0	
P6	> 8,0	

Fonte: ABNT NBR 13281:2005.

4.3.3 Resistência à tração na flexão

A quantidade de corpos de prova para os ensaios de resistência à tração na flexão foi feita de maneira similar aos de compressão axial, sendo produzidos um total de 18 corpos de prova prismáticos, sendo 9 corpos de prova CH e 9 corpos de prova CL a serem ensaiados nas idades de 24 horas, 7 dias e 28 dias. Os critérios utilizados para a realização desse ensaio obedecem ao que é estabelecido pela ABNT NBR 13279:2005 e seus resultados podem ser vistos pela Tabela 12 e Gráfico 4.

Tabela 12 – Resistência à tração

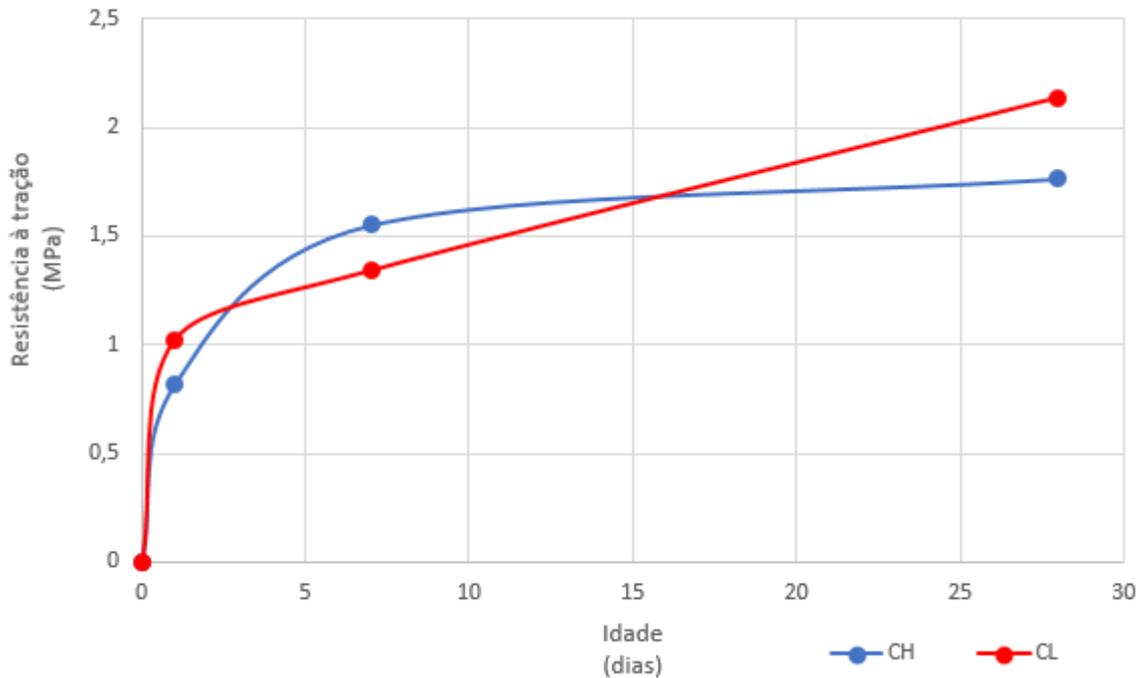
Idade	Resistência à tração (MPa)		Média (MPa)
	CP	Valor	
24 horas	CP1 - CH	0,78	0,82
	CP2 - CH	0,79	
	CP3 - CH	0,88	
7 dias	CP4 - CH	1,45	1,55
	CP5 - CH	1,63	
	CP6 - CH	1,57	
28 dias	CP7 - CH	1,57	1,76
	CP8 - CH	1,68	
	CP9 - CH	2,04	
24 horas	CP10 - CL	1,02	1,02
	CP11 - CL	0,98	
	CP12 - CL	1,07	
7 dias	CP13 - CL	1,29	1,34
	CP14 - CL	1,36	
	CP15 - CL	1,37	
28 dias	CP16 - CL	2,2	2,14
	CP17 - CL	2,04	
	CP18 - CL	2,17	

(A)

(B)

(A) Resistência à tração dos corpos de prova CH – (B) Resistência à tração dos corpos de prova CL

Fonte: Autor (2018).

Gráfico 4 – Resistência à tração na flexão dos corpos de prova CH e CL

Fonte: Autor (2018).

Os resultados obtidos pelo ensaio demonstram que o traço CL obteve resistência a tração em constante crescimento acentuado, tornando seus valores superiores ao do traço CH em idade aproximada de 15 dias. Tal comportamento é contrário ao observado por OLIVEIRA e MENEZES (2015) em estudo sob traço semelhante ao analisado (1:1:6 de cimento:cal ou aditivo plastificante:areia). Nele obtiveram-se valores crescentes para o traço com cal hidratada com idades mais avançadas e resultados estáveis para argamassa com aditivo plastificante.

As argamassas CL produzidas apresentaram aspecto pouco coeso em seu estado fresco, o que segundo RAGO e CINCOTTO (1999) se reflete na resistência a tração no estado endurecido, tendo um significado de tensão e podendo ser medido por meio de ensaio de tração pura.

A ABNT NBR 13281:2005 classifica a resistência à tração na flexão das argamassas a partir das faixas de valores expressos pela Tabela 13, sendo as argamassas ensaiadas classificadas como R3 para o traço CH e, R4 para o traço CL.

Tabela 13 – Resistência à tração na flexão

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	

Fonte: ABNT NBR 13281:2005.

4.3.4 Resistência de aderência à tração

Os painéis de CH e CL, tanto externo quanto internos, foram produzidos em massa única de 1,5 cm de espessura sobre substrato de concreto chapiscado e submetidos ao ensaio de arrancamento na idade de 28 dias. A ABNT NBR 13749:2013 prevê requisitos mínimos a serem atendidos para resistência de aderência a tração conforme Tabela 14.

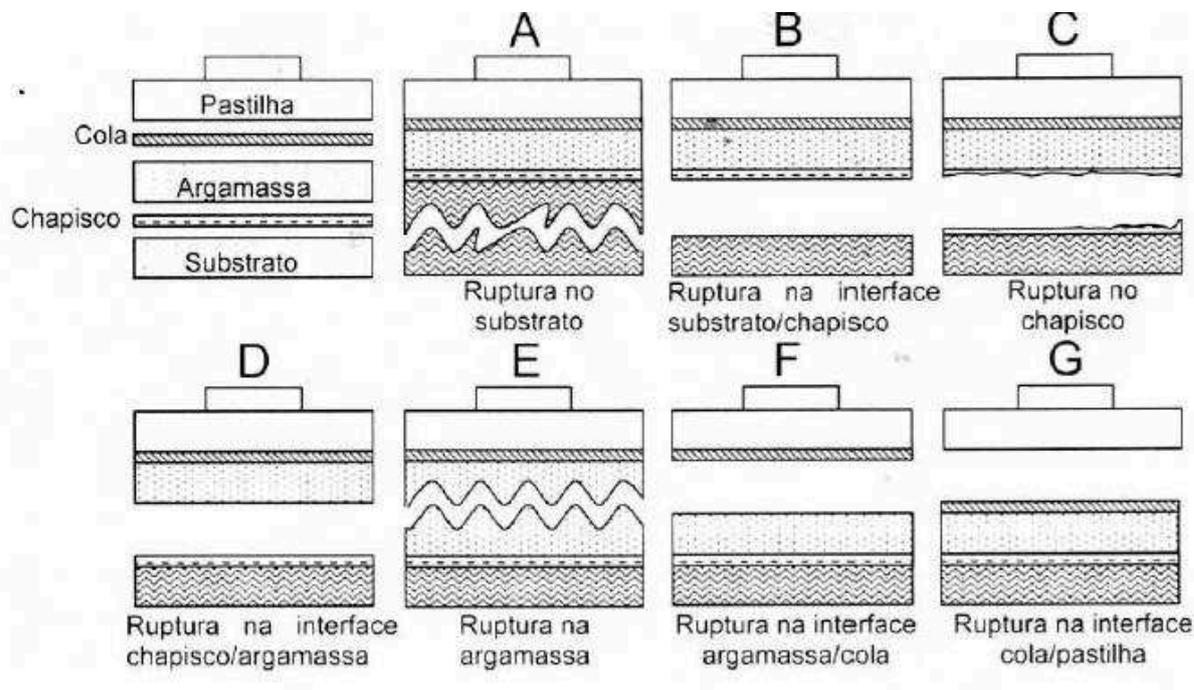
Tabela 14 – Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única

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

Fonte: ABNT NBR 13749:2013.

Os resultados de resistência a aderência (Ra) obtidos pelo ensaio podem ser vistos na Tabela 15 e, as abreviações utilizadas para retratar o local de ruptura, pela Figura 18.

Figura 18– Formas de ruptura no ensaio de resistência à tração para sistema de revestimento com chapisco



Fonte: ABNT NBR 13528:2010.

Tabela 15 – Resultados experimentais do ensaio de arrancamento

Corpos de prova	Face externa da parede			Face interna da parede		
	Ra (MPa)	Local de ruptura (%)	Umidade média (%)	Ra (MPa)	Local de ruptura (%)	Umidade média (%)
CH1	0,11	B(30%); E(70%)	5,89	0,32	E(100%)	8,7
CH2	0,23	B(20%); E(80%)		0,24	E(80%); F(20%)	
CH3	0,21	B(85%); E(15%)		0,20	E(100%)	
CH4	0,20	E(100%)		0,27	E(100%)	
CH5	0,21	B(30%); C(5%); E(65%)		0,29	D(30%); E(70%)	
CL1	0,13	B(35%); E(65%)	6,1	0,08	B(10%); D(90%)	9,13
CL2	0,19	B(80%); E(20%)		0,25	D(70%); E(30%)	
CL3	0,10	B(85%); E(15%)		0,21	E(100%)	
CL4	0,15	B(60%); C(5%); E(35%)		0,20	D(20%); E(80%)	
CL5	0,12	B(60%); C(5%); E(35%)		0,21	E(100%)	

Fonte: Autor (2018).

O presente estudo constatou variações enquadradas como medianas ou neutras para os índices do coeficiente de variação, garantindo ao ensaio pouca dispersão entre os valores obtidos (Tabela 16). Os corpos de prova CH apresentaram razoável desempenho tanto na face interna, quanto na face externa da parede, atingindo valores mínimos aceitáveis para paredes internas

previstos pela ABNT NBR 13749:2013. Diferentemente dos valores obtidos pelos corpos de prova CH, os corpos de prova CL tiveram esse resultado atingido apenas na face interna da parede.

Tabela 16 – Coeficiente de variação conforme posição do painel

Coeficiente de Variação (%)		
Posicionamento do painel	Tipo de argamassa	
	CH	CL
Interno	25%	26%
Externo	18%	33%

Fonte: Autor (2018).

As argamassas ensaiadas obtiveram média de resultados de resistência a aderência (R_a) de 0,23MPa para argamassas CH e 0,16MPa para argamassas CL. A ABNT NBR 13281:2005, classifica os resultados obtidos como A2 para argamassas CH e A1 para argamassas CL conforme Tabela 17.

Tabela 17 – Resistência potencial de aderência à tração

Classe	Resistência potencial de aderência a tração MPa	Método de ensaio
A1	< 0,20	ABNT NBR 15258
A2	≥ 0,20	
A3	≥ 0,30	

Fonte: Autor (2018).

Os resultados na face interna foram maiores para as duas argamassas ensaiadas, tal fato pode ser explicado pela grande insolação presente nos primeiros dias de cura dos painéis de argamassa, atingindo temperaturas de até 33°C. As argamassas CH e CL posicionadas na parte externa receberam insolação durante todo o período da manhã e tarde, acelerando a secagem da água responsável por promover a hidratação do cimento e ocasionando o aparecimento de fissuras devido a retração.

SILVA et al. (2009), em trabalho para investigar a influência da cura no desempenho de chapiscos produzidos com Cimento Portland de Alto-forno, reproduziram o ensaio de resistência de aderência a tração e obtiveram valores médios de resistência de aderência para

revestimento com idade de 28 dias em condições de cura úmida e sem ela. O estudo reforça a hipótese citada, acrescentando a necessidade de cura úmida do chapisco em condições de muita insolação a partir dos valores obtidos na Tabela 18. A cura úmida não foi realizada após aplicação do chapisco, o que pode ter comprometido a resistência de aderência à tração diante dos valores obtidos nas interfaces C e D.

Tabela 18 – Influência da cura no desempenho de chapiscos produzidos com Cimento Portland de Alto-forno

Condições de cura	Idade do revestimento	Resistência de aderência média (MPa)	Desvio padrão	CV (%)	Ruptura predominante
Com cura úmida	28 dias	0,34	0,1	29,01	Chapisco/argamassa
Sem cura úmida		0,29	0,11	38,27	Chapisco/argamassa
Com cura úmida	125 dias	0,36	0,05	14,52	Chapisco/argamassa
Sem cura úmida		0,21	0,06	28,67	Chapisco/argamassa

Fonte: Silva, Gomes e Santos (2009).

4.3.5 Absorção de água pelo Método do Cachimbo

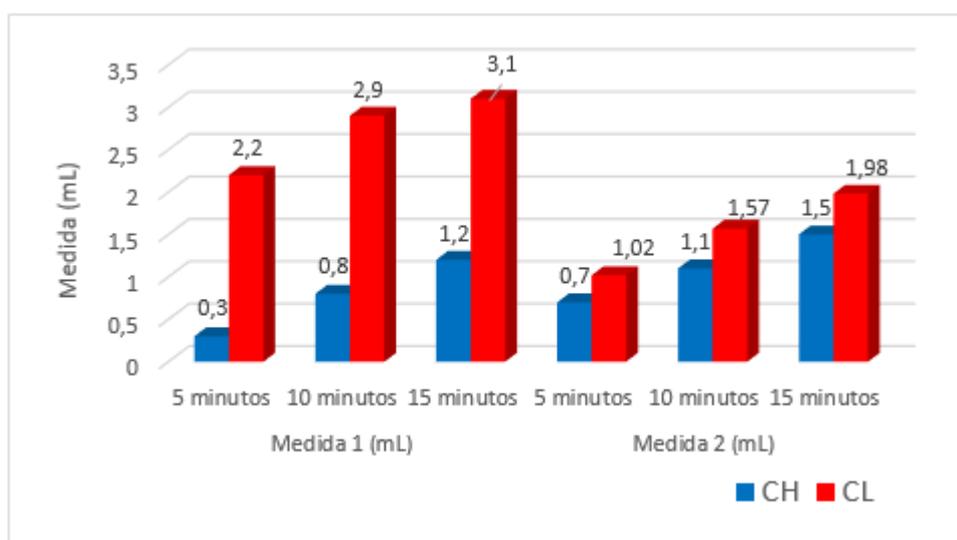
O ensaio de absorção de água pelo Método do Cachimbo (POLISSENI, 1986) foi realizado nos 4 painéis de argamassa, aonde se definiu 2 pontos aleatórios e distintos em cada painel para a fixação do cachimbo (dispositivo de vidro graduado em décimos de ml). O ensaio visa a obtenção de valores que mensurem a permeabilidade dos revestimentos argamassados a partir do traço padrão, com a utilização de cal hidratada e cal líquida na composição das argamassas. Segundo SILVA (2006), o número de fatores que podem influenciar esse tipo de ensaio é vasto, aspectos como o aumento da relação água/cimento acarretariam ao aumento da água de emassamento (visando a obtenção de um índice de consistência desejável), que por sua vez proporcionariam uma redução na quantidade de argamassa na colher do pedreiro, interferindo na energia de lançamento e, assim, influenciando diretamente ao resultado obtido no ensaio de permeabilidade e absorção de água.

A Tabela 19 e o Gráfico 5, apresentam os resultados obtidos na avaliação de permeabilidade pelo Método do Cachimbo (POLISSENI, 1986) na idade de 28 dias.

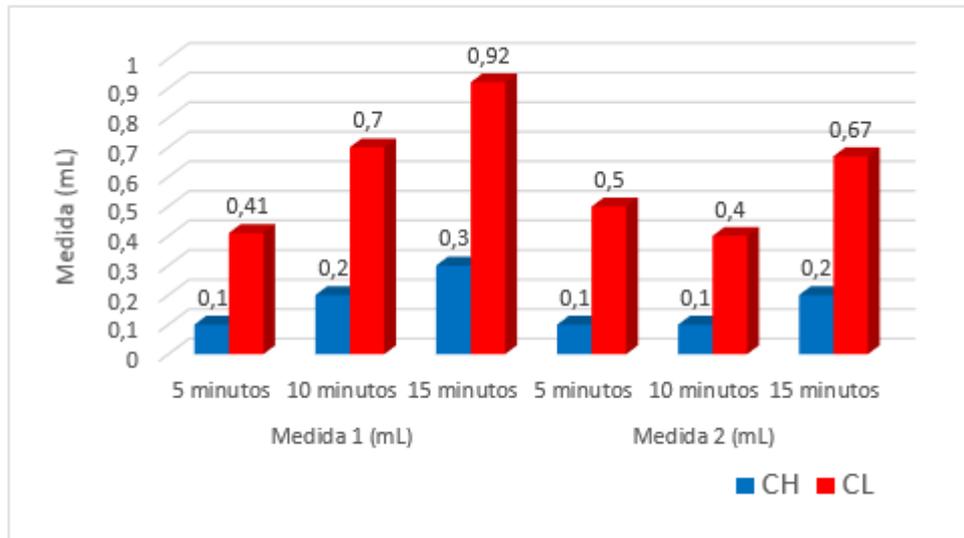
Tabela 19 – Avaliação de permeabilidade nas faces interna e externa da parede

Painel	Face externa da parede					
	Medida 1 (mL)			Medida 2 (mL)		
	5 minutos	10 minutos	15 minutos	5 minutos	10 minutos	15 minutos
CH	0,3	0,8	1,2	0,7	1,1	1,5
CL	2,2	2,9	3,1	1,02	1,57	1,98
Painel	Face interna da parede					
	Medida 1 (mL)			Medida 2 (mL)		
	5 minutos	10 minutos	15 minutos	5 minutos	10 minutos	15 minutos
CH	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2
CL	0,41	0,7	0,92	0,5	0,4	0,67

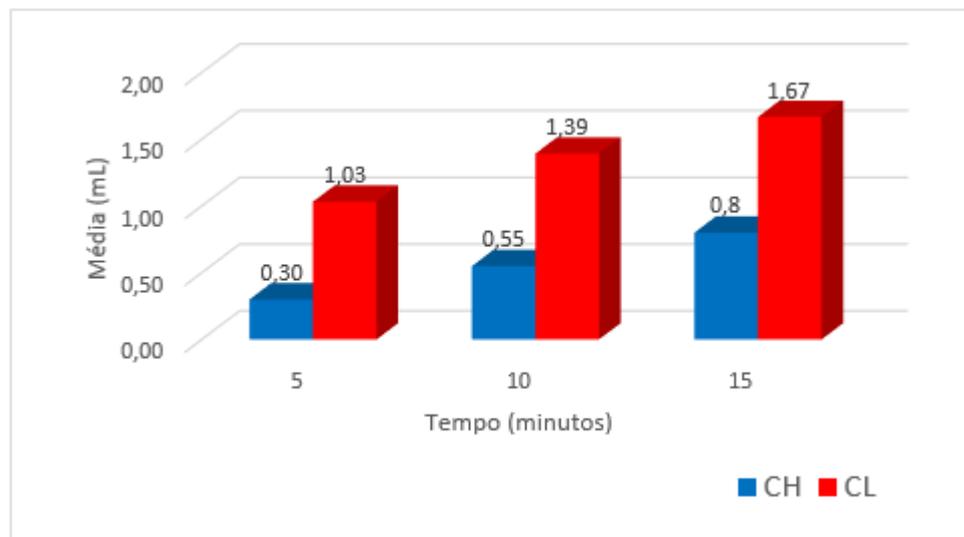
Fonte: Autor (2018).

Gráfico 3 – Distribuição das medidas 1 e 2 ao longo do tempo

(A)



(B)



(C)

(A) Resultados das duas mediadas feitas na face externa da parede – (B) Resultado das duas medidas feitas na face interna da parede – (C) Média entre os valores obtidos para CH e CL.

Fonte: Autor (2018).

Os painéis de CL foram mais absorptivos do que os painéis CH para todas as medições. Observa-se que os resultados obtidos pelos painéis de face externa foram de magnitude superior ao dos painéis de face interna, sendo este comportamento compatível ao esperado. Os painéis na face externa da parede ensaiada, por receber maior insolação, se mantiveram livres de umidade interna por períodos maiores de tempo; oposto ao que ocorreu com os painéis na face interna. Esta hipótese deve ser levada em consideração por conta do grande volume de chuva presente em dias anteriores ao ensaio, o que não confere aos resultados a real capacidade absorptiva das argamassas produzidas, mas possibilita estabelecer um comparativo entre os painéis CH e CL.

4.3.6 Patologias observadas

Ao longo de todo o período de estudo direcionado aos painéis de argamassa, foram observadas apenas patologias advindas do fenômeno de retração. As dilatações e contrações dos revestimentos em substratos rígidos submetidos à ação climática, resultaram em esforços de tração e consequente fissuração (LIMA, 2008).

Fissuração

Foi observado o surgimento de fissuras logo na primeira hora após a aplicação da argamassa nos painéis, essa fissuração plástica ocorreu apenas no painel CH de face externa da parede, conforme indicado em vermelho pela Figura 19.

Figura 19 – Fissuras observadas no painel CH de face externa após 1 hora de aplicação da argamassa

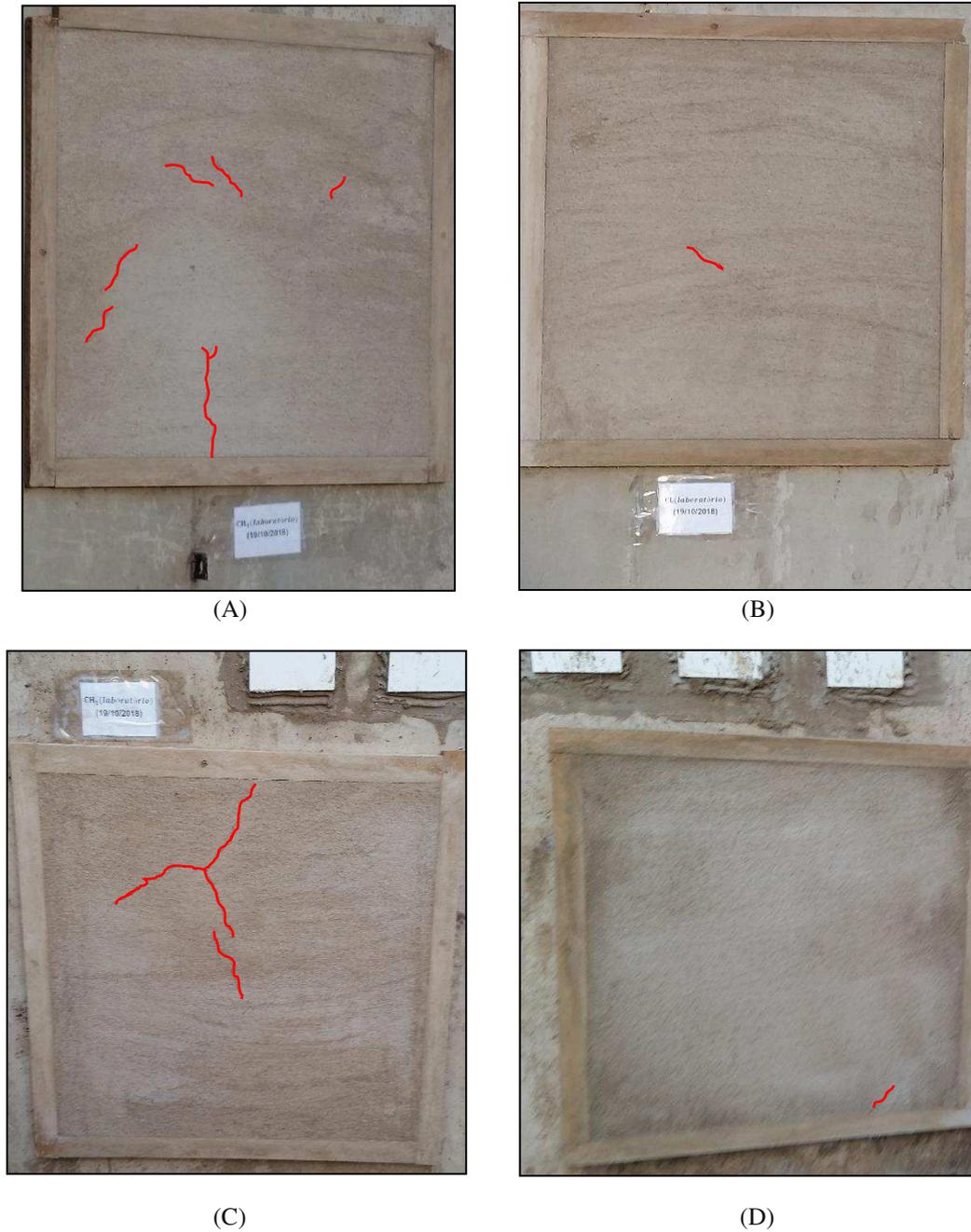


Fonte: Autor (2018).

Outros registros de fissuras só foram feitos aos 28 dias, quando todos os painéis de argamassa apresentaram fissuração. Os painéis CL se mostraram menos suscetíveis a fissuração, com

fissuras praticamente imperceptíveis. Já os painéis CH apresentaram algumas fissurações conforme indicado em vermelho pela Figura 20.

Figura 20 – Fissuras observadas nos painéis aos 28 dias de idade



(A) Fissuras no painel de CH na face externa da parede – (B) Fissuras no painel de CL na face externa da parede
 – (C) Fissuras no painel de CH na face interna da parede – (D) Fissuras no painel de CL na face interna da
 parede

Fonte: Autor (2018).

O bom desempenho dos painéis CL em relação aos painéis produzidos com cal tradicional pode ser devido a “cal líquida” não necessitar de água para se hidratar e, por consequência, ter sofrido variações menores de retração por secagem do que a os painéis CH.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a realização do presente estudo, foram empregados maior parte dos métodos de ensaio sugeridos para classificação de argamassas proposto pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Tais ensaios possibilitaram a obtenção satisfatória de resultados para avaliação da utilização de “cal líquida” em traço padrão de argamassa na cidade de Uberlândia-MG. Os ensaios foram realizados para o traço padrão 1:1:6 (cimento:cal:areia), distinguindo-se apenas pela utilização de cal hidratada; no traço nomeado como CH e, utilização de “cal líquida”; pelo traço nomeado como CL. A partir dos resultados obtidos, foi possível classificar as argamassas desse estudo conforme a ABNT NBR 13281:2005 em:

- Traço com cal hidratada (CH): P3; M6; R3; D4; A2;
- Traço com “cal líquida” (CL): P2; M4; R4; D4; A1.

No estado fresco, foi fixada a relação água/cimento para espalhamento de $255\text{mm} \pm 10\text{mm}$ como parâmetro de observação às características do estado endurecido. As argamassas CL obtiveram consistência enquadrada a essa faixa de valores com 55% de água a menos do que foi utilizado nas argamassas CH. A redução da quantidade de água de amassamento acarretou em suposta melhoria no desempenho da argamassa CL quanto a fissuração observada nos painéis aplicados em substrato de concreto com 28 dias de idade.

Os ensaios de densidade no estado fresco e endurecido resultaram em valores inferiores para as argamassas CL, o que infere a uma possível existência de ar incorporado a mistura. Essa suposição só pode ser confirmada pela avaliação do ar incorporado na mistura com “cal líquida” (critério não avaliado nesse estudo), servindo de sugestão aos interessados em desempenharem estudos posteriores.

Quanto aos resultados da caracterização mecânica, o traço CH obteve desempenho superior em praticamente todos os ensaios realizados, salvo a resistência à tração na flexão, em que a argamassa CL obteve resultados superiores e resistência crescente após idade de 15 dias (comportamento contrário ao esperado).

Apesar de apresentar maior número de fissuras visíveis aos 28 dias de idade, a argamassa CH obteve resultados superiores em grande parte dos ensaios realizados. O bom desempenho do traço CH em ensaios como de aderência à tração e avaliação da permeabilidade pelo Método do Cachimbo, indicam boa duração ao revestimento quanto a essas características. No entanto, o contraditório comportamento do traço CL quanto ao aparecimento de fissuras, também pode indicar um bom desempenho da mistura, sendo necessário estudos com maiores detalhes de

características físico/química da “cal líquida” para validação das hipóteses sugeridas pelo presente estudo.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7810: Agregado em estado compactado seco – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1983.
- _____. NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1987.
- _____. NBR 11578: Cimento Portland composto - Especificação. Rio de Janeiro, 1991.
- _____. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência padrão – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.
- _____. NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 1996.
- _____. NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.
- _____. NBR 7200: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.
- _____. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002.
- _____. NBR 7175: Cal hidratada para argamassas - Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- _____. NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- _____. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15575: Desempenho de edificações habitacionais. Rio de Janeiro, 2013.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. Manual de revestimentos de argamassa. São Paulo, 2002 Disponível em:

<<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf>>.

Acesso em: 28 out. 2018.

BASTOS, P. K. X.; DETRICHE, C.; BALAYSSAC, J.; CINCOTTO, M. A. Método de ensaio para medida da retração de argamassas de revestimento no estado fresco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, IV., 2001, Brasília. Anais... Brasília: ANTAC, 2001. p. 130-143.

BAUER, Elton (Ed.). Revestimentos de argamassa: Características e peculiaridades. Brasília: LEM - UnB / Sinduscon-DF, 2005.

CANDIA, M. C. Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998, p. 198.

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

CASCUDO, O.; CARASEK, H.; CARVALHO, A. Controle de argamassas industrializadas em obra por meio do método de penetração do cone. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI., 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 80-94.

CAVALHEIRO, Odilon Pâncaro. Argamassa de assentamento: Receita, dosagem ou adequação de traço?. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. Goiânia: Escola de Engenharia Civil - UFG, 1995. p. 134 - 142. Disponível em: <<http://gtargamassas.org.br/eventos/file/11>>. Acesso em: 16 nov. 2018.

[24] 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. Boletim Técnico n. 68.

FORTI, Eduardo Zambiasi. Influência da cal hidratada nas características da argamassa de revestimento realizada em obra, Trabalho de Conclusão de Curso, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário UNIVATES de Lajeado, Rio Grande do Sul, 2017. Disponível em:

<<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1645/1/2017EduardoZambiasiForti.PDF>>.

Acesso em: 13 out. 2018.

GUIMARÃES, José Epitácio Passos; GOMES, Rubens Donizeti; SEABRA, Mauro Adamo. Guia das argamassas nas construções, Associação Brasileira dos Produtores de Cal – 8ª edição, 2004. p. 38.

LIMA, Kamila Bressa de. Avaliação da permeabilidade em revestimentos argamassados: patologias mais frequentes e soluções, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de São Carlos, SP, 2008.

OLIVEIRA, Douglas Ribeiro; MENEZES, Lorrany Guimarães. Avaliação de desempenho de argamassas de revestimento em alvenarias com substituição da cal por materiais plastificantes inertes, Pesquisa de Iniciação Científica, Centro Universitário de Patos de Minas, MG, 2015.

OLIVEIRA, Marilda Barra de; AGOPYAN, Vahan. Verificação de algumas propriedades de argamassas com saibro da região de Uberlândia para assentamento de tijolos cerâmicos. São Paulo: EPUSP, 1992. 40 f. - (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/73).

PEREIRA, C. H. A. F. Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa. 2007. 195p. Tese (Doutorado).

Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

POLISSENI, A. E. – Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimentos de parede – Método do cachimbo. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola de Engenharia, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 1986.

QUARCIONI, Valdecir Angelo; CINCOTTO, Maria Alba. Influência da cal em propriedades mecânicas de argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSA, 6, 2005, Florianópolis e INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, 1, 2005, Florianópolis. Brasil - Florianópolis, SC. 2005. p. 233-250.

RAGO, Fabíola; CINCOTTO, Maria Alba. A reologia da pasta de cimento e a influência da cal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. Goiânia: Escola de Engenharia Civil - UFG, 1995. p. 25 - 32. Disponível em: <<http://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/2-a-reologia-da-casca-de-cimento-e-a-influencia-da-cal>>. Acesso em: 21 out. 2018.

ROSELLO, M. T. V. Morteros de cemento para albanileria. Madrid: Instituto Eduardo Torroja, 1976. p. 55.

SALVADOR, C., LARA, G., & GARCIA, R. (2018). Análise comparativa de resistência à compressão entre argamassas de revestimento à base de cal hidratada e aditivo plastificante líquido. Revista FUNEC Científica - Multidisciplinar – ISSN 2318-5287, 6(8), 180-197. Disponível em: <<https://doi.org/10.24980/rfcm.v6i8.2410>>. Acesso em: 22 nov. 2018.

SANTOS, Heraldo Barbosa dos. Ensaio de aderência das argamassas de revestimento. 2008. 50 f. Monografia (Especialização) - Curso de Construção Civil, Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Monografia_Heraldo_Barbosa.pdf>. Acesso em: 25 set. 2018.

SILVA, Narciso Gonçalves. Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária. 2006. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná.

SILVA, Vanessa Silveira; GOMES, Adailton de Oliveira; SANTOS, Suzan Adriana. Influência do processo de cura no desempenho das argamassas de chapisco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 8, Curitiba, 2009. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/2/28/TC034_Argamassa_de_chapisco.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2018.

YAZIGI, Walid. A Técnica de Edificar - 10ª Ed. PINI, 2009. p. 490.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Resultados da análise granulométrica para areia fina e média.

Peneira Série ABNT		1ª determinação			2ª determinação			Retida Média %	Módulo de Finura	Faixa Areia Fina	
#	mm	Retida g	Retida %	Acumulada %	Retida g	Retida %	Acumulada %				
3/8"	9,52	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	
1/4"	6,30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	7	
4	4,76	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	10	
8	2,40	1,1	0,1	0,1	0,8	0,1	0,1	0,1	0	25	
16	1,18	7,3	0,7	0,8	7,0	0,7	0,8	0,8	5	50	
30	0,60	119,5	12,0	12,8	122,3	12,2	13,0	12,9	15	70	
50	0,30	512,7	51,4	64,2	513,8	51,4	64,4	64,3	50	95	
100	0,150	277,9	27,9	92,1	278,7	27,9	92,3	92,2	85	100	
Fundo	< 0,075	78,8	7,9	100,0	77,1	7,7	100,0	100,0			
Amostra Total		997,30	100	100	999,70	100	100	100	1,70		
MÓDULO DE FINURA		Módulo Finura		1,70	Módulo Finura		1,71	Módulo Finura Médio		1,70	

Módulo Finura (NBR 7217)	1,7
Diâmetro Máximo (mm)	0,60

Peneira Série ABNT		1ª determinação			2ª determinação			Retida Média %	Módulo de Finura	Faixa Areia Média	
#	mm	Retida g	Retida %	Acumulada %	Retida g	Retida %	Acumulada %				
3/8"	9,52	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	
1/4"	6,30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	7	
4	4,76	2,0	0,2	0,2	1,8	0,2	0,2	0,2	0	10	
8	2,40	24,4	2,4	2,6	22,6	2,3	2,4	2,5	0	25	
16	1,18	52,1	5,2	7,9	51,1	5,1	7,6	7,7	5	50	
30	0,60	196,0	19,7	27,6	197,8	19,8	27,4	27,5	15	70	
50	0,30	433,0	43,5	71,0	437,2	43,8	71,2	71,1	50	95	
100	0,150	217,4	21,8	92,8	215,3	21,6	92,8	92,8	85	100	
Fundo	< 0,075	71,4	7,2	100,0	72,1	7,2	100,0	100,0			
Amostra Total		996,30	100	100	997,90	100	100	100	2,02		
MÓDULO DE FINURA		Módulo Finura		2,02	Módulo Finura		2,02	Módulo Finura Médio		2,02	

Módulo Finura (NBR 7217)	2,0
Diâmetro Máximo (mm)	1,18

APÊNDICE B – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração.

Parede externa								
Corpo de prova					Pressão de ruptura	Área do embolo (cm²)	Carga de Ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)				
CH1	45,5	44,8	45,15	1601,05	1,5	11,642	171,306	0,11
CH2	44,9	44,5	44,70	1569,30	3,2	11,642	365,452	0,23
CH3	45,1	45,3	45,20	1604,60	2,9	11,642	331,191	0,21
CH4	45	44,7	44,85	1579,85	2,8	11,642	319,770	0,20
CH5	45,3	45,3	45,30	1611,71	2,9	11,642	331,191	0,21
CL1	44	46,5	45,25	1608,15	1,9	11,642	216,987	0,13
CL2	45	44,9	44,95	1586,90	2,6	11,642	296,930	0,19
CL3	44,6	44,5	44,55	1558,78	1,3	11,642	148,465	0,10
CL4	44,5	44,5	44,50	1555,28	2,1	11,642	239,828	0,15
CL5	44,9	44,2	44,55	1558,78	1,59	11,642	181,584	0,12

Parede interna								
Corpo de prova					Pressão de ruptura	Área do embolo (cm²)	Carga de Ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)				
CH1	45	45,1	45,05	1593,97	4,5	11,642	513,917	0,32
CH2	44,9	45,2	45,05	1593,97	3,4	11,642	388,293	0,24
CH3	44,9	44,7	44,80	1576,33	2,75	11,642	314,060	0,20
CH4	45,1	44,8	44,95	1586,90	3,75	11,642	428,264	0,27
CH5	44,5	44,8	44,65	1565,79	4	11,642	456,815	0,29
CL1	45,3	45,1	45,20	1604,60	1,15	11,642	131,334	0,08
CL2	45,2	45	45,10	1597,51	3,5	11,642	399,713	0,25
CL3	45,3	45,1	45,20	1604,60	3	11,642	342,611	0,21
CL4	45,2	45,3	45,25	1608,15	2,8	11,642	319,770	0,20
CL5	45,2	45	45,10	1597,51	2,9	11,642	331,191	0,21