

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MICHELLE KURKOWSKI**

**REVESTIMENTOS À BASE DE CAL:**  
**Levantamento da Técnica Construtiva e Avaliação dos Parâmetros**  
**Relacionados com a Proliferação de Microrganismos**

**São Leopoldo**  
**2019**

MICHELLE KURKOWSKI

**REVESTIMENTOS À BASE DE CAL:**

**Levantamento da Técnica Construtiva e Avaliação dos Parâmetros  
Relacionados com a Proliferação de Microrganismos**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de Graduado em  
Engenharia Civil, pelo Curso de  
Engenharia Civil da Universidade do Vale  
do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientadora: Profa. Dra. Dóris Zechmeister Bragança Weinmann

São Leopoldo

2019

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, irmã e namorado, pelo incondicional apoio.

À Dienifer Medinger, melhor amiga, pelas motivações e incentivos.

À minha orientadora, Profa. Dra. Dóris Zechmeister Bragança Weinmann, pela incansável ajuda, atenção e orientação ao longo da pesquisa.

Ao professor Dr. Claudio de Souza Kazmierczak, por ter auxiliado desde o início e por ter compartilhado tanto de seus conhecimentos.

Às pesquisadoras do NORIE, Fernanda Lamego Guerra e Caroline Giordani, as quais disponibilizaram tempo e dedicação, sou eternamente grata.

Ao pessoal do Laboratório de Materiais de Construção, da UNISINOS, pelo auxílio durante o programa experimental.

À empresa Hidracal pelo fornecimento de materiais.

“Esforçar-se para formação do caráter;  
fidelidade para com o verdadeiro caminho da razão;  
criar o intuito de esforço; respeitar acima de tudo.”

Karatê Shotokan

## RESUMO

Os revestimentos à base de cal, utilizados como camada de acabamento no sistema de vedação vertical, conferem proteção e estética para as edificações. Sendo esta uma técnica construtiva amplamente utilizada desde os primórdios, atualmente encontra-se seu principal uso em obras de restauro de patrimônios histórico-culturais. Entretanto, algumas construtoras do Sul do Brasil, na região do Vale do Rio dos Sinos, optam pela sua utilização, substituindo o uso da massa corrida, por ser um sistema economicamente mais viável, apresentar menos problemas relacionados à umidade e à proliferação de microrganismos e ainda conferir redução no consumo de tinta, visto seu acabamento superficial liso e com aspecto marmorizado. De acordo com o levantamento desta técnica construtiva, através de entrevistas com mão de obra, debate com especialistas e o estudo de caso de uma obra de restauro, definiu-se avaliar dois parâmetros relacionados com a proliferação de microrganismos, sendo estes, a rugosidade superficial e o pH. Para isso, determinaram-se quatro traços: argamassa de cal virgem e areia (1:1), representativa ao traço comumente utilizado em obra, argamassa de cal virgem, areia e cimento branco (1:1:0,035), argamassa de calfino industrializada e massa corrida à base de PVA. O primeiro traço apresentou a menor rugosidade superficial, menor pH e maior índice de consistência. A argamassa de cal com adição de cimento branco apresentou o maior pH, e rugosidade e índice de consistência intermediários. O calfino industrializado apresentou valores de pH, rugosidade e índice de consistência aproximados ao traço 1. Por último a massa corrida, apresentou a maior rugosidade superficial, menor índice de consistência, e pH intermediário. Verificou-se uma relação entre os índices de consistência encontrados e os valores de rugosidade média (Ra) nos acabamentos, de forma que o menor índice de consistência apresentou a maior rugosidade superficial, e o contrário, justificou-se, visto que o menor valor de Ra apresentou também o maior índice de consistência.

**Palavras-chave:** Revestimentos. Cal. Permeabilidade ao vapor. Microrganismos. Rugosidade superficial.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Classificação das argamassas.....  | 19 |
| Figura 2 - Camadas do sistema de vedações verticais .....                                     | 22 |
| Figura 3 - Processo de obtenção das cales aéreas .....  | 23 |
| Figura 4 - Ciclo da cal .....   | 27 |
| Figura 5 - Verificação da absorção de água da parede.....                                     | 30 |
| Figura 6 - Aplicação do Calfino .....   | 30 |
| Figura 7 - Execução de emenda com Calfino.....  | 31 |
| Figura 8 - Acabamento final do Calfino .....  | 31 |
| Figura 9 - Barramento pigmentado.....   | 32 |
| Figura 10 - Estuques da Domus áurea.....  | 34 |
| Figura 11 - Manchas que seguem o caminho da água .....  | 41 |
| Figura 12 - Correlação entre a bioreceptividade e a rugosidade superficial.....               | 47 |
| Figura 13 - Correlação entre a bioreceptividade e a absorção de água .....                    | 47 |
| Figura 14 - Delineamento da pesquisa.....   | 51 |
| Figura 15 - Patrimônio histórico-cultural de São Leopoldo-RS em processo de restauração ..... | 54 |
| Figura 16 - Restauro da cobertura .....   | 55 |
| Figura 17 - Reboco deteriorado nas fachadas da Antiga Aduana .....                            | 55 |
| Figura 18 - Ensaio de índice de consistência.....   | 61 |
| Figura 19 - Ensaio de densidade de massa .....  | 62 |
| Figura 20 - Ensaio de retenção de água .....  | 63 |
| Figura 21 - Ensaio de teor de ar incorporado.....   | 63 |
| Figura 22 - Ilustração do perfil de superfície para ensaio da rugosidade .....                | 64 |
| Figura 23 - Dimensões do aparelho AV 300 .....  | 65 |
| Figura 24 - Corpos de prova durante o ensaio .....  | 65 |
| Figura 25 - Ilustração do rugosímetro .....   | 66 |
| Figura 26 - Placa metálica de referência.....   | 67 |
| Figura 27 - Bloco de concreto e os corpos de prova extraídos .....                            | 67 |
| Figura 28 - Umedecimento dos corpos de prova para posterior aplicação do calfino .....        | 68 |
| Figura 29 - Corpos de prova com acabamento já aplicado .....                                  | 68 |
| Figura 30 - Ilustração do ensaio com rugosímetro .....  | 69 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 31 - Especificações do aparelho para realização do ensaio .....     | 69 |
| Figura 32 - Preparação das misturas para avaliação de pH .....             | 70 |
| Figura 33 - PHmetro utilizado para o ensaio .....                          | 71 |
| Figura 34 - Aplicação em ambientes externos .....                          | 76 |
| Figura 35 - Fachada do estacionamento .....                                | 79 |
| Figura 36 - Testes realizados para definição do traço a ser utilizado..... | 79 |
| Figura 37 - Argamassa para chapisco.....                                   | 80 |
| Figura 38 - Argamassa para preenchimento das juntas .....                  | 80 |
| Figura 39 - Argamassa para reboco .....                                    | 80 |
| Figura 40 - Argamassa para acabamento .....                                | 80 |
| Figura 41 - Perfis de rugosidade da massa corrida (MC) .....               | 90 |
| Figura 42 - Perfis de rugosidade do traço 1 (CO).....                      | 91 |
| Figura 43 - Perfis de rugosidade do traço 2 (CIM) .....                    | 91 |
| Figura 44 - Perfis de rugosidade do traço 3 (CH) .....                     | 92 |
| Figura 45 - Resultado da área superficial medida com o laser.....          | 93 |
| Figura 46 - Detalhe do sistema substrato e calfino .....                   | 97 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1 - Granulometria das areias .....                               | 78 |
| Gráfico 2 - Granulometria dos materiais.....                             | 82 |
| Gráfico 3 - Gráfico da DTGA do cimento branco.....                       | 84 |
| Gráfico 4 - Gráfico da DTGA da cal virgem .....                          | 85 |
| Gráfico 5 - Resultados do Ra médio obtidos para cada traço ensaiado..... | 89 |

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1 - Requisitos dos usuários segundo a ABNT NBR 15575-1:2013 .....                 | 20 |
| Quadro 2 - Classificação das rochas calcárias.....                                       | 23 |
| Quadro 3 - Nomenclatura da cal aérea cálcica .....                                       | 24 |
| Quadro 4 - Traços em massa das argamassas utilizadas para os ensaios .....               | 60 |
| Quadro 5 - Comparativo entre os revestimentos à base de cal.....                         | 73 |
| Quadro 6 - Resultados dos ensaios de argamassa.....                                      | 78 |
| Quadro 7 - Porcentagem retida no ensaio de granulometria.....                            | 83 |
| Quadro 8 - Resultado do ensaio de FRX .....  | 86 |
| Quadro 9 - Resultados da massa específica dos materiais .....                            | 86 |
| Quadro 10 - Resultados dos ensaios de índice de consistência. ....                       | 87 |
| Quadro 11 - Resultados densidade de massa das argamassas .....                           | 88 |
| Quadro 12 - Resultados do teor de ar incorporado das argamassas, em<br>porcentagem ..... | 88 |
| Quadro 13 - Resultados de Ra para cada traço .....                                       | 89 |
| Quadro 14 - Resultados do pH para cada traço .....                                       | 94 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Ensaio de caracterização dos materiais secos a serem realizados ..... | 57 |
| Tabela 2 - Ensaio no estado fresco .....   | 57 |

## LISTA DE SIGLAS

|          |  |
|----------|--|
| ABNT     | Associação Brasileira de Normas Técnicas                 |
| FRX      | Fluorescência de Raios X                                 |
| LCVMat   | Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais |
| LMC      | Laboratório de Materiais de Construção Civil             |
| NBR      | Normas Brasileiras de Regulação                          |
| Ra       | Rugosidade média   |
| UNISINOS | Universidade do Vale do Rio dos Sinos                    |
| UFRGS    | Universidade Federal do Rio Grande do Sul                |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>14</b> |
| 1.1 TEMA .....   | 15        |
| 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....   | 15        |
| 1.3 PROBLEMA .....   | 15        |
| 1.4 OBJETIVOS .....  | 15        |
| <b>1.4.1 Objetivo Geral</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>1.4.2 Objetivos Específicos</b> .....                                     | <b>16</b> |
| 1.5 JUSTIFICATIVA .....  | 16        |
| <b>2 OS REVESTIMENTOS À BASE DE CAL</b> .....                                | <b>17</b> |
| 2.1 OS REVESTIMENTOS NO SUBSISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL .....                 | 19        |
| 2.1 A CAL COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO .....                                  | 22        |
| <b>2.1.1 Hidratação da cal</b> .....   | <b>25</b> |
| <b>2.1.2 Características mecânicas dos revestimentos à base de cal</b> ..... | <b>26</b> |
| <b>2.1.3 Técnicas de execução de revestimentos à base de cal</b> .....       | <b>28</b> |
| 2.1.3.1 Calfinagem .....   | 29        |
| 2.1.3.2 Barramento.....  | 32        |
| 2.1.3.3 Estuque .....  | 33        |
| 2.1.3.4 Acabamento liso talochado ou polido.....                             | 34        |
| 2.3 NORMA DE DESEMPENHO E OS REVESTIMENTOS À BASE DE CAL.....                | 35        |
| <b>2.3.1 HABITABILIDADE</b> .....  | <b>35</b> |
| 2.3.1.1 Saúde, higiene e qualidade do ar .....                               | 36        |
| <b>2.3.2 SUSTENTABILIDADE</b> .....  | <b>37</b> |
| 2.3.2.1 Durabilidade .....   | 38        |
| 2.3.2.1.1 <i>Proliferação de microrganismos</i> .....                        | 40        |
| 2.3.2.1.2 <i>Permeabilidade ao Vapor</i> .....                               | 43        |
| 2.3.2.1.3 <i>Rugosidade superficial</i> .....                                | 45        |
| 2.3.2.1.4 <i>Potencial hidrogeniônico</i> .....                              | 48        |
| <b>3 METODOLOGIA</b> .....   | <b>50</b> |
| 3.1 LEVANTAMENTO DA TÉCNICA CONSTRUTIVA DOS REVESTIMENTOS À BASE DE CAL..... | 51        |
| <b>3.1.1 Entrevista com empresas especializadas</b> .....                    | <b>52</b> |
| <b>3.1.2 Debate com especialistas</b> .....                                  | <b>52</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.1.3 Estudo de caso</b> .....   | <b>53</b> |
| <b>3.2 PROGRAMA EXPERIMENTAL</b> .....  | <b>55</b> |
| <b>3.2.1 Materiais e métodos</b> .....  | <b>56</b> |
| 3.2.1.1 Ensaio de caracterização dos materiais .....                            | 57        |
| 3.2.1.1.1 <i>Granulometria à laser</i> .....                                    | 57        |
| 3.2.1.1.2 <i>Análise termogravimétrica</i> .....                                | 58        |
| 3.2.1.1.3 <i>Fluorescência de raios X</i> .....                                 | 58        |
| 3.2.1.1.4 <i>Massa específica</i> .....   | 59        |
| 3.2.1.2 Dosagem e preparo das argamassas.....                                   | 59        |
| 3.2.1.3 Ensaio no estado fresco .....   | 61        |
| 3.2.1.3.1 <i>Índice de consistência</i> .....                                   | 61        |
| 3.2.1.3.2 <i>Densidade de massa</i> .....                                       | 62        |
| 3.2.1.3.3 <i>Retenção de água</i> .....   | 62        |
| 3.2.1.3.4 <i>Teor de ar incorporado</i> .....                                   | 63        |
| 3.3.1.4 Ensaio de rugosidade superficial.....                                   | 64        |
| 3.3.1.5 Ensaio de pH.....   | 70        |
| <b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....                            | <b>72</b> |
| 4.1 LEVANTAMENTO DA TÉCNICA CONSTRUTIVA DOS REVESTIMENTOS À<br>BASE DE CAL..... | 72        |
| <b>4.1.1 Entrevista com empresas especializadas</b> .....                       | <b>72</b> |
| <b>4.1.2 Debate com especialistas</b> .....                                     | <b>77</b> |
| <b>4.1.3 Estudo de caso</b> .....   | <b>77</b> |
| <b>4.2 PROGRAMA EXPERIMENTAL</b> .....  | <b>82</b> |
| <b>4.2.1 Caracterização dos materiais</b> .....                                 | <b>82</b> |
| 4.2.1.1 Distribuição granulométrica .....                                       | 82        |
| 4.2.1.2 Análise termogravimétrica .....   | 83        |
| 4.2.1.3 Fluorescência de raios X.....   | 85        |
| 4.2.1.4 Massa específica.....   | 86        |
| <b>4.2.2 Ensaio no estado fresco</b> .....                                      | <b>86</b> |
| 4.2.2.1 Índice de consistência .....  | 86        |
| 4.2.2.2 Densidade de massa.....   | 87        |
| 4.2.2.3 Retenção de água .....  | 88        |
| 4.2.2.4 Teor de ar incorporado .....  | 88        |
| <b>4.2.3 Rugosidade superficial</b> .....                                       | <b>89</b> |

|  |            |
|--|------------|
| 4.2.4 pH .....   | 93         |
| 4.3 RECOMENDAÇÕES PARA ESTA TÉCNICA .....              | 94         |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                    | <b>97</b>  |
| 5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O LEVANTAMENTO DA TÉCNICA..... | 97         |
| 5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROGRAMA EXPERIMENTAL .....  | 98         |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                | <b>100</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, são encontradas diversas opções de revestimentos de vedações na construção civil, entre eles, revestimentos à base de cal e massa corrida à base de PVA, para camadas de acabamentos em ambientes internos. As cales são utilizadas em argamassas desde os tempos primórdios, apresentando diversas vantagens, tais como, boa porosidade e permeabilidade, resistência mecânica, inércia térmica e durabilidade, quando bem feitos e mantidos (KANAN, 2008). Sua utilização caiu em desuso nos canteiros de obra, devido à fatores ligados ao procedimento de extração e hidratação desta e ao aparecimento de produtos industrializados, os quais por vezes economizam tempo e mão de obra. Entretanto, está presente ainda em algumas regiões que mantém a técnica construtiva, como a região do Vale do Rio dos Sinos. Frequentemente ainda utilizadas em obras de restauro de patrimônios histórico-culturais, as argamassas de cal possuem grande relevância no âmbito da conservação de técnicas de períodos passados. Além disso, atualmente, especialmente na Europa, existe uma tendência de utilização de produtos mais sustentáveis e com menor impacto ambiental.

Frente a este contexto, o presente trabalho buscou levantar dados relacionados a técnica construtiva dos acabamentos de cal, tanto com mão de obra, quanto com profissionais da área, além da realização de um estudo de caso de uma obra de restauro. Ainda, tendo em vista a ocorrência frequente de diversas manifestações patológicas nos sistemas de vedação, relacionadas à condensação da umidade e por vezes, na conseqüente proliferação de microrganismos, buscou-se avaliar os parâmetros de pH, rugosidade superficial e permeabilidade ao vapor.

## 1.1 TEMA

Este trabalho versa sobre os revestimentos à base de cal, sua técnica construtiva e os parâmetros que influenciam na proliferação de microrganismos no sistema em que este compreende-se.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho delimitou-se quanto ao levantamento da técnica construtiva através de entrevistas com empresas especializadas em acabamentos de cal, debates com especialistas da área, estudo de caso de uma obra de restauro localizada em São Leopoldo/RS, quanto ao programa experimental, compreendendo-se os ensaios de caracterização e os ensaios no estado fresco e, ainda, quanto aos parâmetros de pH, rugosidade superficial e permeabilidade ao vapor, relacionados com a proliferação de microrganismos.

## 1.3 PROBLEMA

Como ocorre o procedimento da técnica construtiva dos revestimentos à base de cal como camada de acabamento atualmente e como o pH e a rugosidade superficial relacionam-se com a proliferação de microrganismos neste acabamento e na massa corrida?

## 1.4 OBJETIVOS

Os objetivos da pesquisa estão classificados em geral e específicos e são descritos a seguir.

### **1.4.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é realizar o levantamento da técnica construtiva dos revestimentos à base de cal e avaliar os parâmetros que influenciam na proliferação de microrganismos.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são listados a seguir.

- a) realizar o levantamento da técnica construtiva dos revestimentos à base de cal, através de entrevista com mão de obra especializada, debate com especialistas e visita à obra de restauro;
- b) analisar a rugosidade superficial, o pH e a permeabilidade ao vapor da argamassa de cal e da massa corrida;
- c) elaborar um procedimento para esta técnica.

### 1.5 JUSTIFICATIVA

Busca-se com este trabalho levantar dados sobre a técnica construtiva dos revestimentos à base de cal, como camada de acabamento, na Região do Vale do Rio dos Sinos, pois percebe-se um baixo conhecimento técnico dos profissionais que executam este, e uma alta diversidade existente relacionada tanto à obtenção de um traço com uma cal adequada para uso em argamassas, quanto na aplicação deste revestimento nos sistemas de vedação. Ainda, por ser uma região com frequentes alterações de temperatura e alta umidade na maior parte dos meses do ano, destacam-se diversas manifestações patológicas relacionadas à condensação da umidade e por vezes, na consequente proliferação de microrganismos, e são escassos os estudos existentes relacionando os parâmetros de pH, rugosidade superficial e permeabilidade ao vapor, de acabamentos de cal com estas manifestações.

## 2 OS REVESTIMENTOS À BASE DE CAL

Azeredo (1987) classifica os revestimentos em: revestimento de parede, de piso e de forro. Entre os revestimentos de parede, os quais são os que se referem neste trabalho, o autor subdivide em argamassados e não argamassados. Dentre os revestimentos argamassados, apresenta-se, o chapiscado (proporciona condições de fixação para outro elemento), e emboço (regularizador e uniformizador das superfícies, além de evitar a infiltração das águas) e o reboco ou fino, sendo classificado em dois tipos:

- a) reboco para acabamento de pintura;
- b) reboco sem acabamento para pintura (já é o próprio acabamento).

Os revestimentos à base de cal para acabamentos contêm, geralmente, argamassas mais ricas em cal, areia de granulometria mais fina, e podem apresentar além de areia e quartzo, adições como, mármore, dolomito ou calcário e preparadas na granulometria adequada. De acordo com KANAN (2008), estas argamassas são, em geral, aplicadas com espessura bem fina, entre 2 e 3 mm, com desempenadeira metálica ou com colher, alisando-as e comprimindo-as contra a parede. A autora também deixa claro que, as argamassas para rebocos de acabamento e estuques decorativos apresentam uma diversidade de composições, traços e técnicas de aplicação, tais como o esgrafito, marmorizado, massa raspada e a escaiola.

Saad (1960) destaca que, a argamassa de cal, como material de revestimento, pode ser usada para proteção das fachadas, como superfícies de acabamento, com também finalidade de provocar um efeito visual agradável nas paredes exteriores da edificação. Kanan (2008) apresenta os tipos de argamassas de cal e seus usos mais comuns como:

- a) argamassas de assentamento e preenchimento das alvenarias, fundações, pisos e coberturas (interligam os elementos das alvenarias e ajudam a dar estabilidade e distribuir cargas);
- b) argamassas de revestimento (proteção e sacrifício): rebocos, rejuntas e acabamento, as quais atuam protegendo contra as intempéries (chuva, vento, erosão, abrasão), sacrificando-se para proteger o substrato;
- c) argamassas decorativas: estuques moldados, esculpidos e pintados, os quais oferecem proteção e acabamento às superfícies e elementos arquitetônicos.

Azeredo (1987) destaca que a argamassa para acabamento atua como superfície suporte para pintura e, portanto, deve ser uma superfície lisa e regular, com pouca porosidade e com espessura aproximada de 2 mm. Conforme apresenta Recena (2012), as argamassas, consideradas como um elemento de um sistema e não isoladamente como um material, levando em consideração sua interação com o substrato e com o ambiente, possuem como principais funções as seguintes:

- a) impermeabilização do substrato de aplicação;
- b) obtenção de um bom acabamento para paramento revestido;
- c) absorção das deformações naturais a que uma estrutura está sujeita;
- d) regularização e/ou proteção mecânica dos substratos constituídos por sistemas de impermeabilização ou isolamento termo acústicos.

Tavares (2009) ressalta que os revestimentos de paredes usados na arquitetura desde antiguidade, possuem como função principal proteger os suportes de agentes externos tais como: variações climáticas e térmicas, a água, o vento, a poluição, além de ter uma função decorativa, de natureza artística ou arquitetônica, de elevada importância para a representação estética do edifício e da imagem urbana onde está inserido. A autora ressalta que atualmente em Portugal, alguns destes acabamentos são comumente ainda utilizados e outros não, devido a alteração da estética atual e devido ao desconhecimento da técnica de aplicação, além da facilidade de encontrar no mercado atual materiais de fácil e rápida aplicação, reduzindo assim alguns custos relacionados à material e mão de obra. Estes acabamentos, originalmente, eram feitos com argamassas de cal e areia, até que no século XX, com o amplo aparecimento e uso do cimento, muitos deles passaram a ser aplicados com este material. Entretanto, a técnica tradicional ainda possui elevada importância, principalmente para obras restauro.

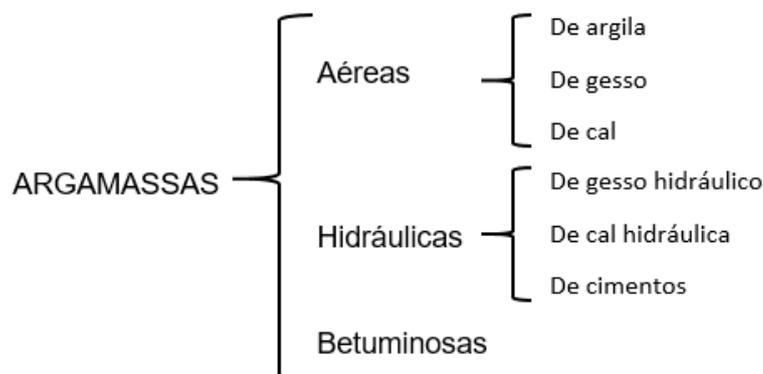
As argamassas são classificadas de acordo com sua função, segundo Azeredo (1987), da seguinte forma:

- a) argamassa de aderência – chapisco
- b) argamassa de junta
- c) argamassa de regularização – emboço
- d) argamassa de acabamento – reboco
- e) argamassas especiais.

Ainda podem ser classificadas quanto à forma de endurecimento e resistência à umidade, à natureza do aglomerante, ao volume de pasta, ao seu emprego e ao

teor de aglomerante empregado em sua produção (RECENA, 2012). Por outra linha, Saad (1960) classifica as argamassas de acordo com o seu aglomerante, como ilustrado na Figura 1 a seguir:

Figura 1 - Classificação das argamassas



Fonte: SAAD (1960).

Petrucci (1987) destaca que, provavelmente, o primeiro aglomerante utilizado pelo homem foi a argila, havendo registros na Bíblia do uso desta em construções pelos assírios e caldeus. Estes aglomerantes podem ser quimicamente inertes, como o barro cru, ou quimicamente ativos, como a cal, o gesso, o cimento. Ainda, podem ser naturais ou artificiais, conforme for utilizado uma matéria prima ou a mistura de duas ou mais. O autor destaca que os aglomerantes hidráulicos, como a cal hidráulica e os cimentos, resistem satisfatoriamente quando empregados dentro d'água. O endurecimento destes materiais resulta da ação da água e em alguns casos (cales hidráulicas) pode haver participação do ar, porém com menor importância.

## 2.1 OS REVESTIMENTOS NO SUBSISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL

Sabbatini et al. (1998), definem o edifício com um conjunto de elementos básicos: os que formam a estrutura, os que compõem a vedação exterior, os que subdividem o espaço interno e os que fazem parte dos sistemas prediais, possuindo, cada um desses elementos, funções específicas e contribuições no comportamento final do conjunto. A norma brasileira de desempenho das edificações, ABNT NBR 15575:2013, define os sistemas de vedação vertical interna e externa como partes da edificação habitacional que limitam a edificação e seus ambientes, como

fachadas, vedações ou divisórias internas Na primeira parte da norma, apresenta-se a definição de sistema, sendo a maior parte funcional do edifício, como as fundações, coberturas, vedações verticais, a qual exerce uma macro função que a define, e elemento, como parte de um sistema, geralmente composto por um conjunto de componentes com funções específicas, por exemplo, parede de vedação de alvenaria. Além disso, esta norma propõe considerações dos requisitos do usuário apresentadas no Quadro 1, a fim de avaliar o desempenho das edificações habitacionais.

Quadro 1 - Requisitos dos usuários segundo a ABNT NBR 15575-1:2013

|                         | <b>Requisitos dos usuários</b>   |
|-------------------------|--|
| <b>SEGURANÇA</b>        | Segurança estrutural<br>Segurança contra fogo<br>Segurança no uso e a operação   |
| <b>HABITABILIDADE</b>   | Estanqueidade<br>Desempenho Térmico<br>Desempenho Acústico<br>Desempenho Lumínico<br>Saúde, higiene e qualidade do ar<br>Funcionalidade e acessibilidade<br>Conforto tátil e antropodinâmico |
| <b>SUSTENTABILIDADE</b> | Durabilidade<br>Manutenibilidade<br>Impacto Ambiental  |

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15575-1 (2013).

Oliveira e Sabbatini (2003) definem o subsistema vedação vertical como aquele que tem não só função estrutural e estética, mas também função de criar, junto com as esquadrias e os revestimentos, condições de habitabilidade para o edifício, de forma a servir como mediador entre o meio externo e interno, e assim modificar as condições interiores como requerido pelo usuário. O subsistema de vedação vertical pode ser dividido em dois grupos: vedação vertical interna, representando aquela que compartimenta o volume interno em mais de um ambiente, e vedação vertical externa, possuindo uma de suas faces voltada para o

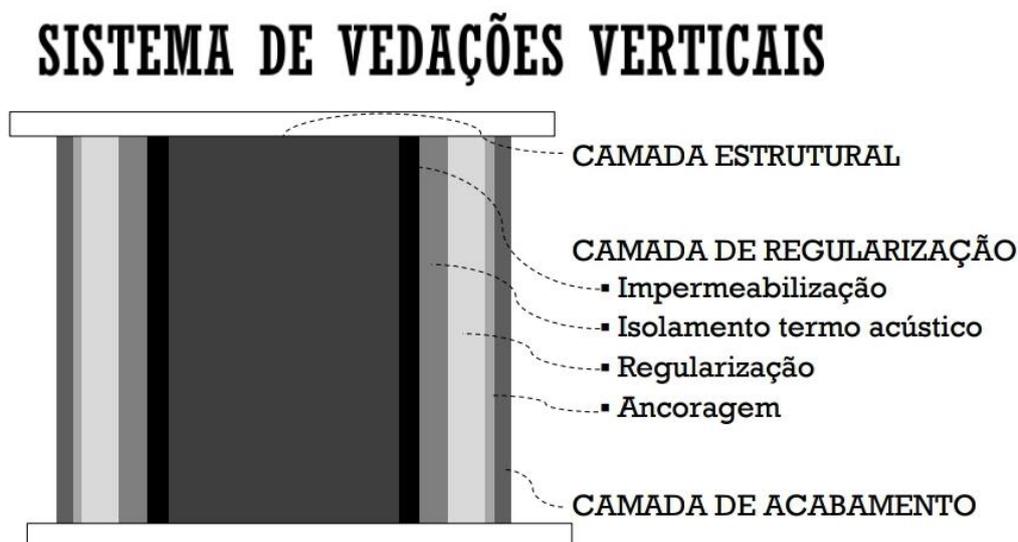
meio externo do edifício, protegendo o interior da edificação contra a ação de intempéries e agentes indesejáveis (SABBATINI, 2002).

Ainda de acordo com Sabbatini (2002), este subsistema pode ser classificado:

- a) quanto à posição no edifício: externa (de fachada) ou interna (divisórias de compartimentação ou separação);
- b) quanto à técnica de execução: por conformação (moldagem a úmido no local), por acoplamento a seco (vedações obtidas através de dispositivos, como, pregos e parafusos) ou por acoplamento úmido;
- c) quanto à densidade superficial: leve (vedação de baixa densidade superficial, sendo, de acordo com a NVR 11685, o limite de 60 a 100kg/m<sup>2</sup>, não podendo ter função estrutural), ou pesada (vedação com densidade superior ao limite convencionado, podendo ou não ter função estrutural);
- d) quanto à estruturação: auto suporte (também denominadas auto portantes, não possuem uma estrutura complementar, pois a vedação se auto suporta), ou estruturada (possui uma estrutura reticular para suporte dos componentes de vedação);
- e) quanto à continuidade do pano (em relação à distribuição de esforços): contínua (a absorção dos esforços se dá no pano como um todo, como, alvenarias e paredes maciças), ou descontínua (a absorção dos esforços é feita pelos componentes, placas ou painéis, e distribuídos por estes à estrutura da própria vedação, havendo a necessidade de juntas, como em divisórias leves de gesso acartonado);
- f) quanto à continuidade superficial (em relação à visibilidade das juntas): monolítica (sem juntas aparentes), ou modular (com juntas aparentes);
- g) quanto à removibilidade: fixa (irremovível sem destruição), desmontável (é desmontável com pouca degradação), removível (pode ser montada e desmontada com facilidade, sem degradação) ou móvel (normalmente só de compartimentação, como, sanfonas ou de correr).

As camadas constituintes do sistema de vedação vertical podem ser divididas em: camada estrutural (apresenta função de receber e transmitir as solicitações nela aplicadas, garantindo sua forma inicial sem apresentar deformações), camada de regularização e camada acabamento, a qual refere-se este trabalho, conforme podem ser observadas conforme a Figura 2.

Figura 2 - Camadas do sistema de vedações verticais



Fonte: ZECHMEISTER (2016).

### 2.1 A CAL COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

Recena (2014) destaca que no passado as argamassas eram produzidas com uma pasta de cal hidratada no próprio canteiro a partir da hidratação da cal virgem, a qual era selecionada visualmente por profissionais que possuíam o conhecimento sobre os aspectos avaliados empiricamente assim como a cor, a textura, a densidade, o brilho e a friabilidade das pedras de cal virgem. A cal recebe dos técnicos a denominação de material versátil e social, por apresentar uma ampla gama de aplicações e por contribuir ao bem-estar das comunidades. Este material apresenta aplicações tanto na indústria química e minero-metalúrgica, como na siderurgia, no tratamento de águas e esgotos, papel e celulose, cerâmica, quanto na estabilização de solos e misturas asfálticas, além da construção civil, em argamassas, blocos construtivos, também na agricultura, na saúde e no lar (GUIMARÃES, 1997).

A cal virgem é definida por Guimarães (1997) como o produto que resulta da dissociação térmica do calcário/dolomito/concha calcária. Quando provém de rochas carbonatas puras, a cal virgem é um produto inorgânico branco e quando apresenta coloração creme, amarelada ou cinza, é sinal que contém impurezas. Entre as rochas e minerais utilizados pelo homem, o autor destaca as rochas carbonatadas, que constituem 0,25% do volume da crosta. Essas rochas são constituídas em 50%

ou mais pelos minerais: calcita, aragonita e dolomita. Classifica-se as rochas carbonatadas cálcio-magnesianas conforme o Quadro 2:

Quadro 2 - Classificação das rochas calcárias

| <b>CÁLCARIO</b>      | <b>CaCo<sub>3</sub>/MgCO<sub>3</sub><br/>MAIOR QUE 10</b> | <b>Ca/Mg<br/>MAIOR QUE 105</b> |
|----------------------|---|--------------------------------|
| Calcário Magnesiano  | 10 – 3,5  | 105 – 60                       |
| Calcário Dolomítico  | 3,5 – 1,5   | 60 – 16                        |
| Dolomito             | 1,5 – 1,2   |                                |
| Pencatito-Predazzito | Com brucita   |                                |

Fonte: GUIMARÃES (1997).

Guimarães (1997) também define a reação de calcinação como a decomposição térmica dos calcários/dolomitos/conchas calcárias a qual resulta na formação de dois produtos: cal e óxido de carbono. Define-se como cal cálcica o produto com alto teor em óxido de cálcio; cal dolomítica, quando possui a relação entre os óxidos de cálcio e magnésio igual a molecular CaO/MgO; e de cal magnesiana, quando possui teores de óxido de magnésio intermediário entre a cal cálcica e a cal dolomítica. O autor também aborda as classificações quanto às cales hidráulicas e aéreas, sendo a primeira um produto intermediário entre a cal virgem e o cimento Portland. Kanan (2008, p. 33) apresenta que a cal hidráulica tem um comportamento diferente da cal aérea e sua cura ocorre em duas fases:

- a) por rápida reação de hidratação dos compostos hidráulicos com a água, e por isso é denominada hidráulica;
- b) pela carbonatação.

De acordo com Recena (2012) a capacidade de aglomeração da cal decorre do contato da pasta de cal (cal e água) com o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente no ar. Saad (1960) apresenta, de forma resumida o processo de obtenção das cales aéreas hidratadas, como a sequência ilustrado na Figura 3 a seguir:

Figura 3 - Processo de obtenção das cales aéreas



Fonte: adaptado de SAAD (1960).

Conforme apresentado por Kanan (2008, p. 34) a nomenclatura dos tipos de cales aéreas cálcicas é dada de acordo com a Quadro 3 a seguir.

Quadro 3 - Nomenclatura da cal aérea cálcica

| Nome comum               | Químico             | Mineralógico | Fórmula              |
|--------------------------|---------------------|--------------|----------------------|
| Calcário                 | carbonato de cálcio | calcita      | CaCO <sub>3</sub>    |
| Cal virgem               | óxido de cálcio     |              | CaO                  |
| Cal hidratada ou apagada | hidróxido de cálcio | portlandita  | Ca (OH) <sub>2</sub> |
| Cal carbonatada (curada) | carbonato de cálcio | calcita      | CaCO <sub>3</sub>    |

Fonte: Kanan, 2008.

Devem-se tomar alguns cuidados ao trabalhar com a cal virgem devido sua alta alcalinidade, sendo o principal mal destacado o manuseio da cal virgem sem uso de proteções adequadas. Recomenda-se, então, que os trabalhadores com contato com alta concentração de pó de cal utilizem óculos de proteção, máscaras com filtros de ar, roupas adequadas – camisas de manga longa, calças e sapatos fechados ou botas apropriadas – capacete e luvas (GUIMARÃES, 1997).

A cal aérea, a qual refere-se neste trabalho, comumente utilizada nas argamassas para revestimentos e acabamentos, deve estar totalmente hidratada, de forma que esse processo de hidratação não ocorra posteriormente, já no revestimento da vedação vertical, e ocasione fissuras devido à retração. Desta forma, tanto este processo de hidratação do aglomerante, como as características e técnicas construtivas relacionadas às argamassas de cal, são descritas nos tópicos a seguir.

### 2.1.1 Hidratação da cal

Segundo Saad (1960), se denomina hidratação de uma cal, o processo em que o óxido de cálcio (CaO) ou óxido de magnésio (MgO) se transforma em hidróxido de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$  ou hidróxido de magnésio  $\text{Mg(OH)}_2$ , através de uma reação química exotérmica que a cal viva sofre com a presença de água, como a seguir:



Kanan (2008) apresenta duas formas resultantes da hidratação da cal: cal em forma de pasta, hidratada com excesso de água, geralmente pelo processo de imersão. Quanto mais reativa for a cal virgem, maior quantidade de água consumirá em menos tempo.

- a) cal em forma de pó seco, hidratada apenas com uma quantidade de água suficiente de umidade para ocorrer a reação química dos óxidos anidridos de cal virgem com a água. A cal hidratada sob a forma de pó seco é a forma mais comum encontrada no mercado.

A autora ainda explica que o processo de hidratação da cal no local da obra de forma manual deve ser realizado com cautela, com a utilização de equipamentos de proteção individuais, com óculos, luvas, roupas de proteção, capotes impermeáveis e botas de borracha e recomenda alguns procedimentos descritos a seguir:

- a) a cal virgem deve ser recém calcinada, não apresentar material recarbonatado e deve ser hidratada imediatamente após a chegada na obra para evitar que o produto se transforme em material inerte ao reagir com o dióxido de carbono do ar.
- b) a água a ser utilizada deve ser limpa e potável, sendo que a água quando morna auxilia na reação de hidratação.
- c) a cal virgem deve ser reduzida de acordo com o volume do material a ser hidratado, pois quanto menor o volume do tanque utilizado para a hidratação, menores devem ser as partículas de cal a hidratar.
- d) algumas horas depois da hidratação, a cal deve passar por peneira de malha de 1 a 2 mm para remover partículas que não hidratam e evitar partículas inertes indesejáveis e guardada em tanques, como reservatórios

ou baldes plásticos, coberta com uma lâmina de água e protegida de sol, chuva e calor em recesso.

As propriedades da cal hidratada, de acordo com GUIMARÃES (1997), são listadas a seguir:

- a) cor: cor branca quando pura e amarelada quando resulta de cal virgem super calcinada.
- b) sistema cristalino: o hidróxido cristaliza-se com formas do sistema hexagonal, em placas lamelares ou prismas.
- c) forma: varia de acordo com os processos adotados na hidratação, sendo predominantes, nos hidróxidos comerciais, partículas de diâmetro de 2 a 8 micrômetros.

A completa hidratação e aumento da plasticidade e consistência de uma cal se dá pela sua maturação (processo em que a massa é deixada coberta de água). KANAN (2008) recomenda um período mínimo de três meses e destaca que não há limite de tempo para se deixar armazenada uma cal se ela estiver devidamente coberta e protegida com uma lâmina de água. SANTIAGO (2000 apud COELHO, 2009) afirma que este período nunca deve ser inferior a uma semana, ou 3 meses no caso de se tratar de cal para acabamentos, sendo que em alguns casos este período poderia chegar a 5 anos.

KANAN (2008) também acrescenta que dependendo do tipo da função da argamassa, recomenda-se usar pasta de cal nas seguintes condições de maturação, a fim de atingir uma completa hidratação:

- a) emboços e argamassas simples de assentamento: mínimo de três semanas de descanso.
- b) rebocos, argamassas de acabamento e tintas: mínimo de três meses.
- c) estuques, argamassas de acabamentos e pinturas especiais: acima de três meses, quanto mais tempo melhor.

### **2.1.2 Características mecânicas dos revestimentos à base de cal**

Assim como descrito nos tópicos anteriores, a cal é considerada um aglomerante aéreo em função de o processo de endurecimento e de ganho de resistência ocorrer pela interação da pasta com o CO<sub>2</sub> presente no ar. KANAN (2008) destaca que a cura de uma argamassa de cal acontece em duas fases:

- evaporação da água da mistura, que resulta em uma contração de volume da massa;
- reação, relativamente lenta, de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) com a cal hidratada;
- essa segunda reação é a que dá origem ao carbonato de cálcio e que resulta em um aumento da resistência mecânica da argamassa. O ciclo da cal, pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 - Ciclo da cal



A carbonatação do hidróxido realiza-se com redução de volume e por isso o produto está sujeito a retrações, cuja consequência é o aparecimento de fissuras nos revestimentos. Sendo a cal normalmente empregue em mistura com agregados miúdos na elaboração de argamassas, a introdução desse produto em proporções convenientes reduz os efeitos da retração, visto que possui alta retenção de água e baixa variação volumétrica (COELHO, 2009).

O endurecimento da cal aérea hidratada, faz-se ao ar, na presença do dióxido de carbono, em ambiente úmido, então, quando a cal aérea hidratada é utilizada no preparo de uma argamassa e posteriormente aplicada, ocorre a seguinte reação: a água excedente evapora e o dióxido de carbono presente na atmosfera penetra no revestimento, e na presença de água reage com o  $\text{Ca(OH)}_2$  e  $\text{Mg(OH)}_2$ , resultando na formação de carbonato de cálcio, semelhante à composição de calcário "rocha

carbonatada”. Desta forma, a cal hidratada retorna à sua condição primitiva que era a de rocha calcária, resultando em um produto final (argamassa) estável e resistente (TAVARES, 2009; COELHO, 2009).

O tempo de carbonatação da argamassa depende das condições ambientais nas quais está exposta, consequência direta da concentração do gás carbônico. Helene (1993) afirma que em atmosferas rurais a concentração de CO<sub>2</sub> pode variar de 0,03%, a 0,05% enquanto que locais de tráfego pesado de 0,1 a de 1,2%. Fukushima (1991) citado por SHIRAKAWA et al. (2009) afirma que também ocorre diferença entre ambientes fechados (0,10%) e abertos (0,03%).

Segundo Papadakis et al. (1991 citado por Werle et al. 2011), o fenômeno da carbonatação não é perceptível em umidades relativas inferiores a 50%, pois não há água suficiente para que as reações se processem, e por outro lado, quando os poros estão saturados, a velocidade de transporte do CO<sub>2</sub>, que ocorre por difusão, diminui excessivamente.

### **2.1.3 Técnicas de execução de revestimentos à base de cal**

Atualmente constata-se que o cimento Portland é responsável por várias patologias a nível de reabilitação de edifícios, em que são comuns os problemas relacionados ao fato da sua utilização ser quimicamente incompatível com argamassas à base de cal e ser também responsável pela introdução de sais solúveis, além de ser pouco permeável e apresentar um módulo de elasticidade alto, que é incapaz de acomodar as deformações das alvenarias (TORRAL, 2011).

Neste contexto, conforme também afirma Faria (2011), o estudo de argamassas tradicionais de cal aérea para a reabilitação de edifícios antigos adquire uma nova dinâmica em virtude de se constituírem como a solução mais adequada em intervenções de reabilitação em edifícios antigos.

Veiga (2006), apud Torgal (2011) defende que os trabalhos de restauro e conservação devem ser acompanhados de uma análise da profundidade da degradação e do valor histórico e artístico da propriedade a ser reabilitada, pois nos casos de elevada relevância histórica, deve-se ter como primeira opção a conservação de peças antigas através de operações de manutenção. Caso não seja possível, deve-se então executar operações de consolidações ou substituições.

Foram encontrados na literatura diversos revestimentos à base de cal bastante semelhantes; entretanto, não é possível afirmar se estes tratam-se do mesmo revestimento ou de variantes, por serem técnicas antigas e não mais usuais. A seguir são descritos alguns dos revestimentos de cal tanto usuais, quanto históricos, e sugere-se que em trabalhos futuros seja feita uma varredura maior e mais aprofundada, com fins de compreensão do universo dos revestimentos à base de cal para acabamentos.

### 2.1.3.1 Calfinagem

Dentre os tipos de revestimentos de cal industrializados e ofertados no mercado, atualmente, com função de acabamento e utilizados pelas empresas do Vale do Rio dos Sinos, existem dois tipos mais comuns: o Calfino e o Calfino Instantâneo. Ambos tratam-se de misturas pré-doseadas em fábrica e destinam-se a aplicações sobre a camada de emboço com finalidade de proporcionar um acabamento liso e branco. O primeiro é composto apenas por cal virgem e areia, sendo necessária a adição de água em proporções de 1:1 (calfino:água) e apresenta tempo de hidratação (descanso da massa) de 24 horas. Acrescenta-se que por tratar-se de cal virgem, a argamassa, em seu preparo, pode atingir temperaturas em torno de 100 °C e no período de descanso, esta irá crescer de volume e perder água devido às altas temperaturas. O segundo é composto por cal hidratada, areia e pode conter outras adições. A proporção para definir a quantidade de água necessária é de 1:05 (calfino instantâneo:água) e necessita-se de apenas uma hora de descanso. Ambos não necessitam adições e peneiramentos (Calfino, 2013).

As ferramentas necessárias para a aplicação de ambos os produtos são descritas a seguir:

- a) desempenadeira de aço;
- b) desempenadeira de madeira com feltro;
- c) colher de pedreiro;
- d) trincha.

Antes de iniciar a aplicação da massa de calfino, deve-se executar uma raspagem no reboco com a desempenadeira de aço, a fim de retirar possíveis respingos de massa e areia solta sobre a parede. Deve-se, também, verificar a umidade da parede, da seguinte forma:

- a) aplicar o produto em uma pequena parte da parede, esperar secar e então observar se com o toque dos dedos, com leve pressão, a parte calfinada não marca a parede. Neste caso, esta deverá ser levemente umedecida com a trincha. Caso marque, a parede não necessita de umidade, de acordo com a Figura 5.

Figura 5 - Verificação da absorção de água da parede



Fonte: Calfino (2013).

Aplica-se então a primeira camada com a desempenadeira de aço, sempre de baixo para cima, cobrindo, assim, os poros do reboco, conforme a Figura 6. Para a aplicação da segunda camada, deve-se pressionar com os dedos levemente e conferir, se não apresentar marcas, ela está, então, pronta para receber a segunda camada. Aplicar a segunda camada, do mesmo modo e sentido da primeira, tendo o cuidado de as duas camadas não ultrapassarem a espessura de 2mm. Executar o mesmo procedimento de pressão com os dedos e então realizar o acabamento com a desempenadeira de madeira e o feltro. Umedecer levemente o feltro e com movimentos circulares executar o acabamento final para a obtenção de uma superfície lisa e homogênea (Calfino).

Figura 6 - Aplicação do Calfino



Fonte: Calfino (2013).

Para a execução da emenda, o produto deverá ser rebaixado com o feltro de forma que provoque uma inclinação da camada primária, para que na próxima etapa ocorra uma emenda das duas camadas, ilustrado na Figura 7.

Figura 7 - Execução de emenda com Calfino



Fonte: Calfino (2013).

A fim de obter um acabamento do tipo calfino queimado ou marmorizado deve-se limpar bem a desempenadeira de aço e passá-la, logo após o acabamento com o feltro, sobre o produto aplicado, com pressão, em movimentos no sentido horizontal e vertical, como na Figura 8. Recomenda-se também que a aplicação de todas as camadas seja realizadas no mesmo dia (Calfino, 2013).

Figura 8 - Acabamento final do Calfino



Fonte: Calfino (2013).

### 2.1.3.2 Barramento

Os barramentos, também denominados de guarnecimentos, conforme apresentado por Gonçalves (1999), são revestimentos minerais de espessura pequena que comumente aplicam-se sobre a argamassa de reboco e formam superfícies lisas e de textura fina. Antigamente, este revestimento, era tradicionalmente executado com base em cal aérea, e eventualmente havia a adição de um inerte fino ou pigmentos minerais.

De acordo com Tavares (2009), o barramento com pasta de cal era utilizado desde a Antiguidade Clássica e foi muito difundido por todas as civilizações, atingindo seu auge no período Barroco, onde foi aplicado em diversos edifícios de grande expressão arquitetônica. Veiga (2007) afirma que o barramento era constituído por camadas de pasta de cal com espessuras de 2 a 5 mm, utilizando agregados muito finos tais como: areia fina, pó de pedra, pó de mármore. Às vezes também se acrescentavam aditivos como o pó de tijolo, o pó de carvão e pigmentos. Estas camadas eram aplicadas sobre o reboco, geralmente umedecido, em duas a três subcamadas com finura crescente, da interior para a exterior.

Assim como em outros revestimentos, o barramento poderia ser colorido, conforme a Figura 9, através da adição de pigmentos, que eram diluídos em água e misturados à massa de cal, adicionando-se posteriormente a areia ou o pó de pedra. Observa-se que os pigmentos eram preferencialmente pigmentos inorgânicos devido à sua compatibilidade com a cal (TAVARES, 2009; COELHO, 2009).

Figura 9 - Barramento pigmentado



Fonte: TAVARES (2009).

A aplicação deste revestimento era normalmente executada com colher e os traços volumétricas comuns das argamassas utilizadas eram de 1 (cal em pasta): 0,75 a 1 (areia muito fina tipo pó de pedra), conforme apresentam Mateus (2002) e Forti (1997) citados por Tavares (2009). Coelho (2009) também contribui que afirmando que a aplicação é feita com a parede úmida, visto que os tijolos históricos tinham uma absorção de água muito elevada, para não fissurar, sobre uma camada de reboco áspero. No entanto, assim como afirma o autor, esta técnica caiu em desuso, devido a exigência de mão de obra especializada, principalmente no caso dos barramentos coloridos, e além disso é uma solução cara que só faz sentido utilizar em edifícios com valor histórico ou arquitetônico considerável.

#### 2.1.3.3 Estuque

Azeredo (1987) apresenta como estuque o revestimento de acabamento ou reboco especial, contínuo e impermeável, utilizado antigamente em banheiros e cozinhas, substituindo de forma mais econômica o azulejo e possuindo aparência de mármore. Por ser um revestimento contínuo, não aceita reparos ou emendas. A técnica construtiva para este tipo de revestimento inicia-se na preparação da alvenaria com uma demão de chapisco de argamassa de cimento e areia 1:3, em seguida o emboço com argamassa mista de cal e areia 1:4/12, a seguir o reboco com argamassa mista de cal e areia 1:4/8. Após sua completa secagem aplica-se uma camada de 2 mm de pasta constituída de 3 partes de pasta de cal (peneirada), 3 partes de pó de mármore, 2 partes de cimento branco e corante opcional.

A execução deste revestimento, de acordo com Azeredo (1987), é realizada da mesma forma que o reboco normal, com a desempenadeira de aço ou de madeira, de forma a obter uma camada uniforme com espessura de 2mm. Posteriormente, borrifa-se sabão de coco derretido, alisando ao mesmo tempo com a desempenadeira e em seguida, procura-se imitar os veios do mármore. Dá-se então o lustro com ferro quente e por fim passa-se óleo de linhaça e cera de carnaúba.

Percebe-se que a definição de estuque não é única. Independentemente da pasta, que varia de acordo com as necessidades, com o termo estuque

compreende-se geralmente o trabalho de relevo, conforme ilustrado na Figura 10, apesar de não se entender sempre e exclusivamente como a decoração plástica, frequentemente representa o último estrato que tem a função de tornar as superfícies murais lisas. Normalmente composto de cal hidratada com pó de mármore e areia lavada, segundo Figueiredo (2008).

Figura 10 - Estuques da Domus áurea



Fonte: FIGUEIREDO (2008).

#### 2.1.3.4 Acabamento liso talochado ou polido

A execução deste acabamento, conforme explicada por Tavares (2009, p. 75), consiste na aplicação de sucessivas camadas de argamassas, alcançando espessuras de 5 a 7 mm, e é conseguido através de consecutivas passagens de uma talocha sobre a camada de acabamento ainda fresca, até se obter, então, uma textura lisa e uniforme. Ocasionalmente, na argamassa da última camada é utilizado o pó de mármore para obter-se um acabamento mais liso e uniforme. O autor ainda afirma ser um acabamento de difícil execução, pois apresenta grande sensibilidade à fissuração.

A técnica de aplicação do acabamento liso ou talochado também é apresentada por Aguiar et al. (1997), citado por Tavares (2009, p. 76), e aconselhada pelo estucador Oriol Garcia da seguinte forma:

- a) o acabamento é aplicado em três camadas sobre o reboco, que deve ser previamente umedecido.
- b) após a lavagem, com o reboco ainda úmido, aplica-se a primeira demão, feita com uma argamassa ao traço 1:1 de pasta de cal magra e pó de pedra mármore moída com 2,5 mm de espessura. Em rebocos de cal e areia bem executados e acabados, essa primeira camada é desnecessária.
- c) a segunda camada é aplicada ao traço 1:1,2 de pasta de cal magra e pó de mármore com 1,2 mm de espessura.
- d) a terceira e última camada, a de acabamento, é efetuada com o traço 1:1 de pasta de cal gorda e pó de mármore com 700 a 800 µm de espessura.

Evidencia-se ainda, que o acabamento deste revestimento tem um aspecto muito liso, caso se queira dar cor, tal como no barramento, é só adicionar pigmento à massa, segundo as mesmas técnicas e princípios.

## 2.3 NORMA DE DESEMPENHO E OS REVESTIMENTOS À BASE DE CAL

Na parte 1 da norma brasileira ABNT NBR 15575:2013, são apresentados os requisitos e critérios que se aplicam ao desempenho nas edificações habitacionais, com a finalidade de atender às exigências dos usuários frente aos sistemas que compõem a edificação. Os critérios de desempenho são especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis.

Para fins de definição a norma conceitua desempenho, como o comportamento em uso de uma edificação e seus sistemas, degradação, como a redução do desempenho ocasionada pela atuação de um ou vários agentes de degradação, e este último, como tudo aquilo que de alguma forma age sobre um sistema e contribui na redução de seu desempenho podendo interferir na durabilidade do sistema durabilidade, isto é, na capacidade em que o sistema tem de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas.

### 2.3.1 HABITABILIDADE

A habitabilidade apresentada na norma ABNT NBR 15575-1:2013 relaciona-se com as exigências do usuário de acordo com alguns fatores, tais como,

estanqueidade, desempenho térmico, acústico e lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, e conforto tátil e antropodinâmico. No presente trabalho serão relacionados os fatores que exercem influência direta ou indiretamente na degradação do sistema de revestimentos, bem como na saúde, higiene e qualidade do ar do meio em que estão inseridos os usuários, dando enfoque aos revestimentos internos.

#### 2.3.1.1 Saúde, higiene e qualidade do ar

De acordo com este tópico da norma de desempenho o sistema deve proporcionar condições de salubridade no interior da edificação, considerando as condições de umidade e temperatura no interior da edificação. Além disso, os materiais, equipamentos e sistemas empregados na edificação não podem liberar produtos que poluem o ar em ambientes confinados.

Verdier et al. (2014) afirmam que os microrganismos provenientes de ambientes internos úmidos são conhecidos por serem uma das principais causas da degradação da qualidade do ar interno e podem ocasionar sérios riscos à saúde dos ocupantes. Superfícies de materiais de construção (gesso cartonado, argamassa, etc.) são normalmente bastante porosas e ásperas. Em ambientes úmidos, esses materiais podem fornecer um ambiente favorável à proliferação e crescimento de microrganismos.

Esses fatores refletem-se no projeto do edifício, com uma ênfase maior em edifícios estruturalmente apertados para a conservação de calor e energia, dando origem ao potencial para condições úmidas que poderiam promover o crescimento de fungos. Materiais de construção geralmente refletem o que está disponível localmente. A exposição aos fungos em ambientes fechados e problemas de saúde têm sido extensivamente pesquisados nos Estados Unidos e outros países (CROOK, 2010).

A degradação da qualidade do ar interior induzida por microrganismos (fungos, bactérias, fungos) é uma preocupação crescente para as organizações internacionais de saúde (VERDIER et al., 2014).

Os usuários de edifícios danificados pela umidade sofrem de vários distúrbios respiratórios e outros problemas de saúde. Componentes inaláveis ou metabólitos

de micróbios que crescem em materiais de construção danificados e úmidos são considerados potenciais indutores desses efeitos (TORVINEN et al, 2006).

De acordo com Squinazi (2002) a presença de microrganismos no ar interior, possui quatro fontes principais:

- a) humanos, os quais intervêm pela emissão de gotículas salivares e nasais, e escamas cutâneas;
- b) qualquer reservatório de água contendo microrganismos, quando perturbado, dissemina micro gotas de água contaminadas na atmosfera, como os chuveiros, umidificadores e nebulizadores.
- c) poeiras geradas pelas atividades nos edifícios, as quais são carregadas de microrganismos e ficam suspensas no ar.
- d) por fim, todas as superfícies molhadas são locais de proliferação e disseminação de microrganismos, uma vez que contaminadas pelo contato com uma fonte de microrganismos (humanos, animais, roupas, poeiras, etc.).

Os moradores urbanos passam mais de 80% do tempo dentro dos edifícios. Este tempo de presença é ainda maior em casos de creches, escolas, lar de idosos e estabelecimentos comerciais. A exposição dos indivíduos frente à poluição atmosférica é, portanto, em grande parte condicionada pelo ambiente interno, especialmente porque a presença de novos materiais sintéticos são fontes de poluentes e interferem na qualidade do ar interior (SQUINAZI, 2002).

Crook (2010) ratifica afirmando que os seres humanos são constantemente expostos a fungos, visto que estes são onipresentes no meio ambiente, e geralmente, sem sofrer danos à saúde. No entanto, em alguns casos, a inalação de formas suficientes de esporos de fungos pode desencadear sintomas de asma, rinite ou bronquite.

### **2.3.2 SUSTENTABILIDADE**

As exigências do usuário relacionadas à sustentabilidade, de acordo com a norma ABNT NBR 15575-1:2013, abrangem os fatores de durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental.

### 2.3.2.1 Durabilidade

Para Maciel (1997) citado por Beato Sobrinho (2008), a durabilidade dos revestimentos de argamassa está relacionada com a propriedade no período de uso do revestimento, sendo que estas propriedades resultam do revestimento no seu estado endurecido e repercutem no desempenho deste, mediante as ações do seu meio ao longo do tempo. A durabilidade dos revestimentos pode ser afetada por fatores como: espessuras excessivas, fissuras que se manifestam, colônias e proliferação de microrganismos, manutenção inadequada, qualidade da própria argamassa. SHIRAKAWA (1994) também define durabilidade como a capacidade que um produto, componente, montagem ou construção, possui de manter seu desempenho acima dos níveis mínimos especificados, de forma que atenda às exigências dos usuários, em cada situação específica.

Nappi (1995, apud Beato Sobrinho, 2008), afirma que a umidade manifestante nas paredes é um dos problemas que mais ocorrem nas edificações, contribuindo para geração de consequências quanto à insalubridade do ambiente, desconforto íntimo para o usuário, além da acelerada degradação dos materiais. A norma ABNT NBR 15575-1:2013 também destaca que as características dos materiais e da qualidade da construção como um todo, o correto uso e operação da edificação e de suas partes, a frequência das operações de limpeza e manutenção, alterações climáticas e níveis de poluição no local da obra, além do entorno da construção, interferem na vida útil da edificação, isto é, no período de tempo para qual este foi projetado e construído.

As não conformidades que se manifestam no produto em função de falhas no projeto, fabricação, instalação, execução, montagem, uso ou na manutenção, assim como problemas que não decorram do envelhecimento natural, são denominadas como patologias (ABNT NBR 15575-1:2013). De acordo com Dias (2003, apud Beato Sobrinho, 2008), as manifestações patológicas ocasionadas pela umidade dependem de diversos fatores, como: condição de ocupação, influenciada pela produção de vapor nas edificações, ventilação dos compartimentos, temperatura ambiente interior e isolamento térmico das paredes que venham a entrar em contato com ambientes mais frios, lembrando que a diferença entre a temperatura interna e externa tem forte influência no processo de deterioração do revestimento.

Nesta mesma linha, Shirakawa et al. (2009) afirmam que um dos maiores problemas na durabilidade dos edifícios é a umidade interna ou externa. Em ambos os casos quando a umidade no material é elevada o crescimento de fungos é favorecido, sendo este um fator de alta relevância em ambientes internos devido à possibilidade de ocorrência de alergia em indivíduos atópicos. A biodeterioração de edificações é um problema amplamente conhecido em regiões tropicais onde fatores ambientais como elevadas temperaturas, alta umidade relativa do ar e altos índices de precipitação durante o ano colaboram para o crescimento de diversos organismos na superfície de tais construções (GÖRS et al., 2007, apud. SHIRAKAWA et al., 2009).

Penas (2008) afirma que:

O modelo de funcionamento das paredes antigas é diferente do usado atualmente. Uma das diferenças está relacionada com a proteção da umidade. Enquanto as paredes recentes são concebidas para evitar a entrada de umidade através do uso de materiais impermeáveis e da realização de cortes de capilaridade, as paredes antigas permitem a entrada da umidade por serem constituídas por materiais mais porosos. Contudo, nestas últimas, a água que penetra com facilidade no suporte é também retirada com facilidade devido à elevada permeabilidade ao vapor de água. O invés se passa com as paredes atuais, a água que eventualmente entra, é dificilmente expulsa.

Veiga (1998) também corrobora com os outros autores e afirma que as infiltrações de água influenciam a durabilidade dos edifícios, visto que o contato prolongado com a água e os ciclos de umedecimento e secagem são fatores de degradação das alvenarias e, correntemente, também dos materiais estruturais. A autora ainda ressalta que a qualidade do tipo de revestimento é um fator determinante para a salubridade, conforto, durabilidade e aspecto estético dos edifícios.

Conforme destacam Gaylarde et al. (2011), nas superfícies externas, a chuva e o vento trazem fragmentos de origem vegetal e animal, esporos e células microbianas, assim como minerais e poluentes atmosféricos. Internamente, os microrganismos aéreos são derivados do ar exterior, mas a população também é influenciada pelas atividades humanas no interior do edifício, não só pela disseminação de bactérias e fungos pela pele e roupas, mas também pela alteração induzida pela respiração dos gases atmosféricos e da umidade. O ambiente interno é normalmente mais controlado do que o exterior, o aquecimento, o ar condicionado

e os umidificadores/desumidificadores exercem a sua influência sobre os fatores que controlam o crescimento e a sobrevivência microbiana. Uma vez que colidem com a superfície, os microrganismos aderem e crescem a taxas que dependem da natureza do revestimento, do substrato pintado e das condições ambientais. As condições higrotérmicas são particularmente importantes, alta umidade ou condensação, juntamente com temperaturas elevadas, favorecem o crescimento. Os constituintes do revestimento também afetam o desenvolvimento microbiano, sendo alguns componentes inibitórios e outros estimulantes do crescimento.

A atividade da água, a composição química, o pH e as propriedades físicas das superfícies são parâmetros que influenciam o crescimento microbiano nos materiais (VERDIER et al., 2014).

#### *2.3.2.1.1 Proliferação de microrganismos*

A transformação de vários tipos de materiais vem sendo associada ao metabolismo de microrganismos, sendo este um processo desejável ou indesejável. Shirakawa (1994) apresenta as biotransformações desejáveis como biodegradação, por exemplo, a biodegradação de plásticos e resíduos industriais, enquanto que as indesejáveis são definidas como biodeterioração, como, a biodeterioração de equipamentos metálicos e concreto. A biodeterioração é definido por MARQUES (2005) como o processo de destruição de um material por organismos vivos ou pelos produtos do seu metabolismo. O processo de colonização de uma argamassa é favorecido pelas suas características de porosidade, composição e rugosidade, já que estas podem favorecer a retenção de água no material e o conseqüente crescimento de microorganismos.

A deterioração dos materiais pode ocorrer por processos químicos, físicos, mecânicos ou biológicos, sendo frequente também a atuação simultânea destes, afetando, desta forma, a vida útil dos materiais das edificações. Marques (2005) destaca que é bastante difícil dosar uma argamassa de reboco de forma a que o revestimento seja, ao mesmo tempo:

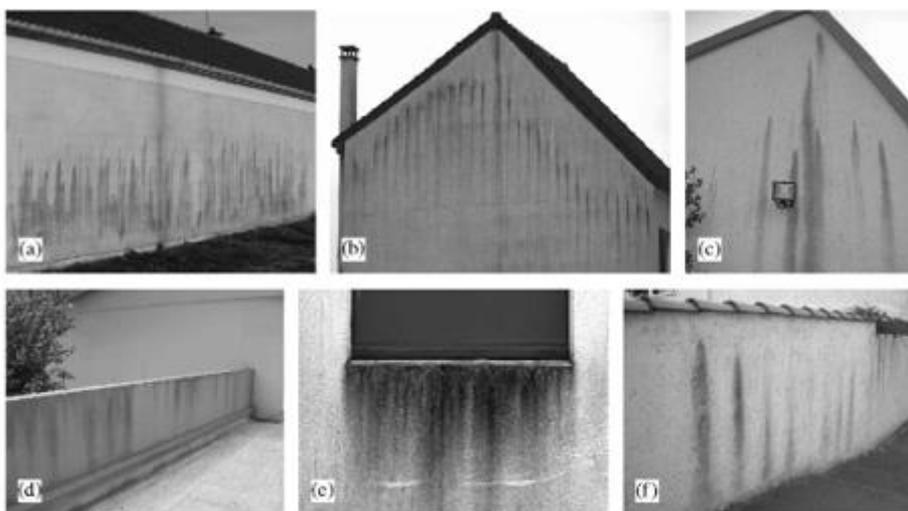
- a) pouco suscetível à fissuração;
- b) pouco permeável à água;
- c) bastante permeável ao vapor de água;
- d) bem aderente ao suporte.

Visto que estas propriedades estão inter-relacionadas e é difícil encontrar um compromisso satisfatório a todos os níveis. De acordo com o autor um revestimento deve possuir as camadas internas com granulometria maior que as externas, e assim, a deformabilidade e a porosidade aumentam do exterior para o interior, assegurando-se um bom comportamento às deformações estruturais e à água.

No envelope de construção, os microrganismos podem ser depositados em fachadas ou superfícies planas da estrutura. As listras coloridas, frequentemente observadas nas fachadas e ilustradas na Figura 11, (manchas coloridas que seguem o caminho da água) são compreendidas por, Barberousse et al. (2007) como a água que carrega microrganismos ao longo da face. Desta forma, apresentam-se diferentes esquemas que podem então ser propostos para explicar a fixação destes nas faces externas da edificação:

- a) eles podem assentar na água;
- b) eles podem ser retidos em cavidades criadas pela rugosidade do material;
- c) eles também podem penetrar no material à medida que a absorção de água ocorre.

Figura 11 - Manchas que seguem o caminho da água



Fonte: BARBEROUSSE et al. (2007).

Os microrganismos crescem em variados substratos, além daqueles habituais como casca de árvore, solo, pedras, todos os outros materiais de construção inesperados, como janelas, metais, conchas, etc., também são colonizadas por microrganismos. Pinturas, incluindo aquelas da mais alta qualidade, não resistem ao desenvolvimento de microrganismos (DERDUELLE, 1991).

Shirakawa et al. (2009) afirma que o crescimento de fungos em argamassas é fenômeno frequente no Brasil e no mundo, causando escurecimento da superfície e custos de manutenção em fachadas de casas e edifícios. Em ambientes internos o maior problema é a ocorrência de alergias respiratórias em indivíduos com predisposição a este tipo de doença. Destaca-se que na presença de umidade e nutrientes suficientes para o crescimento de bactérias e fungos na argamassa os microrganismos provocam danos físicos, como aumento da água dentro do material e danos químicos com a produção de sais e ácidos como nitratos e ácido nítrico. Também o biofilme (áreas pretas), que é a forma comum como os microrganismos crescem nas superfícies de materiais, pode gerar vários tipos danos na argamassa (WILIMZIG; BOCK, 1996 apud WILIMZIG, 2013).

De acordo com Derduelle (1991) as condições ecológicas necessárias para o crescimento de microrganismos são de três tipos: do substrato, climáticas e bióticas. Dada a sua capacidade de se adaptar a diferentes fatores ecológicos e, especialmente, os mais diversos meios, atualmente não há tratamento sustentável para evitar, a longo prazo, o crescimento de microrganismos. As condições de proliferação de microrganismos também consistem em um certa temperatura e presença de substâncias orgânicas que servem como alimento (poeira, alimentos, gesso cartonado, silicone, tintas). A degradação do material é manifestada por manchas, que podem passar despercebidas, e odores de mofo (SQUINAZI, 2002).

Assim como apresentado por Shirakawa et al. (2009), os fungos são organismos heterotróficos, ou seja, necessitam de uma fonte orgânica de carbono, e crescem em diferentes faixas de temperatura, necessitam de diferentes teores de umidade nos materiais, dependendo da espécie ou gênero e crescem notadamente em pH ácido. A reprodução destes geralmente ocorre por formação de esporos que se dispersam pelo ar e ao encontrarem condições adequadas de nutrição e umidade em um substrato germinam formando hifas e dando origem a colônias, que, a olho nu, são observáveis pelo aparecimento do bolor.

Shirakawa et al. (2009) também afirmam que o crescimento de fungos e outros organismos causam o aparecimento de manchas escuras na superfície com o favorecimento da deterioração de argamassas de revestimento e pinturas; estas manchas podem aparecer em poucos anos, de acordo às condições úmidas, sendo estas prevalentes em algumas regiões tropicais do Brasil, da orientação das fachadas e da permeabilidade dos materiais de construção.

Shirakawa et al. (1997) citado por Vieira et al. (2009) afirmam que o crescimento de fungos está sempre associado à presença de água (seja por condensação, infiltração, ou por absorção capilar ascendente) e também a outros fatores contribuintes, como, umidade relativa do ar acima de 70%, pH entre 4 e 7, e temperatura entre 20 e 30°C. Além disso, parâmetros físicos dos revestimentos como, rugosidade ou porosidade, são fortemente supostos como fatores de influência na proliferação de microrganismos. Barberousse et al. (2007), afirmam que materiais de acabamento com alta absorção de água são propensos à colonização biológica.

O desenvolvimento de fungos só ocorrerá dadas as condições certas de disponibilidade de água, geralmente umidade relativa superior a 60% em todo o edifício ou em áreas localizadas, juntamente com calor suficiente para permitir a germinação de esporos e crescimento de hifas (CROOK, 2010).

#### *2.3.2.1.2 Permeabilidade ao Vapor*

O ar é uma mistura gasosa em que um dos componentes é vapor de água. A quantidade máxima de vapor de água que o ar pode conter é chamada de limite de saturação, que varia de acordo com a temperatura, aumentando ou diminuindo quando a temperatura do ar aumenta ou diminui. A umidade absoluta é a quantidade de vapor de água que o ar contém. Entende-se por umidade relativa do ar (UR) a relação percentual entre a umidade absoluta (W) e a umidade do limite de saturação (WS) (BEATO SOBRINHO, 2008).

De modo geral, no interior dos edifícios é onde ocorre a condensação de vapor, juntamente com os revestimentos das paredes exteriores, pois geralmente, nestas fases a temperatura está abaixo a do ar ambiente, provocando o aumento da umidade relativa do ar na camada de contato com a parede, o que ocasiona as condensações (BEATO SOBRINHO, 2008).

A umidade nas construções pode ser provinda de diversas formas, como, condensações superficiais e internas, higroscopicidade, fuga nas instalações, umidade de construção e capilaridade, sendo a capilaridade o mecanismo preponderante para que haja umidade ascensional (FREITAS et al., 2008 apud TEMP, 2014). Assim como afirma Temp (2014), a umidade em excesso ou em limites inadequados, além de afetar a saúde dos usuários, pode ser um dos

principais agentes de degradação de um sistema composto por revestimento argamassado.

Na cidade de Porto Alegre/RS, segundo PETRUCCI (1987), a umidade relativa mantém-se, na média, com índices superiores a 65%, sendo que as máximas ocorrem nos meses de maio, junho e julho, ficando em torno de 81%. Desta forma são facilitados os processos de deposição de partículas por via seca e úmida, favorecendo os fenômenos de condensação da água sobre os paramentos das fachadas.

Quando águas de pureza elevada, provenientes da condensação da umidade ou vapores de água contidos na atmosfera, ou águas pluviais, entram em contato com argamassas já endurecidas, elas vão espalhar-se pelos poros do material e dissolver as fases hidratadas ricas em cálcio. Para além destas, deve considerar-se ainda a água proveniente da condensação da umidade ascendente por capilaridade, que corresponde a uma das mais frequentes formas de degradação em edifícios, devido ao longo período de permanência (geralmente toda a época das chuvas), e com afetação de todas as paredes térreas do edifício. Esta dissolução provoca um aumento da porosidade do material e conseqüentemente da permeabilidade, levando a um decréscimo da resistência mecânica e a um aumento da susceptibilidade ao ataque por outros agentes agressivos (MARQUES, 2005).

O autor também afirma que a cristalização de sais solúveis nos poros de uma argamassa produz muito frequentemente deterioração. Os sais produzidos são constituídos por íons existentes na água, e que foram lixiviados da argamassa, da estrutura, dos tijolos, de rochas alteradas, etc. Partículas sólidas soltas na atmosfera, poluentes e produtos do metabolismo de organismos vivos podem também ser fontes de alguns íons.

Uma argamassa porosa e permeável vai ser mais passível à cristalização de sais, na medida em que admite uma maior quantidade de solução na sua estrutura e facilita a evaporação da água. No entanto, quanto mais puros forem os seus materiais de origem, isto é, quanto menos contaminantes existirem, menor a probabilidade de ocorrer cristalização de sais. Destaca-se também que o processo de dissolução de sais de cálcio pode ter outros efeitos indesejáveis do ponto de vista estético. Frequentemente o produto de reação  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  precipita na superfície das argamassas, dando origem a eflorescências brancas de  $\text{CaCO}_3$  (MARQUES, 2005).

As variações de temperatura e umidade relativa podem produzir dilatações e contrações no material, criando tensões na argamassa e mesmo na estrutura. A evaporação dá-se a diferentes velocidades, dependendo do material. Quando as argamassas são aplicadas em multicamadas usando materiais com características distintas, técnica muito frequente em operações de revestimento, esses materiais podem ter coeficientes de expansão térmica e higrométrica diferentes. As tensões induzidas podem ser tais que resultem em fissuração ou desagregação (MARQUES, 2005).

Para Nappi (1995 apud Sobrinho, 2008):

Quando existe umidade, os sais desagregam-se e deslocam-se juntamente com a água até a superfície, onde se cristalizam, sendo que esse processo de transição entre as fases de dissolução e cristalização gera um aumento de volume do sal, provocando a deterioração da superfície onde está depositado. O fenômeno chamado criptoflorescência acontece quando a cristalização se manifesta no interior da superfície, já a eflorescência se dá no ambiente exterior.

Veiga (1998) afirma que a capacidade de impermeabilização do reboco é determinada, tanto pela capacidade de resistir à penetração até ao suporte da água proveniente do exterior, quanto pela capacidade de permitir a eliminação rápida por secagem da água em excesso, assim que surjam condições atmosféricas favoráveis.

De acordo com Veiga (1998), a permeabilidade ao vapor de água influencia a higrometria interior da edificação, visto que as atividades normais dentro desta provocam a liberação de vapor de água, que, em determinadas condições termo-higrométricas dá origem a condensações, inicialmente nas superfícies mais frias e nos locais menos ventilados, e atingindo depois, em condições particularmente desfavoráveis, as zonas correntes das partes e tetos. Estas condensações, de acordo com a autora, chegam a traduzir-se em escorrimentos, que se confundem com infiltrações de água exterior, as quais são desconfortáveis e insalubres, de forma que se os acabamentos finais das paredes e tetos não contiverem agentes fungicidas, originam o aparecimento de fungos e bolores.

#### *2.3.2.1.3 Rugosidade superficial*

De acordo com Magalhães (2002) apud Penas (2008), a presença prolongada da umidade, a falta de ventilação, a acumulação de sujidade nos revestimentos pode

conduzir à presença de organismos e microrganismos que se depositam na superfície do revestimento e contribuem para a sua degradação. Saad (1960), recomenda que a camada final, constituída por argamassas que não são impermeáveis, tenha superfície com acabamento liso, a fim da água escorrer livremente sobre ela e não acumular em poros.

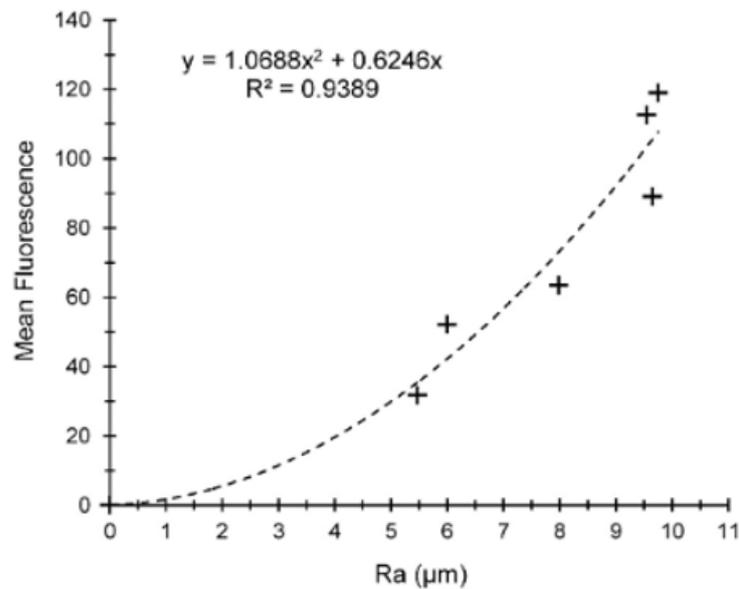
Em estudos realizados por Barberousse et al. (2007), a porosidade e a rugosidade dos materiais mostraram-se parâmetros influenciadores no estabelecimento de algas e cianobactérias. A porosidade dos materiais permite a absorção e retenção de água e, portanto, a disponibilidade para a alga, além disso destaca-se que o desenvolvimento das algas aumenta com a maior porosidade do material. Os autores supõem que a rugosidade elevada facilita a retenção e a adesão de microrganismos à superfície, sendo isso consistente com observações realizadas em outros trabalhos anteriores (Barberousse et al., 2006) que mostraram que os revestimentos minerais ásperos são mais colonizados do que os lisos.

Ainda, em estudos realizados por D'orazio et al., (2014), com testes a partir de crescimentos acelerados de algas em diferentes tipos de materiais, efetuou-se correlações entre a bioreceptividade dos materiais de construção (expressos como a intensidade média da fluorescência proveniente do biofilme) e sua rugosidade e porosidade total, respectivamente. Conforme previamente hipotetizado pelos autores, quanto maior a retenção de água, mais são os nutrientes disponíveis e, portanto, mais rápido o crescimento de algas na superfície dos espécimes. Depois de um certo ponto, à medida que a superfície dos espécimes se satura, a curva torna-se estável. Mais especificamente, a rugosidade afeta a retenção de água superficial, enquanto a porosidade determina a retenção de água nos materiais de construção. Ambos os parâmetros físicos são responsáveis pela ocorrência de água e são, portanto, essenciais para o crescimento dos microrganismos.

No geral, foi encontrada uma correlação matemática entre o crescimento das algas e a rugosidade superficial, e absorção de água e porosidade total, respectivamente, apresentadas nas Figuras 12 e 13. Os dois últimos parâmetros demonstraram desempenhar um papel fundamental no crescimento de microalgas, uma vez que foram diretamente responsáveis pela retenção de água e nutrientes sobre e dentro dos espécimes. Em particular, a rugosidade superficial foi definitivamente confirmada como um parâmetro chave para a adesão do biofilme aos substratos, visto que ela determina o grau de adesão das células de algas.

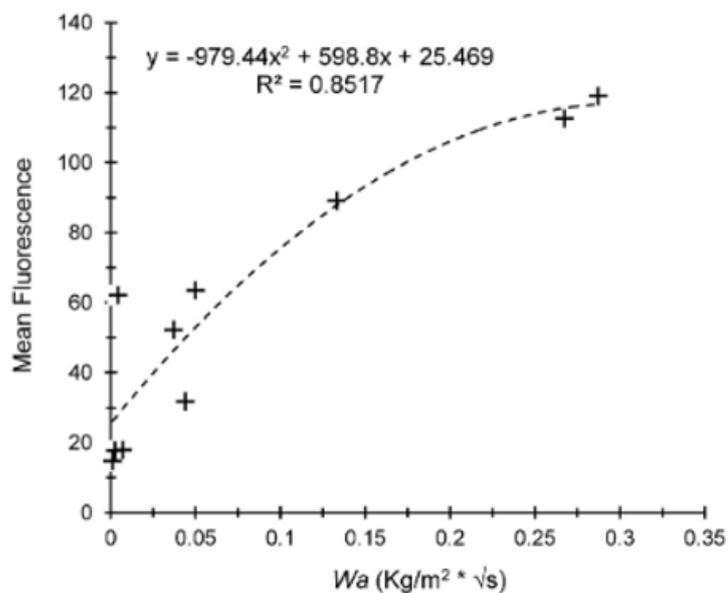
Assim, um controle rigoroso desses parâmetros durante o processo de produção de materiais de construção poderia reduzir fortemente a adesão e a proliferação de microalgas nas fachadas dos edifícios, o que resultaria em uma limitação acentuada da biodeterioração do prédio e conseqüente redução nos custos de manutenção (D'ORAZIO et al., 2014).

Figura 12 - Correlação entre a bioreceptividade e a rugosidade superficial



Fonte: D'ORAZIO et al. (2014).

Figura 13 - Correlação entre a bioreceptividade e a absorção de água



Fonte: D'ORAZIO et al. (2014).

Veiga (1998) também afirma que deve-se dar atenção à regularidade e planeza do revestimento e o seu acabamento final, visto que estas têm grande impacto no aspecto geral do edifício. A autora afirma que a rugosidade, a textura e o tipo de acabamento devem harmonizar-se com a idade e estilo do edifício e com o conjunto urbanístico em que este se insere.

#### *2.3.2.1.4 Potencial hidrogeniônico*

Shirakawa et al. (2009) afirmam que as argamassas têm alcalinidade elevada não sendo um meio favorável ao crescimento de fungos, mas ao se carbonatarem a alcalinidade é gradativamente neutralizada. Ao atingir um pH em torno de 9 o meio já pode ser favorável ao crescimento do fungo *Cladosporium sphaerospermum*. Barberousse et al. (2006), ratifica afirmando que um alto pH, em particular, é conhecido por retardar a colonização de microrganismos, como pode ser observado em argamassas recém-aplicadas, entretanto, sendo possível a colonização uma vez que o processo de carbonatação reduz a alcalinidade.

De acordo com Marques (2005) nas argamassas endurecidas à base de cal (já carbonatadas), o constituinte principal,  $\text{CaCO}_3$ , apresenta um pH moderadamente básico e, quando em contato com a água, aproximadamente neutra, dissolve-se até ser atingido um equilíbrio. Se a água contiver dissolvido  $\text{CO}_2$  a solubilidade da calcita vai ser ainda maior. Se restar ainda alguma portlandita,  $\text{Ca(OH)}_2$ , que não foi carbonatada este será o constituinte mais solúvel. Os revestimentos compostos por cal constituem um meio propício para o seu desenvolvimento, principalmente após a carbonatação da cal, quando há uma diminuição do pH (TAVARES, 2009).

Diversos estudos relacionaram as condições de pH ideal com o crescimento de microrganismos. Shirakawa (1994) relacionou as bactérias envolvidas em processos de biodeterioração e o pH, sendo apresentada como condição ótima de crescimento temperaturas entre 20 e 43°C e pH de 2 a 8. Alguns anos posteriores (a autora realizou estudos no Brasil (Shirakawa, 1998 e 1999 apud Shirakawa et al. 2009), em que os fungos do gênero *Cladosporium* foram os encontrados com maior frequência nas argamassas e notou-se como consequência da carbonatação destas, a redução do pH da água dos poros de 13 para 9 e, então, o crescimento do fungo. Os resultados desse estudo indicaram haver uma inter-relação crescimento de fungos e carbonatação das argamassas. Os fungos necessitam de pH ácido (menor

que 7) para o seu metabolismo, no entanto, com valores em torno de 9 a cepa de *Cladosporium sphaerospermum* já foi capaz de crescer. Concluiu-se também que o CO<sub>2</sub> produzido pelos fungos pode carbonatar as argamassas mesmo não havendo contato direto.

Este mesmo estudo indicou que em dormitórios com ventilação inadequada, principalmente em habitações de população de baixa renda, onde há um número de usuários elevado por área, o gás carbônico produzido pela respiração humana pode formar um microclima no qual, juntamente com o vapor de água também gerado pela respiração, favorecer a carbonatação da argamassa de revestimento. Nestes casos, se houver uma fonte de nutrientes, o crescimento de fungos é certamente facilitado e, conseqüentemente, propiciará mais carbonatação e mais crescimento de fungos. Em indivíduos atópicos este ciclo pode desencadear sintomas típicos de processos alérgicos respiratórios. Este fato ressalta a importância da ventilação adequada de ambientes internos da edificação.

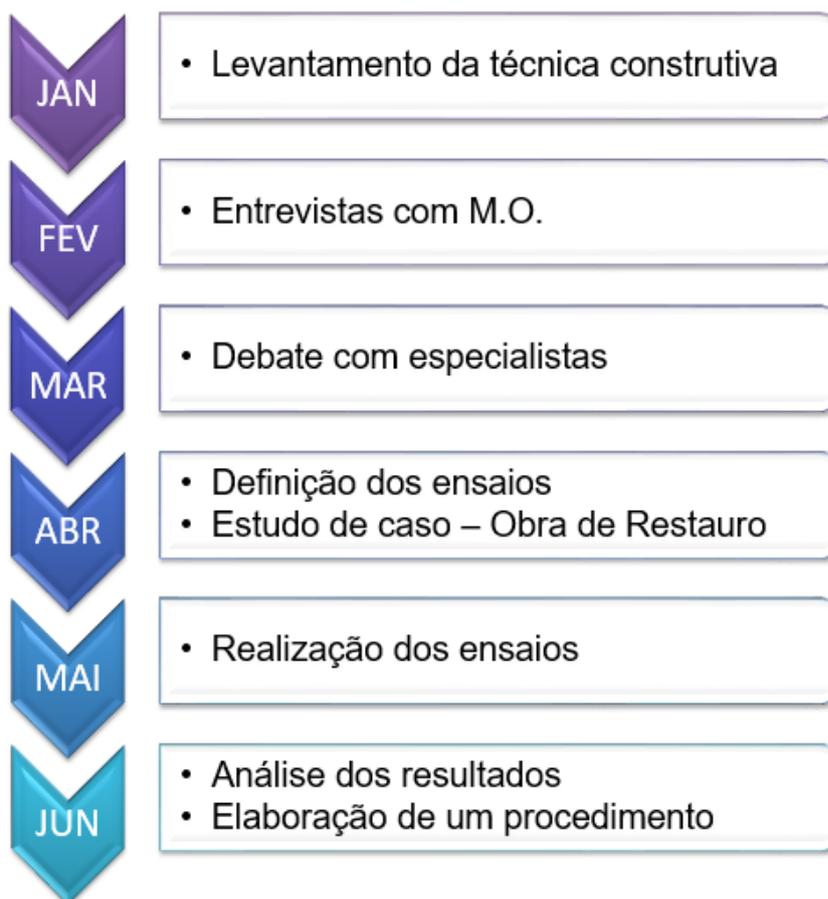
Coelho (2009) também destaca que por ser um produto alcalino, a cal atua como agente bactericida e fungicida. Além disso, evita que se formem manchas e o apodrecimento precoce dos revestimentos; proporciona economia de tinta, pois permite acabamento mais liso e de cor clara; é compatível com qualquer tipo de tinta e outros acabamentos (após a carbonatação), se respeitado o tempo de cura.

### 3 METODOLOGIA

O delineamento da pesquisa foi definido conforme a Figura 14, considerando um tempo de aproximadamente seis meses, ao longo do primeiro semestre de 2019. De início realizou-se o levantamento da técnica a partir da revisão bibliográfica, principalmente de Portugal, e observou-se que a técnica construtiva era frequentemente utilizada nos séculos passados e caiu em desuso devido ao aparecimento de novos materiais, como o cimento, e também devido à facilidade de encontrar atualmente materiais prontos para uso no mercado da construção civil. Sendo assim, em fevereiro, realizaram-se as entrevistas com mão de obra especializadas em revestimentos à base de cal como camada de acabamento, a fim de compreender como o procedimento desta técnica era executado na atualidade. Juntamente com a revisão bibliográfica, notou-se que algumas atividades intrínsecas neste processo eram realizadas de maneira distintas às de antigamente e, também, haviam variações no processo de empresa para empresa. Percebeu-se também, que este acabamento era popularmente conhecido por apresentar diversas vantagens relacionadas à condensação da umidade, de forma que possibilitava uma maior permeância do vapor de água, e melhorias relacionadas à proliferação de microrganismos, como fungos.

Desta forma, em março, ocorreram os debates com especialistas da área, a fim de compreender melhor as características relacionadas ao uso da cal em argamassas e à técnica construtiva deste revestimento. Posteriormente, de acordo com os dados coletados em obra e com os especialistas, definiu-se o programa experimental em laboratório, o qual avaliou dois dos diversos parâmetros relacionados à proliferação de microrganismos, sendo eles, o pH e a rugosidade superficial.

Figura 14 - Delineamento da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Desta forma, a metodologia dividiu-se em duas etapas, sendo a primeira, o levantamento da técnica construtiva e a segunda, o programa experimental.

### 3.1 LEVANTAMENTO DA TÉCNICA CONSTRUTIVA DOS REVESTIMENTOS À BASE DE CAL

O levantamento da técnica construtiva dos revestimentos à base de cal, conforme apresentado no item anterior, compreendeu três atividades, sendo elas: as entrevistas realizadas com empresas especializadas na técnica construtiva de acabamentos de cal, o debate com especialistas da área e o estudo de caso de uma obra de restauro de patrimônio histórico-cultural.

### **3.1.1 Entrevista com empresas especializadas**

A fim de levantar dados sobre a execução dos revestimentos à base de cal, destinados para camada de acabamento, em obras da região do Vale do Rio dos Sinos, foram realizadas cinco entrevistas com empresas especializadas em acabamentos, ao longo dos meses de abril, maio e junho. Três entrevistas ocorreram por meios eletrônicos e duas presencialmente nas obras. Percebe-se que todos os entrevistados eram homens, com idade entre 30 e 40 anos. A maior parte dessas empresas oferece outros serviços de acabamento, como, massa corrida. O roteiro utilizado nas entrevistas é apresentado a seguir:

1. A empresa compra a mistura de calfino pronta (industrializada) ou compra a cal virgem, areia e realiza a mistura?
2. Como é realizado o processo de obtenção da cal hidratada?
3. Qual o período de descanso da mistura (hidratação)?
4. Quais as proporções dos materiais (traços) utilizados?
5. Existem procedimentos a serem realizados na superfície antes da aplicação? Quais?
6. De que forma o acabamento é aplicado?
7. Qual a espessura da camada, aproximadamente?
8. A empresa aplica este revestimento em ambientes externos?
9. Qual o preço cobrado pelo metro cúbico?
10. Quais os problemas que este acabamento pode apresentar?

### **3.1.2 Debate com especialistas**

Na mesma linha, posteriormente foram realizadas entrevistas com profissionais especializados nas áreas relacionadas à técnica construtiva do revestimento à base de cal, a fim de obter-se dados técnicos a respeito deste material. O primeiro entrevistado, Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak, possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1985), mestrado em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1989 - Tema: desempenho de alvenarias), doutorado em Engenharia pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (1995 - Tema: durabilidade de estruturas

de concreto) e é pós-doutor pela Universidade da Califórnia - Berkeley (2014 - microestrutura de concretos).

No NORIE (Núcleo Orientado para a Inovação e Edificação), na UFRGS, em Porto Alegre, foram realizadas três entrevistas com a bolsista do pós doutorado, Fernanda Lamego Guerra, e com a bolsista de doutorado, Caroline Giordani. Fernanda atua principalmente em pesquisas sobre temas relacionados à patologia das edificações, com foco na ação de fungos filamentosos em argamassas de revestimento de edificações históricas, assim como nas questões relacionadas aos critérios de análise, caracterização de materiais e técnicas de intervenção no patrimônio cultural edificado. Caroline realizou seu mestrado na área de materiais e sistemas construtivos (2017), e atualmente pesquisa na linha de ciência, propriedades e comportamentos dos materiais na construção civil.

No dia 19 de março de 2019 foi realizada uma entrevista com o pesquisador de argamassas e revestimentos, Fernando Antonio Piazza Recena, autor de obras como “Conhecendo a Argamassa” (2012) e “Técnicas aplicáveis a Trabalhos de Restauração de Prédios de Interesse Histórico e Cultural” (2014).

Além destas, também foi realizada uma entrevista com o Dr. Markus Wilimzig, graduado em Biologia, com especialização em Microbiologia pela Universität Hamburg (1985) e doutorado em Biologia/Bioquímica pela Universität Bielefeld (1990). Tem experiência na área de Ecologia, com ênfase em Ecologia Aplicada, atuando principalmente nos seguintes temas: bactérias e fungos, deterioração de materiais da área calçadista, deterioração de materiais de monumentos históricos, tratamento biológico de resíduos líquidos e sólidos. Atualmente trabalha como consultor para projetos de restauração de patrimônios históricos. A entrevista com este último ocorreu em função de uma visita à obra de restauro de uma antiga aduana em São Leopoldo, na antiga sede da UNISINOS, realizada no mês de maio de 2019. Nesta obra, estavam ocorrendo os processos de restauro da fachada e da cobertura da edificação.

### **3.1.3 Estudo de caso**

Na cidade de São Leopoldo, na antiga sede da UNISINOS, atualmente, está ocorrendo uma obra de restauro em um edifício de patrimônio histórico-cultural, o qual era uma antiga aduana, conforme Figura 15.

Figura 15 - Patrimônio histórico-cultural de São Leopoldo-RS em processo de restauração



Fonte: Registrado pela autora (2019).

O planejamento de reabilitação consiste na reforma da cobertura, a qual apresentava-se com risco de queda, de forma a aproveitar o máximo possível da madeira existente, como pode-se observar na Figura 16, e posteriormente, iniciou-se a restauração da fachada. O reboco o qual está em processo de deterioração e deslocamento, conforme a Figura 17, será raspado e retirado, para então dar procedimento na aplicação do novo revestimento.

Figura 16 - Restauro da cobertura



Fonte: Registrado pela autora (2019).

Figura 17 - Reboco deteriorado nas fachadas da Antiga Aduana



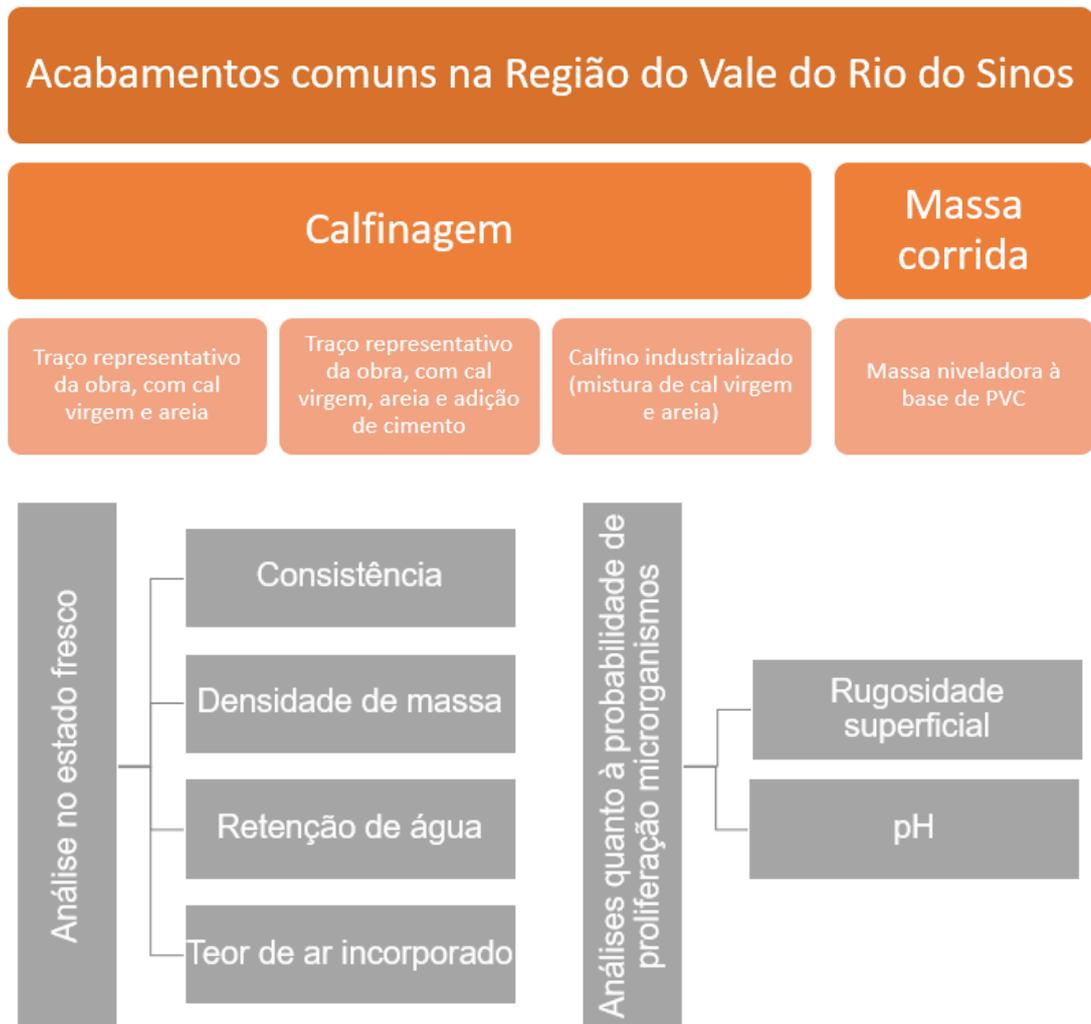
Fonte: Registrado pela autora (2019).

### 3.2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

As diretrizes do programa experimental, definidas a partir do levantamento de dados da técnica construtiva dos revestimentos à base cal destinados à camada de acabamento, deu-se de acordo com o Fluxograma 1, estendendo-se a avaliação de quatro traços para acabamento e delimitando-se à avaliar a consistência, densidade

de massa, retenção de água e teor de ar incorporado, no estado fresco, e à avaliar a rugosidade superficial e o pH quanto a probabilidade de proliferação de microrganismos.

Fluxograma 1 - Diretrizes do programa experimental



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

### 3.2.1 Materiais e métodos

Serão aqui descritos os ensaios realizados tanto para caracterização dos materiais da mistura quanto para caracterização dos traços utilizados no presente trabalho.

### 3.2.1.1 Ensaios de caracterização dos materiais

Os materiais secos a serem utilizados na composição das amostras serão devidamente caracterizados, conforme sintetizado na Tabela 1.

Tabela 1 - Ensaios de caracterização dos materiais secos a serem realizados

|   | CAL                   | AREIA                 | CIMENTO BRANCO        |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ENSAIOS DE<br>CARACTERIZAÇÃO<br>MATERIAIS SECOS | Massa específica      | Massa específica      | Massa específica      |
|   | Granulometria à laser | Granulometria à laser | Granulometria à laser |
|   | ATG E DTG             |                       |                       |
|   | FRX                   |                       | FRX                   |

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Para a caracterização no estado fresco, foram realizados os seguintes ensaios, conforme esquematizado na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 - Ensaios no estado fresco

|  | ESTADO FRESCO                                   |
|--|---|
| CARACTERIZAÇÃO<br>DAS AMOSTRAS<br>MOLDADAS | Índice de consistência<br>(ABNT NBR 13276:2002) |
|  | Teor de ar incorporado<br>(ABNT NBR 13278:1995) |
|  | Retenção de água                                |
|  | Densidade de massa                              |

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

#### 3.2.1.1.1 Granulometria à laser

O método da difração laser é amplamente utilizado para determinação do tamanho de partículas para materiais que vão desde centenas de nanômetros a vários milímetros de tamanho. Esta técnica mede as distribuições de tamanho das partículas por medição da variação angular na intensidade da luz difundida à medida que um feixe de laser interage com as partículas dispersas da amostra. Os dados sobre a intensidade da dispersão angular são então analisados para calcular o tamanho das partículas responsáveis por criar o padrão de dispersão, com base na

teoria de difusão da luz de Mie. O tamanho das partículas é indicado como o diâmetro de uma esfera de volume equivalente (MALVERN, 2019).

De acordo com Didoné (2011), o ensaio ocorre com a interação da luz com os elétrons presos no material, os quais re-irradiam espalhando a luz. No plano posterior ficam as lentes com placas de detecção acopladas a um processador de sinal que passará os resultados a um computador. Ainda, segundo Fisher et al. (2017), o método de difração a laser foi desenvolvido na década de 1970, é rápido e exige apenas alguns minutos para concluir uma medição. Este método possui outras vantagens como, a capacidade de gerar toda a distribuição de tamanho das partículas, o que é de alta relevância para quantificar mais completamente a diferença e classificação de tamanhos das partículas.

O preparo consistiu em passar os materiais na peneira de peneira 200 (73  $\mu\text{m}$ ) e posteriormente armazenados em sacos plásticos e encaminhados para análise. O ensaio foi executado no Laboratório de Caracterização e Valorização de (LCVMat) da UNISINOS.

#### *3.2.1.1.2 Análise termogravimétrica*

A análise termogravimétrica (ATG) apresenta a perda de massa do material conforme o aumento de temperatura, o que permite identificar os compostos do mesmo. A amostra foi preparada da mesma forma que para o ensaio de FRX. Foi realizado no Laboratório de Caracterização e Valorização de (LCVMat) da UNISINOS, com os seguintes padrões: massa inicial: aproximadamente 10mg; atmosfera: Nitrogênio; intervalo de temperatura: 25°C até 1000°C; taxa de aquecimento: 10°C/min.

#### *3.2.1.1.3 Fluorescência de raios X*

O ensaio de fluorescência de raios X (FRX) permitiu identificar o percentual de óxidos existentes nos aglomerantes. Amostras dos aglomerantes foram moídas até completa passagem pela peneira 200 (73  $\mu\text{m}$ ), estocadas em sacos plásticos, e encaminhadas para o ensaio. O ensaio foi realizado no Laboratório de Caracterização e Valorização de (LCVMat) da UNISINOS.

#### 3.2.1.1.4 Massa específica

Massa específica é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis. O procedimento de ensaio segundo a Norma ABNT NBR MN 52 - Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente.

#### 3.2.1.2 Dosagem e preparo das argamassas

Levando em conta que o presente trabalho teve como levantamento da técnica construtiva dos revestimentos à base de cal, visitas e entrevistas em obra, a definição dos traços compreendeu-se em escolher o traço utilizado pela empresa do Entrevistado 3, trazendo todas as características do processo de obra, a fim de obter-se um traço representativo. Por conseguinte, o segundo traço consistiu em adicionar 100g de cimento branco, assim como usual das empresas 3 e 5. O terceiro traço aborda a opção de produto utilizados pela empresa 2, ou seja, um calfino industrial, de marca comumente utilizada pela empresa.

A fins de comparação também determinou-se, para as avaliações do programa experimental, um segundo acabamento frequentemente utilizado na região, a massa corrida. Sendo esta massa vinílica, à base de PVA – poliacetato de vinila. Segundo Uemoto (2002) a massa vinílica é composta por água, resinas à base de dispersão aquosa de copolímero estireno-acrílico, cargas minerais inertes, glicóis tensoativos etoxilidos, com base principal de polímero de vinilo (PVA).

A dosagem do traço 1, traço de calfino representativo da obra (CO), como realizado pela empresa 3, consiste no seguinte traço:

- a) 20000 g de cal virgem;
- b) 1 balde de 12 L de areia fina e úmida;
- c) aproximadamente 36 L de água.

Na sequência, para obtenção do traço todo em massa, pesou-se a areia em um cilindro com volume conhecido de 429cm<sup>3</sup> (ou 0,429L), obtendo-se uma massa de 601,3g de areia. Esta foi seca em uma frigideira até não apresentar mais sinais de evaporação de água, sendo o teste para essa verificação realizado com a aproximação de um espelho sobre a areia quente. Ao final da secagem, pesou-se a areia obtendo-se uma massa de 534,5g, ocorrendo, então, uma perda de 11,11%, a

qual representa a umidade contida no material. Desta forma, pode-se descobrir a massa de areia equivalente ao balde de 12 L utilizado em obra, totalizando em 14950,91g. O novo traço, agora totalmente em massa, foi dividido por cinco, a fim de obter uma quantidade de argamassa suficiente para os ensaios, e ficou então definido como:

- a) 4000 g de cal virgem;
- b) 2990,18 g de areia fina seca;
- c) aproximadamente 7,2L de água.

O segundo traço, representativo da obra com adição de cimento (CIM), tem proporções iguais ao traço 1, com adição de 173 mL de cimento branco. Em massa, de acordo com a massa específica do material, esse traço traduziu-se em:

- a) 20000 g de cal virgem;
- b) 14950,91 g de areia fina seca;
- c) aproximadamente 36 L de água;
- d) 500g de cimento branco.

Na mesma linha do traço 1, este foi dividido em 5 partes representando a quantidade necessária de argamassa para os ensaios. Observa-se com os relatos dos entrevistados que a adição de água ocorre sempre com uma medida aproximada, pois esta é definida a partir de parâmetros visuais, em que constata-se que a argamassa está na consistência ideal para seu uso.

A dosagem do quarto traço, calfino industrializado da marca A, seguiu as recomendações do fabricante, nas proporções de 1:1 (calfino:água). Para esta mistura pesou-se 6000 g de calfino industrializado e 6000 mL de água.

O proporcionamento dos traços pode ser observado na Quadro 4 a seguir.

Quadro 4 - Traços em massa das argamassas utilizadas para os ensaios

|                 | Traço 1 (CO)<br>cal:areia | Traço 2 (CIM)<br>cal:areia:cimento branco | Traço 3<br>(CH) | Massa<br>corrida<br>(MC) |
|-----------------|---------------------------|---|-----------------|--------------------------|
| TRAÇO EM MASSA  | (1:0,75)                  | (1:0,75:0,025)                            | 6000 g          | Pronta para<br>uso       |
| TRAÇO EM VOLUME | (1:1)                     | (1:1:0,035)                               |                 |                          |

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

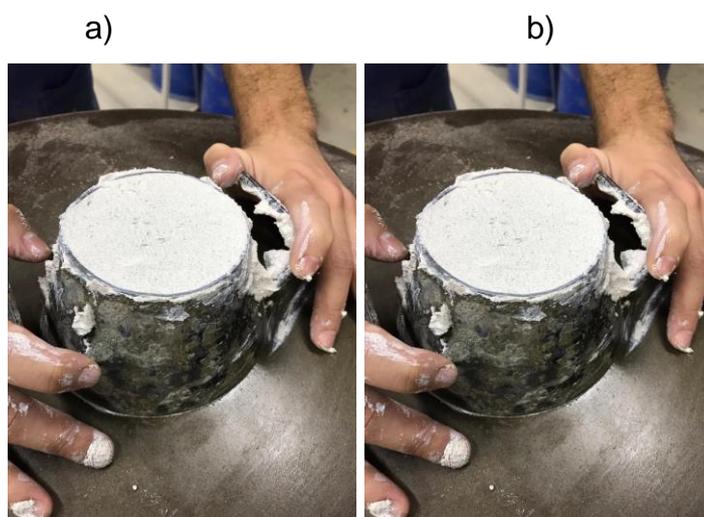
### 3.2.1.3 Ensaio no estado fresco

Foram realizados quatro ensaios no estado fresco a fim de caracterizar as argamassas, quanto ao índice de consistência, densidade de massa, retenção de água e ar incorporado, descritos nos tópicos a seguir.

#### 3.2.1.3.1 Índice de consistência

O ensaio para a medição da trabalhabilidade é descrito na norma ABNT NBR 13276:2016, Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação do índice de consistência e ilustrado na Figura 18.

Figura 18 - Ensaio de índice de consistência



Fonte: Registrada pela autora (2019).

A plasticidade é a propriedade que confere fluidez à argamassa, facilitando seu espalhamento. É também o termo utilizado para definir a maior ou menor facilidade de aplicação das argamassas como revestimento. Diz-se que a cal é plástica quando se espalha facilmente, resultando numa superfície lisa sob o rasto da colher do pedreiro. Se ela é arrastada por se agarrar à colher, pode provocar trincas ou mesmo soltar-se da parede. Nesse caso é considerada não plástica. A cal magnesiana produz argamassas mais trabalháveis do que a cal cálcica. (COELHO, 2009).

### 3.2.1.3.2 Densidade de massa

De acordo com a norma ABNT NBR 13278, Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado, a argamassa foi caracterizada quanto a sua densidade de massa no estado fresco, utilizando-se um recipiente cilíndrico com volume conhecido, conforme a Figura 19. O recipiente cilíndrico utilizado para o ensaio tem volume de 429 cm<sup>3</sup> e massa de 2117,4g.

Figura 19 - Ensaio de densidade de massa



Fonte: Registrada pela autora (2019).

### 3.2.1.3.3 Retenção de água

A norma ABNT NBR 13277, Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da retenção de água, define o método para determinação da retenção de água em argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos. O ensaio é realizado com um funil de Buchner, conforme a Figura 20, com bomba de vácuo.

Figura 20 - Ensaio de retenção de água



Fonte: Registrada pela autora (2019).

#### 3.2.1.3.4 Teor de ar incorporado

De acordo com a norma ABNT NBR 13278, Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado, a argamassa foi caracterizada quanto ao teor de ar incorporado, conforme a Figura 21.

Figura 21 - Ensaio de teor de ar incorporado

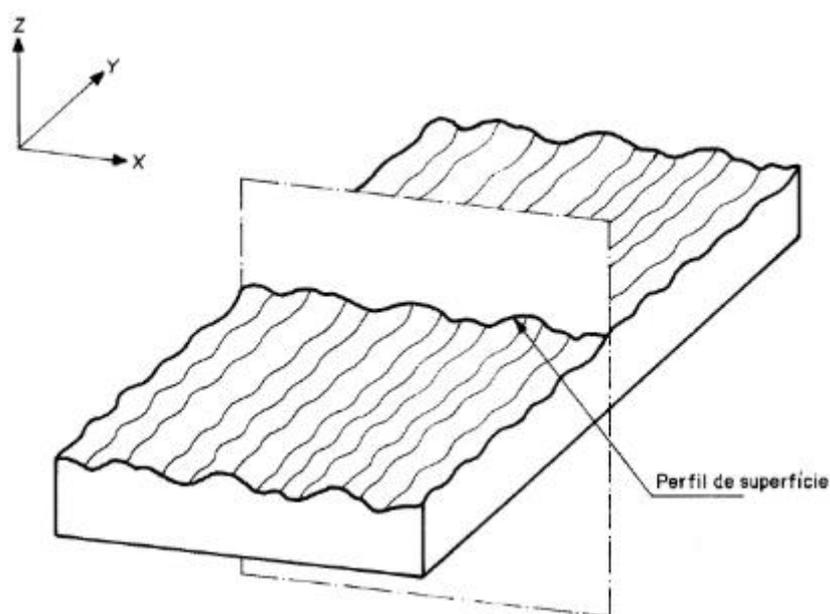


Fonte: registrada pela autora (2019).

### 3.3.1.4 Ensaio de rugosidade superficial

A Norma NBR ISO 4287: 2002, Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: Método do perfil – Termos, definições e parâmetros da rugosidade, tem por objetivo especificar termos, definições e parâmetros para a determinação do estado da superfície (rugosidade, ondulação e perfil primário) pelo método do levantamento do perfil. Para a realização deste ensaio define-se o perfil real, sendo a superfície que limita o corpo e o separa do meio ambiente, e o perfil da superfície, o qual é resultante da interseção da superfície real e um plano específico, conforme a Figura 22.

Figura 22 - Ilustração do perfil de superfície para ensaio da rugosidade



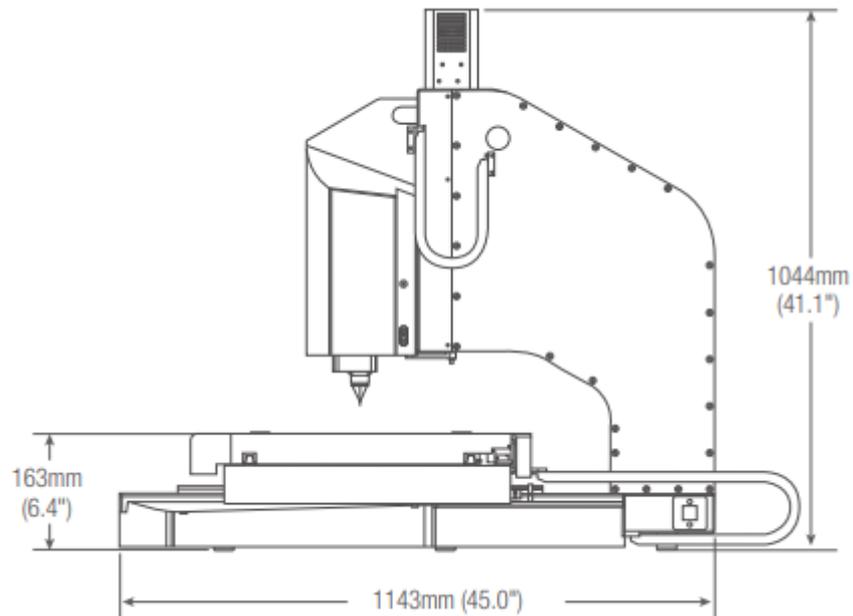
Fonte: NBR ISO 4287 (2002).

A mesma norma também define o comprimento de amostragem, como sendo o comprimento na direção do eixo X, usado para identificar as irregularidades características do perfil sob avaliação. No presente trabalho será avaliado apenas o parâmetro  $R_a$  (desvio aritmético médio do perfil avaliado), o qual indica a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas  $Z(x)$  (altura do perfil avaliado em qualquer posição  $x$ ) no comprimento de amostragem.

A rugosidade superficial dos acabamentos referidos neste trabalho foi estudada a partir de métodos distintos. O primeiro, com a finalidade de gerar os perfis de rugosidade dos corpos de prova, usando um sistema de medição óptica,

AV 300 (Starrett), conforme Figura 23. Os corpos de prova consistem em blocos de concreto, de acordo com a Figura 24 e foram colocados sobre a bancada do equipamento com o sensor a laser que se deslocava de acordo com o espaçamento pré-determinado no eixo X.

Figura 23 - Dimensões do aparelho AV 300



Fonte: Starrett (2018).

Figura 24 - Corpos de prova durante o ensaio

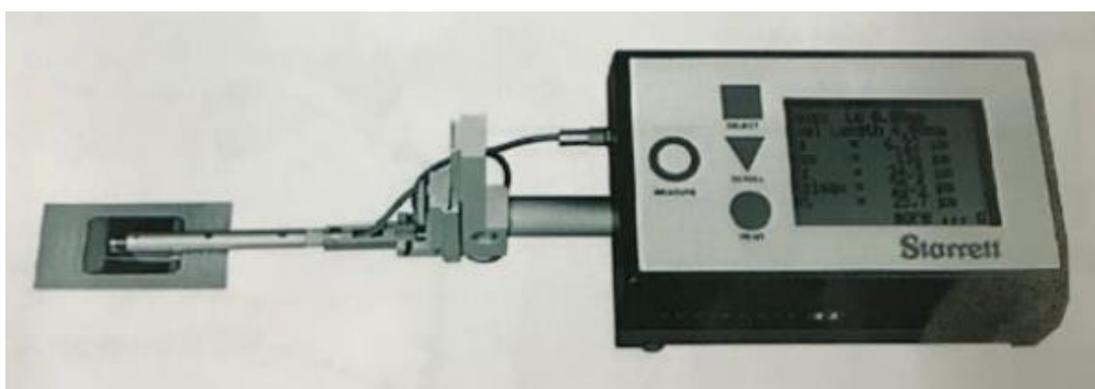


Fonte: Registrada pela autora (2019).

Primeiramente, o aparelho mediu aproximadamente dois mil pontos, para cada linha de 1 cm de comprimento (eixo X), mantendo o eixo Y constante, de acordo com a posição da altura de cada ponto (eixo Z). Tais medidas levaram à criação de um perfil de rugosidade da superfície estudada. Posteriormente, mediu-se áreas de 1cm<sup>2</sup>, com o mesmo equipamento, a fim de obter a área superficial dos acabamentos de calfino e massa corrida.

O segundo ensaio, com finalidade de obter o parâmetro de rugosidade média (Ra) dos acabamentos, foi realizado com o Rugosímetro, também da marca Starrett, modelo SR20 (Surface Roughness Tester), conforme pode-se observar na Figura 25.

Figura 25 - Ilustração do rugosímetro



Fonte: Starrett, 2015.

Antes de iniciar o ensaio o aparelho deve ser calibrado. Para isso faz-se a medição da rugosidade em uma placa metálica de referência, com rugosidade conhecida ( $R_a = 6,0 \mu\text{m}$ ), conforme a Figura 26, e confere-se, então, se o equipamento está devidamente calibrado.

Figura 26 - Placa metálica de referência



Fonte: Starrett, 2015.

A obtenção dos corpos de prova para este ensaio consistiu na extração de CP's cilíndricos, de blocos de concreto, com serra copo de 100mm, conforme a Figura 27. Estes CP's foram mantidos por duas semanas em sala climatizada com temperatura e umidade controladas e posteriormente aplicaram-se os acabamentos de massa corrida (MC), traço 1 (CO), traço 2 (CIM) e traço 3 (CH).

Figura 27 - Bloco de concreto e os corpos de prova extraídos



Fonte: Registrada pela autora (2019).

A aplicação da massa corrida procedeu-se com duas camadas, com intervalos de secagem de 4 horas, conforme recomendado pelo fabricante, e posteriormente lixou-se a superfície para obter-se o acabamento final. Os traços de calfino foram aplicados após o umedecimento dos CP's com água e uma esponja, conforme Figura 28. A aplicação das argamassas à base de cal consistiu em três camadas, sendo a terceira realizada apenas com a desempenadeira de aço,

pressionando-a contra o corpo de prova, para obter-se o acabamento liso desejado, conforme a Figura 29. Para ambas aplicações fez-se o uso de desempenadeira de aço e colher metálica.

Figura 28 - Umedecimento dos corpos de prova para posterior aplicação do calfino



Fonte: Registrada pela autora (2019).

Figura 29 - Corpos de prova com acabamento já aplicado



Fonte: Registrada pela autora (2019).

Após a calibração do rugosímetro, o ensaio foi realizado em dois corpos de prova cilíndricos (com diâmetro aproximado de 100 mm e espessura de 20 mm), conforme a Figura 30, para cada traço e a massa corrida obtendo-se um total de oito CP's.

Figura 30 - Ilustração do ensaio com rugosímetro



Fonte: Registrada pela autora (2019).

As definições do comprimento de amostragem foram definidas de acordo com o manual do equipamento, conforme a Figura 31 abaixo, a partir de um teste realizado para obter-se a faixa de Ra a qual o material compreende-se. Com a realização do teste observou-se que a rugosidade destes acabamentos compreendiam-se na faixa entre 2 e 10  $\mu\text{m}$ , sendo então o comprimento de amostragem definido como 12,5 mm.

Figura 31 - Especificações do aparelho para realização do ensaio

| Periodic Profiles               | Non-periodic Profiles   |                         | Cut-offs         | Sampling Length/<br>Evaluation Length |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Spacing Distances<br>$S_m$ (mm) | $R_z$ ( $\mu\text{m}$ ) | $R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\lambda_c$ (mm) | $\lambda_c/L$ (mm)                    |
| >0.013 to 0.04                  | (0.025) to 0.1          | (0.006) to 0.02         | 0.08             | 0.08/0.4                              |
| >0.04 to 0.13                   | >0.1 to 0.5             | >0.02 to 0.1            | 0.25             | 0.25/1.25                             |
| >0.13 to 0.4                    | >0.5 to 10              | >0.1 to 2               | 0.8              | 0.8/4                                 |
| >0.4 to 1.3                     | >10 to 50               | >2 to 10                | 2.5              | 2.5/12.5                              |
| >1.3 to 4                       | >50 to 200              | >10 to 80               | 8                | 8/40                                  |

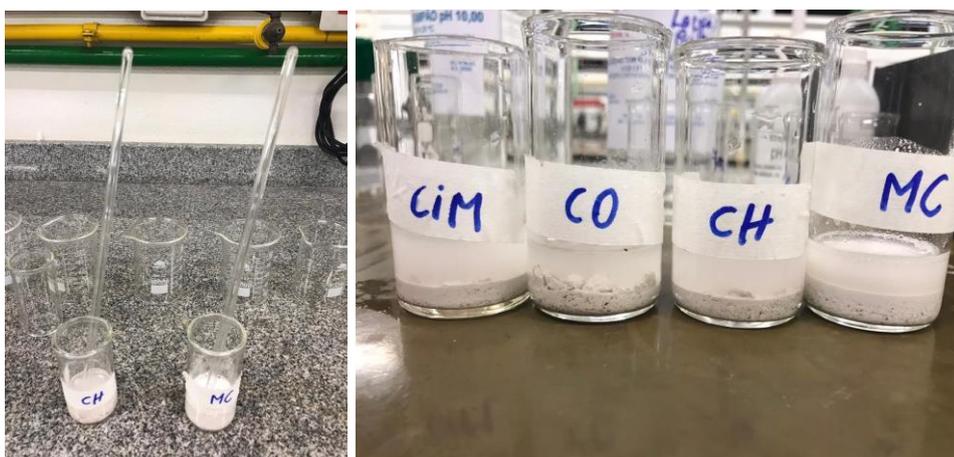
Fonte: Starrett, 2015.

Deixa-se claro que os pontos de amostragem para avaliação da rugosidade pelos dois diferentes métodos, não foram os mesmos e, salienta-se que o primeiro método (a laser) considera todas saliências e imperfeições apresentadas na superfície, e o segundo método, não calcula o Ra quando ocorrem cavidades maiores, as quais a extremidade da ponta do equipamento não alcança, na linha de amostragem, sinalizando erro de leitura e deve-se então reposicionar o aparelho para nova medição.

### 3.3.1.5 Ensaio de pH

Um dos métodos que pode ser utilizado para obtenção do pH de argamassas no estado endurecido, consiste na raspagem dessa e a formação de uma solução aquosa, para posteriormente medi-la no pHmetro. Normalmente essa solução apresenta proporções de 1 parte do sólido raspado e 2 partes de água. O ensaio realizado para avaliar o pH dos acabamentos consistiu então na raspagem de 5 g de cada traço, do mesmo corpo de prova utilizado anteriormente para o ensaio do rugosímetro. Pesou-se então 5 g de cada acabamento em um recipiente metálico e posteriormente misturou-se, em um Becker, com 10 mg de água, conforme Figura 32.

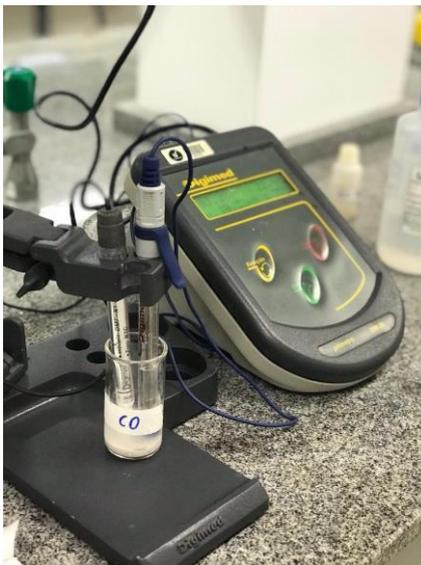
Figura 32 - Preparação das misturas para avaliação de pH



Fonte: Registradas pela autora (2019).

Para a realização do ensaio utilizou-se um pHmetro da marca Digimed, conforme a Figura 33.

Figura 33 - PHmetro utilizado para o ensaio



Fonte: Registrada pela autora (2019).

Destaca-se que por uma limitação do tempo da pesquisa, os pH medidos são referentes aos acabamentos não carbonatados e, devido à não carbonatação destes dentro do período do prazo, não foi possível realizar a medição do pH com os revestimentos carbonatados, tendo em vista que assim como apresentado anteriormente ocorrem reduções de pH com a carbonatação.

## **4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

A apresentação e análise dos resultados dividiu-se em duas fases, assim como na metodologia, em levantamento da técnica construtiva dos revestimentos à base de cal e programa experimental.

### **4.1 LEVANTAMENTO DA TÉCNICA CONSTRUTIVA DOS REVESTIMENTOS À BASE DE CAL**

De acordo com o levantamento da técnica construtiva dos revestimentos à base de cal, os resultados são apresentados e analisados nos tópicos seguintes.

#### **4.1.1 Entrevista com empresas especializadas**

De acordo com a busca e levantamento de dados sobre a técnica construtiva a que se refere este trabalho, pode-se organizar os resultados em um quadro comparativo conforme ilustrado a seguir no Quadro 5. Nota-se que existe uma alta diversidade nas formas de aplicação, destinadas à diferentes necessidades, e de proporções de materiais, cal e agregado fino, utilizados, sendo frequente a adição de cimento branco e pó de mármore. As camadas são em sua maioria, compreendidas entre 2 a 3 mm e nota-se a necessidade de mão de obra especializada para aplicação destes revestimentos.

Quadro 5 - Comparativo entre os revestimentos à base de cal

|                               | Barramento ou Guarnicimento  | Estuque  | Acabamento liso talochado ou polido   | Calfinagem   |
|-------------------------------|--|--|---|--|
| <b>Materiais</b>              | Cal e agregados finos (areia fina, pó de pedra, pó de mármore)                             | Cal, pó de mármore e cimento branco  | Cal e pó de pedra mármore   | Cal e areia fina   |
| <b>Aditivos</b>               | Pó de tijolo, o pó de carvão e pigmentos   | Corante opcional   | Comumente, pigmentos  | Não  |
| <b>Traço</b>                  | 1:0,75 a 1:1 (cal em pasta: agregado fino)   | 1: 1: 0,67 (nata de cal: pó de mármore : cimento branco)   | 1:1 (pasta de cal: pó de mármore)   | 1:1 (calfino: água)  |
| <b>Espessura da camada</b>    | 2 a 5 mm   | 2 mm   | de 5 a 7 mm   | 2 mm   |
| <b>Camadas</b>                | Duas a três subcamadas com finura crescente, da interior para a exterior                   | Uma camada   | Duas camadas  | Três camadas, sendo a última apenas com a desempenadeira de aço  |
| <b>Ambientes de aplicação</b> | Revestimento externo   | banheiros e cozinhas   | não especificado  | interno  |
| <b>Coloração</b>              | Normalmente coloridos com pigmentos inorgânicos  | Normalmente coloridos com corantes   | Normalmente coloridos com pigmentos inorgânicos   | Branco   |
| <b>M.O.</b>                   | M.O. especializada   | M.O. especializada   | M.O. especializada  | M.O. treinada  |
| <b>Aplicação</b>              | Aplicação é feita com a parede úmida, para não fissurar, sobre uma camada de reboco áspero | Aplica-se com a desempenadeira de aço ou de madeira. Posteriormente, borra-se sabão de coco derretido, alisando ao mesmo tempo com a desempenadeira e em seguida, procura-se imitar os veios do mármore, utilizando uma esponja de utilizando uma esponja de borracha, por exemplo. Dá-se então o lustro com ferro quente e por fim passa-se óleo de linhaça e cera de carnaúba. | Primeira camada é aplicada ao traço 1:1,2 (pasta de cal magra e pó de pedra mármore com 1,2 mm de espessura) e a última camada, de acabamento, é efetuada com o traço 1:1 (pasta de cal gorda e pó de pedra mármore com 700 a 800 µm de espessura). | Aplica-se com a desempenadeira de aço, sempre de baixo para cima. Por último, a fim de obter um acabamento do tipo calfino queimado ou marmorizado deve-se limpar bem a desempenadeira de aço e passá-la com pressão, em movimentos no sentido horizontal e vertical |
| <b>Curiosidades</b>           | Período Barroco  | Não aceita reparos ou emendas  | Acabamento de difícil execução, pois apresenta grande sensibilidade à fendilhação   | A argamassa, em seu preparo, pode atingir temperaturas em torno de 100 °C e no período de descanso, esta irá crescer de volume e perder água devido as altas temperaturas  |

|                               | Empresas especializadas  |                         |                      |                    |   |
|-------------------------------|--|-------------------------|----------------------|--------------------|---|
|                               | 1  | 2                       | 3                    | 4                  | 5   |
| <b>Materiais</b>              | Cal virgem e areia da lagoa  | calfino industrializado | Cal virgem e areia   | Cal virgem e areia | Cal virgem e areia  |
| <b>Aditivos</b>               | Não  | Não                     | Cimento branco       | Não                | Cimento branco  |
| <b>Traço</b>                  | 1:0,33 (cal:areia)   | Doseado de fábrica      | 1:1 (cal:areia)      | não especificado   | 1:0,67 a 1:0,33 (cal:areia)   |
| <b>Espessura da camada</b>    | 2 mm   | não especificado        | não especificado     | 2 a 3 mm           | não especificado  |
| <b>Camadas</b>                | Três camadas, sendo a última com a desempenadeira de aço   |                         |                      |                    | De quatro a seis camadas, sendo a última apenas com a desempenadeira de aço |
| <b>Ambientes de aplicação</b> | interno  | Interno                 | Interno              | Interno e externo  | Interno e externo   |
| <b>Coloração</b>              | Branco   | Branco                  | Branco               | Branco             | Branco  |
| <b>M.O.</b>                   | M.O. treinada  | M.O. treinada           | M.O. treinada        | M.O. treinada      | M.O. treinada   |
| <b>Aplicação</b>              | A aplicação consiste em umedecer o substrato, normalmente reboco cru, e aplicar as camadas da argamassa de cal com desempenadeira de aço. Por último, faz-se a queima, deixando o acabamento liso e vítreo |                         |                      |                    |   |
| <b>Preço</b>                  | R\$9,00 a 10,00/metro cúbico   | R\$8,00/metro cúbico    | R\$9,00/metro cúbico | não especificado   | não especificado  |

Fonte: elaborado pela autora (2019).

O Entrevistado 1 utiliza o procedimento de obtenção do calfino a partir da hidratação da cal virgem da marca A. Realiza a mistura da cal de marca A com água e areia fina, assim a mistura é passada por uma peneira para reter os materiais com granulometria maior e, ou sujeiras. Após esse processo, deixa-se a massa hidratando por 24 h. O entrevistado relatou já ter presenciado, em algumas obras, problemas relacionados a aplicações anteriores, causados pela má execução da camada de acabamento de cal, como fissuras, quando esta é aplicada além da espessura recomendada (2 a 3 mm). A aplicação consiste em 3 demãos, sendo a última apenas com a desempenadeira de aço, de forma a proporcionar a queima do calfino e o acabamento liso esperado. O traço em volume é de 1,5 partes de cal e 0,5 partes de areia, sendo a água medida pelo aspecto visual. O valor cobrado pelo metro quadrado varia de R\$9,00 a R\$10,00 dependendo da dificuldade de execução e aplicação da obra, e esta empresa aplica o acabamento de cal apenas em ambientes internos.

O segundo entrevistado opta pela compra do calfino com traço já dosado em fábrica, isto é, mistura pronta, da marca B. Esta mistura compõe cal virgem, areia fina e pode conter algumas adições em menor porcentagem não especificados pelo fabricante. De acordo com recomendação deste, o entrevistado afirma adicionar

água na proporção 1:1 e deixar a massa hidratar por aproximadamente 24 horas. A aplicação consiste em 3 demãos, sendo a última apenas com a desempenadeira de aço. O valor do metro quadrado é de R\$8,00, e esta empresa aplica o acabamento de cal apenas em ambientes internos.

O entrevistado 3 utiliza cal virgem da marca A, realiza a mistura de um saco de cal (20 kg), um balde de 12 L de areia fina da lagoa e adiciona aproximadamente 36 L de água, podendo variar conforme observa-se o aspecto visual da massa. O empreiteiro relata a adição de uma pequena porcentagem de cimento branco em alguns casos, a fim de, segundo ele, obter maior resistência e melhor consistência, facilitando a aplicação. A aplicação consiste em 3 demãos, sendo a última apenas com a desempenadeira de aço. O preço do metro quadrado é de R\$9,00 e aplica-se apenas em ambientes internos, pois relata que o acabamento não resiste bem à chuva.

O entrevistado nº 4 utiliza cal virgem da marca C e mistura com uma pequena quantidade de areia, não relatando a proporção dos materiais na argamassa (traço). A aplicação consiste em 3 demãos, sendo a última apenas com a desempenadeira de aço. O entrevistado relatou que podem ocorrer problemas devidos à não hidratação total da cal e, também, ao mau armazenamento do produto. A empresa aplica o calfino tanto em ambientes internos, quanto externos e observa nunca ter sofrido problemas relacionados ao uso externo.

O último entrevistado relatou utilizar cal virgem das marcas A e B. Ambas são misturadas com areia fina e água. Após esse processo a massa passa por uma peneira, com a finalidade de reter grãos maiores, e então a mistura fica hidratando por dois dias. O seu traço varia de acordo com a marca, e o entrevistado também relata que o tempo de cozedura é um fator importante na qualidade, ou seja, quanto maior este tempo em que a cal virgem fica no forno após sua extração, maior também a qualidade da cal, e conseqüentemente, menor a quantidade de areia necessária na mistura. O entrevistado afirma, frequentemente, utilizar cimento branco, pois, segundo ele, este aumenta a consistência e resistência da argamassa. A aplicação consiste em 4 a 6 demãos, sendo a última realizada apenas com desempenadeira de aço. Observa-se também o uso em ambientes internos e externos, conforme ilustra a Figura 34, inclusive em áreas de piscina.

Figura 34 - Aplicação em ambientes externos



Fonte: Entrevistado 5, 2019.

A partir das entrevistas realizadas, pode-se concluir que, na prática, não há uma proporção adequada para cal, areia e água, e tampouco das adições como cimento branco, quando usado. Cada empresa, a partir de suas conclusões, adere seu próprio traço à argamassa. Apenas um dos cinco entrevistados aderiu a mistura de cal fino industrializado, ou seja, a maioria prefere realizar sua própria mistura.

Outra conclusão observada através do estudo, foi que a maioria dos entrevistados não relatou problemas pelo uso da cal em obras; contudo, quando há, são, na maioria, derivados da espessura maior que 3 mm ou então do mau armazenamento do material. A maioria dos entrevistados também não utiliza essa mistura para obras externas; porém, o entrevistado número cinco faz a utilização desse recurso nas partes externas de obras e afirma nunca ter presenciado problemas. Foi observado também que as camadas interferem, de acordo com os relatos, de forma significativa na qualidade. Apenas um, dos cinco entrevistados, utiliza de cinco a seis demãos, os outros apenas três demãos do produto.

#### **4.1.2 Debate com especialistas**

De acordo com os debates realizados com profissionais e pesquisadores com ênfases nas áreas de argamassas, materiais da construção e/ou restauro de patrimônios histórico culturais, pode-se concluir que o processo de obtenção da cal hidratada, a partir da cal virgem, utilizado nas obras, atualmente, é bastante perigoso, visto que é realizado, muitas vezes, por mão de obra sem amplo conhecimento na área. Além disso, as cales utilizadas para argamassas devem ser de boa qualidade, sem adições, branca e pura, de forma que outras variantes não interfiram nas suas propriedades em estado fresco e endurecido. Nota-se a constante recomendação da total hidratação da cal, nunca por períodos menores a dois dias, de forma que esta reação não venha a ocorrer quando a argamassa encontrar-se no estado endurecido e, então, não cause fissuras no revestimento.

É imprescindível que o profissional que executa revestimentos à base de cal tenha conhecimento quanto ao material, pois muitas vezes as proporções de traço e, conseqüentemente, parâmetros como a consistência da argamassa, são definidos a partir de aspectos visuais e táteis definidos pelo próprio profissional. Recomenda-se também a utilização de tintas à base de cal, sobre os revestimentos de cal, de forma que o produto seja compatível com o substrato e permita a evaporação de vapor de água e não ocasione no acúmulo de umidade no interior da vedação.

Quanto ao uso de revestimentos como camada de acabamento, à base de cal, em ambientes externos, não existem ainda estudos que provem sua eficiência e desempenho como adequados.

#### **4.1.3 Estudo de caso**

O arquiteto responsável pela obra do estudo de caso forneceu o documento referente ao levantamento de argamassa da Antiga Aduana em São Leopoldo. Neste registro relata-se a realização da retirada de corpos de provas das argamassas das fachadas e das juntas e aplicação de ácido a fim de verificar a quantidade de aglomerante e aglutinante. O material restante ao experimento, a areia, foi peneirada para analisar sua granulometria. Os resultados obtidos, em volume, são apresentados na Quadro 6 abaixo.

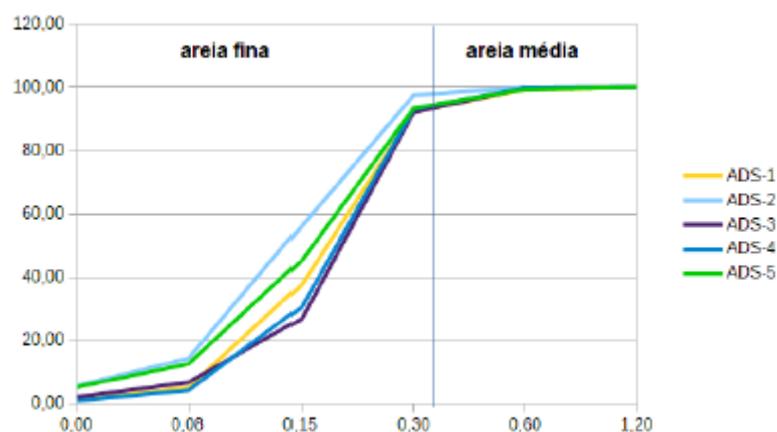
Quadro 6 - Resultados dos ensaios de argamassa

| Nº prova | Tipo               | Parte de cal | Parte de areia |
|----------|--------------------|--------------|----------------|
| ADS-01   | Reboco externo     | 1            | 3              |
| ADS-02   | Reboco externo     | 1            | 3,5            |
| ADS-03   | Reboco externo     | 1            | 3              |
| ADS-04   | Argamassa da Junta | 1            | 7              |
| ADS-05   | Reboco externo     | 1            | 12             |

Fonte: Documento de levantamento de Argamassa da Antiga Aduana (2019).

Neste mesmo documento, observa-se que apenas a argamassa da prova ADS-05 contém cimento e areia, sendo as demais constituídas apenas com cal e areia. Suas granulometrias podem ser observadas no Gráfico 1.

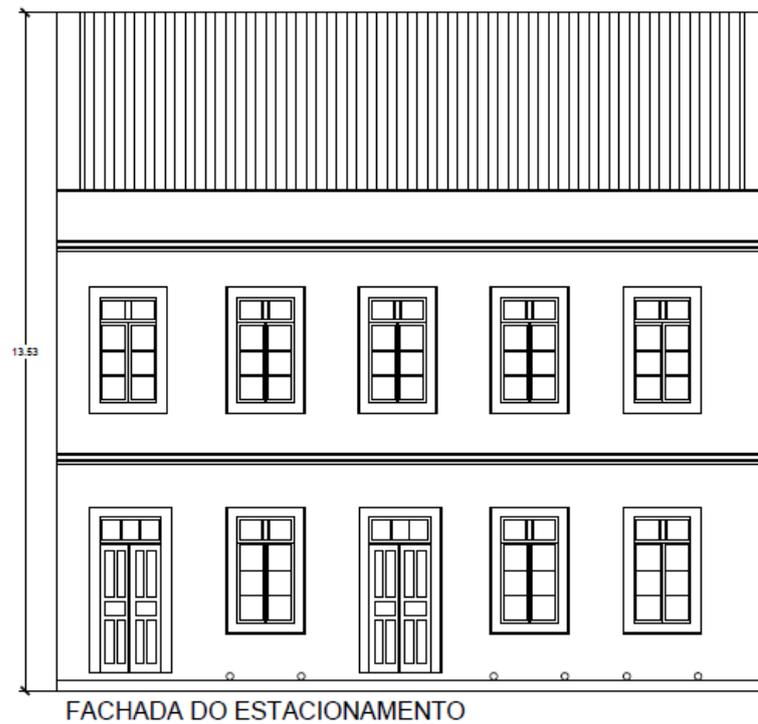
Gráfico 1 - Granulometria das areias



Fonte: Documento de levantamento de Argamassa da Antiga Aduana (2019).

Segundo o Dr. Markus Willizing, todas as argamassas analisadas contêm areias com grãos semelhantes às de procedência de um rio ou lagoa e podem ser classificadas como areias arredondadas médias. Os resultados das análises indicam que o mesmo traço de argamassa de cal foi utilizado em ambas as fachadas, com uma proporção de 1 parte de cal e 3 a 4 partes de areia. A argamassa das juntas contém traço na proporção de 1 parte de cal e 7 partes de areia, em volume. O projeto da fachada do estacionamento pode ser observado conforme a Figura 35.

Figura 35 - Fachada do estacionamento



Fonte: Projeto de cortes e fachadas da Antiga Aduana, planta 03 (2019).

Dr. Markus Willinzig também relatou que foram aplicados alguns testes de diferentes traços de argamassas na fachada externa do edifício, a fim de analisar o melhor traço a ser utilizado, conforme a Figura 36, proporcionando, desta forma, uma compatibilidade entre o material a ser aplicado e o substrato existente.

Figura 36 - Testes realizados para definição do traço a ser utilizado



Fonte: Registrada pela autora (2019).

As camadas definidas para a restauração do edifício foram as seguintes:

- a) argamassa para preenchimento das juntas dos blocos cerâmicos com areia grossa e cal (traço 1:8).
- b) argamassa para chapisco, com cal e pó de brita (traço 1:1).
- c) argamassa para reboco, com cal e areia grossa (traço 1:10).
- d) acabamento com cal e pó de mármore (traço 1:1).

As Figuras 37, 38, 39, 40 a seguir ilustram essas camadas como um passo a passo.

Figura 38 - Argamassa para preenchimento das juntas



Figura 37 - Argamassa para chapisco



Figura 39 - Argamassa para reboco

Figura 40 - Argamassa para acabamento



Fonte: Registradas pela autora (2019).

## 4.2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Aqui serão apresentadas as análises dos resultados quanto à caracterização dos materiais, ensaios no estado fresco, ensaio de rugosidade superficial e ensaio de pH.

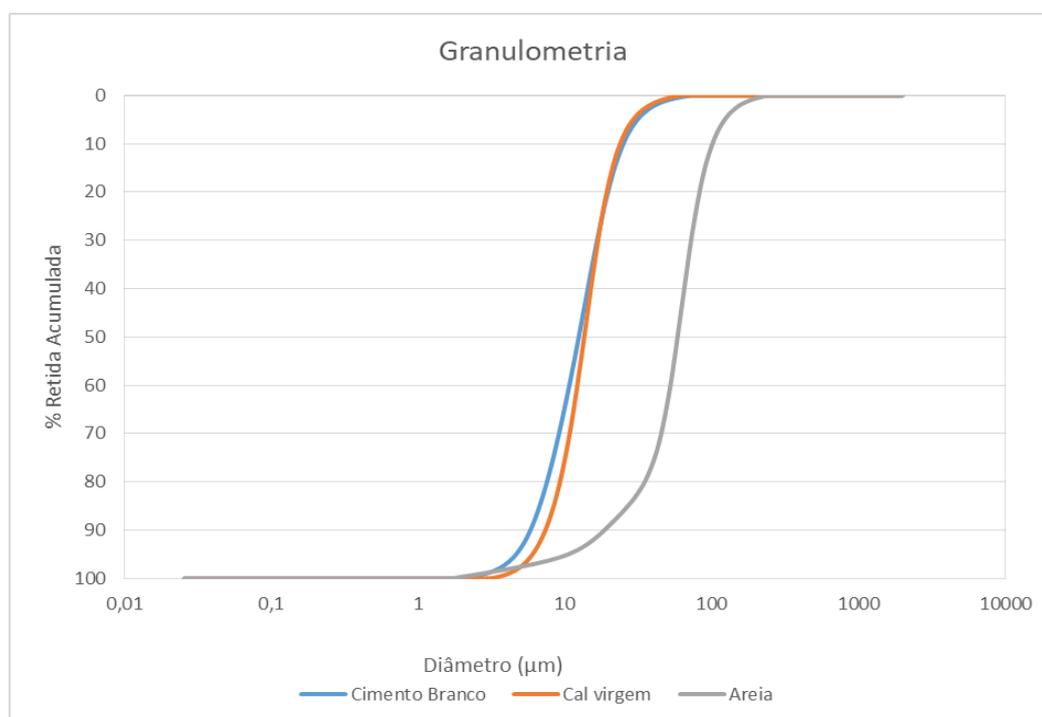
### 4.2.1 Caracterização dos materiais

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos materiais são apresentados nos tópicos a seguir.

#### 4.2.1.1 Distribuição granulométrica

A partir da avaliação do tamanho das partículas, pelo método da granulometria à laser, foi possível obter-se o Gráfico 2 a seguir, com a curva granulométrica da cal, areia e cimento branco.

Gráfico 2 - Granulometria dos materiais



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

A fins de comparação, obteve-se o Quadro 8, com as dimensões da granulometria, referentes aos diâmetros 10, 50 e 90. Observa-se uma similaridade entre a granulometria entre o cimento branco e a cal e uma areia com granulometria um pouco maior.

Quadro 7 - Porcentagem retida no ensaio de granulometria

|     | Dimensão ( $\mu\text{m}$ ) |                   |              |
|-----|----------------------------|-------------------|--------------|
|     | <i>Cimento Branco</i>      | <i>Cal virgem</i> | <i>Areia</i> |
| D10 | 25,29                      | 24,21             | 102,24       |
| D50 | 12,48                      | 13,6              | 58,71        |
| D90 | 5,81                       | 7,73              | 18,59        |

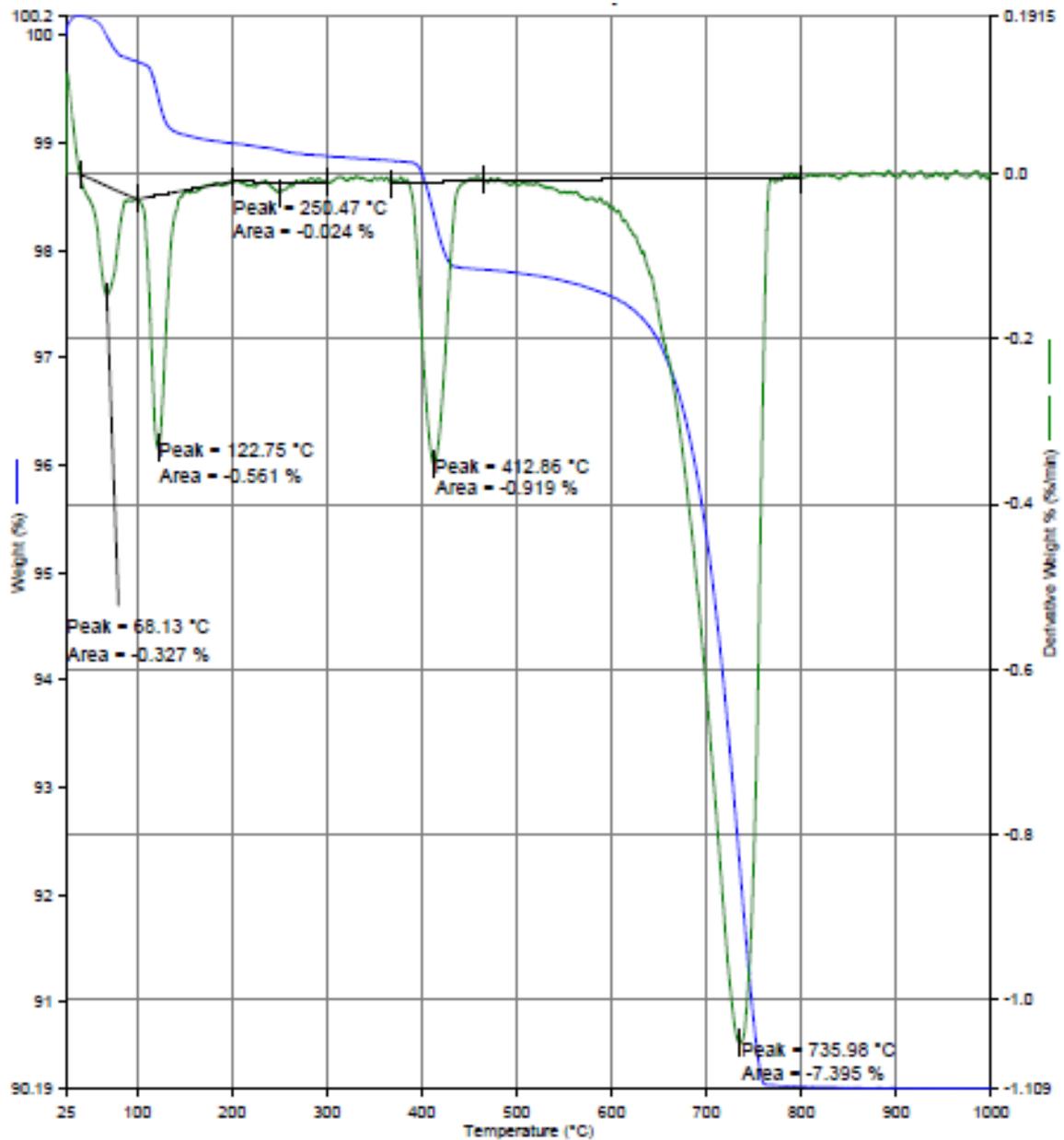
Fonte: Elaborado pela autora (2019).

#### 4.2.1.2 Análise termogravimétrica

A partir da análise termogravimétrica (ATG) do cimento branco foi possível relacionar a perda de massa com as reações que ocorrem nas diferentes temperaturas, conforme apresentado no Gráfico 3. O primeiro pico, em 68,13 °C, de 0,33% de diminuição da massa representa a umidade contida no material, seguindo de um próximo pico, em 122,75 °C, de 0,56% referente a decomposição da singenita  $[\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$  presente no cimento, sendo a sua presença vinculada à formação de pelotas (TAYLOR, 1998 apud QUARCIONI, 2008). O terceiro pico, em 412,86 °C, de 0,91%, indica a reação de decomposição da portlandita  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ , ou seja, a liberação da água combinada. E por último, tendo em vista que o cimento branco leva calcário moído como adição, em 735,98 °C, um pico de 7,4% indicando o  $\text{CO}_2$  liberado do  $\text{CaCO}_3$ . A perda de massa total foi de 9,2%.

De acordo com a norma NBR 12989/1993, atualmente cancelada, o limite em porcentagem de perda ao fogo era definido em de 12%. Conclui-se, então, que o cimento branco estrutural utilizado neste trabalho estaria de acordo com as exigências de perda de fogo (PF) relacionadas à esta norma.

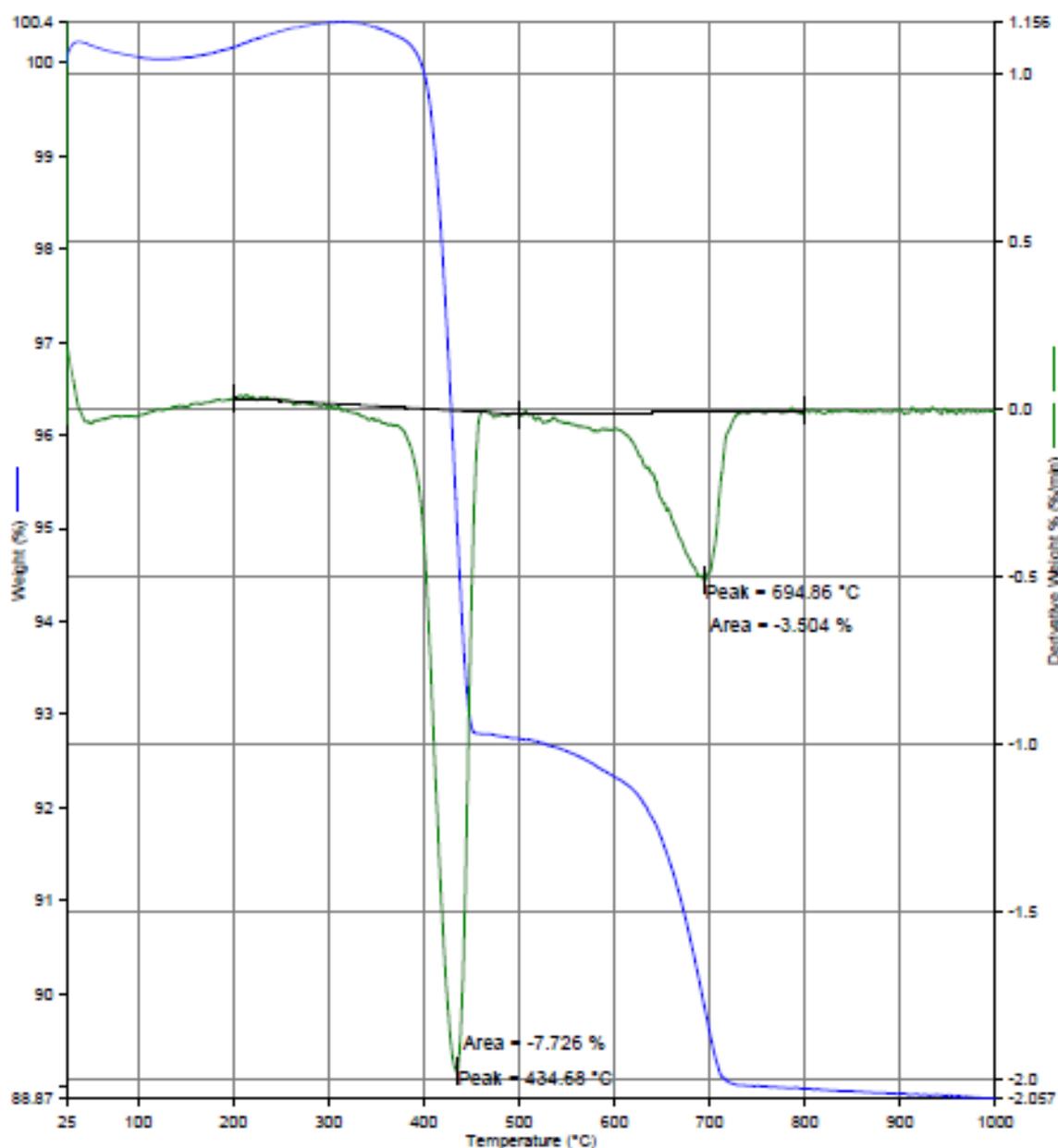
Gráfico 3 - Gráfico da DTGA do cimento branco



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

O resultado da análise termogravimétrica da cal virgem é apresentado no Gráfico 4. O pico de 434,68 °C, em 7,72% indica a reação de decomposição da portlandita  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$  e o pico seguinte, em 694,86 °C, de 3,54% representa  $\text{CO}_2$  liberado do  $\text{CaCO}_3$ . A perda total de massa foi de 11,26%.

Gráfico 4 - Gráfico da DTGA da cal virgem



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

#### 4.2.1.3 Fluorescência de raios X

De acordo com o ensaio de FRX foi possível obter as porcentagens qualitativas dos óxidos constituintes do cimento branco, cal e areia, conforme apresentado no Quadro 8 a seguir.

Quadro 8 - Resultado do ensaio de FRX

| Descrição da amostra | Elementos majoritários (>50%) | Menor quantidade (5% < x < 50%) | Elementos Traços (< 5%)  |
|----------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Cimento branco       | Ca                            | –                               | Si, S, Al, Fe, K, Sr     |
| Cal virgem           | Ca                            | Mg                              | Si, Fe, S, K, Mn, Cu, Sr |
| Areia                | Si                            | K, Al, Fe                       | Ti, Zr, Ca, S, Rb, Sr, Y |

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Observa-se que devido à uma limitação referente ao aparelho utilizado no ensaio, não foi possível obter-se as porcentagens quantitativas de cada constituinte dos materiais analisados. Conseqüentemente, não pode-se classificar a cal virgem, pois, para isto, requerem-se as quantidades de Ca e Mg presentes no material.

#### 4.2.1.4 Massa específica

Para fins de caracterização do material, os valores resultantes das massas específicas do cimento branco, areia e cal virgem são apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 - Resultados da massa específica dos materiais

| Amostra        | Valor g/cm <sup>3</sup> |
|----------------|-------------------------|
| Cimento branco | 2,8783                  |
| Areia          | 2,6029                  |
| Cal virgem     | 2,6653                  |

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

#### 4.2.2 Ensaio no estado fresco

Os resultados obtidos nos ensaios no estado fresco são apresentados nos tópicos a seguir.

##### 4.2.2.1 Índice de consistência

Os resultados referentes ao índice de consistência podem ser observados de acordo com o Quadro 10 a seguir.

Quadro 10 - Resultados dos ensaios de índice de consistência.

|                    | 1ª medição<br>(mm) | 2ª medição<br>(mm) | 3ª medição<br>(mm) | Média<br>(mm) |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| Traço 1 (CO)       | 332,5              | 332,5              | 333                | 332,7         |
| Traço 2 (CIM)      | 292                | 281                | 285                | 286,0         |
| Traço 3 (CH)       | 332,5              | 332,6              | 332                | 332,4         |
| Massa corrida (MC) | 159                | 163                | 164                | 162,0         |

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Percebe-se uma consistência maior na massa corrida e nota-se uma aproximação entre o traço utilizado em obra (traço 1) e o traço recomendado pelo fabricante (traço 3). Retoma-se que de acordo com a dosagem do traço representativo da obra com adição de cimento branco (traço 2), assim como realizado pelos empreiteiros, adiciona-se o cimento branco, para fins de melhorar a consistência e tornar a aplicação mais fácil de ser executada, entretanto, não ocorre a adição de maior quantidade de água, aumentando desta forma a sua consistência

Para trabalhos futuros, recomenda-se a avaliação da consistência de argamassas de cimento e/ou cal, para diferentes relações de água/aglomerante, a fim de estudar a existência de diferentes rugosidades superficiais.

#### 4.2.2.2 Densidade de massa

Os resultados das densidades de massa são apresentados no Quadro 11. Identifica-se a menor densidade de massa no traço 2, o qual provavelmente apresenta uma maior quantidade de vazios, além de apresentar um índice de consistência menor. Todos os traços são classificados pela norma ABNT NBR 13281:2005, como classe D5 (1800 a 2200kg/m<sup>3</sup>).

Quadro 11 - Resultados densidade de massa das argamassas

|                    | Densidade de Massa (kg/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------|---|
| Traço 1 (C0)       | 1793,2                                  |
| Traço 2 (CIM)      | 1576,7                                  |
| Traço 3 (CH)       | 1611,4                                  |
| Massa corrida (MC) | 1760,1                                  |

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

#### 4.2.2.3 Retenção de água

Este ensaio não foi possível de ser realizado para o traço de massa corrida, conferindo-se, então, resultados apenas para os demais traços. Todas as argamassas apresentaram porcentagens de retenção de água similares, sendo classificadas, de acordo com a Norma ABNT NBR 13271:2005 na classe U6 (faixa de 95 a 100%).

#### 4.2.2.4 Teor de ar incorporado

Este ensaio não foi possível de ser realizado para o traço de massa corrida, conferindo-se, então, conforme o Quadro 12 a seguir, os resultados dos demais traços. O traço 2 apresentou um teor de ar incorporado maior e assim como apresentado nos tópicos anteriores, este fato deve-se, provavelmente, a maior quantidade de poros na argamassa, tornando-a mais leve. Percebe que ambas argamassas de calfino apresentaram teor de ar incorporado similares, em torno de 1%.

Quadro 12 - Resultados do teor de ar incorporado das argamassas, em porcentagem

|                    | Teor de ar incorporado (%) |
|--------------------|----------------------------|
| Traço 1 (C0)       | 1,2                        |
| Traço 2 (CIM)      | 1,55                       |
| Traço 3 (CH)       | 0,75                       |
| Massa corrida (MC) | -                          |

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

### 4.2.3 Rugosidade superficial

A partir do ensaio com o rugosímetro, para cada corpo de prova foram realizadas três medições de Ra definidas aleatoriamente pela área superficial dos CP's, as quais foram realizadas uma média, e posteriormente obteve-se uma segunda média de acordo com o resultado de cada traço, sendo os resultados finais apresentados no Quadro 13 a seguir.

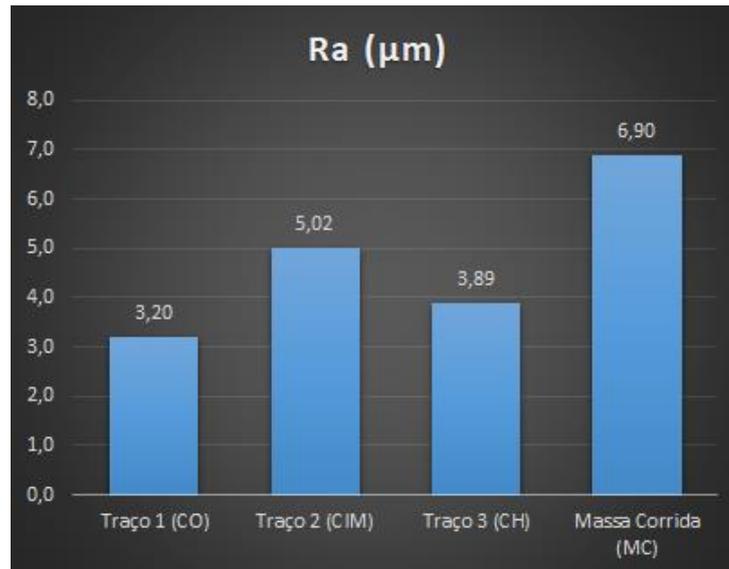
Quadro 13 - Resultados de Ra para cada traço

| Acabamento         | CP    | 1ª Medição | 2ª Medição | 3ª Medição | Média das medições | Média Final para cada traço ( $\mu\text{m}$ ) |
|--------------------|-------|------------|------------|------------|--------------------|---|
| Traço 1 (CO)       | CO 4  | 3,04       | 2,1        | 2,42       | 2,52               | 3,2   |
|                    | CO 1  | 3,9        | 4,3        | 3,44       | 3,88               |   |
| Traço 2 (CIM)      | CIM 5 | 3          | 4,5        | 6,28       | 4,59               | 5,02  |
|                    | CIM 1 | 5,54       | 5,52       | 5,26       | 5,44               |   |
| Traço 3 (CH)       | CH 6  | 2,6        | 4,3        | 3,2        | 3,37               | 3,89  |
|                    | CH 4  | 4,16       | 4,2        | 4,9        | 4,42               |   |
| Massa Corrida (MC) | MC 2  | 5,8        | 6,86       | 7,48       | 6,71               | 6,9   |
|                    | MC 1  | 7          | 7,32       | 6,92       | 7,08               |   |

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Com estes dados gerou-se o Gráfico 5 a fins de comparação. Conforme esperado, a massa corrida apresentou um maior Ra quando comparada aos demais traços. Associa-se então com a bioreceptividade apresentada por D'orazio et al. (2014), na Figura 12, de forma que os traços 1 e 3 compreendem-se numa faixa de 10-20%, o traço 2 em 30%, e o traço da massa corrida, apresentando o maior valor de Ra, com uma bioreceptividade de 60%.

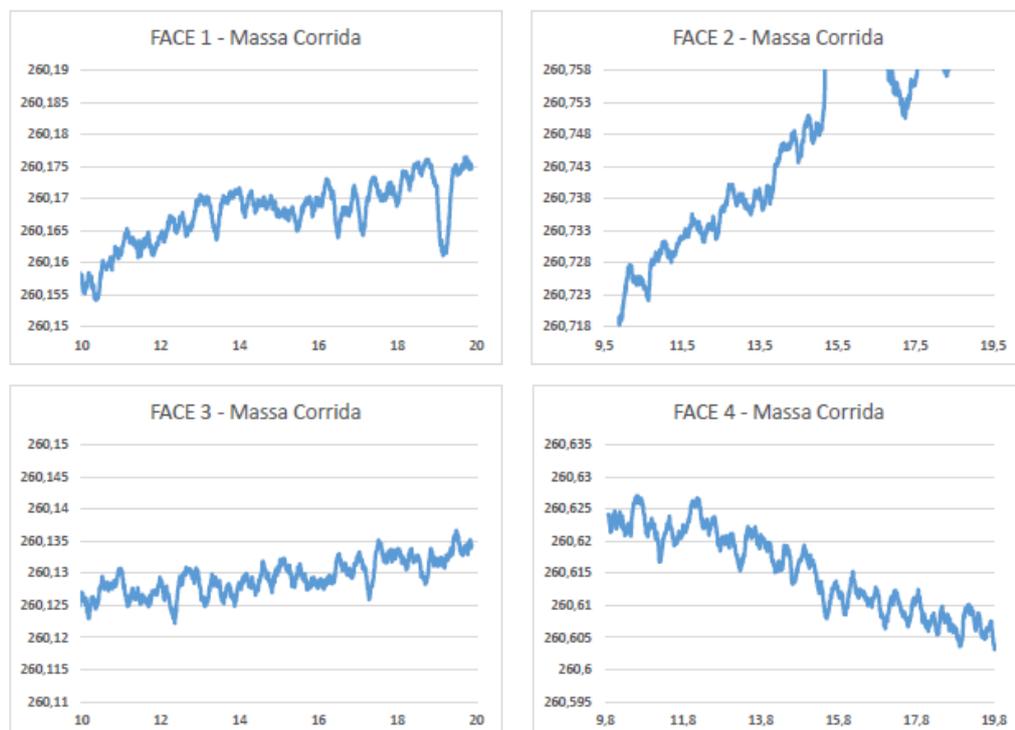
Gráfico 5 - Resultados do Ra médio obtidos para cada traço ensaiado



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

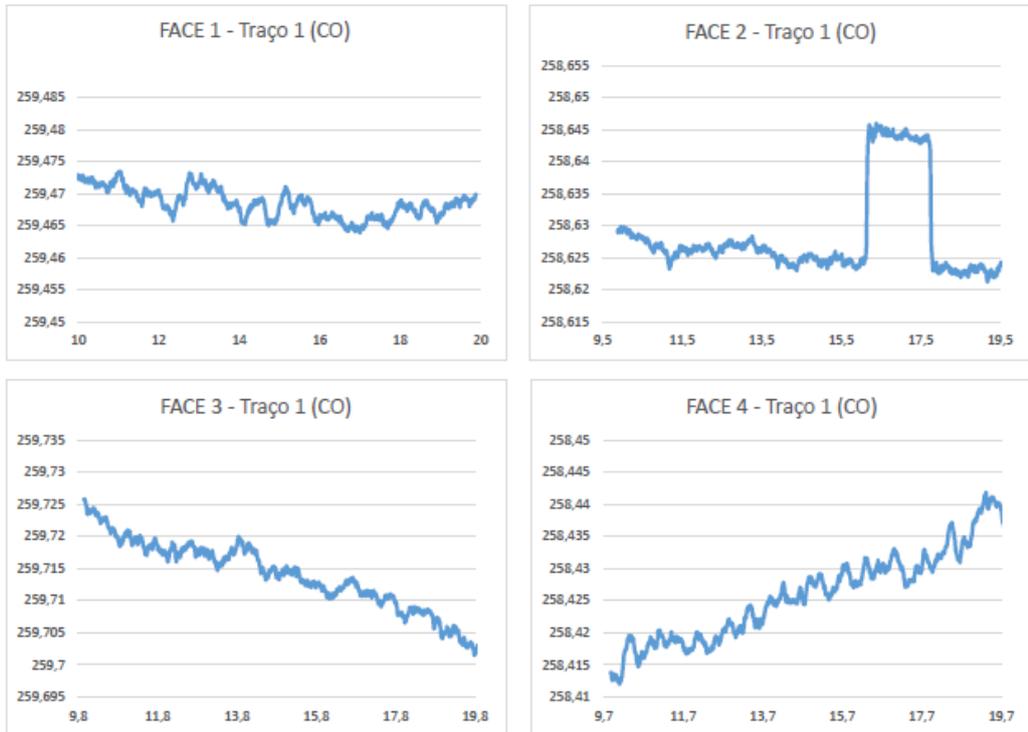
Com o equipamento de medição a laser, foi possível gerar os perfis de rugosidade de cada traço, a partir da medição de linhas de 1 cm. Estes perfis são apresentados de acordo com as Figuras 41, 42, 43 e 44 a seguir, todos na mesma escala. Foram obtidas medições para cada face do corpo de prova (bloco de concreto), totalizando em quatro perfis para cada traço de acabamento.

Figura 41 - Perfis de rugosidade da massa corrida (MC)



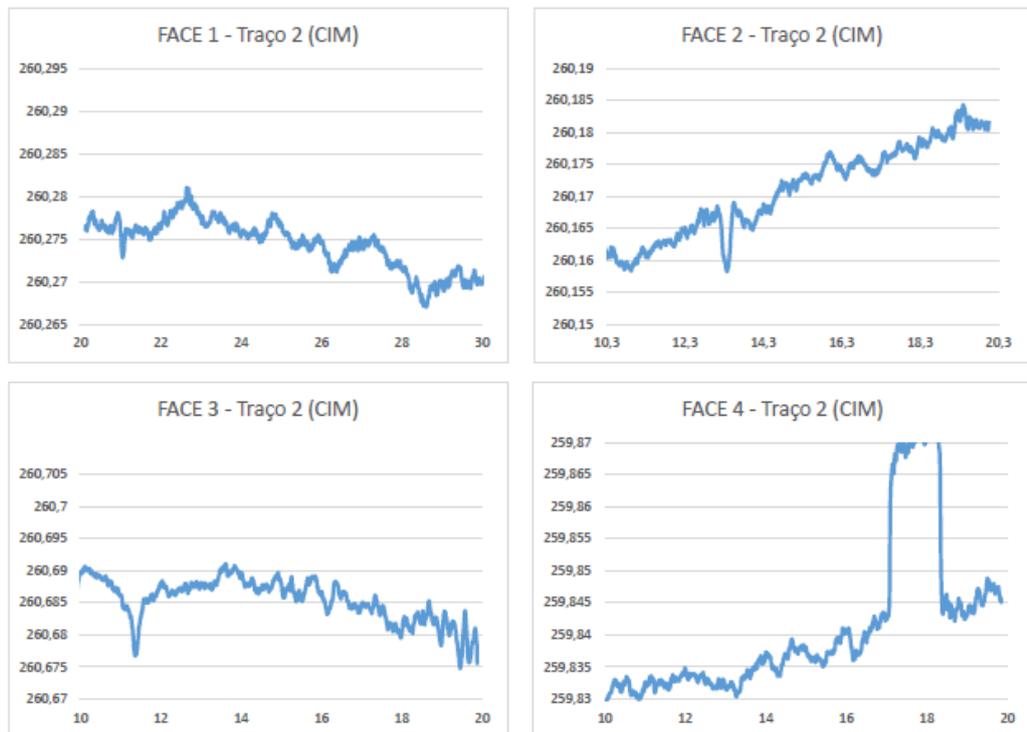
Fonte: elaborado pela autora (2019).

Figura 42 - Perfis de rugosidade do traço 1 (CO)



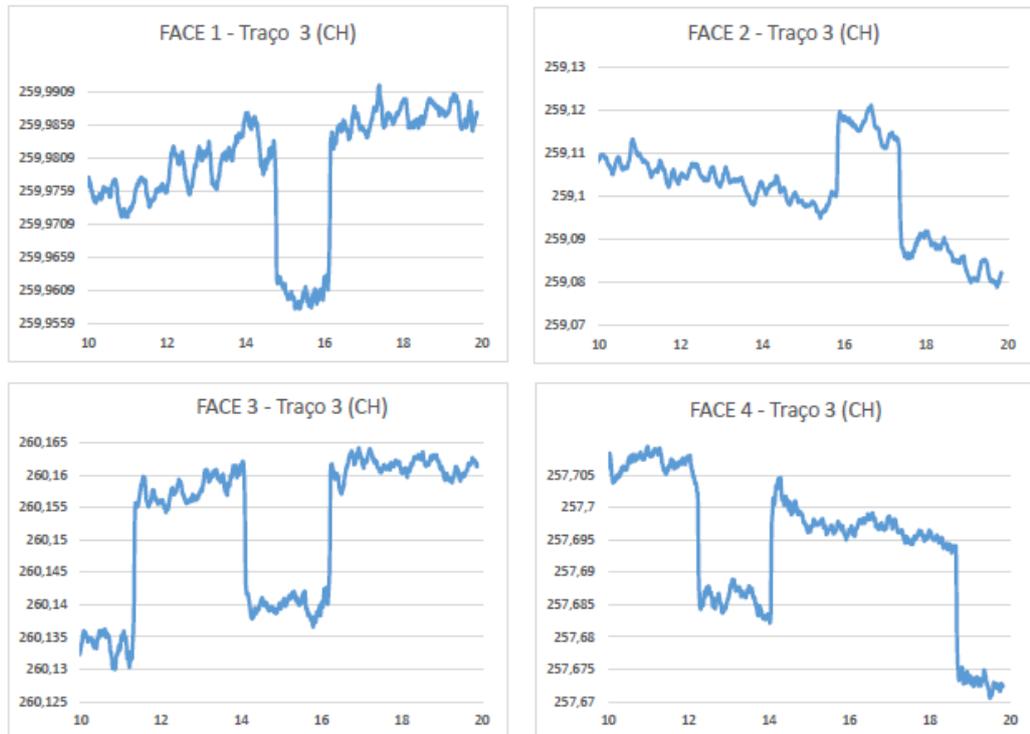
Fonte: elaborado pela autora (2019).

Figura 43 - Perfis de rugosidade do traço 2 (CIM)



Fonte: elaborado pela autora (2019).

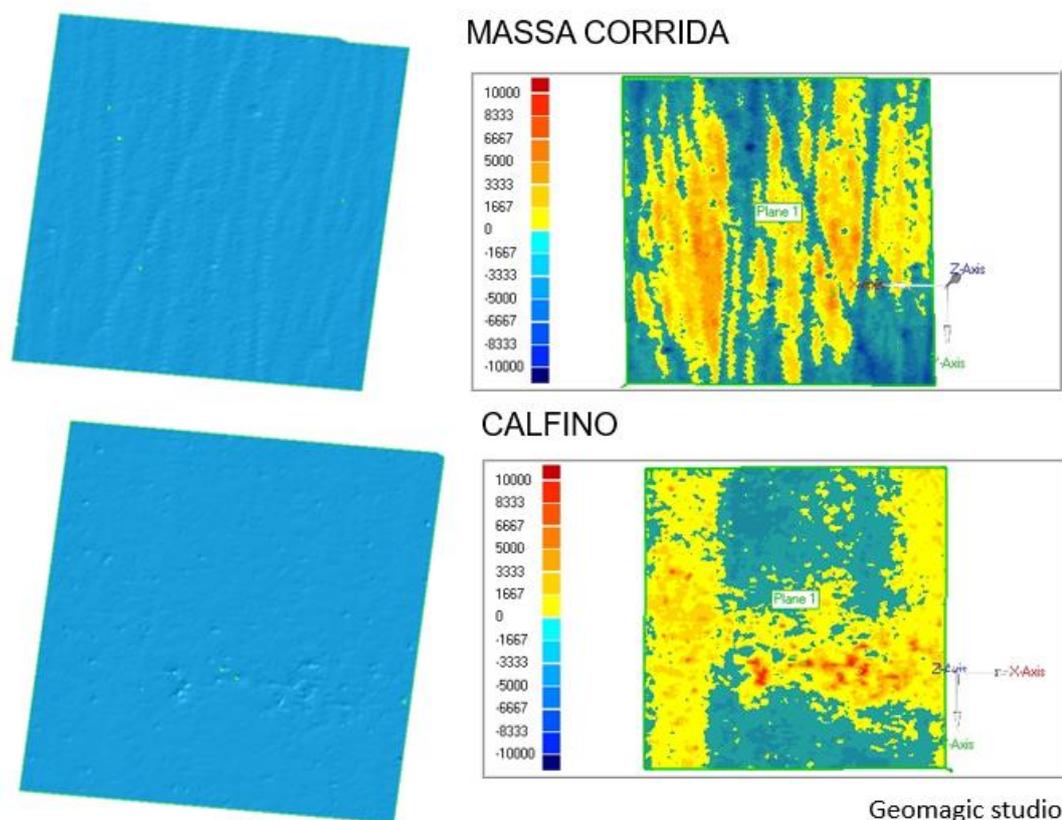
Figura 44 - Perfis de rugosidade do traço 3 (CH)



Fonte: elaborado pela autora (2019).

Ainda, com a medição de áreas superficiais de 1 cm<sup>2</sup> dos acabamentos de calfino e massa corrida, foi possível, com o programa Geomatic Studio, obter as superfícies ilustradas na Figura 45.

Figura 45 - Resultado da área superficial medida com o laser



Fonte: elaborado pela autora (2019).

Observa-se que o calfino apresentou uma superfície com menos diferenças entre vales e montanhas, sendo então, mais uniforme. A massa corrida apresenta tons de azul mais forte e apresenta também coloração laranja, significando uma superfície com mais imperfeições. O calfino apresentou então, um melhor assentamento, devido ao efeito da gravidade, espalhou-se melhor no substrato, relacionando-se também com a diferença de viscosidade dos traços, sendo a massa corrida mais viscosa, ou seja, menos fluida. Este resultado é coerente com os valores de rugosidade média encontrados e apresentados anteriormente.

#### 4.2.4 pH

A partir das análises realizadas, foram obtidos os resultados apresentados no Quadro 14. Sendo o traço com adição de cimento branco o de maior pH e o traço de calfino representativo da obra, com menor pH. Shirakawa et al. (2009) e Barberousse et al. (2006) afirmam que as argamassas normalmente têm

alcalinidade elevada não sendo um meio favorável ao crescimento de fungos, mas ao se carbonatarem a alcalinidade é gradativamente neutralizada.

Em estudos apresentados por Shirakawa et al. (2009), os fungos do gênero *Cladosporium* foram os encontrados com maior frequência nas argamassas e notou-se como consequência da carbonatação destas, a redução do pH da água dos poros de 13 para 9 e, então, o crescimento do fungo. Os resultados desse estudo indicaram haver uma inter-relação crescimento de fungos e carbonatação das argamassas. Percebe-se então, que nenhum dos traços logo após sua aplicação apresenta condições favoráveis para o crescimento e desenvolvimento de fungos, visto que apresentam pH em torno de 10, entretanto, após a carbonatação, os traços com cal (traços 1, 2 e 3) tendem a diminuir seu pH e apresentar maior probabilidade de ocorrência de atividade de microrganismos.

Quadro 14 - Resultados do pH para cada traço

|                    | pH    |
|--------------------|-------|
| Traço 1 (CO)       | 9,85  |
| Traço 2 (CIM)      | 12,76 |
| Traço 3 (CH)       | 10,22 |
| Massa Corrida (MC) | 10,41 |

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

#### 4.3 RECOMENDAÇÕES PARA ESTA TÉCNICA

Com base no levantamento da técnica construtiva e no programa experimental, este trabalho apresenta a seguir recomendações quanto à execução de um procedimento considerado adequado e correto para a técnica de construtiva de revestimentos à base de cal, para camadas de acabamento.

Os materiais necessários para a execução desta argamassa são: cal virgem, areia fina e água. A areia deve ter granulometria fina, aproximada à da cal utilizada, sendo comumente utilizada areia de lagoa. A água utilizada na mistura deve ser limpa e potável, a fim de não comprometer as propriedades gerais da argamassa. Recomenda-se o uso de cales cálcicas, por apresentarem maior pureza e vantagens relacionadas à hidratação e carbonatação da cal, mas deixa-se claro que este trabalho não deteve-se em analisar a influência da qualidade de diferentes cales nas propriedades do revestimento. Observa-se também, que para o uso destinado desse

revestimento (ambientes internos) não há a necessidade de adições de produtos impermeabilizantes e antifúngicos.

As ferramentas necessárias para execução da mistura de cal virgem, areia e água, compreendem-se em:

- a) recipiente de madeira ou metálico, com tamanho adequado de acordo com a quantidade de argamassa a ser produzida. Recomenda-se o uso desses materiais, pois a reação da hidratação da cal virgem é exotérmica, ou seja, libera calor, e durante o procedimento a massa atinge temperaturas em torno de 100°C;
- b) pá de madeira para misturar a argamassa. Esta deve possuir comprimento longo, também devido ao calor da massa;
- c) trincha, para poder umedecer a superfície que receberá o acabamento;
- d) desempenadeira de aço;
- e) colher de pedreiro.

Recomenda-se o uso de equipamentos de proteção individuais, tais como, capacete, máscaras, óculos de proteção, luvas, roupa de proteção e sapato de segurança. O local onde a mistura será realizada deve estar sinalizado, com equipamentos de proteção coletivos, como placas ou cones, indicando a atividade perigosa.

Seguindo nesta a linha, a cal virgem deverá ser misturada com a areia fina, recomendando-se traços de 1:1, para camadas de acabamento. A água, limpa e potável, deve ser adicionada aos poucos, em um tanque impermeável de tamanho suficiente para a quantidade de argamassa a ser preparada, preferencialmente metálico ou de madeira, mexendo a massa frequentemente, com uma pá de madeira longa. A cal virgem deve ser recém calcinada, no máximo após três dias, para não apresentar material recarbonatado e deve ser hidratada imediatamente após a chegada na obra para evitar que o produto se transforme em material inerte ao reagir com o dióxido de carbono do ar, salientando, aqui, a necessidade de um bom e adequado armazenamento do material, em ambiente fechado e sem umidade (KANAN, 2008).

Esta argamassa deve então ficar em recipientes plásticos fechados, com uma lâmina d'água, de 12 a 24 horas, até seu resfriamento. Posteriormente a argamassa deve passar por uma peneira de 1 a 2 mm, a fim de reter sujeitas e grãos com granulometrias elevadas. Esta deve ficar guardada e protegida contra intempéries,

de forma que ocorra sua total hidratação, por no mínimo três semanas, visando sua total hidratação.

Existem algumas recomendações também relacionadas à procedimentos na parede anteriores à aplicação, como, a raspagem do reboco com uma espátula metálica ou lixa grossa, com objetivo de remover irregularidades oriundas de argamassas ou concretos. Destaca-se que a superfície de reboco ou concreto necessita de uma cura de no mínimo 30 dias. Antes de iniciar a aplicação do revestimento deve-se umedecer a superfície, recomenda-se, para isso, utilizar uma trincha.

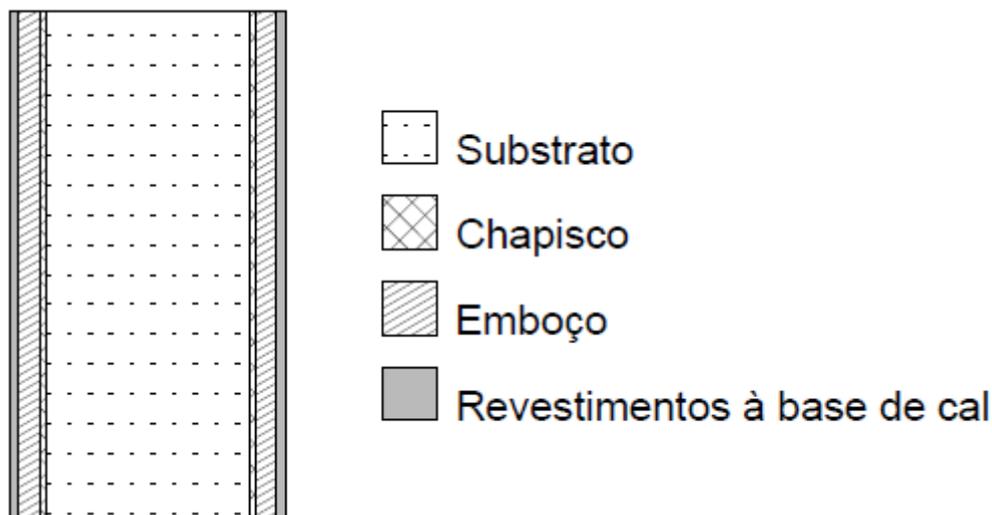
Após o preparo da superfície, a argamassa pode ser aplicada da seguinte forma:

- a) passa-se a argamassa com a desempenadeira de aço, de forma que seja realizada uma pressão sobre a superfície;
- b) deve-se aplicar 2 camadas de argamassa, obtendo um intervalo de aproximadamente 2 horas, entre elas, para sua secagem;
- c) a última camada será feita sem argamassa, apenas com o uso da desempenadeira metálica. Deve-se passá-la de forma rápida e com pressão suficiente para atingir o acabamento liso, denominado também como queimado. Nessa etapa estima-se um ângulo de 30° entre a superfície e a desempenadeira.

A partir da entrevista com o especialista em argamassas de cal, Dr. Markus Wilimzig, sobre a camada de acabamento de cal recomenda-se o uso de tintas à base de cal, para ambientes interiores, de forma que permita-se a permeância do vapor e este não se acumule no interior da vedação e gere futuramente problemas relacionados com a umidade, como manifestações biológicas. Observa-se que alguns empreiteiros da região utilizam o acabamento em ambientes exteriores, entretanto, não há evidências claras de que a camada atenda aos requisitos esperados para tal uso. Recomenda-se, desta forma, para estudos futuros a avaliação da calfinagem em superfícies externas expostas a intempéries.

O detalhe das camadas participantes do sistema que compõe o revestimento à base de cal pode ser observado na Figura 54.

Figura 46 - Detalhe do sistema substrato e calfino



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Por fim, recomenda-se que o profissional destinado para estas atividades possua treinamento e conhecimento dos males e cuidados que devem-se perceber na execução de todo o processo, indo desde a escolha da cal, até a aplicação do revestimento na vedação.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações finais dividiram-se de acordo com o delineamento da pesquisa, sendo apresentadas a seguir considerações sobre o levantamento da técnica e do programa experimental, e também algumas recomendações para a execução de forma ideal dos procedimentos interligados à técnica abordada no presente trabalho.

### 5.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O LEVANTAMENTO DA TÉCNICA

A extinção da cal é uma operação já há muito tempo não mais realizada no canteiro de obra, devido à facilidade, atualmente, de encontrar o produto no mercado; entretanto, o seu processo de hidratação (transformação da cal virgem em cal hidratada) ainda ocorre e destaca-se que, além de ser um processo determinante para as propriedades da argamassa de cal em seu estado fresco e endurecido, também é uma atividade perigosa, a qual deveria ser efetuada com mais cautela e

técnica, tendo em vista que muitas características, como, a consistência da argamassa no estado fresco, são definidas pelo profissional por parâmetros táteis e visuais. A utilização destes revestimentos argamassados à base de cal, atualmente, apresenta-se tanto em obras novas, substituindo outros acabamentos, como a massa corrida, quanto em obras de restauro de patrimônios histórico e culturais, visto que nos séculos passados as argamassas eram feitas sem uso de cimento, o qual apareceu na construção civil apenas posteriormente à cal, e este não apresenta-se compatível com o substrato, normalmente constituído apenas de cal e areia.

A técnica construtiva de revestimentos à base de cal apresenta, normalmente, facilidade na aplicação e boa produtividade, visto que quando comparada à outras técnicas de acabamento, não necessita do processo de lixação, tornando-a mais rápida e limpa. Também observa-se que, por apresentar menor rugosidade superficial, seu acabamento é mais liso e proporciona, normalmente, uma redução no consumo de tinta. Além disso, por ser um revestimento com alta permeabilidade ao vapor, raramente, apresenta manifestações patológicas relacionadas à condensação de umidade.

## 5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROGRAMA EXPERIMENTAL

A partir dos ensaios no estado fresco pode-se realizar uma provável relação entre o índice de consistência da argamassa e o parâmetro Ra (rugosidade média) da superfície. Identifica-se, portanto, que o traço de menor índice de consistência (massa corrida) apresentou também uma superfície mais rugosa, e o contrário justificou-se, visto que o traço 1 (calfino representativo da obra) apresentou o maior índice de consistência e o menor valor de Ra. Uma possível tendência de explicação para essa característica, relaciona-se ao fato da menor consistência gerar uma aplicação mais fácil, entretanto, o acabamento superficial é prejudicado, visto que diminui a fluidez da argamassa.

A massa corrida apresentou uma rugosidade média mais elevada, quando comparada ao acabamento de calfino, e por outro lado, o calfino, após sua carbonatação, tende a diminuir seu pH, proporcionando condições mais favoráveis ao crescimento de microrganismos. Observa-se que para uma mais aprofundada avaliação da proliferação de fungos, devem-se avaliar também outros fatores, como

condições bióticas, nutrientes disponíveis, condições ambientais, etc. Ainda, recomenda-se que fatores de projeto sejam analisados, de forma que as edificações possuam ventilação adequada em seu interior e, assim, não criem condições atmosféricas para o desenvolvimento de microrganismos.

Na região do Vale do Rio dos Sinos acontecem frequentes mudanças de temperatura e umidade elevada na maior parte do longo do ano, ocasionando em problemas devido à condensação de água dentro da vedação e a cristalização de sais devido ao ciclo de secagem e molhagem do revestimento. Nota-se que esta é uma manifestação patológica frequentemente encontrada na região, e busca-se compreender os melhores materiais para este uso, visando atender à vida útil de projeto da edificação e às exigências dos usuários.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 6453**: Cal virgem para a construção civil: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_. **NBR 6471**: Cal virgem e cal hidratada – retirada e preparação da amostra – procedimento. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998.

\_\_\_\_. **NBR 6473**: Cal virgem e cal hidratada: análise química. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003.

\_\_\_\_. **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas: requisitos. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003.

\_\_\_\_. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: Procedimento. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998.

\_\_\_\_. **NBR 8545**: Execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos: procedimento. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1984.

\_\_\_\_. **NBR 9205**: Cal hidratada para argamassas: Determinação da estabilidade. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2001.

\_\_\_\_. **NBR 9289**: Cal hidratada para argamassas – Determinação da finura. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000.

\_\_\_\_. **NBR 9290**: Cal hidratada para argamassas: Determinação de retenção de água: Método de ensaio. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996.

\_\_\_\_. **NBR 10821**: Esquadrias para edificações. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017.

\_\_\_\_. **NBR 12989**: Cimento portland branco: Especificação. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993.

\_\_\_\_. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005.

\_\_\_\_. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010.

\_\_\_\_. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais: desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013.

\_\_\_\_. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais: desempenho. Parte 4: sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013.

\_\_\_\_. **NBR 15812**: Alvenaria estrutural: Blocos cerâmicos. Parte 1: Projetos. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010.

\_\_\_\_. **NBR 15812**: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos. Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O edifício e seu acabamento**. São Paulo: Edgard Blücher, 1987.

BARBEROUSSE, Hélène; ROUT, Bertrand; YÉPRÉMIAN, Claude; BOULON, Gilbert. An assessment of façade coatings against colonisation by aerial algae and cyanobacteria. *Building and Environment*, v. 42, n. 7, p. 2555-2561, 2007.

Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132306002046>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

BEATO SOBRINHO, Mario Marques. **Estudo da ocorrência de fungos e da permeabilidade em revestimentos de argamassa em habitações de interesse social**: estudo de caso na cidade de Pitangueiras/SP. 2008. p. 89. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4633?show=full>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

CAL HIDRA LTDA. **Roseta Cal Hidra**. Disponível em:  
<<http://calhidra.com.br/roseta/>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

CALFINO. **Cal Hidra LTDA**. 2013. Disponível em:  
<<https://www.youtube.com/watch?v=l3mP6oObKC4&t=374s>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

CINCOTTO, Maria Alba. **Estudo da composição química da cal hidratada**. 1977. Dissertação (Mestrado) - Associação Brasileira dos Produtores de Cal, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 1977.

COELHO, Ana Zulmira; TORRAL, Fernando Pacheco; JALALI, Said. **A cal na Construção**. Portugal: Tecminho, 2009.

CROOK, Brian; BURTON, Nancy C. Indoor moulds, sick building syndrome and building related illness. *Fungal Biology Reviews*, v. 24, n. 3-4, p. 106-113, 2010. Disponível em:  
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1749461310000436>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

DERUELLE, S. Rôle du support dans la croissance des microorganismes. *Materials and Structures*, v. 24, n. 3, p. 163-168, 1991. Disponível em:  
<<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02472980>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

DIDONÉ, Elizeu Jonas. **Técnica a Laser para descrição do tamanho das partículas**. Santa Maria: PPGCS UFSM, 2011. Disponível em:  
<[http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Disciplinas/FisicaSolo/SEM\\_granulometria\\_laser.pdf](http://www.fisicadosolo.ccr.ufsm.whoos.com.br/downloads/Disciplinas/FisicaSolo/SEM_granulometria_laser.pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2019.

D'ORAZIO, Marco; CURSIO, Gianluca; GRAZIANI, Lorenzo; AQUILANTI, Lucia; OSIMANI, Andrea; CLEMENTI, Francesca; YÉPRÉMIAN, Claude; LARICCIA, Vincenzo; AMOROSO, Salvatore. Effects of water absorption and surface roughness on the bioreceptivity of ETICS compared to clay bricks. *Building and Environment*, v. 77, p. 20-28, 2014. Disponível em:  
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231400078X>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

FARIA, Joana Filipa Dias. **Desenvolvimento de argamassas para a reabilitação de edifícios antigos**. Parte 1 - Trabalhabilidade e comportamento mecânico. Uminho, Departamento de Engenharia Civil, n. 39, ISSN 0873-1152. p. 47-58, 2011. Guimarães, Portugal. Disponível em:

<[http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/12783/1/Artigo\\_39\\_47-58.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/12783/1/Artigo_39_47-58.pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2019.

FIGUEIREDO, Luís Miguel Paiva Pena. **História do Estuque**. In: 1 Encontro sobre Estuques Portugueses. Museu do Estuque, Museu Nacional Soares dos Reis, 2008. Disponível em: <[http://www.casaruibarbosa.gov.br/arquivos/file/LivroActas\\_final%20\(2\).pdf](http://www.casaruibarbosa.gov.br/arquivos/file/LivroActas_final%20(2).pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2019.

FISHER, Peter; AUMANN, Colin; CHIA, Kohleth; O'HALLORAN, Nick; CHANDRA, Subhash. Adequacy of laser diffraction for soil particle size analysis. **Plos One**, 2017. Disponível em: <<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0176510>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

FITZ, Cornelia; HOFBAUER, Wolfgang; SEDLBAUER, Klaus; KRUS, Martin; BREUER, Klaus. Prognoseverfahren zum biologischen Befall durch Algen Pilze und Flechten an Bauteiloberflächen auf Basis bauphysikalischer und mikrobieller Untersuchungen. **Bauforschung für die Praxis**. 2007, ISBN 978-3-8167-7102-9. Disponível em: <<https://www.bookshop.fraunhofer.de/buch/prognoseverfahren-zum-biologischen-befall-durch-algen-pilze-und-flechten-an-bauteiloberflaechen-auf-basis/222318>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

GAYLARDE, Christine; MORTON, Leslie Hg Glyn; LOH, Kai; SHIRAKAWA, Marcia Aiko. Biodeterioration of external architectural paint films – a review. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 65, n. 8, p. 1189-1198, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830511001983?via%3Dihub#!>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

GONÇALVES, Teresa Diaz. **Rebocos, Barramentos, Pinturas de Cal e Outras Pinturas para Edifícios Antigos**: Alguns casos de estudo. Lisboa: Seminário Sobre Cor e Conservação de Superfícies Arquitectónicas, 1999. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Teresa\\_Diaz\\_Goncalves/publication/260619180\\_Rebocos\\_barramentos\\_pinturas\\_de\\_cal\\_e\\_outras\\_pinturas\\_para\\_edificios\\_antigos/links/0f317531da0037b3b6000000/Rebocos-barramentos-pinturas-de-cal-e-outras-pinturas-para-edificios-antigos.pdf?origin=publication\\_detail](https://www.researchgate.net/profile/Teresa_Diaz_Goncalves/publication/260619180_Rebocos_barramentos_pinturas_de_cal_e_outras_pinturas_para_edificios_antigos/links/0f317531da0037b3b6000000/Rebocos-barramentos-pinturas-de-cal-e-outras-pinturas-para-edificios-antigos.pdf?origin=publication_detail)>. Acesso em: 01 jun. 2019.

GÖRS, Solvig; SCHUMANN, Rhena; HÄUBNER, Norbert; KARSTEN, Ulf. *Fungal and algal biomass in biofilms on artificial surfaces quantified by ergosterol and chlorophyll a as biomarkers*. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 60, n. 1, p. 50-59, 2007. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/223350187\\_Fungal\\_and\\_algal\\_biomass\\_i](https://www.researchgate.net/publication/223350187_Fungal_and_algal_biomass_i)

n\_biofilms\_on\_artificial\_surfaces\_quantified\_by\_ergosterol\_and\_chlorophyll\_a\_as\_biomarkers>. Acesso em: 01 jun. 2019.

GUIMARÃES, José Eitácio Passos. **A cal**: fundamentos e aplicações na engenharia civil. São Paulo: Pini, 1997.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo, v. 231, p. 14, 1993. Disponível em: <[http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT\\_00272.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00272.pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2019.

JOUAN, Marie Pierre. Les micro-organismes en façade. **Qualité Construction**, v. 82, p. 35-41, 2004. Disponível em: <<http://www.qualiteconstruction.com/sites/default/files/pdf/82/qc82-05.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

KANAN, Maria Isabel Correa. **Manual de conservação e intervenção em argamassas e revestimentos à base de cal**. Brasília: Iphan, 2008.

KILLING. Massa acrílica. 2012. Disponível em: <<http://www.tintaskilling.com.br/site/produtos-view/massa-acrilica/produtos-auxiliares/49/5>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

KILLING. Massa corrida. 2012. Disponível em: <<http://www.tintaskilling.com.br/site/produtos-view/massa-corrída/produtos-auxiliares/50/5>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

MALVERN PANALYTICAL. Difração laser (LD, *laser diffraction*). Disponível em: <<https://www.malvernpanalytical.com/br/products/technology/light-scattering/laser-diffraction>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

MARCON, Antônio Fortunato. **Durabilidade e Módulo de Elasticidade de Misturas Areia-cal-cinza volante**. 1977. Dissertação (Mestrado em Ciência) - Universidade Federal de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 1977. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/2810/1/145467.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

MARQUES, Sofia Margarida Figueiredo. **Estudo de Argamassas de Reabilitação de Edifícios Antigos**. 2005. p. 154. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2005. Disponível em:

<<https://docplayer.com.br/66348090-Sofia-margarida-figueiredo-marques-estudo-de-argamassas-de-reabilitacao-de-edificios-antigos.html>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

MELO, Edson Sobral de. **Estudo de caso do processo de pintura em superfície de argamassa com aplicação de massa pva com rolo de textura em paredes internas da edificação**. Maringá: UniCesumar, 2018. Disponível em: <<http://rdu.unicesumar.edu.br//handle/123456789/657>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

MENEZES, Marlucci; VEIGA, Maria do Rosário; SANTOS, Ana Rita. **Técnicas tradicionais de revestimentos históricos exteriores: Relato de entrevistas com artífices sobre as técnicas tradicionais de revestimentos de cal**. Lisboa: I&D, 2012. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/282869082\\_TECNICAS\\_TRADICIONAIS\\_DE\\_REVESTIMENTOS\\_HISTORICOS\\_EXTERIORES\\_Relato\\_de\\_entrevistas\\_com\\_artifi\\_ces\\_sobre\\_as\\_tecnicas\\_tradicionais\\_de\\_revestimentos\\_de\\_cal](https://www.researchgate.net/publication/282869082_TECNICAS_TRADICIONAIS_DE_REVESTIMENTOS_HISTORICOS_EXTERIORES_Relato_de_entrevistas_com_artifi_ces_sobre_as_tecnicas_tradicionais_de_revestimentos_de_cal)>. Acesso em: 01 jun. 2019.

NETO, Moacyr Salles. **Estudo do mecanismo de formação de florescências em revestimentos de argamassa aplicados a substrato cerâmico e o efeito de barreira**. 2010. Tese (doutorado), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2010. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/9056>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

OLIVEIRA, Luciana Alves de; SABBATINI, Fernando. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. São Paulo: Boletim Técnico, 2003.

PENAS, Filipa Ezequiel. **Argamassa de Cal Hidráulica para Revestimento de Paredes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2008. Disponível em: <<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137852444/d> >. Acesso em: 01 jun. 2019.

PETRUCCI, Eladio Geraldo Requião. **Materiais de Construção**. 8 ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987.

PRETTO, Márcia Elisa Jacondino. **Influência da rugosidade gerada pelo tratamento superficial do substrato de concreto na aderência do revestimento de argamassa**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2007. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/18425>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

QUARCIONI, Valdecir Angelo. **Influência da cal hidratada nas idades iniciais da hidratação do cimento Portland**: estudo em pasta. 2008. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Engenharia de Construção Civil e Urbana, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-15092008-153909/pt-br.php>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Conhecendo argamassa**. 2 ed. Porto Alegre: Edipucrs, 2012. Disponível em: <<http://twixar.me/Zl8n>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Técnicas aplicáveis a Trabalhos de Restauração de Prédios de Interesse Histórico e Cultural**. Porto Alegre: CIENTEC, 2014. v. 500.

RODRIGUES, Carlos Roberto Teixeira; OLIVEIRA, Alessandra Silva de; CASTRO JUNIOR, Osmar Vieira de. **Relação entre rugosidade e a presença de *Candida albicans* em materiais reembasadores, antes e após a ciclagem de ph**. *Brazilian Journal of Surgery and Clinical Research*, v. 4, n. 2, p. 21-27, set-nov. 2013. Disponível em: <[https://www.mastereditora.com.br/periodico/20131123\\_111211.pdf](https://www.mastereditora.com.br/periodico/20131123_111211.pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2019.

SAAD, Antonio Miguel. **Tratado de construcción**. México: Cecsa, 1960.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Aula da disciplina de Tecnologia de produção de vedações verticais**: TG 04, MBA, PECE. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

SABBATINI, Fernando Henrique. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos**: formulação e aplicação de uma metodologia. 1989. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 1989. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-30082017-091328/pt-br.php>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

SHIRAKAWA, Márcia Aiko. **Avaliação do crescimento de fungos após um ano de envelhecimento natural de argamassas de revestimento aditivadas e com pintura**. Curitiba: VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2009.

SHIRAKAWA, Márcia Aiko. **Estudo da biodeterioração do concreto por *Thiobacillus***. 1994. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 1994.

Disponível em:

<[http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Marcia%20Aiko%20Shirakawa\\_M.pdf](http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Marcia%20Aiko%20Shirakawa_M.pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2019.

SHIRAKAWA, Márcia Aiko; CINCOTTO, Maria Alba; GAMBALE, Valderez.

**Influência do crescimento de fungos na carbonatação de argamassas.** Curitiba: VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 2009.

SQUINAZI, Fabien. La pollution de l'air à l'intérieur des bâtiments (allergènes exclus). *Revue française d'allergologie et d'immunologie clinique*, v. 42, n. 3, p. 248-255, 2002. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0335745702001454>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

STARRETT. Catálogo Geral B33. 2018. Disponível em:

<<https://carlsons.com.br/uploads/pdf/Starrett-2018.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

STARRETT. Surface Roughness Testing Equipment: SR Series. 2015. Disponível em:

<[http://www.starrett.com/vdoc/Surface%20Roughness%20Tester%20Brochure%20\(Bulletin%202104\)](http://www.starrett.com/vdoc/Surface%20Roughness%20Tester%20Brochure%20(Bulletin%202104))>. Acesso em: 01 jun. 2019.

STOLZ, Carina Mariane; MASUERO, Angela Borges. Analysis of main parameters affecting substrate/mortar contact area through tridimensional laser scanner. *Journal of colloid and interface science*, v. 455, p. 16-23, 2015. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021979715004828#!>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

TAVARES, Marta Lins. **A conservação e o restauro de revestimentos por pinturas exteriores de edifícios antigos:** uma metodologia de estudo e reparação.

Tese (Doutorado em Arquitetura) - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2009.

Disponível em: <<http://repositorio.lnec.pt:8080/xmlui/handle/123456789/16903>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

TEMP, Aldo Leonel. **Avaliação de revestimentos de argamassa à permeabilidade ao vapor de água.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2014. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7869/TEMP%2C%20ALDO%20LEONEL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

- TORGAL, Fernando Pacheco; FARIA, Joana Filipa Dias; JALALI, Said. Considerations about the use of lime-cement mortars for render conservation purposes. ***Construction and Building Materials***, v. 30, p. 488/494, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061811006805?via%3Dihub#!>>. Acesso em: 01 jun. 2019.
- TORVINEN, Eila; MEKLIN, Teija; TORKKO, Pirjo; SUOMALAINEN, Sini; REIMAN, Marjut; KATILA, Marja-Leena; PAULIN, Lars; NEVALAINEN, Aino. Mycobacteria and fungi in moisture-damaged building materials. ***Applied and Environmental Microbiology***, v. 72, n. 10, p. 6822-6824, 2006. Disponível em: <<https://aem.asm.org/content/aem/72/10/6822.full.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2019.
- UEMOTO, Kai Loh. **Projeto, Execução e Inspeção de Pinturas**. 2 ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005.
- VEIGA, Maria do Rosário. **Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos: Métodos e materiais**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2007. Disponível em: <<http://repositorio.lnec.pt:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/16735/Tpi58.pdf?squence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 01 jun. 2019.
- VEIGA, Maria do Rosário; CARVALHO, Fernanda. **Argamassas de reboco para paredes de edifícios antigos: requisitos e características a respeitar**. *Cadernos de Edifícios*, n. 2. Lisboa: LNEC, 2002. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/291169293\\_Argamassas\\_de\\_reboco\\_para\\_paredes\\_de\\_edificios\\_antigos\\_requisitos\\_e\\_caracteristicas\\_a\\_respeitar](https://www.researchgate.net/publication/291169293_Argamassas_de_reboco_para_paredes_de_edificios_antigos_requisitos_e_caracteristicas_a_respeitar)>. Acesso em: 01 jun. 2019.
- VERDIER, Thomas; COUTAND, Marie; BERTRON, Alexandra; ROQUES, Christine. A review of indoor microbial growth across building materials and sampling and analysis methods. ***Building and Environment***, v. 80, p. 136-149, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132314001802>>. Acesso em: 01 jun. 2019.
- VIEIRA, Elidio Nunes; CESAR, R. T.; BARROS, Mércia Maria Semensato Bottura; SHIRAKAWA, Marcia Aiko; JOHN, Vanderley Moacyr. **Influência de aditivos em argamassas de revestimento com pintura no crescimento de fungos em condições de ciclos de molhagem e secagem**. Curitiba: VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2009.
- WERLE, Ana Paula; DE SOUZA KAZMIERCZAK, Claudio; KULAKOWSKI, Marlova Piva. **Carbonatação em concretos com agregados reciclados de concreto**.

Ambiente Construído, v. 11, n. 2, p. 213-228, 2011. Disponível em:  
<<http://www.scielo.br/pdf/ac/v11n2/a15v11n2>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

WILIMZIG, Markus. **Consolidação de rebocos fracos com silicatos**. 2013.  
Disponível em:  
<[https://www.researchgate.net/publication/259776144\\_Consolidacao\\_de\\_rebocos\\_fracos\\_com\\_silicatos](https://www.researchgate.net/publication/259776144_Consolidacao_de_rebocos_fracos_com_silicatos)>. Acesso em: 01 jun. 2019.

WILIMZIG, Markus; BOCK, Eberhard. Attack of Mortar by Bacteria and Fungi. In: HEITZ, Ewald; FLEMMING, Hans-Curt; SAND, Wolfgang (Org.). ***Microbially Influenced Corrosion of Materials: Scientific and Engineering Aspects***. Berlin: 1996.

YAZIGI, Walid. **A técnica de edificar**. São Paulo: Pini, 1999.

ZECHMEISTER, Dóris. **Notas de Aula da disciplina de Construção 2**. 2016.