

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL — PÓS-CIVIL
MESTRADO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSA ANTIGA

**Estudo de caso: Casa Amarela — Unidade Municipal de Educação Infantil — UMEI
Timbiras**

SILVANA LAMAS DA MATTA

Belo Horizonte
2012

Silvana Lamas da Matta

CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSA ANTIGA

**Estudo de caso: Casa Amarela — Unidade Municipal de Educação Infantil — UMEI
Timbiras**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em construção civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Área de concentração: Materiais de Construção Civil

Linha de pesquisa: Argamassa antiga

Orientador: Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Co-orientador: Prof. PhD. Paulo Roberto Gomes Brandão

Belo Horizonte
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSA ANTIGA

Estudo de caso: Casa Amarela — Unidade Municipal de Educação Infantil — UMEI

Timbiras

SILVANA LAMAS DA MATTA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em construção civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Comissão examinadora:



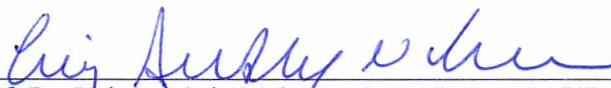
Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior (Orientador) — UFMG



Prof. PhD. Paulo Roberto Gomes Brandão (Co-orientador) — UFMG



Profª. Drª. Cybèle Celestino Santiago — UFBA



Prof. Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco — UFMG

Belo Horizonte, 30 de julho de 2012.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que me iluminou com a ideia de um mestrado e me deu as condições necessárias para realizá-lo.

À minha família, pelo apoio e compreensão nas horas difíceis, em especial ao meu filho Hermano, pelo socorro durante as panes do computador, à Silvia Helena, pelos lanches noturnos preparados com criatividade e carinho, à minha mãe Maria Helena e às minhas irmãs Iara e Roselane Lamas, pela dedicação, carinho, compreensão e estímulo.

Ao Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior, pela prontidão nos atendimentos, pelo auxílio e incentivo constantes, por não me deixar esmorecer, por compartilhar, generosamente, seus conhecimentos, seu otimismo, sua tranquilidade e, principalmente, pela confiança em mim depositada.

Ao Prof. PhD. Paulo Roberto Gomes Brandão, pelas aulas bem humoradas e instigadoras, que aguçaram minha curiosidade e meu interesse pelo trabalho investigativo e sua valiosa contribuição nessa dissertação.

À comissão examinadora: Cybèle Santiago, Luis Antônio Melgaço Nunes Branco, Antônio Neves de Carvalho Júnior e Paulo Roberto Gomes Brandão, pelas pertinentes considerações sobre esse trabalho.

À Prof^a Dra. Maria Teresa Aguilar pelas aulas iluminadas e reflexivas; ao Prof. Dr. Adriano, ao Prof. Dr. Cícero e à Prof^a Marieta Maciel pelos preciosos conhecimentos transmitidos.

A todos os amigos do GGEI/NEPE-EI — Escolas Infantis/SUDECAP — que participaram dos projetos e das construções das Unidades Municipais de Educação Infantis, em especial, aos colegas Marcelo Amorim, Dulce Magalhães, Renata Glória, Ana Rita Isoni. Aos amigos da SMED/PBH, Flávia Julião, Isa e Aloísio Castro.

Aos profissionais da REDE CIDADE, em especial Rafael Pinto; da GOS, Leonardo Bartolini (Cacá) e da Fundação Municipal de Cultura de Belo Horizonte, Carlos Henrique e Mariana, pela colaboração e rica troca de informações.

Aos amigos e colegas de trabalho da PBH, SUDECAP, SMAHAB e URBEL, que me apoiaram, incentivaram, ou que, de alguma maneira, possibilitaram a realização desse mestrado, em especial à Celina Marques, Aluísio Rocha, José Flávio Gomes e Murilo Valadares.

À Ana Miriam Freitas, Maria Helena Henriquez, Kátia Guimarães, Lídia Batista e Roberto de Andrade, Fabiana Cunha, Celmo e Cláudia da Matta, Flávia Pinheiro, Daniela Mascarenhas, Bárbara, Beatriz, Tetê e Roselis, Dra. Luciana Rocha e Dr. Eduardo Filgueiras, pelo carinho, amizade, solidariedade, colaboração, estímulo e apoio emocional durante esse percurso.

Aos meus colegas de mestrado, pelo companheirismo e conhecimentos compartilhados, especialmente à colega Fernanda Senna, que me auxiliou nas análises laboratoriais.

À Ivonete, pela atenção e informações prestadas sempre com competência e prontidão; aos laboratoristas dos departamentos de Engenharia de Minas e de Engenharia de Materiais e Construção da UFMG Patrícia Mara Trigueiro Azevedo, Ilda, Isabel, Alberto e Roberto pela disposição em me auxiliar durante a realização dos ensaios.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado; a todos os demais professores e funcionários da Escola de Engenharia da UFMG que, de alguma forma, contribuíram para a obtenção do meu título de mestre.

A todos o meu mais profundo e sincero agradecimento.

“Se a nobre arte é *utilitas* e *venustas*, é primeiramente *firmitas*”.
(se a nobre arte é útil e bela, é primeiramente sólida)

Cybèle Celestino Santiago

RESUMO

No presente trabalho, apresentam-se algumas das teorias, dos princípios e dos critérios de conservação, reabilitação e restauro empregados quando da intervenção em edifícios antigos. Abordam-se os principais tipos de revestimentos em argamassas até o fim do século XX. Estudam-se as argamassas, a sua constituição e as propriedades que determinam seu desempenho, em especial, as argamassas à base de cal. Inclui o estudo de caso da “Casa Amarela”, edificação do final do século XIX, localizada na cidade de Belo Horizonte, que foi restaurada para abrigar uma Unidade Municipal de Educação Infantil: UMEI Timbiras. Elaborou-se um estudo experimental para caracterização da argamassa de revestimento da edificação antiga, visando subsidiar futuras intervenções/proposições de uma argamassa de recuperação compatível em termos físicos, químicos e mecânicos com a argamassa original. A partir de análises das amostras da argamassa de revestimento antiga, retiradas durante a obra de restauro, foi possível identificar sua composição. Apresentam-se os resultados da investigação da argamassa antiga por meio de sua caracterização microestrutural, química e mineralógica. Determinou-se a área superficial específica da argamassa antiga pelo método Brunauer-Emmett-Teller (BET), obtendo-se um valor relativamente baixo, que colabora para eliminar a possibilidade de presença de argila na amostra. Esta apresentou baixa presença de poros, na faixa inferior dos mesoporos. Os estudos microestruturais foram efetuados principalmente por microscopia eletrônica de varredura com amplo apoio de microanálises por EDS (MEV-EDS), mas com uso importante do microscópio óptico estereoscópico. Para identificação da composição química e mineralógica da argamassa foram utilizadas técnicas: análise química por fluorescência de raios-X (FRX), difração de raios-X (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectrometria de infravermelho (FTIR) e análise termogravimétrica (TG). Encontraram-se as seguintes fases: quartzo (SiO_2); calcita (CaCO_3) e microclina (KAlSi_3O_8). Com o MEV, após geração de imagens, foi possível escolher microrregiões da amostra para o direcionamento do microanalisador EDS e realização de análises químicas semiquantitativas. Os resultados obtidos indicaram tratar-se de uma argamassa à base de cal, sem a presença do cimento Portland ou de adições de materiais orgânicos.

Palavras-chave: Argamassa antiga. Caracterização de argamassa antiga. Argamassa de edificação histórica.

ABSTRACT

This dissertation addresses some of the theories, principles and criteria for the conservation, rehabilitation and restoration used during the intervention on old buildings. It deals on the major types of coatings used in mortars until the end of the twentieth century. The mortars are studied based on their constitution and properties that determine their performance, in particular, the lime-based mortars. It includes the case study of the “*Casa Amarela* (Yellow House)”, a building of the late nineteenth century, located in Belo Horizonte City, which has been restored to house an unit of Municipal Kindergarten named UMEI Timbiras. An experimental study was developed to characterize the mortar lining of this old building aiming to support future interventions/proposals for a mortar recovery compatible in terms of physical, chemical and mechanical properties with the original mortar. From analyses of samples of the old mortar coating, removed during the restoration work, it was possible to identify its composition. The characterization of this ancient mortar has been performed based on microstructure, physical, chemical and mineralogical analyses. The old mortar’s specific surface area by the Brunauer-Emmett-Teller (BET) method yielded a relatively low value, which contributes to exclude the possibility of the presence of clay in the sample. Accordingly, the sample showed a small volume of pores in the lower range of mesopores. The microstructure studies were performed mainly by scanning electron microscopy with a strong support of EDS microanalysis (SEM-EDS), but also with important contribution of the stereoscopic microscope. To identify the chemical and mineralogical composition of the mortar, other techniques were used: X-ray fluorescence (XRF) chemical analysis, X-ray diffraction (XRD), infrared spectrometry (FTIR) and thermogravimetric analysis (TG). The following phases have been found: quartz (SiO_2), calcite (CaCO_3) and microcline (KAlSi_3O_8). Guided by the SEM images, it was possible to select suitable microareas in the sample for EDS semiquantitative chemical analyses. All these results indicated that it is a lime-based mortar without the presence of Portland cement or additions of organic materials.

Keywords: Old mortar. Characterization of ancient mortars. Historic building mortar.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1:	“Casa Amarela” — UMEI Timbiras — Perspectiva.	16
FIGURA 2:	Fachada Rua Timbiras.	21
FIGURA 3:	Vista lateral da varanda frontal à Rua Timbiras	21
FIGURA 4:	Fachada lateral direita referente à Rua Timbiras — Varanda lateral.....	21
FIGURA 5:	Vista interna da varanda lateral.....	21
FIGURA 6:	Vista da fachada lindeira à Av. Álvares Cabral.	22
FIGURA 7:	Vista de uma das janelas de parapeito sacado, situada na fachada da Av. Álvares Cabral, em BH.	22
FIGURA 8:	Vista da fachada e acesso ao imóvel. O portão foi retirado, assim como a balaustrada que compunha o gradil.....	22
FIGURA 9:	Fachada da Rua Espírito Santo com Av. Álvares Cabral.	23
FIGURA 10:	Fachada lateral direita em relação à Rua Timbiras.....	23
FIGURA 11:	Anexo da UMEI — Recreio coberto e playground. Lateral da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras, ao fundo.	23
FIGURA 12:	Farol de Eddystone.	53
FIGURA 13:	Situação das fachadas frontais em 2008.	83
FIGURA 14:	Restauração das fachadas frontais em 2010.....	83
FIGURA 15:	Perspectiva do projeto arquitetônico da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras.	84
FIGURA 16:	Estudo preliminar para “Casa Amarela” — UMEI Timbiras. Plantas 1º e 2º pavimentos.....	84
FIGURA 17:	Foto da Maquete do projeto arquitetônico da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras.	84
FIGURA 18:	“Casa Amarela” — UMEI Timbiras — Fachada Rua Timbiras.....	87
FIGURA 19:	“Casa Amarela” — UMEI Timbiras — Fachada lateral direita.	87
FIGURA 20:	“Casa Amarela” — UMEI Timbiras — Alpendre.....	87
FIGURA 21:	“Casa Amarela” — UMEI Timbiras — Varanda lateral, alpendre e escada de acesso principal.	87
FIGURA 22:	Vergas de portas e janelas.....	90
FIGURA 23:	Alvenarias internas — Pé direito: 4,50 m.....	90
FIGURA 24:	Alvenaria em tijolo cerâmico, cimalthas e demais ornatos.....	90
FIGURA 25:	Fachada voltada para Rua Espírito Santo.	90
FIGURA 26:	Alvenaria sobre alicerce.....	91
FIGURA 27:	Fachada voltada para Av. Álvares Cabral, 2008.....	91
FIGURA 28:	Varanda lateral — casarão sem a cobertura, que foi queimada pelo incêndio.....	93
FIGURA 29:	Varandas frontal e lateral e escada de acesso Rua Timbiras.	93
FIGURA 30:	Detalhe alvenaria sem reboco. O piso, em madeira, foi queimado pelo fogo em 2000.	93
FIGURA 31:	Varanda lateral sem a cobertura.....	93
FIGURA 32:	(A) detalhe da janela da fachada voltada para Rua Espírito Santo; (B) detalhe da janela da fachada da Av. Álvares Cabral, sem o parapeito sacado em ferro batido; (C) detalhe das janelas da fachada voltada para Av. Álvares Cabral, sem os parapeitos sacados; (D) detalhe da cimaltha e adornos.	95
FIGURA 33:	Detalhe escada de acesso ao alpendre e varanda frontal.....	96

FIGURA 34: Foto da maquete do Projeto arquitetônico de restauração da UMEI Timbiras.	96
FIGURA 35: Foto da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras obtida através da abertura da escada do recreio coberto (bloco anexo), em dezembro de 2010.	97
FIGURA 36: Triturador (britador de mandíbula).	104
FIGURA 37: Triturador (britador de mandíbula) — Detalhe.....	104
FIGURA 38: Quarteador metálico.....	104
FIGURA 39: Recolhimento das porções com pincel e espátula.....	104
FIGURA 40: (A) balança para pesagem das porções; (B) ensacamento das porções; (C) identificação das porções.....	105
FIGURA 41: (A) limpeza do moinho de panela; (B) detalhe externo do moinho de panela; (C) detalhe interno do moinho de panela, com amostra pulverizada.....	105
FIGURA 42: (A) remoção do material do moinho com pincel; (B) pesagem e (C) ensacamento do material pulverizado; (D) registro do peso das amostras.	105
FIGURA 43: Amostras sendo preparadas para recobrimento com película condutora.....	106
FIGURA 44: Instrumento: Coater tipo Spi-Module Carbon Coater.....	106
FIGURA 45: Aparelho SPUTTER, utilizado para recobrimento da amostra.....	106
FIGURA 46: Amostra sendo colocada no compartimento porta-amostra do MEV.....	106
FIGURA 47: Isoterma pelo método BET.	108
FIGURA 48: Difratoograma de raios-X.	110
FIGURA 49: Espectro de infravermelho — Amostra de argamassa antiga. Método de transmissão, com pastilha de KBr.....	111
FIGURA 50: Termogravimetria (TGA) da argamassa, com as perdas de massa indicadas.	112
FIGURA 51: Termogravimetria diferencial (DTG) da argamassa.	112
FIGURA 52: Fragmento tridimensional da argamassa. Escala em milímetros.....	114
FIGURA 53: Lupa estereoscópica, secção polida 1.	114
FIGURA 54: Lupa estereoscópica, secção polida 2.	115
FIGURA 55: Microestrutura geral da argamassa. MEV, imagem de elétrons retroespalhados (IER). Secção polida.	117
FIGURA 56: Microestrutura de detalhe da argamassa, focando no contato entre partículas de areia grossa e a matriz fina. MEV, imagem de elétrons retroespalhados (IER). Secção polida.	118
FIGURA 57: Microestrutura da argamassa mostrando grandes partículas de areia quartzosa grossa e a matriz fina. MEV, imagem de elétrons retroespalhados (IER). Secção polida.	119
FIGURA 58: Microestrutura de detalhe da argamassa, focando na matriz fina. MEV, imagem de elétrons secundários (IES). Fratura.	120
FIGURA 59: Microestrutura geral da argamassa. Área notadamente porosa. MEV, imagem de elétrons secundários (IES). Fratura.	120
FIGURA 60: Mapeamento de área da matriz ligando duas partículas grandes (mesma área da Figura 56).	121

LISTA DE TABELAS

TABELA 1:	Nomenclatura da cal aérea.....	50
TABELA 2:	Varição das propriedades com origem na variação do aglomerante cal (argamassa de cimento, cal e areia).	644
TABELA 3:	Influência das características granulométricas das areias nas propriedades das argamassas de assentamento.....	744
TABELA 4:	Prospecção de cores das fachadas, realizada em 3 de agosto de 1998.	911
TABELA 5:	Composição química global da argamassa antiga (% em massa).....	1099
TABELA 6:	Microanálises referentes aos pontos marcados na Figura 55.....	1177
TABELA 7:	Microanálises referentes aos pontos marcados na Figura 56.....	1188
TABELA 8:	Microanálises referentes aos pontos marcados na Figura 57.....	1199

**LISTA DE FÓRMULAS E SISTEMAS CRISTALINOS
DOS MINERAIS IDENTIFICADOS**

Quartzo	SiO_2 ; trigonal
Calcita	CaCO_3 ; romboédrico
Microclina	KAlSi_3O_8 ; triclínico
Hematita	Fe_2O_3 ; trigonal
Caulinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$; triclínico

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> [Sociedade Americana para Testes e Materiais]
BET	Brunauer-Emmett-Teller
BH	Belo Horizonte
BJH	Barrett-Joyner-Halenda
CDPH-BH	Conselho Deliberativo do Patrimônio Cultural do Município de Belo Horizonte
EDS	Espectrometria de raios-X dispersiva em energia
EIV	Espectrometria de infravermelho
FMC-BH	Fundação Municipal de Cultura de Belo Horizonte
FRX	Espectrometria de fluorescência de raios-X
FTIR	<i>Fourier transform infrared spectrometry</i> [espectrometria no infravermelho com transformada de Fourier]
IER	Imagem de elétrons retroespalhados
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
IEPHA	Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais
IES	Imagem de elétrons secundários
MG	Minas Gerais
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
NEPE-EI	Núcleo de Execução de Projetos Especiais — Escolas Infantis
NTPR	Núcleo de Tecnologia da Preservação e da Restauração
PBH	Prefeitura Municipal de Belo Horizonte
SPDA	Sistema de proteção contra descargas atmosféricas
SPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
SUDECAP	Superintendência de Desenvolvimento da Capital
TG	Termogravimetria ou análise termogravimétrica
TGA	Análise termogravimétrica
UMEI	Unidade Municipal de Educação Infantil
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
WDS	<i>Wavelength-dispersive X-ray spectrometry</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	<i>Objetivos gerais</i>	18
2.2	<i>Objetivos específicos</i>	18
3	JUSTIFICATIVA	20
3.1	<i>Registro fotográfico</i>	21
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
4.1	<i>Noções de patrimônio histórico e fundamentos teóricos do restauro</i>	24
4.1.1	Patrimônio histórico	24
4.1.2	Fundamentos teóricos do restauro	28
4.2	<i>Caracterização das argamassas antigas</i>	32
4.2.1	Considerações sobre intervenções em edifícios antigos	34
4.2.2	Argamassas	35
4.2.3	Argamassas de revestimento	37
4.2.3.1	Argamassas de revestimento à base de cal	38
4.2.3.2	Argamassas com solo	38
4.2.3.3	Argamassas refratárias	39
4.2.3.4	Argamassas hidrófugas	40
4.2.3.5	Argamassas especiais	40
4.2.4	Recomendações	40
4.2.5	Causas frequentes da deterioração das argamassas de revestimentos	42
4.3	<i>Caracterização dos constituintes das argamassas antigas</i>	43
4.3.1	Aglomerantes	44
4.3.1.1	Argila	45
4.3.1.2	Gesso	45
4.3.1.3	Cal aérea	46
4.3.1.4	Pozolana	51
4.3.1.5	Cal hidráulica natural	52
4.3.1.6	Cimento de pega rápida	53
4.3.1.7	Cal hidráulica artificial	53
4.3.1.8	Cimento de pega normal	54
4.3.1.9	Cimento Portland	55
4.3.2	Agregado — Areia	56

4.3.3	Água.....	58
4.3.4	Aditivos, adições, materiais orgânicos e fibras	58
4.4	<i>Aspectos relevantes das propriedades das argamassas</i>	59
4.4.1	Quanto à durabilidade	59
4.4.2	Quanto aos aglomerantes.....	61
4.4.2.1	Comportamento da cal e do cimento.....	61
4.4.2.2	Benefícios da utilização da cal.....	66
4.4.2.3	Desvantagens da utilização da cal.....	68
4.4.2.4	Avaliações relevantes sobre o tema	68
4.4.3	Quanto ao agregado	69
4.4.4	Quanto à água.....	75
4.4.5	Quanto aos principais aditivos e adições.....	76
4.4.6	Quanto às fibras.....	77
4.4.7	Quanto aos sais solúveis	77
4.4.8	Quanto à porosidade	78
4.4.9	Quanto à resistência mecânica	78
4.4.10	Quanto ao índice de hidraulicidade.....	79
4.4.11	Quanto ao traço — traços recomendados	79
5	METODOLOGIA	82
5.1	<i>“Casa Amarela” — UMEI Timbiras: um estudo de caso</i>	82
5.1.1	Introdução — Característica e localização	82
5.1.2	O Projeto arquitetônico	83
5.1.3	Levantamento/Diagnóstico e Proposta de intervenção	85
5.1.3.1	Rápida análise histórico-documental	86
5.1.3.2	Análise estético crítica	89
5.1.3.2.1	Sistema construtivo	89
5.1.3.2.2	Acabamentos internos e ornamentação.....	91
5.1.3.3	Análise estático construtiva	92
5.1.3.3.1	Alvenarias	93
5.1.3.3.2	Revestimentos e pintura.....	94
5.1.3.3.3	Elementos decorativos	95
5.1.3.3.4	Agenciamento externo	95
5.1.4	Proposta de intervenção — Restauração da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras.	96
5.1.5	Relevância da caracterização da argamassa antiga	97
5.2	<i>Métodos de investigação e análise microestrutural utilizados para caracterização da argamassa de revestimento antiga</i>	99
5.2.1	Métodos utilizados.....	99
5.2.2	Origem, descrição e preparo das amostras	102
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	108

6.1	<i>Área superficial específica</i>	108
6.2	<i>Porosimetria</i>	108
6.3	<i>Análise química</i>	109
6.4	<i>Difração de raios-X</i>	109
6.5	<i>Espectrometria de infravermelho</i>	110
6.6	<i>Análise termogravimétrica (TGA)</i>	111
6.7	<i>Descrição microestrutural</i>	113
6.7.1	Observações em lupa estereoscópica	113
6.7.2	Microscópio eletrônico de varredura (MEV) com microanalisador EDS.....	115
7	CONCLUSÕES	123
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
9	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	127
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128
	SUGESTÃO BIBLIOGRÁFICA	131

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho foi motivado durante participação em um trabalho de restauração, executado pela Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP)/Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PBH), de uma edificação histórica, erguida em 1899 quando da construção da Nova Capital — Belo Horizonte (BH) —, inaugurada em 1897. A edificação está localizada na Rua Timbiras, 1697, esquina de Rua Espírito Santo e Av. Álvares Cabral, no centro de BH.

O bem cultural em questão foi tombado em fachadas e volume pelo Conselho Deliberativo do Patrimônio Cultural do Município de Belo Horizonte (CDPH-BH), em 10 de novembro de 1994 e ratificado em 19 de janeiro de 1995, e pertence ao Conjunto Urbano da Praça da Liberdade — Av. João Pinheiro e Adjacências. Desapropriado pela PBH em 2007, foi destinado à implantação de uma Unidade Municipal de Educação Infantil — UMEI Timbiras, para atender 440 crianças na faixa etária de zero a cinco anos e oito meses (FIG. 1).



FIGURA 1: “Casa Amarela” — UMEI Timbiras — Perspectiva.

Fonte: Arquivo do NEPE-EI/SUDECAP.

Durante as obras de reforma e restauração da edificação antiga, pela SUDECAP/PBH, foi preciso reparar o reboco das alvenarias das fachadas. Por tratar-se de uma construção do final do século XIX, deparou-se com a necessidade de caracterizar a argamassa original, a fim de se identificar qual o aglomerante e aspectos da areia utilizados na época da construção. Dessa necessidade prática de reprodução de uma argamassa antiga, utilizando-se materiais atuais compatíveis com os da argamassa original, cresceu a determinação pela busca de conhecimentos que pudessem elucidar a solução do problema ali apresentado.

As obras de restauração da edificação prosseguiram e a “Casa Amarela” — UMEI Timbiras, como é atualmente chamado o casarão, foi inaugurada em dezembro de 2010, abrigando algumas das instalações da Unidade Municipal de Educação Infantil. Portanto, como esse trabalho encontrava-se em fase de elaboração, nessa época, espera-se que as informações e os resultados aqui obtidos possam auxiliar em intervenções futuras, que venham a ser realizadas nas diversas outras edificações antigas existentes em BH, que precisem de restauro. Pretende-se, também, ressaltar a importância do conhecimento e da análise aprofundada das características de argamassas de revestimento antigas, quando da sua recuperação, para a proposição de soluções adequadas a cada caso, evitando-se, assim, o aparecimento de novas patologias provenientes da incompatibilidade entre o material original e aquele a ser aplicado.

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivos gerais*

O objetivo deste trabalho é caracterizar uma argamassa de revestimento antiga, através da análise de amostras obtidas durante obra de restauração de uma edificação do final do século XIX, avaliando sua constituição física, química e mineralógica, por meio de ensaios laboratoriais.

2.2 *Objetivos específicos*

- a) Apresentar um estudo de caso — “Casa Amarela” — UMEI Timbiras — de onde foram retiradas as amostras da argamassa antiga;
- b) avaliar a constituição física da argamassa de revestimento antiga, determinando-se sua área superficial específica, porosidade e aspectos microestruturais;
- c) avaliar a constituição química e mineralógica da argamassa de revestimento antiga, identificando-se os principais compostos e elementos encontrados, utilizando-se de fluorescência de raios-X (FRX), difração raios-X (DRX), microscopia eletrônica de varredura com microanalisador EDS, infravermelho (IV), termogravimetria e análise química;
- d) subsidiar futuras intervenções/proposições de uma argamassa de recuperação compatível em termos físicos, químicos e mecânicos com a argamassa original, para auxiliar profissionais envolvidos em obras de restauro de edifícios antigos.

Nesse trabalho, pretendem-se apresentar as características do casarão e o contexto em que foi construído e investigar quais teriam sido os possíveis materiais utilizados na execução da argamassa de revestimento das alvenarias. Naquela época, o uso do cimento Portland era ainda muito restrito no Brasil. Daí a necessidade de se confirmar se teria sido usado o cimento Portland como aglomerante na composição dessa argamassa antiga, ou se se trata de uma argamassa à base de cal e areia.

Para atingir o objetivo desta dissertação, após uma pesquisa sobre os materiais de revestimento utilizados até a época da construção do bem tombado em questão, optou-se por

analisar amostras do reboco antigo, por meio de técnicas laboratoriais diversas, para a caracterização da argamassa original.

Por meio de análises física, química e mineralógica, pretendeu-se verificar quais os elementos e compostos constituintes da argamassa original e confirmar se essa composição estava de acordo com os resultados esperados baseados na pesquisa histórica realizada.

3 JUSTIFICATIVA

BH é uma cidade relativamente jovem, tendo completado apenas 114 anos em dezembro de 2011. Porém, constantemente, vem sofrendo intervenções em suas edificações antigas. Podem-se citar, como exemplos de restaurações recentes, a Praça da Estação, os palacetes da Praça da Liberdade e muitas outras edificações espalhadas pela cidade.

A argamassa que se pretende analisar trata-se de pedaços de reboco recolhidos durante a recente obra de restauração da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras (2009/2010), edificação construída em BH, no final do século XIX.

Sabe-se que as patologias encontradas em argamassas de revestimento de edificações antigas têm diversas origens, mas muitas delas são decorrentes de intervenções posteriores, realizadas sem o conhecimento do comportamento dos materiais pré-existentes e sem o completo domínio das técnicas utilizadas na época da construção. Materiais que venham a ser utilizados em uma restauração, mas que sejam incompatíveis com os materiais originais, podem desenvolver patologias onde anteriormente não existiam. A composição de uma argamassa tem efeito direto sobre o seu comportamento e desempenho.

A preservação de imóveis antigos mantém viva a história, a memória e a identidade do lugar onde estão inseridos e servem como registro de uma época. Torna-se, pois imprescindível a busca por estudos que visem auxiliar na recuperação de edificações históricas, a fim de evitar que processos de deterioração, sobretudo aqueles cujos elementos apresentem risco de perda definitiva ou que coloquem em risco a estrutura dessas edificações, cheguem a destruir um patrimônio cultural.

Espera-se que os resultados aqui obtidos possam servir de motivação para um aprofundamento maior nas questões que envolvem os problemas de recuperação de argamassas antigas, sempre que se pretender realizar novas intervenções em edificações históricas.

3.1 Registro fotográfico

O registro fotográfico a seguir apresenta a “Casa Amarela” — UMEI Timbiras em três momentos distintos: ainda como residência, em 1998; após incêndio, em 2001 e quando da sua inauguração, em 2010 (FIG. 2 a 11).

A) “Casa Amarela” — UMEI Timbiras — Antiga Residência do Desembargador Amadeu Alves da Silva, fotografada em 1998.



FIGURA 2: Fachada Rua Timbiras.

Fonte: Fundação Municipal de Cultura de Belo Horizonte (FMC-BH) (autoria desconhecida, 1998).



FIGURA 3: Vista lateral da varanda frontal à Rua Timbiras

Fonte: FMC-BH (autoria desconhecida, 1998).



FIGURA 4: Fachada lateral direita referente à Rua Timbiras — Varanda lateral.

Fonte: FMC-BH (autoria desconhecida, 1998).



FIGURA 5: Vista interna da varanda lateral.

Fonte: FMC-BH (autoria desconhecida, 1998).

B) “Casa Amarela” — UMEI Timbiras — Após o incêndio, em 2001.



FIGURA 6: Vista da fachada lindeira à Av. Álvares Cabral.

Fonte: Rede Cidade (2008a). Autoria: Daniel Quintão.

Observam-se as bases das janelas de sacadas quebradas devido à retirada dos parapeitos. Alguns elementos que compunham as esquadrias permaneceram, porém em péssimo estado de conservação (FIG. 6).



FIGURA 7: Vista de uma das janelas de parapeito sacado, situada na fachada da Av. Álvares Cabral, em BH.

Fonte: Rede Cidade (2008a). Autoria: Daniel Quintão.



FIGURA 8: Vista da fachada e acesso ao imóvel. O portão foi retirado, assim como a balaustrada que compunha o gradil.

Fonte: Rede Cidade (2008a). Autoria: Daniel Quintão.

Devido à retirada inadequada do parapeito sacado, as bases das paredes apresentavam-se quebradas, com a alvenaria exposta, e alguns elementos estucados apresentavam partes faltantes (FIG. 7).

C) “Casa Amarela” — UMEI Timbiras Timbiras, em dezembro de 2010.



FIGURA 9: Fachada da Rua Espírito Santo com Av. Álvares Cabral.

Fonte: Acervo do autor.



FIGURA 10: Fachada lateral direita em relação à Rua Timbiras.

Fonte: Acervo do autor.



FIGURA 11: Anexo da UMEI — Recreio coberto e *playground*. Lateral da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras, ao fundo.

Fonte: Acervo do autor.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, serão abordadas noções de Patrimônio Histórico, com breves considerações sobre conservação de monumentos históricos, e algumas das teorias de restauro. Apresentam-se estudos a respeito dos possíveis materiais utilizados em edificações antigas (caracterização de argamassas de revestimento antigas e seus constituintes), considerando-se as características e o desempenho destes materiais, suas técnicas de aplicação e manutenção. Serão, ainda, apresentados métodos de investigação e análise microestrutural e os aparelhos utilizados para determinação de elementos e fases de uma argamassa antiga, além de aspectos microestruturais.

4.1 *Noções de patrimônio histórico e fundamentos teóricos do restauro*

O primeiro passo para dar início à restauração de uma edificação antiga é avaliar aquilo que a torna um objeto de valor, o que pode ser conseguido por meio de uma leitura histórico-crítica da edificação e seu entorno. A seguir são traçados os critérios de intervenção, passando-se, então, ao ato criativo, uma vez que, para se restituir a imagem original, se for o caso, muitas vezes será preciso prever a inserção de novos elementos.

A elaboração de um projeto de restauro deve sempre ser precedida de um criterioso estudo sobre o objeto a ser restaurado, sob diversos aspectos, para sua clara identificação (REDE CIDADE, 2008b).

4.1.1 **Patrimônio histórico**

O tema ligado às construções antigas e seus pertences, representativos de gerações passadas, que recebeu o nome genérico de “Patrimônio Histórico”, abrange somente um segmento de um acervo bem maior, que é o chamado “Patrimônio Cultural” de uma nação ou de um povo. O professor francês Hugues de Varine-Boham (*apud* LEMOS, 1981) sugere que Patrimônio Cultural seja dividido em três grandes categorias de elementos:

- No primeiro grupo estão aqueles pertencentes à natureza, ao meio ambiente, como os recursos naturais, o clima, a paisagem etc.;

- No segundo grupo de elementos estão aqueles que se referem ao conhecimento, às técnicas, ao saber e ao saber fazer, são os elementos não tangíveis do Patrimônio Cultural;
- No terceiro grupo de elementos, e o mais importante, estão reunidos os chamados bens culturais que englobam toda sorte de coisas, objetos, artefatos e construções obtidas através do meio ambiente e do saber fazer.

Nesse terceiro grupo, o dos artefatos, é que se inclui o objeto referência desse presente trabalho, uma construção antiga do século XIX, restaurada pela PBH.

Segundo Lemos (1981), deve-se prestar atenção às relações que existem entre o meio ambiente, o saber e o artefato; entre o artefato e o homem; entre o homem e a natureza.

Assim, um objeto isolado de seu contexto deve ser entendido como um fragmento, ou um segmento, de uma ampla urdidura de dependências e entrelaçamentos de necessidades e interesses satisfeitos dentro das possibilidades locais da sociedade a que ele pertence ou pertenceu. (LEMOS, 1981, p. 11).

Os artefatos podem ser encarados segundo a sua utilidade imediata (uma comida, por exemplo) ou segundo a sua durabilidade ou persistência (construções).

De uma determinada condição ambiental e de um determinado povo, só pode resultar **um** processo cultural, cuja evolução sempre percorre diretrizes determinadas pelo saber predominante (do saber as coisas, do saber fazer do modo de pensar prevalente). Define-se, assim, uma nacionalidade, alinhavada ao longo de sucessivas transformações e evoluções ocorridas lentamente através dos tempos, decorrentes tanto do progresso tecnológico, e de seus meios de comunicação, como do aprimoramento intelectual e, também, dos contatos entre os povos diferentes, conforme Lemos (1981). Esse autor ressalta ainda que, no caso do Brasil, é dever de patriotismo preservar o saber brasileiro, fazendo com que os conhecimentos de fora os valorizem, em vez de os anularem. A manutenção de nossa identidade cultural será mais facilmente conseguida se soubermos controlar os processos de evolução que fatalmente se desenvolvem devido a alterações inevitáveis no campo do saber, especialmente do saber fazer.

O sistema articulado de bens culturais dentro da cidade é permanentemente alterado. Daí a necessidade de se atentar para **o porquê**, para **o que** e para **o como preservar**. Registrar,

guardar para amanhã informações ligadas a relações entre elementos culturais, que não tem garantias de permanência, é sinônimo de preservar (LEMOS, 1981). Assim, deve-se garantir a compreensão de nossa memória social, preservando o que for significativo dentre os elementos componentes do Patrimônio Cultural.

O Conde de Galveias, citado por Lemos (1981), num ato pioneiro no Brasil, em 1742, referindo-se ao Palácio das duas Torres erguido pelo Conde de Nassau, em Pernambuco, lamentou o projeto que o transformava em quartel de tropas locais, pois, segundo ele, seria imprescindível a manutenção da integridade daquela obra holandesa, que, com as adaptações previstas, estaria arruinada. Dizia que aquelas obras holandesas “São livros que falam, sem que seja necessário lê-los” (GALVEIAS *apud* LEMOS, 1981, p. 35).

Em 1987, Mário de Andrade (*apud* LEMOS, 1981), numa tentativa de resguardar a totalidade dos bens culturais de nosso Patrimônio Cultural, define Patrimônio Artístico e Cultural como

[...] todas as obras de arte pura ou de arte aplicada, popular ou erudita, nacional ou estrangeira, pertencentes aos poderes públicos, e a organismos sociais e a particulares nacionais, a particulares estrangeiros, residentes no Brasil. (ANDRADE *apud* LEMOS, 1981, p. 38).

Arte aqui tinha um significado bastante amplo, designando tanto uma obra de interesse estético, como um artefato. “Arte é uma palavra geral, que neste seu sentido geral significa a habilidade com que o engenho humano se utiliza da ciência, das coisas e dos fatos” (ANDRADE *apud* LEMOS, 1981, p. 39).

Em um apanhado do projeto de lei relativo à proteção de nosso patrimônio cultural, de 1937, Mário de Andrade (*apud* LEMOS, 1981), queria “catalogar” todas as manifestações culturais do homem brasileiro, não só seus artefatos, mas também registrar a sua música, seus usos, costumes, assim como o seu “saber”, o seu saber fazer.

Pelo Decreto Lei nº 25, de 30 de novembro de 1937, organizou-se o primitivo Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (SPHAN), onde se define oficialmente o patrimônio histórico e artístico nacional como sendo:

[...] o conjunto de bens móveis e imóveis existentes no país e cuja conservação será de interesse público, quer por sua vinculação a fatos memoráveis da história do Brasil, quer por seu excepcional valor arqueológico ou etnográfico, bibliográfico ou artístico. (LEMOS, 1981, p. 43).

Somente em meados da década dos anos 70 é que começa no Brasil a discussão a respeito do tema “preservação de bens culturais vistos em conjunto, dentro de centros urbanos”, quando surge então a expressão “Patrimônio Ambiental Urbano” (LEMOS, 1981).

A cidade tem que ser encarada como um artefato, como um bem cultural qualquer de um povo. Mas um artefato que pulsa, que permanentemente se transforma, se autodevora e expande em novos tecidos recriados para atender a outras demandas sucessivas de programas em permanente renovação. (LEMOS, 1981, p. 47).

Segundo Lemos (1981), os agenciamentos urbanos originais, rios e praças, seriam os primeiros a serem identificados; depois, as construções contemporâneas a eles, para, então, analisar as relações espaciais primitivas ali mantidas, pois aí já pode estar configurada uma identidade cultural.

Essas relações originais entre espaços livres (públicos, ou logradouros — internos, ou quintais) e as construções da mesma época são decorrentes de variadas expectativas culturais, e têm que ser entendidas como uma parte remanescente de outras articulações mais amplas e hoje desapropriadas e irrecuperáveis (irreversibilidade de situações primitivas), inclusive, em se tratando de cidades ditas históricas (LEMOS, 1981, p. 57).

Para Lemos (1981), a preservação de visuais cênicos é de suma importância, pois nos revelam as relações espaciais, até intenções plásticas nem sempre compromissadas com a estética oficial das ordenações; revelam-nos soluções de uma arquitetura uniforme, às vezes, e decorrente de uma mesma técnica construtiva e, outras vezes, diversificada, como no ecletismo.

Espaços abertos, acidentes naturais, espigões, [...] tudo isso, isoladamente, ou em conjunto, são também pontos referenciais ligados à inteligibilidade dos espaços urbanos, à “leitura” da cidade. ”São bens culturais cuja permanência é necessária à perfeita fruição da população urbana. (LEMOS, 1981, p. 63).

Ao contrário dos bens móveis que são de interesse de grupos de colecionadores, e cujo simples colecionismo se transforma num modo de preservação eficaz, casas e monumentos não são colecionáveis e necessitam do amparo e da autoridade do governo (LEMOS, 1981). Segundo esse autor as repartições públicas devem zelar pelo chamado Patrimônio Histórico e Artístico.

4.1.2 Fundamentos teóricos do restauro

Com relação aos bens culturais arquitetônicos, a primeira norma de conduta ligada ao “como preservar” é manter o bem cultural em uso constante e, sempre que possível, satisfazendo a programas originais. Torna-se bastante interessante, segundo o professor Ambrogio Annoni (*apud* LEMOS, 1981), em sua obra “*Scienza ed arte del restauro architettonico*”, uma classificação prévia relativa ao estado de conservação dos monumentos, que podem ser classificados como: ruínas; edifícios danificados, mas recuperáveis; e construções “sãs”, isto é, boas para uso, mas podendo apresentar três hipóteses: estarem modificadas em sua feição original (acréscimos sucessivos decorrentes de alterações de programas); estarem, ao contrário, incompletas (não terminadas ou mutiladas) e construções com o seu partido e volumetria originais conservados, mas necessitando de obras de revalorização (revitalização ou reciclagem).

Esse professor italiano, conta Lemos (1981), em sua síntese das teorias de Restauro, define seis métodos utilizados pelos arquitetos em restaurações: Método Romântico; Método Historicista; Método Arqueologista; Método Científico; Não Método e Método Artístico ou de Reintegração Artística.

Para tentar evitar o fabrico de bens artificiais que pretendem substituir bens culturais próprios de outras épocas e de outras tecnologias, para evitar abusos e, também, para tentar normalizar em todo o mundo os procedimentos preservadores, em maio de 1964, reuniu-se em Veneza o Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos em monumentos Históricos, com a participação de profissionais ligados à restauração de monumentos e preocupados com a falta de entrosamento e de conceitos comuns no trabalho de preservação de bens culturais (LEMOS, 1981, p. 74).

Nesse congresso foi criada uma “Carta Internacional de Restauração de Monumentos” visando a implantação de uma política comum de pesquisas e valorização dos monumentos em seu ambiente dos centros históricos e da paisagem, conforme Gian Carlo Gasperini, o relator da comitiva brasileira, citado por Lemos (1981). Graças à ampla participação da delegação brasileira no evento, no Brasil hoje se seguem as diretrizes desse documento denominado “Carta de Veneza”, cuja redação leva a adotar o “Método Científico” (LEMOS, 1981, p. 76).

O Método Científico proíbe terminantemente reconstruções de ruínas e o uso de seus espaços disponíveis; exige que, nos trabalhos de consolidação, os materiais e recursos da nova tecnologia ali empregada estejam de modo visível e claro; nos monumentos danificados, as partes reconstruídas jamais deverão imitar as originais, mas tendo-se o cuidado de não obter-se desarmonias; nos edifícios com acréscimos, todas as intervenções lícitas devem ser respeitadas e demolidas as intromissões comprometedoras do partido original; já nos novos acréscimos para aumento de área, utilizar “estilo neutral”, que, segundo o professor Annoni citado por Lemos (1981), seria o estilo descompromissado plasticamente na ornamentação com o outro ali existente, mas mantendo as mesmas relações de cheios e vazios e, talvez, a mesma modinatura. Esse método, segundo Lemos (1981), é o mais seguido por todos ultimamente.

Uma das maneiras de se preservar um bem é por meio de seu tombamento.

O Tombamento é um atributo que se dá ao bem cultural escolhido e separado dos demais para que, nele, fique assegurada a garantia da perpetuação da memória. Tombar, enquanto for registrar, é também igual a guardar, preservar. O bem tombado não pode ser destruído, e qualquer intervenção que se fizer necessária em um bem tombado deverá ser analisada e autorizada. (LEMOS, 1981, p. 85).

Segundo Cesare Brandi (1906/1988), historiador e crítico de arte do século XX, catedrático da Universidade de Palermo e fundador do *Instituto Centrale per il Restauro*, em Roma (1939), **restauração** pode ser entendida como “qualquer intervenção voltada a dar novamente eficiência a um produto da atividade humana” (BRANDI, 2008, p. 25). Contudo, com referência à variedade dos produtos da atividade humana, teremos as intervenções relativas aos manufatos industriais e aquelas relativas às obras de arte. As primeiras diferem das segundas por representarem apenas uma reparação ou uma restituição de um estado anterior, ou seja, o escopo do restauro será restabelecer a funcionalidade do produto. Já nas obras de arte, e aí entram as obras de arquitetura, o restabelecimento da funcionalidade é apenas um lado secundário e concomitante, e jamais o primário e fundamental. Uma atividade humana a que se dá o nome de obra de arte, assim o é pelo seu reconhecimento duplamente singular, “seja pelo fato de dever ser efetuado toda vez por um indivíduo singular, seja por não poder ser motivado de outra forma a não ser pelo reconhecimento que o indivíduo singular faz dele” (BRANDI, 2008, p. 27).

O produto humano pode ser classificado de forma genérica até que o reconhecimento que a consciência faz dele como obra de arte excetue-o do comum dos outros produtos. Essa é a característica peculiar da obra de arte, quando começa a fazer parte do mundo, do particular ser no mundo de cada indivíduo. Até que esse reconhecimento exista, uma obra de arte é obra de arte apenas potencialmente (BRANDI, 2008).

Qualquer comportamento em relação à obra de arte, portanto, depende desse reconhecimento da obra de arte como obra de arte, nisso compreendendo a intervenção de restauro. Da mesma forma que o comportamento em relação à obra de arte está estreitamente ligado ao juízo de artisticidade, a qualidade da intervenção também estará determinada por esse juízo. É a obra de arte que condiciona a restauração, é ela que condiciona sempre as intervenções a fazer (BRANDI, 2008).

Além da matéria por meio da qual a obra de arte subsiste, será levada em conta, também, a bipolaridade com que a obra de arte se oferece à consciência: a instância estética (base da artisticidade) e a instância histórica (produto humano realizado em certo tempo e lugar, que em certo tempo e lugar se encontra). “[...] a restauração constitui o momento metodológico do reconhecimento da obra de arte, na sua consistência física e na sua dúplici polaridade estética e histórica, com vistas à sua transmissão para o futuro” (BRANDI, 2008, p. 30).

Segundo Brandi (2008, p. 30), “a **consistência física** da obra de arte deve necessariamente ter a precedência, porque representa o próprio local da manifestação da imagem, assegura a transmissão da imagem ao futuro e garante, pois, a recepção na consciência humana”. Daí, afirma Brandi (2008), deverão ser feitos todos os esforços e pesquisas para que essa consistência **material** possa durar o maior tempo possível. Assim, a **matéria** (enquanto estrutura física que suporta a imagem) tem prioridade nas várias atitudes de conservação, pois será o bom estado desta que assegurará a existência da obra no futuro.

Contudo, terá que se levarem em conta duas vertentes da matéria: matéria como aspecto e matéria como estrutura, sendo que o **aspecto prevalecerá sempre em relação à estrutura**. Todos os esforços devem ser feitos, sempre que necessário, para manter a consistência física da obra, mesmo que esta implique uma substituição da matéria/estrutura no sentido de preservar a matéria/aspecto, pois é dessa última, da **matéria/aspecto**, que depende a sua condição artística.

Tem-se aí o primeiro axioma da restauração: “restaurar-se somente a matéria da obra de arte” (BRANDI, 2008, p. 31).

O segundo axioma decorre do fato de a obra de arte gozar de dupla historicidade:

[...] aquela que coincide com o ato de sua formulação, o ato da criação, e se refere, portanto, a um artista, a um tempo e a um lugar, e uma segunda historicidade... que se refere ao tempo e ao lugar em que está naquele momento. (BRANDI, 2008, p. 32).

[...] a restauração deve visar ao restabelecimento da unidade potencial da obra de arte, desde que isso seja possível sem cometer um falso artístico ou um falso histórico, e sem cancelar nenhum traço da passagem da obra de arte no tempo. (BRANDI, 2008, p. 33).

Desta forma, para se elaborar um projeto de intervenção em uma edificação histórica alguns princípios básicos de restauração devem ser seguidos. Estes critérios serão aplicados sempre, levando-se em consideração que cada caso de restauração é um caso específico e, portanto, deve ser estudado e trabalhado, respeitando-se as suas características e necessidades.

São os princípios a serem seguidos num projeto de restauração, segundo Brandi (2008):

1. **Autenticidade:** as reintegrações devem ser reconhecíveis com facilidade, mas sem que para isto tenham de romper a unidade que se busca reconstituir. Deste modo, a intervenção deve ser imperceptível à distância de que a obra será contemplada, mas reconhecida de imediato, quando dela se aproxime, pois se trata de restauração e não de refazimento. “[...] a adição será ainda pior quanto mais se aproximar de refazimento, e o refazimento será ainda mais consentido quanto mais se afastar da adição e visar construir uma nova unidade sobre a antiga” (BRANDI, 2008, p. 74).

Os acréscimos e o envelhecimento natural dos materiais, sempre que possível, serão respeitados e mantidos como testemunhos da passagem do tempo e da ação do homem, isto quando não interferirem no contexto e na compreensão da obra. “A restauração, para representar uma operação legítima, não deverá presumir, nem o tempo como reversível, nem a abolição da história” (BRANDI, 2008, p. 61).

2. **Objetividade:** a restauração termina onde começa a hipótese. O segundo princípio é relativo à matéria da qual resulta a imagem; essa só é insubstituível quando há uma relação direta com a configuração da imagem, ou seja, quando está relacionada com o

aspecto e não tanto com a estrutura. Neste ponto a restauração ganha maior liberdade de ação no que se refere aos suportes, às estruturas portantes etc., mas sempre em harmonia com os valores históricos. Quanto menos se intervir na edificação, melhor.

3. **Reversibilidade:** toda a restauração deve ser reversível de forma a propiciar futuras intervenções. Deve facilitar, e não impossibilitar essas intervenções.

A Carta de Veneza, no artigo 10º, afirma que:

Quando as técnicas tradicionais se revelarem inadequadas, a consolidação do monumento pode ser assegurada com o emprego de todas as técnicas modernas de conservação e construção cuja eficácia tenha sido demonstrada por dados científicos e comprovada pela experiência. (CARTA..., 1964).

4.2 Caracterização das argamassas antigas

Para se proteger das intempéries, ao longo do tempo, o homem buscou soluções como cabanas de madeira, palha e cascas de árvores, habitações escavadas em solo de boa coesão, construção em tijolos de terra crua, em material cerâmico, em alvenaria de pedra e cal, dentre outros (SANTIAGO, 2007).

Ao longo de sua evolução, com a troca de experiências entre um grupo de indivíduos e outro, o homem enriqueceu seus conhecimentos e passou a ter mais cuidado com a escolha dos materiais para a construção das suas habitações. Passava-se às gerações futuras as práticas de vida então adquiridas, num processo oral de transmissão do conhecimento, aperfeiçoando o que haviam aprendido de seus antepassados (SANTIAGO, 2007).

Com o uso da escrita, o homem passa a registrar seus conhecimentos em diversos documentos, que, por sua vez, contribuem para uma maior difusão de tecnologia no mundo e para a melhoria do fabrico dessas habitações, principalmente quanto aos aspectos relativos a conforto e durabilidade.

Segundo Santiago (2007), nos últimos cinquenta anos, os estudos de materiais de construção e aqueles dedicados à conservação e ao restauro têm sido enfatizados, assim como também aqueles destinados especificamente à conservação e ao restauro. Dedicando cada vez mais atenção à preservação do legado de seus antepassados e, conseqüentemente, à preservação de sua memória, o homem tem se preocupado com a maior durabilidade de sua obra.

Kanan (2008) lembra que nas últimas décadas tem-se assistido a um crescente interesse na investigação de materiais compatíveis à conservação de edificações históricas, visando evitar intervenções radicais, perdas e danos às valiosas estruturas patrimoniais.

Entretanto, na opinião de Santiago (2007), tem-se notado que muitos dos procedimentos relativos ao uso dos materiais de construção, procedimentos esses empregados desde os primórdios da nossa civilização, têm sido menosprezados pelo homem atual. Os cuidados dispensados ao seu preparo ou à sua utilização são menores, por vezes, do que aqueles empregados há duzentos ou trezentos anos. Isto tem acontecido, em grande parte, pelo desconhecimento das experiências passadas, o que vem prejudicando a qualidade de fabricação, a longevidade da obra e o bom resultado de uma intervenção, quando da conservação e da restauração de uma construção.

Em seus estudos, Santiago (2007) encontrou várias referências em textos antigos e documentos de arquivos, escritas entre o século I a.C. e o século XVIII, sobre a forma de emprego, a durabilidade e os cuidados que deveriam ser tomados com os materiais de construção em épocas passadas. São subsídios importantes na formação do conhecimento, indispensável à execução de trabalhos de conservação e restauração, sempre que se faz necessário o reforço ou a reintegração de antigas estruturas.

Santiago (2007) ressalta que compete ao bom arquiteto o domínio de várias ciências que possam auxiliá-lo em suas escolhas durante a conservação e restauro de uma edificação, propiciando-lhe condições de especificar corretamente os materiais de construção e controlar todas as atividades ligadas à execução do projeto arquitetônico e da obra.

Já no século I a.C., Vitruvius¹ (*apud* SANTIAGO, 2007) considerava importante o conhecimento das propriedades dos materiais de construção com os quais iria trabalhar, de modo que não fossem cometidos erros e que se pudessem prover as construções dos materiais adequados. No entanto, ainda hoje, pouca ênfase é dada pelos profissionais da área, ao estudo das características dos materiais utilizados e à observação do que acontece com os mesmos ao longo do tempo, quando aplicados em determinadas situações.

¹ VITRUVIO PÓLIO, M. L. **Los diez libros de arquitectura**. Trad., prólogo e notas de Agustín Blánquez. Barcelona: Ibéria, 1955. L. II, cap. III, p. 40.

O conhecimento da ciência dos materiais por estudantes e profissionais de arquitetura é fundamental à boa execução da obra arquitetônica, bem como da sua conservação e restauro.

Em alusão à tríade vitruviana, Santiago (2007, p. 13) afirma que: “Se a nobre arte é utilitas e venustas, é primeiramente firmitas” (se a nobre arte é útil e bela, é primeiramente sólida).

4.2.1 Considerações sobre intervenções em edifícios antigos

De acordo com Veiga (2003), as seguintes considerações se fazem oportunas no que diz respeito às intervenções em edifícios antigos.

A primeira opção a considerar nas intervenções de edifícios antigos deve ser a conservação dos revestimentos existentes, recorrendo a reparações pontuais, se necessário, ou até mesmo a operações de consolidação, dependendo do valor do bem cultural ou desse revestimento. Havendo a necessidade de substituição parcial ou total das argamassas existentes, argamassas adequadas devem ser escolhidas para esse uso específico, e para isso deve se verificar determinados requisitos funcionais e estéticos.

O que se vê, entretanto, é que, pelo contrário, faz-se opção por uma solução, dentre as várias disponíveis, sem base científica, sem o conhecimento das características da argamassa selecionada e sem o domínio claro das exigências às quais a nova argamassa deverá cumprir (VEIGA, 2003).

De acordo com Veiga (2003), as argamassas a utilizar-se devem ser adaptadas a cada situação — tendo em vista os aspectos referentes às características do suporte, o tipo de edificação e a respectiva época da construção, o clima da região e as condições ambientais a que está sujeito. Daí a necessidade de se definir as características dessa argamassa e estabelecer limites que possam garantir um comportamento funcional adequado da argamassa ao suporte a que se destina, levando ao cumprimento dos requisitos funcionais e estéticos necessários. Contudo, os aspectos estéticos são baseados em outros critérios e têm que ser avaliados caso a caso. Por exemplo, argamassas de cimento apresentam um aspecto final muito diferente das argamassas antigas, em termos da textura, da superfície, do modo como refletem a luz, entre outros. Além disso, na sua composição são encontrados sais solúveis que, sendo transportados para o interior das paredes, cristalizam, contribuindo para a degradação da mesma. Da mesma forma, apresentam outra característica desfavorável, como uma rigidez excessiva e uma capacidade limitada de permitir a secagem da parede. Já as argamassas à base de cal, cuja composição

mais se aproxima das argamassas antigas e, portanto, são mais capazes de assegurar um aspecto estético mais compatível, apresentam problemas quanto à durabilidade, quando expostas à chuva, umidade e gelo.

Dentre os materiais presentes na maioria dos revestimentos dos monumentos anteriores ao século XX encontra-se a argamassa à base de cal, um material básico que se pretende explorar neste trabalho de dissertação.

Ao longo de centenas de anos, a cal foi um dos materiais mais importantes na construção e preservação das alvenarias tradicionais. Contudo, o desaparecimento progressivo dos meios tradicionais de produção desse material e da mão de obra com conhecimento e habilidade técnica, somado às facilidades que o uso do cimento Portland trouxe ao mercado, contribuíram para que o cimento fosse, pouco a pouco, substituindo o uso da cal (KANAN, 2008).

Sobre alguns critérios em obras de conservação e reconstituição de argamassas e revestimentos, Kanan (2008) afirma que, os revestimentos antigos, muitas vezes, apresentam sinais apenas superficiais de degradação, e é possível limpar, conservar, consolidar, reparar lacunas e fissuras antes de realizar intervenções radicais e irreversíveis. A avaliação das alternativas e os critérios de intervenção vão depender do valor do edifício, das características das argamassas e revestimentos e de seu estado de conservação, bem como das opções econômicas de mão de obra e dos materiais disponíveis.

É dispensável que os materiais de substituição sejam idênticos aos antigos, durante reparos e substituições, parciais ou totais, de argamassas, rebocos e acabamentos à base de cal. Porém, é preciso que sejam compatíveis, isto é, conciliem propriedades físico-químicas e estéticas, referentes aos materiais do substrato e os em contato (KANAN, 2008).

4.2.2 Argamassas

Argamassa: termo originário do latim *arenatum*.

Conceito: de acordo com o Caderno de Encargos — Programa Monumenta (KANAN, 2005), argamassas são misturas compostas de aglomerantes e de água, às quais se incorpora um material inerte: a areia, e, eventualmente, aditivos. Os aglomerantes poderão ser o cimento, a cal ou o gesso.

As argamassas poderão ser de cal, de cimento ou mistas, podendo seu preparo ser manual ou mecânico. As argamassas podem ser utilizadas como argamassa de assentamento, de revestimento ou de acabamento. Argamassa difere do concreto por não apresentar agregado graúdo.

Conforme Carasek (2007), as argamassas podem ser classificadas por vários critérios:

- quanto à natureza do aglomerante: aérea ou hidráulica;
- quanto ao tipo de aglomerante: de cal; de cimento; de cimento e cal; de gesso; ou de cal e gesso;
- quanto ao número de aglomerantes: simples ou mista;
- quanto à consistência da argamassa: seca; plástica ou fluida;
- quanto à plasticidade da argamassa: pobre ou magra; média ou cheia; ou rica ou gorda;
- quanto à densidade de massa da argamassa: leve; normal ou pesada;
- quanto à forma de preparo ou fornecimento: preparada em obra; mistura semipronta para argamassa — industrializada ou dosada em central.

Segundo Santiago (2007), antigos tratadistas e autores que escreveram sobre argamassas, definiram-na como sendo uma mistura de agregado miúdo, aglomerante e água. Porém, percebe-se tratar-se de uma afirmativa restrita e incompleta, uma vez que esta composição nem sempre foi adotada ao longo do tempo. Algumas argamassas apresentam composições diversas, como aquelas que empregavam outros ingredientes, como, por exemplo, pozolana, material cerâmico pulverizado — pó de tijolo, limalha de ferro, óleo, cinzas de Tournai, sendo também encontrados outros componentes nas misturas, como borra de ferro, massapez e cinza de carvão.

Sabe-se, também, que os babilônios usavam argamassas feitas de mistura de betume e barro, (DAVEY², 1961 *apud* SANTIAGO, 2007); paredes de adobe utilizavam argamassas de solo e água, às vezes com adição de outros ingredientes, como palha e cinzas, e que hoje temos as argamassas poliméricas, como, por exemplo, as de resina e pó de pedra, usadas para cobrir lacunas e para fixar camadas de reboco. Outras definições incluem cal e areia e cal e pó de material cerâmico, para unir pedras. Santiago (2007) encontrou, ainda, num dicionário técnico de finais do século XIX, informações acerca de argamassas chamadas ordinárias, quando

² DAVEY, N. **A history of building materials**. Londres: Phoenix, 1961.

preparadas com a cal grossa e areia. Quando essa argamassa ordinária continha muita cal, ou seja, cal em muito maior quantidade do que a areia, era chamada de argamassa gorda. Quando a cal não era suficiente para bem ligar, era chamada de argamassa magra.

Vitrúvio³ (*apud* SANTIAGO, 2007), em seu tratado do século I a.C., tece considerações a respeito da constituição, finalidade e proporção entre os diversos ingredientes das argamassas. Indica usar cal, areia, pó de tijolo e britas, ao invés de lajes de pedra, para revestir pisos de cisternas, piscinas e outros depósitos de água; adotar traço 1:3 (cal, areia de jazida) e 1:2 (cal, areia de rio ou mar); usar argamassa de tijolo moído para revestir as paredes, até uma altura de cerca de um metro, ao invés do emprego, unicamente, de uma mistura de cal e areia, no sentido de impedir a penetração de água. Quanto à qualidade da areia, Vitrúvio recriminou a presença de qualquer porção de material argiloso.

4.2.3 Argamassas de revestimento

As argamassas usadas em construções feitas com pedras, tijolos ou blocos cerâmicos possuem duas funções básicas: a função de juntar entre si diversos elementos da alvenaria (argamassa de assentamento) e a de proteção dos vários elementos construtivos (argamassa de revestimento), principal foco deste trabalho, que será explorado na sequência.

A NBR 13.529 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995) define argamassas de revestimento como: mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento.

Como o desempenho das argamassas depende, dentre outros fatores, da proporção dos materiais constituintes, de suas características e dos cuidados no armazenamento e utilização, é fundamental o conhecimento específico de cada um deles. Aqueles que pretendem estudar o comportamento das argamassas e desenvolver pesquisas sobre o tema devem, portanto, conhecer as características de cada um dos seus componentes, pois deles dependem os resultados desejados quanto à qualidade e à durabilidade.

³ Op cit. L. II, cap. IV, p. 43.

4.2.3.1 Argamassas de revestimento à base de cal

Geralmente, nas edificações construídas no período inicial da formação das cidades brasileiras, era utilizado um sistema de revestimento à base de cal. A cal, a areia e/ou terra, as adições orgânicas e os aditivos minerais eram os materiais mais utilizados na época (SANTIAGO, 2007).

Segundo Kanan (2008), as argamassas, rebocos e acabamentos antigos à base de cal desempenham importantes funções na estrutura das alvenarias tradicionais. Não só contribuem para a aparência, como também para a conservação muito eficaz do edifício, impedindo a deterioração do esqueleto, ao absorverem as agressões dos agentes externos. Guardam, também, evidências sobre a história construtiva do edifício, os métodos e os materiais e devem ser usadas como parâmetro na definição da argamassa de reconstituição.

[...] esse sistema de argamassa à base de cal funciona como uma estrutura articulada de juntas de dilatação e deformação capaz de absorver tensões e umidade e atuar como elemento de **sacrifício** do edifício; da mesma forma, os revestimentos formam uma membrana capaz de absorver agressões atmosféricas e proteger a estrutura interior, que é feita, muitas vezes, com alvenaria excessivamente porosa e irregular. (KANAN, 2008).

De acordo com Santiago (2007), as seguintes considerações se fazem oportunas no que diz respeito às argamassas antigas.

4.2.3.2 Argamassas com solo

As argamassas que utilizassem solo (elementos terrosos) nem sempre foram recomendadas e o relato do seu uso é raro na literatura. Observa-se, porém, que o uso de solo em argamassa condiz com a realidade, do ponto de vista arqueológico (SANTIAGO, 2007). Tradadistas recriminavam o uso de toda e qualquer areia que possuísse partículas de argila, por alegarem que não haveria boa aderência entre a cal e esse material. Alguns tradadistas condenavam o uso de argila por acreditarem que as argamassas ficariam untuosas e as pedras que se pretendessem unir deslizariam umas nas outras, o que não ocorreria, segundo eles, com o uso de areia, que é mais áspera. Entretanto, quando se mistura argila e areia, o material adquire certa estabilidade (SANTIAGO, 2007).

Na Bahia, chamava-se de **argamassa bastarda** uma argamassa onde se acrescentava solo. Já em Portugal, esse termo é usado para indicar uma argamassa de cimento tipo Portland e cal (SANTIAGO, 2007).

Sabe-se que a argamassa cuja cal é feita com uma pedra que apresenta argila em sua constituição possui certa hidráulica. Portanto, pode ser interessante sua utilização em situações nas quais este desempenho seja desejado.

Santiago (2007) comenta em seu trabalho que se acreditava que a utilização do solo em argamassas na Península Ibérica teria sido trazida pelos mouros. Porém, essa tradição não é comum em muitos países europeus, sendo recriminada, por exemplo, na Alemanha.

No Brasil há textos publicados por investigadores sobre a adição de arenoso e caulim às argamassas que contêm cimento e, também, sobre a aceitação de material argiloso em argamassas, embora isso não seja muito frequente em argamassas cujo ligante é a cal.

No Núcleo de Tecnologia da Preservação e da Restauração (NTPR), na Bahia, foi desenvolvido estudo que constatou o uso de argila em monumentos antigos (do século XVIII ao XX), concluindo-se que, dependendo do traço adotado, a adição de argila poderia aumentar a resistência à compressão das argamassas.

4.2.3.3 Argamassas refratárias

Conhece-se, tradicionalmente, no Brasil, a utilização do uso de açúcar na argamassa com a finalidade de torná-la refratária, porém, sem precisão de quando essa prática passou a vigorar. Em ensaios de resistência ao calor, realizados no NTPR, os resultados demonstraram que argamassas de cal, areia e açúcar não apresentaram rachaduras quando decompostas. Já aquelas compostas apenas por cal e areia sim. Acredita-se que, possivelmente, o açúcar se decompõe por ação do calor e, no seu lugar, ficam os poros que dão melhor estabilidade ao material (SANTIAGO, 2007, p. 31).

Belidor⁴ (*apud* SANTIAGO, 2007) recomendou o emprego de argamassa composta somente por terra argilosa, para abóbodas de fornos de padaria. Ele acreditava que argamassas compostas somente por solo e água resistiriam mais ao calor do que aquelas feitas com cal e

⁴ BELIDOR, B. F. **La science des ingenieurs**. Paris: Claude Jombert, 1729. L. IV, cap. XI, p. 81.

areia, o que hoje se confirma. O uso da terra argilosa em materiais submetidos a altas temperaturas torná-los-ia resistentes ao calor, já que ceramizariam.

4.2.3.4 Argamassas hidrófugas

Ainda segundo Santiago (2007), para deixar uma argamassa com propriedades impermeabilizantes, foram encontrados registros de adição de betumes naturais (pó de pedra, cal virgem e azeite ou cal viva pulverizada amassada com clara de ovos), de cal viva e óleo de linhaça, de cal, cinzas de azinheiro e óleo, de tetim (pó de tijolo, cal e azeite), de cal pó de telha peneirado e betume. São misturas muito diferentes, porém, o fato de conterem óleo, já é um indicativo de hidrorrepelência.

Conforme tradição oral, o óleo de baleia, que no Brasil colonial foi utilizado em iluminação pública, eventualmente pode ter sido utilizado em argamassas para torná-las hidrófugas.

4.2.3.5 Argamassas especiais

Santiago (2007), em sua pesquisa sobre argamassas especiais, encontrou nos textos de Plínio indicações de óleo com cal viva; para argamassas de assentamento, areia de jazida e a quarta parte de cal; quando fosse utilizada areia de rio ou mar, a terça parte de cal; se fossem acrescentados vasos moídos, ficaria melhor; para argamassa de revestimento, Plínio recomendou uma parte e meia de cal e uma de pó de mármore; argamassa de cal fresca extinta em vinho e misturada em seguida com banha de porco e figos para proporcionar dureza semelhante à da pedra.

4.2.4 Recomendações

Já no século XV, Alberti⁵ (1966 *apud* SANTIAGO, 2007) faz recomendações para que os revestimentos sejam sempre feitos em três camadas, com a finalidade de evitar o aparecimento de fissuras, garantindo tanto uma boa aderência da camada de acabamento, quanto o endurecimento da superfície exposta. Sugere que as primeiras camadas sejam feitas com areia de jazida e pedaços de tijolos; as intermediárias, de areia de rio, justificando que

⁵ ALBERTI, L. B. **De re ædificatoria** (Florença, 1495). Trad. G. Orlandi, introdução e notas de P. Portoghesi, L'architettura. Milão: Il Polifilo, 1966. v. II, L. VI, cap. IX, p. 498.

esse material era mais resistente ao aparecimento de fissuras; e a última de pó de pedra bem branca, não ultrapassando meia polegada de espessura, para não demorar a secar.

Essas camadas deveriam ser finas para evitar o deslocamento, pois camadas muito espessas têm a tendência de destacar da parede devido a seu peso próprio. Há registro da utilização, pelos antigos, de até nove camadas. Acreditava-se que quanto maior fosse o número de camadas, mais perfeito seria o acabamento da superfície e maior seria a resistência da argamassa.

Porém, segundo Santiago (2007), quando a superfície externa de um revestimento é carbonatada, o dióxido de carbono é impedido de acessar o interior do revestimento, e este, caso tenha sido feito à base de cal, permanece em estado pastoso. Portanto, camadas mais espessas de revestimento pioram a situação.

Outra preocupação encontrada nos textos pesquisados por Santiago (2007) foi a necessidade de eliminarem-se sais presentes na cal ou na areia. Nos textos de Palladius Rutillus, recomendou-se que a cal fosse lavada bastante com água fervente, livrando-a do sal e tornando-a mais macia e viscosa. A água quente facilitaria o processo de solubilização.

Já os tratadistas portugueses dos Setecentos, Mathias Ayres e Negreiros recomendaram que não se utilizasse água salobra ou do mar, no processo de extinção da cal, para evitar a adição dos sais ao produto (SANTIAGO, 2007).

Alberti⁶ (1966 *apud* SANTIAGO, 2007) mencionou o uso de pó de material cerâmico (material tido como pozolana artificial pelo fato de conferir certa hidraulicidade à argamassa), em iguais proporções, junto com a cal e a areia. Acredita-se que a adição do material funcionasse para alterar a distribuição da porosidade do material, permitindo o crescimento de cristais de sais de maior tamanho em seu interior, demorando mais para romper. Recomendava, também, para restauração de edifícios, o uso da pasta de cal bastante fluida, misturada com pó de mármore, após lavagem do local com água pura.

Já o arquiteto e pintor italiano Gioseffe Viola Zanini⁷ (*apud* SANTIAGO, 2007), além da mistura de materiais à cal tais como pó de vidro, pó de mármore, *sapon da maschino*, pó de

⁶ Op. cit., v. II, L. X, cap. XVII, p. 998.

⁷ ZANINI, Gioseffe Viola. **Della architettura**. 2. impr. Pádua: Giacomo Cadorino, 1677. L. I, cap. XVI, p. 68.

telha ou pedra de Istria moída, recomendou adição de escória de ferro à mistura. Tanto o pó cerâmico, o pó de pedra ou a escória de ferro incluídos na mistura da argamassa alterariam a sua distribuição de porosidade; a primeira adição, o pó cerâmico, reagiria com a cal contribuindo para suas características hidráulicas. Já os demais aumentariam a resistência do material.

Zanini⁸ (*apud* SANTIAGO, 2007) ainda recomenda seguir Vitruvius que recomendava só se usar a cal após longo período de extinção, para que não restassem pequenos grânulos de óxido de cálcio, pois esses óxidos poderiam vir a sofrer hidratação na parede, levando ao aparecimento de zonas estufadas no reboco. Isto porque a reação de extinção continuaria em loco, levando até a possível perda de material.

Essa preocupação antiga com o uso de materiais contendo sais explica a inconveniência do uso do cimento tipo Portland em reintegração de monumentos históricos, nos dias de hoje. O cimento tipo Portland contém grandes quantidades de sais solúveis (com exceção do cimento pozolânico) (SANTIAGO, 2007).

4.2.5 Causas frequentes da deterioração das argamassas de revestimentos

Segundo Kanan (2008), a água (líquida ou sólida) e os sais solúveis podem causar danos às argamassas de cal, assim como os compostos orgânicos podem também gerar deteriorações. A cristalização dos sais por evaporação junto às superfícies das alvenarias pode provocar tensão nas paredes dos poros de uma argamassa ou reboco. Repetidos ciclos de dissolução e cristalização de sais, com o tempo, conduzem a uma falha sucessiva da estrutura de poros, causando danos visíveis ao material. A eflorescência e as manchas de umidade podem indicar presença de sais.

Alguns sais são capazes de extrair umidade da atmosfera, ou seja, têm capacidade higroscópica. Portanto, em regiões com alta umidade relativa do ar, os sais podem aparecer como manchas no reboco, pois a umidade exterior é tão alta que os sais se dissolvem dentro do sistema de poros. Quando a umidade baixa, os sais se recristalizam. Pode-se assim concluir que manchas de umidade nem sempre são provenientes de infiltrações, mas podem ser decorrentes da presença de sais higroscópicos.

⁸ Op. cit., L. I, cap. XVI, p. 68.

A água também pode causar danos por provocar expansão em pedras, tijolos e adobes. Os materiais porosos podem ter diferentes coeficientes de expansão quando a água chega ao seu sistema de poros. Os materiais que apresentam grande expansão hídrica, como os à base de cal e os de terra, podem ser afetados pelos ciclos de umidade e secagem. Um acabamento à base de cal sobre substrato de terra, sem uma interface, poderá apresentar alterações devido aos diferentes comportamentos expansivos. Contudo, é quando se transforma em gelo que a água alcança seu maior grau de perigo. Assim como os mecanismos que ocorrem na cristalização salina, os ciclos de congelamento e descongelamento da água dentro dos poros também causarão danos (KANAN, 2008).

4.3 Caracterização dos constituintes das argamassas antigas

Para se definir a argamassa de recomposição de uma edificação antiga, além do local e da época em que foi executada, da origem dos materiais nela empregados e de sua composição, deve-se levar em consideração, também, as características dos materiais constituintes, tais como: aglomerantes; agregados; aditivos; fibras e sais solúveis (KANAN, 2008).

Com a finalidade entender os materiais que sobreviveram e os que vão ser utilizados nas obras de reconstituição, que devem ser compatíveis, é importante conhecer as características das argamassas antigas, o que é possível por meio de análises químicas e físicas de amostras íntegras colhidas de argamassas e rebocos antigos (KANAN, 2008). Dessa forma, identificam-se os principais constituintes desses materiais e preparam-se novos materiais a serem aplicados. Busca-se, assim, corrigir as patologias existentes sem causar danos à edificação, devido às reações químicas e físicas indesejáveis que poderiam vir a ocorrer com o emprego de diferentes e incompatíveis materiais.

Segundo Kanan (2008), em seu estudo publicado no Manual de Conservação e Intervenção de Argamassa e Cal — Programa Monumenta, as seguintes considerações se fazem necessárias:

- Quanto ao aglomerante, é muito importante sua determinação, para poder compreender o comportamento dessa argamassa antiga e seu mecanismo de desgaste.
- Determinar o aglomerante pode ser fácil e direto, mas muitas vezes, no caso de argamassas à base de cal, a identificação das frações do aglomerante e do agregado, se esse último possuir a mesma natureza química (carbonato de cálcio), se torna mais difícil. Podem ter sido usados como agregados, por exemplo, restos de rebocos antigos

tritutados em areia, conchas marinhas, dolomita, mármore etc., ou seja, materiais também constituídos de carbonato de cálcio. É importante lembrar que a cal, depois da cura, se transforma em carbonato de cálcio. Dessa forma, por exemplo, com o uso do método úmido de análise química — dissolução por ácido HCl — não será possível distinguir os dois componentes, aglomerante ou agregado. O mesmo acontece com argamassas de cal que contenham compostos hidráulicos (pozolana, cimento ou cal hidráulica), pois os três apresentam características químicas similares. Sendo assim, será necessário recorrer a outros métodos, como exames microscópicos complementares.

- Dependendo do local e da época de construção da edificação, o agregado poderia ser composto de pozolana, seja tijolo em pó, terras ou argilas reativas. Então, depois de analisar as argamassas curadas, o aglomerante irá apresentar silicatos e aluminatos de cálcio hidratado, além do carbonato de cálcio. A origem do calcário também pode interferir na determinação do aglomerante, pois, se continha impurezas (argilas), também irá apresentar silicatos hidratados de cálcio. Além disso, se essa argamassa analisada tiver sido produzida em época mais recente (a partir do final do século XIX), pode conter cimento artificial, além de componentes de cimento (fases de clínquer) como aditivos.

Para embasar esse trabalho, foram pesquisados alguns dos materiais mais utilizados para execução de argamassa, conhecidos até a época da construção da edificação em estudo, visando descrever sua composição, suas características e seu comportamento.

4.3.1 Aglomerantes

Aglomerantes são materiais pulverulentos que se hidratam em presença de água formando uma pasta resistente capaz de aglutinar agregados, dando origem às argamassas e concretos (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2002).

Podem ser quimicamente inertes (argilas — barro cru) ou ativos (cal, gesso, cimento); estes últimos podem ser aéreos ou hidráulicos; divididos em simples (sem adições de outros produtos depois do cozimento, a não ser pequenas porcentagens para reajustes de pega, resistência etc. — como gesso, cal aérea, cal hidráulica, cimento natural, cimento artificial, cimento aluminoso); compostos (cal e cimento + hidraulites — escória de alto forno ou uma pozolana natural ou artificial); mistos (mistura de dois ou mais aglomerantes simples) ou com

adições (aglomerante simples + adição fora de especificações de material original) (PETRUCCI, 1987).

4.3.1.1 Argila

A argila é um material natural, terroso, de baixa granulometria (com elevado teor de partículas com diâmetro inferior a 2 μm) que apresenta plasticidade quando misturado com quantidades adequadas de água. São provenientes da decomposição de rochas e constituídas por argilominerais (caulinita, illita e montmorilonitas), podendo conter outros minerais como quartzo, feldspato, mica, pirita e hematita, além de matéria orgânica e outras impurezas (ISAIA, 2007).

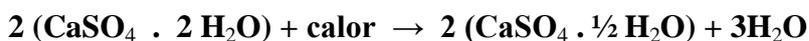
A argila foi provavelmente o primeiro aglomerante utilizado pelo homem. Não sofria processo algum tratamento e endurece pela evaporação da água, sendo um aglomerante quimicamente inativo. Depois de seca, endurece e adquire grande resistência, e retorna à plasticidade pela adição de mais água. Porém, mesmo depois de endurecida é instável debaixo d'água. Os silicatos de alumínio são os responsáveis pelas características aglomerantes das argilas (PETRUCCI, 1987).

4.3.1.2 Gesso

Apesar de não se ter elementos para que se possa precisar a origem da aplicação dos aglomerantes químicos ativos, supõe-se que sua descoberta tenha decorrido naturalmente, quando do uso inteligente do fogo (PETRUCCI, 1987). Provavelmente, homem primitivo, queimando lenha em um espaço envolvido de pedras gipsíferas ou calcárias, sob a ação do calor e, posteriormente, da umidade, percebeu a transformação dessas rochas em pasta aglomerante. O endurecimento desse material nos interstícios das pedras teria originado a primeira alvenaria de pedra com aglomerante quimicamente ativo.

Atualmente é obtido pela britagem da rocha, trituração e queima (desidratação) de gipsita natural, constituída de sulfato de cálcio (CaSO_4) com duas moléculas de água, geralmente acompanhado de certa proporção de impurezas, como sílica, alumina, óxido de ferro, carbonatos de cálcio (SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , CaCO_3) e óxido de magnésio (MgO) num total não ultrapassando 6%. É um aglomerante aéreo.

Desidratação da gipsita



$\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ – Sulfato de cálcio di-idratado – Gipsita

$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ – Sulfato de cálcio hemi-hidratado (mais solúvel que o primeiro)

Após a desidratação (calcinação), o gesso é triturado, peneirado e embalado.

É um material resistente ao fogo, por ser um material com grande capacidade de absorção de calor. Material de acabamento dos mais utilizados por sua versatilidade, porém não pode ser utilizado em exteriores por ser solúvel em água e só pode ser armado com armaduras galvanizadas, uma vez que provoca a corrosão do aço, tanto mais facilmente, quanto mais água contiver em seus poros. O gesso adere mal à madeira e aos agregados lisos (PETRUCCI, 1987).

4.3.1.3 Cal aérea

Cronologicamente, segue-se a aplicação da cal aérea, onde, antes da hidratação, a matéria prima era submetida a uma calcinação (PETRUCCI, 1987).

Segundo Santiago (2007), o conhecimento da cal é muito antigo, tendo sido datado desde o período Natufiano (10.300–8.500 a.C.), apesar de não se saber exatamente com que finalidade era utilizada. Seu uso como material construtivo foi frequente entre as antigas civilizações, como comprovado por vestígios arqueológicos e registros bibliográficos, variando, porém, ao longo dos séculos, o processo de obtenção da matéria prima utilizada (calcários, mármore, corais, conchas de diversas espécies), os fornos e os combustíveis utilizados durante o processo de calcinação, assim como o método utilizado nessa calcinação, tais como temperatura dos fornos e tempo de queima da cal, como também o manuseio do material e o processo de extinção.

Atualmente, devido à grande difusão do uso do cimento tipo Portland, o uso da cal diminuiu bastante, porém, até meados do século XX este era o aglomerante utilizado nas construções, não só para assentamento, mas também para revestimento. Hoje, muito já se perdeu da tecnologia de se trabalhar com a cal e muitas tentativas de recuperá-las têm sido feitas,

(SANTIAGO, 2007). Contudo, segundo Petrucci (1987), ainda é bastante utilizada onde não se pede grande resistência mecânica e em obras que não estejam sujeitas à ação da água.

Conceito: Material resultante de decomposição térmica dos calcários, dolomitos e conchas calcárias resultando na formação de dois produtos, cal e dióxido de carbono (KANAN, 2008). É utilizada sob a forma de pasta pura ou de mistura com areia (argamassa), para revestimentos e rejuntamento de alvenarias. Como matéria-prima utiliza-se o calcário (carbonato de cálcio, ou carbonato de cálcio e magnésio) com teor desprezível de argila (PETRUCCI, 1987).

- **Cal virgem** – é o óxido resultante da dissociação térmica do calcário/dolomito/concha calcária.

Calcinação: ato de calcinar as rochas calcárias gerando a cal virgem (KANAN, 2008).

- **Cal hidratada** – é o hidróxido resultante do prosseguimento do processo industrial que dá origem a cal virgem. A reação química se dá com a presença de água.

Extinção: processo de obtenção da cal hidratada. Dá-se com liberação de calor, portanto é uma reação exotérmica. Dependendo do volume de água utilizada para a reação, o produto pode ser seco ou com aspecto pastoso (KANAN, 2008).

De acordo com Santiago (2007), as seguintes considerações se fazem oportunas no que diz respeito à cal:

Rochas calcárias

A dureza e a coloração das pedras para fabricação da cal são reconhecidas por vários autores como fatores primordiais na dureza da argamassa.

Segundo Vitruvius⁹ (*apud* SANTIAGO, 2007), seria melhor usar pedras compactas e duras para argamassa de assentamento, enquanto que pedras porosas seriam mais adequadas no caso de argamassa para revestimento. Porém, segundo Santiago (2007), a crença no fato de que a dureza da pedra era responsável pela dureza da argamassa feita com sua cal continua, mesmo tendo-se verificado depois, por meio de análises e testes químicos e físicos, que isso não era verdade.

⁹ Op. cit., L. II, cap. V, p. 43

Calcários marinhos

Segundo Santiago (2007), quando do início da colonização do Brasil, como os calcários de origem marinha eram facilmente encontrados no litoral, foram muito utilizados nas primeiras construções, posto que as jazidas de pedras carbonáticas ainda não haviam sido descobertas. Assim, além das rochas calcárias, os depósitos de resíduos de esqueletos de animais, como ocorrem em nossos sambaquis, prestaram-se, também, como matéria prima à produção de cal.

Na Bahia, por exemplo, não foi necessário trazer da Europa o calcário para fabricação da cal, pois havia aqui material alternativo, como os corais, as cascas de ostras e as conchas para sua fabricação. Eram construídas caieiras para que se pudesse preparar uma boa cal.

Calcinação (Decomposição térmica)

Segundo Catão¹⁰ (*apud* SANTIAGO, 2007), para se fazer cal devia-se cozer bem pedras de calcário de boa qualidade, de coloração o mais branca possível, e quanto menor a variação cromática das mesmas, melhor.

De acordo com Scamozzi¹¹ (*apud* SANTIAGO, 2007), a duração do processo de calcinação dependia não apenas da natureza da pedra, mas também, da qualidade do material, do tipo de forno e da maneira como esse foi arrumado no forno por ocasião da queima, além do tipo de combustível utilizado. Ele indicou que a pedra reduzia o peso durante a calcinação e perdia sua cor, resultando em um material mais branco que o original, devido à transformação que a matéria-prima sofria.

O processo de calcinação de cascas de ostras para o preparo de cal era um procedimento mais fácil e econômico do que o de pedra, pois gastava menos combustível (lenha) e menos tempo, por serem materiais de pouca espessura. O processo de transformação do carbonato em óxido é mais rápido do que no caso de uso de pedras. Havia uma preocupação com a constância do fogo, pois um fogo uniforme ao longo do tempo proporcionava um cozimento mais adequado. O material precisava ser integralmente calcinado, transformando-se em hidróxido pela extinção.

¹⁰ CATON, M. P. **L'économie rurale**. Trad. De La Bonnetrie, M. Saboureux, traduction d'ancien ouvrages latins relatifs a l'agriculture et a la médecine vétérinaire. Paris: P. Fr. Didot, 1771. p. 70.

¹¹ SCAMOZZI, V. **L'idea della architettura universale**. (Veneza, V. Scamozzi, 1615), fac-símile, Sala Bolognese, Arnaldo Forni, 1982. t. II, parte II, L. VII, cap. XVIII, p. 228.

Uma cal é dita gorda quando sua constituição apresenta um teor de óxido de cálcio superior a 90%; também conhecida como cal rica, em contraposição à cal (virgem) magra (cálcica ou dolomítica).

A cal, depois de calcinada, deve ser muito bem armazenada para não absorver a umidade do ar e propiciar a sua extinção. Estando umedecida e em contato com o gás carbônico presente na atmosfera, termina por se carbonatar, antes de ser utilizada na argamassa.

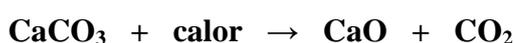
Extinção (Hidratação)

Os antigos, como Vitruvius e Plínio¹² (*apud* SANTIAGO, 2007), já informavam que a extinção da cal deveria ser um processo longo, de modo a alcançar-se o desejado amadurecimento. Eles recomendavam usar uma cal de pelo menos três anos de espera ou extinção. Visava-se garantir que a transformação dos óxidos em hidróxidos tivesse sido completada, sem perigo de utilizar-se um material que viesse a realizar extinção posteriormente, ou seja, depois da argamassa assentada na parede. Óxidos que ainda não tivessem sido hidratados poderiam vir a se hidratar, ou por absorção de vapor de água ou por ação da umidade ascendente, acarretando o aparecimento de bolhas e fissuras na superfície, devido às tensões de cristalização na porosidade dos constituintes da argamassa.

Havia, também, uma preocupação com a água da hidratação da cal, que não deveria ser salgada, pois a água salgada era mais rica em sais do que a areia da praia, e, daí, mais danosa. Sabia-se que certos sais atraíam vapor d'água (propriedades higroscópicas), favorecendo um processo de umedecimento das paredes (higroscopicidade) que, geralmente, era destrutivo para a construção.

Reações químicas

- Calcinação



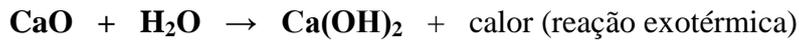
Carbonato de cálcio + calor = óxido de cálcio + anidrido carbônico

¹² PLINIO (o Antigo). **Historia naturale**. Trad. de Ludovico Domenichi. Veneza: G. Ferrari, 1561/1568. L. XXXVI, cap. XVIII, p. 1150.

Cal viva: (óxido de cálcio) produto da calcinação, em forma de grãos de vários tamanhos.

A cal viva não é ainda o aglomerante utilizado em construções. É preciso hidratá-la, (extinção), transformando óxido em hidróxido, que é o constituinte básico do aglomerante cal (PETRUCCI, 1987).

- Extinção



Óxido de cálcio + água = Hidróxido de cálcio (cal hidratada)

- Carbonatação



Hidróxido de cálcio + anidrido carbônico » Carbonato de cálcio + água

Processo de endurecimento da argamassa (cal + areia + água), que consiste na recombinação do hidróxido de cálcio com o gás carbônico presente na atmosfera, reconstituindo o carbonato original, cujos cristais ligam de maneira permanente os grãos do agregado utilizado. Processo lento, de fora para dentro, que exige certa porosidade que permita, de um lado, a evaporação da água em excesso e, de outro, a penetração do gás carbônico presente no ar atmosférico; daí o nome **cal aérea** (PETRUCCI, 1987).

TABELA 1: Nomenclatura da cal aérea.

Nome comum	Químico	Mineralógico	Fórmula
Calcário	Carbonato de cálcio	Calcita	CaCO ₃
Cal virgem	Óxido de cálcio		CaO
Cal hidratada ou apagada	Hidróxido de cálcio	Portlandita	Ca(OH) ₂
Cal carbonatada (curada)	Carbonato de cálcio	Calcita	CaCO ₃

Fonte: Kanan (2008).

Classificação da cal

Quanto à composição química:

- cal cálcica — Teor mínimo de 75% de CaO
- cal magnésiana — Teor mínimo de 20% de MgO

- devendo sempre a soma de CaO com MgO ser superior a 95% e os componentes argilosos SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ somar no máximo 5% (BAUER, 2000).

Quanto ao rendimento em pasta:

- cal gorda — rendimento em pasta maior que 1,82 m³ de pasta para uma tonelada de cal viva;
- cal magra — rendimento em pasta menor que 1,82 m³ de pasta para uma tonelada de cal viva.

Quanto ao tempo de extinção:

- cal lenta — a extinção começa 30 minutos após a adição de água;
- cal média — a extinção começa de 5 a 30 minutos após a adição de água;
- cal rápida — a extinção começa antes de 5 minutos após a adição de água.

Durante uma extinção, uma cal cálcica rápida emite muitos vapores imediatamente após o aquecimento, quando o óxido está sendo transformado em hidróxido, assim como a cal cálcica lenta, porém, essa última, em menor intensidade.

Segundo Kanan (2008),

[...] as argamassas antigas podem apresentar certas quantidades mínimas de silicatos de cálcio e alumina provenientes das reações dessas impurezas com a cal durante um longo processo de cura, bem como fragmentos de cal e de carvão provenientes dos processos de calcinação e produção, além de outras características. (KANAN, 2008).

4.3.1.4 Pozolana

Gregos e romanos já sabiam que a mistura de algumas terras de origem vulcânicas às argamassas de cal e areia melhoravam sua resistência, mesmo quando essas argamassas estavam submetidas à ação da água. A variedade de terras vulcânicas mais conhecidas provinha das vizinhanças de Pozzuoli e recebeu o nome de pozolana, nome esse que se estendeu a toda classe de produtos que gozam das mesmas propriedades (PETRUCCI, 1987), mesmo se não se tratarem de terras vulcânicas.

4.3.1.5 Cal hidráulica natural

Conceito de hidraulicidade: Chama-se hidraulicidade à propriedade que caracteriza os aglomerantes hidráulicos, isto é, de endurecer quando misturados com água e resistir satisfatoriamente, após o endurecimento, quando submetidos à ação dissolvente da água (PETRUCCI, 1987).

Além do carbonato de cálcio e de um pouco de carbonato de magnésio, a matéria prima usada contém quantidade apreciável de material argiloso, em cuja composição figuram a sílica (SiO_2), a alumina (Al_2O_3) e o óxido de ferro (Fe_2O_3).

Conforme Kanan (2008), muitos componentes como a argila, o gesso e a cal foram empregados como aglomerantes de argamassas, tendo-se evidências do uso da cal desde as culturas mais antigas. Produziram-se, também, argamassas antigas com misturas de aglomerantes mediante a adição de agregados de natureza pozolâmica, natural ou artificial, ou mesmo misturando-se cal hidráulica fabricada de calcários impuros (calcário argiloso). Mas foi no século XVIII, particularmente na segunda metade, que se desenvolveram as tecnologias de fabricação da cal hidráulica e dos cimentos naturais (KANAN, 2008).

Segundo Petrucci (1987), somente em meados do séc. XVIII apareceu uma ideia verdadeiramente nova com relação a aglomerantes. Por volta de 1756, o engenheiro John Smeaton, visando facilitar o trabalho de construção do novo farol de Eddystone (FIG. 12), perto de Plymouth na Inglaterra, procurava um aglomerante que endurecesse mesmo em presença de água. Foi então que, durante suas experiências investigando o tipo de cal mais adequado, concluiu que os calcários utilizados na produção da cal de Aberthaw, condado de Clamorgan, contendo certa quantidade de argila, revelaram-se superiores aos calcários puros para a fabricação de aglomerantes hidráulicos, porque, depois de endurecidos, tornavam-se resistentes à ação da água. Esta observação foi uma das mais importantes na história dos aglomerantes. Na construção do farol, usou-se uma argamassa constituída de cal argilosa (cal hidráulica natural) e pozolana procedente da Itália.

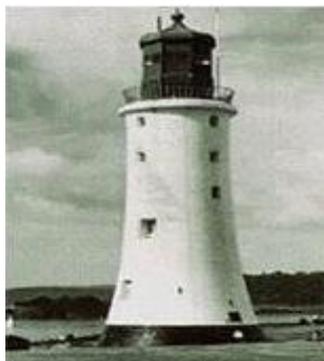


FIGURA 12: Farol de Eddystone.

Fonte: Basílio (1983).

4.3.1.6 Cimento de pega rápida

Em 1796, na Inglaterra, foi patenteado por James Parker, e produzido industrialmente, o “cimento romano”, nome dado ao produto obtido pela queima de nódulos que se desprendiam de depósitos calcários, sob uma temperatura próxima à de vitrificação, superior à praticada por Smeaton, que depois era reduzido a pó mecanicamente. Tal produto tratava-se de um cimento de pega rápida (PETRUCCI, 1987).

Entre 1810/1820, a patente de Parker expira, dando espaço para um maior número de fabricantes deste tipo de material.

4.3.1.7 Cal hidráulica artificial

Em princípios de 1800, na França, Vicat, o verdadeiro fundador da química dos aglomerantes hidráulicos, começou a se interessar por esse assunto, devido ao problema que enfrentou como engenheiro na fundação da ponte sobre o rio Dordogne. Em 1818, Vicat publica o resultado suas experiências sobre argamassas hidráulicas, contendo a teoria básica para produção e emprego desse novo tipo de aglomerante. Mostrava-se que, para obter produtos hidráulicos, denominados cales hidráulicas, bastava calcinar misturas de carbonato de cálcio e argila. Abriu-se assim caminho para a fabricação de aglomerantes artificiais (PETRUCCI, 1987).

Em 1824, entretanto, coube a um pedreiro, Joseph Aspdin, patentear a produção de um aglomerante, pelo cozimento de misturas de calcário com argila (dosagem artificial de cal e argila). Foi batizada de cimento Portland, numa referência à Portlandstone, tipo de pedra arenosa, muito usada em construções na região de Portland, uma ilha situada no sul da

Inglaterra. Como o resultado da invenção de Aspdin se assemelhasse a essa pedra de Portland na cor e na dureza, ele registrou esse nome em sua patente (PETRUCCI, 1987).

Entretanto, exceto pelos princípios básicos, aquele produto estava longe do cimento Portland que atualmente se conhece, resultante de pesquisas que determinam as proporções adequadas da mistura, o teor de seus componentes, o tratamento térmico requerido e a natureza química dos materiais (PETRUCCI, 1987).

4.3.1.8 Cimento de pega normal

Atribui-se a Isaac Johnson a produção, em 1845, de um verdadeiro cimento artificial de pega normal. Pode-se dizer que foi na Inglaterra que a fabricação desse aglomerante se desenvolveu em primeiro lugar. Em 1850, havia quatro pequenas fábricas funcionando na Inglaterra, e também começa a fabricação do cimento Portland na França; em 1855, avança a indústria na Alemanha e em 1871, na Suíça.

Os americanos começaram sua produção posteriormente, com o primeiro lote supostamente vendido em 1874 (PETRUCCI, 1987).

O cimento Portland desencadeou uma verdadeira revolução na construção, pelo conjunto inédito de suas propriedades de moldabilidade, hidraulicidade (endurecer tanto na presença do ar como da água), elevadas resistências aos esforços e por ser obtido a partir de matérias-primas relativamente abundantes e disponíveis na natureza.

O Brasil foi pioneiro, na América Latina, na fabricação do Cimento Portland. Em 1888, foi implantada uma fábrica na fazenda Santo Antônio (próximo a Sorocaba, SP), pelo Comendador Antônio Proost Rodovalho, onde ele produziu cal hidráulica e estudou os calcários existentes com o objetivo de fabricar cimento. Operou de 1897 a 1904, quando foi adquirida por A. R. Pereira e Cia., substituída em 1907 pela Ítalo-Brasileira, passando para Cia. Portland Nacional Rodovalho em 1916 e para Sociedade Anônima Fábrica Votorantim em 1918. O início real das atividades na indústria do cimento Portland no Brasil começou em 1924, com a Cia. Brasileira de Cimento Portland, com fábrica em Perus, fabricando o cimento de marca Perus (PETRUCCI, 1987).

4.3.1.9 Cimento Portland

É a denominação convencionada mundialmente para o material usualmente conhecido na construção civil como **cimento**. A NBR 11.578 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1991) define cimento Portland composto como aglomerante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a essa mistura materiais pozolâmicos, escórias granuladas de alto forno e/ou materiais carbonáticos, nos teores especificados em tabela.

O cimento é um material seco, finamente pulverizado, que desenvolve propriedade aglomerante como resultado de hidratação, isto é, de reações químicas entre os minerais do cimento e água. É chamado hidráulico quando os produtos da hidratação ficam estáveis no ambiente aquoso.

O cimento hidráulico mais comumente usado para fazer concreto é o cimento Portland. Os principais responsáveis pelas características adesivas do cimento Portland são os silicatos de cálcio hidratados, formados durante a hidratação desse cimento, que são estáveis no ambiente aquoso.

Conforme a Associação Brasileira do Cimento Portland (ABCP) (2002), o cimento Portland, misturado com água e outros materiais de construção, tais como a areia, a pedra britada, o pó-de-pedra, a cal e outros, resulta nos concretos e nas argamassas usados na construção de casas, edifícios, pontes, barragens etc. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento Portland apresenta-se estável. As características e propriedades desses concretos e argamassas vão depender da qualidade e proporções dos materiais com que são compostos. Dentre eles, entretanto, o cimento é o mais ativo, do ponto de vista químico.

O cimento Portland é obtido pela pulverização do clínquer (resultante da calcinação de mistura devidamente proporcionada de materiais calcários e argilosos), com adição de gesso (BRASIL, 2005).

Segundo a ABCP, o cimento Portland é composto de clínquer e de adições (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002). O clínquer é o principal componente e

está presente em todos os tipos de cimento Portland. As adições podem variar de um tipo de cimento para outro e são principalmente elas que definem os diferentes tipos de cimento.

A matéria-prima para a produção do cimento deve conter **cálcio** e **silica** em formas e proporções adequadas, pois os **silicatos de cálcio** são os constituintes primários do cimento Portland. Materiais que ocorrem naturalmente na natureza, como calcário, giz, calcário argiloso e conchas de mar, contêm carbonato de cálcio e são fontes de cálcio para as indústrias. Argila ou dolomita, entretanto, estão presentes como impurezas. Em vez de quartzo, as fontes preferidas de sílica adicional na mistura de matéria-prima para a produção de silicatos de cálcio são as argilas e os folhetos, uma vez que a sílica quartzítica não reage facilmente com o calcário (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Para facilitar a formação de silicatos de cálcio a temperaturas consideravelmente mais baixas do que seria requerido de outra forma, a presença de íons de alumínio, ferro e magnésio, além dos álcalis, são importantes na mistura da matéria-prima, pois têm um efeito mineralizante na formação de silicatos de cálcio. Devem ser incorporados à mistura quando na matéria-prima não estiverem presentes em quantidades suficientes. Dessa forma, adições de materiais secundários, como a bauxita e o minério de ferro, são importantes. Como resultado, além dos compostos de silicato de cálcio, o clínquer de cimento Portland também contém aluminatos e ferroaluminatos de cálcio (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

4.3.2 Agregado — Areia

Agregado é um material granular, como a areia, pedregulho pedrisco, rocha britada, escória de alto-forno ou resíduos de construção e de demolição, que é usado com um meio cimentício para produzir concreto ou argamassa. O termo agregado graúdo se refere às partículas de agregado maiores que 4,75 mm (peneira nº 4), e o termo agregado miúdo se refere às partículas de agregado menores que 4,75 mm, mas maiores que 75 µm (peneira nº 200) (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Os agregados são relativamente baratos e não entram em complexas reações químicas com a água e são comumente tratados como material de enchimento inerte do concreto, porém essa visão tradicional do agregado como um material inerte vem sendo seriamente questionada (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A areia é um material composto por um determinado tipo de partículas presentes no solo, resultante da desintegração natural ou da britagem de rocha, cujas dimensões estão dentro de uma faixa granulométrica 75 µm (peneira nº 200) e 4,75 mm (peneira nº 4) — agregado miúdo. Distinguem-se das argilas, siltes e pedregulhos por sua constituição mineralógica e química, além do tamanho dos seus grãos. A areia é composta por silicatos (quartzo) e é normalmente considerada inerte por quase não apresentar reatividade (SANTIAGO, 2007).

Segundo Santiago (2007), Vitruvius foi quem primeiro indicou em seu tratado as qualidades e características das areias como material de construção. Segundo ele, a areia de jazida era a mais indicada, pois secava rapidamente, suportava peso e boa durabilidade quando usada em revestimento. Porém, para uso em reboco, apresentava o inconveniente de fissurar e também de deteriorar quando exposta às intempéries por longo tempo. Para estuque, na falta da areia de jazida, recomendava-se a areia de rio e, em último caso, a areia de mar, pois demorava a secar, não suportava o carregamento e continha sais que afetavam o reboco.

Na opinião de Santiago (2007), dependendo do tipo do argilomineral presente, o uso da terra poderia ser prejudicial à argamassa, mas isso não ocorria, na maioria dos casos. Segundo ela, uma areia, para ser considerada como adequada à construção, deve ser isenta de impurezas orgânicas, não reagir ou ter baixa reatividade química, e apenas um certo percentual de silte e/ou argila.

Conforme Santiago (2007), as características a serem observadas na areia quando utilizada na confecção de argamassas são: a granulometria do material (pois para cada tamanho de grão há uma finalidade específica para qual mais adequadamente se destina), a ausência de impurezas, a composição mineralógica do material, a massa unitária e o coeficiente de inchamento. Dessa maneira, evita-se que essa argamassa resultante se comporte de maneira imprevista.

Segundo Santiago (2007), sabe-se hoje que a participação da areia (SiO_2) nas argamassas dá-se apenas para redução do custo da argamassa e alteração da porosidade do material resultante.

As areias, por apresentarem origens variadas (podem ser encontradas em jazidas, nos leitos dos rios, à beira mar ou em dunas) apresentam grãos com composição mineralógica e coloração diversas (SANTIAGO, 2007).

Somente no final do século XVIII, é que as ciências complementares, a geologia e a mineralogia, se desenvolveram e puderam contribuir para o entendimento acerca da formação das areias (SANTIAGO, 2007).

Quanto à granulometria, as areias são classificadas em faixas granulométricas como as seguintes: fina (0,15/0,6 mm), média (0,6/2,4 mm) e grossa (2,4/4,8 mm). Já a NBR 7.211 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) classifica as areias — graduação 0,15/4,8 mm — em quatro faixas, denominadas *muito fina*, *fina*, *média* e *grossa*, que possuem a mesma graduação 0,15/4,8 mm, mas diversificam-se pelas diferentes porcentagens de tamanhos de grãos, e não pelos limites inferior d e superior D dos diâmetros, como é o caso das três faixas granulométricas acima citadas (BAUER, 2000).

Os agregados podem ser constituídos de areia silícica (SiO_2), tijolo ou telha triturados em forma de agregado, ou agregados calcários, conchas marinhas, fragmentos de rochas, ou mesmo de antigos rebocos, já citados anteriormente. Ainda, quando a areia é de origem silícica, a determinação é fácil de ser realizada, mas se a areia tiver também componentes compostos de carbonato de cálcio e agregados triturados de tijolo, as determinações serão mais difíceis (KANAN, 2008).

4.3.3 Água

A água destinada à preparação de argamassas, concretos etc. deverá ser potável, limpa, pura e estar em temperatura adequada, obedecendo ao disposto na NBR 15.900-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a) (Ver maiores detalhes na seção 4.4.4.).

4.3.4 Aditivos, adições, materiais orgânicos e fibras

Aditivos e adições são definidos como materiais que não sejam agregados, aglomerante e água, e que são adicionados à massa, imediatamente antes ou durante a mistura. Podem modificar a pega e a característica de endurecimento da pasta, influenciando na sua hidratação; podem plastificar misturas de concreto fresco pela redução de tensão superficial da água (aditivos redutores de água); podem reduzir a fissuração por tensões térmicas no concreto massa (adições minerais, como as pozolanas — material contendo sílica reativa).

Os aditivos orgânicos podem estar presentes nas argamassas à base de cal, sendo esses compostos, em sua maioria, os polissacarídeos (mucilagem vegetal¹³), as proteínas (caseína do leite¹⁴, clara de ovo), os óleos e gorduras de animais e vegetais (linhaça). Determiná-los se torna muito difícil, uma vez que microorganismos podem ter afetado as argamassas. Se esses aditivos eram óleos e caseína, podem ter trocado de composição ao longo dos anos e interferido na microestrutura da argamassa, dificultando a determinação dos compostos orgânicos originais. Usados em pequena quantidade, incidiam na trabalhabilidade, na consistência, no controle das retrações, na absorção e perda de umidade, na durabilidade e na resistência final.

A utilização de fibras vegetais (palha) e de animais (crina, estrume), também era comum, influenciando na retração, resistência e na densidade aparente da argamassa, e conseqüentemente, na sua durabilidade. As fibras podem ser identificadas a olho nu ou por meio de microscópio. Já a quantidade pode ser determinada a partir do peso e do volume (KANAN, 2008).

Há registros de aditivos hidráulicos e de materiais pozolânicos que modificavam a pega, a cura e outras propriedades das argamassas à base de cal (KANAN, 2008).

4.4 Aspectos relevantes das propriedades das argamassas

4.4.1 Quanto à durabilidade

A durabilidade das construções está diretamente ligada ao uso de uma boa argamassa, que deve atender às seguintes condições, conforme (SANTIAGO, 2007):

- **Compacidade:** quanto mais compacta for a argamassa, maior será sua densidade e, em geral, sua resistência;
- **Impermeabilidade:** característica que impede a entrada de água nos edifícios. A água é um dos agentes mais danosos de degradação;
- **Aderência:** fator que favorece a união entre as diversas unidades por ela colada;

¹³ Substância vegetal translúcida, viscosa, com qualidades nutritivas, contida em quase todas as plantas (Dicionário Larousse Ilustrado da Língua Portuguesa. São Paulo: Larousse do Brasil, 2004. p. 267).

¹⁴ Principal proteína do leite, que contém alto teor de fósforo (Dicionário Larousse Ilustrado da Língua Portuguesa. São Paulo: Larousse do Brasil, 2004. p. 158).

- **Constância de volume:** para que se elimine a possibilidade de inchamento e esfoliação da superfície da argamassa, após a aplicação, se ocorrer absorção de água, é preciso utilizar uma cal com baixo teor de óxidos, ou seja, é preciso que o calcário, durante o processo de queima tenha sofrido extinção completa, eliminando-se a possibilidade desses óxidos reagirem com a água, gerando aumento de volume (inchamento) e esfoliação da superfície da argamassa. Argamassas que contenham barro também sofrem retração e inchamento dos argilominerais.

Se o material resultante não tiver as características adequadas para proteger e ligar os elementos da alvenaria terminará por se degradar e, em consequência disso, destruirá seu próprio substrato. Daí a importância de se conhecer e especificar corretamente os materiais componentes de uma argamassa. O tipo e a qualidade das matérias primas utilizadas irão determinar as características supracitadas de uma argamassa.

Os materiais devem ser isentos de impurezas. A dosagem deve ser adequada para permitir que os grãos do agregado fiquem completamente envolvidos pela pasta, o que irá propiciar uma boa resistência (SANTIAGO, 2007).

No caso de argamassas que empregam o cimento Portland, deve-se evitar a utilização de muitos finos, pois isso dificulta tanto a dispersão regular e homogênea dos grãos, quanto o envolvimento dos mesmos pela pasta, além de se tornar mais permeável, perder a resistência à gelividade, apresentar pouca resistência mecânica e menor durabilidade (SANTIAGO, 2007).

Já em argamassas em que se emprega a cal ao invés do cimento, quando esse aglomerante reage com a argila, formam-se neossilicatos que melhoram as características da argamassa. Quanto à retração da argamassa, sabe-se que ela é proporcional ao percentual da água e cal na mistura e dos argilominerais do solo utilizados (SANTIAGO, 2007).

Magalhães e Veiga (2005) também fazem recomendações com relação às exigências a cumprir pelas novas argamassas que se destinam à conservação de edifícios antigos: não contribuir para degradar os elementos pré-existentes, ou seja, as alvenarias antigas e proteger as paredes. Para tanto devem ser cumpridas exigências relacionadas com os seguintes aspectos: bom comportamento à água, oferecer alguma resistência à penetração da água até o suporte e não dificultar a sua secagem; ter alguma resistência mecânica, mas não transmitir tensões elevadas ao suporte; não introduzir sais solúveis no suporte. Além das duas primeiras exigências, devem também ser reversíveis, ou, pelo menos, reparáveis; ser duráveis (e

contribuir para a durabilidade do conjunto); não prejudicar a apresentação visual da arquitetura, nem descaracterizar o edifício. Esses terceiro e quarto critérios implicam em apresentar alguma resistência mecânica, mas inferior à dos tipos de suportes sobre os quais se prevê que possam vir a ser aplicadas; aderência ao suporte suficiente para garantir a durabilidade, mas não tão grande que a sua extração possa afetar a alvenaria; a rotura não pode ser coesiva no seio do suporte; módulo de elasticidade relativamente pouco elevado; reduzida susceptibilidade à fendilhação; bom comportamento ao gelo (quando for o caso) e aos sais solúveis existentes no suporte.

4.4.2 Quanto aos aglomerantes

4.4.2.1 Comportamento da cal e do cimento

A cal, além de ser um material aglomerante, possui, por sua finura, importantes propriedades plastificantes e de retenção de água. Dessa forma, as argamassas contendo cal preenchem mais facilmente e de maneira mais completa toda a superfície do substrato, propiciando maior extensão de aderência. Por sua vez, a durabilidade da aderência é proporcionada pela habilidade da cal em evitar fissuras e preencher vazios, o que é conseguido por meio da reação de carbonatação que se processa ao longo do tempo. Esse aspecto particular da cal, conhecido como restabelecimento ou reconstituição autógena, representa uma das vantagens do uso desse aglomerante nas argamassas de revestimento e assentamento (CARASEK, 2007).

Alguns estudos indicam a existência de uma relação direta entre a proporção de hidróxido de magnésio presente na cal hidratada e a resistência de aderência. Assim, uma argamassa preparada com cal dolomítica apresenta aderência superior a uma argamassa com mesmo traço preparada com cal cálcica. Tal fato, em parte, pode ser atribuído à diferença na retenção de água das argamassas; a argamassa constituída de cal dolomítica apresenta retenção superior àquela observada com cal cálcica (CARASEK, 2007).

A cal é recomendada como material a ser usado nas construções históricas, por manter suas características construtivas, harmonizar-se esteticamente com as alvenarias tradicionais, não alterar seu comportamento, apresentar características de plasticidade que favorecem seu uso em obras de restauração, além de ser primordial na conservação e manutenção periódicas dessas construções (KANAN, 2008).

Outras vantagens do seu uso dizem respeito ao fato de apresentarem boa porosidade e permeabilidade quando bem feita e conservada. O volume de poros grandes promove a rápida secagem, sem reter a umidade e permite que a parede respire, impedindo a condensação da umidade, ou seja, o aprisionamento do vapor de água, grande causador de patologias nessas edificações. As argamassas e rebocos à base de cal possuem resistência mecânica compatível e processo de cura mais lento, o que permite a flexibilidade com todo tipo de alvenaria tradicional, conferindo durabilidade e proteção ao sistema (KANAN, 2008).

O manejo e fácil utilização são vantagens a serem consideradas, por se tratar de um material atóxico, não poluente e ecologicamente correto por usar, no seu preparo, temperaturas mais baixas de consumo do que o cimento. A mão de obra empregada para a utilização da cal poderá ser local e a argamassa com ela preparada possui facilidade de manutenções e reaplicações periódicas na edificação, sem prejudicar o substrato, resultando em um custo mais baixo e maior durabilidade da edificação a longo prazo (KANAN, 2008).

De acordo com Kanan (2008), os ciclos contínuos de umedecimento pelas chuvas e posterior secagem ao longo dos anos provocam a dissolução e precipitação do carbonato de cálcio presente na argamassa a base de cal, que se deposita nas microfissuras existentes na estrutura interna dos materiais e atua na sua recristalização.

A estrutura porosa dos materiais à base de cal é um fator favorável na conservação das edificações antigas, pois incide no comportamento higroscópico — movimento de água do estado líquido para o gasoso — e no eventual mecanismo de desgaste devido aos sais solúveis, pela pressão de cristalização dos sais precipitados, e devido à biodeterioração. A porosidade controla também o conteúdo de água, a penetração do ar na estrutura da argamassa e, portanto, na velocidade de carbonatação do hidróxido de cálcio, o que interfere diretamente na resistência à compressão e na flexão e durabilidade das argamassas (KANAN, 2008).

Com relação ao proporcionamento dos materiais, as argamassas com elevado teor de cimento, em geral, apresentam elevada resistência de aderência, mas podem ser menos duráveis, uma vez que possuem maior tendência a desenvolver fissuras. Por outro lado, argamassas contendo cal possuem alta extensão de aderência, tanto em nível macro como em nível microscópico. Sendo mais plásticas, têm maior capacidade de “molhar” a superfície e preencher as cavidades do substrato; microscopicamente, levam a uma interface com estrutura mais densa, contínua e com menor incidência de microfissuras, do que a interface das argamassas somente

de cimento. Assim, as argamassas “ideais” são aquelas que reúnem as qualidades dos dois materiais, ou seja, são as argamassas mistas de cimento e cal (CARASEK, 2007).

Kanan (2008) relata que, contrariamente ao uso da cal, em casos de conservação de estruturas construídas com sistemas tradicionais, o uso do cimento Portland tem apresentado problemas devido à incompatibilidade de propriedades que exibem essas argamassas em relação aos materiais construtivos tradicionais. As estruturas antigas acomodam-se lentamente às ações do tempo e das intervenções, ao passo que as argamassas de cimento endurecem rapidamente, o que nem sempre é uma vantagem. Os danos causados pelas argamassas de cimento decorrem de sua porosidade, inferior à das argamassas à base de cal, e pelo fato da maior parte do volume dos poros ser formada por microporos com maior força capilar e maior impermeabilidade, provocando a retenção de umidade nas paredes.

Além disso, Kanan (2008) alerta para a maior rigidez das argamassas de cimento, que causa maior resistência e aderência junto aos materiais do substrato. Retirá-las ou mantê-las, posteriormente, sem causar mais lesões às estruturas antigas, pode vir a ser um problema, pois essa rigidez pode causar danos aos materiais mais porosos dos sistemas construtivos antigos, como os arenitos, calcários, tijolos artesanais, adobes e taipas, além de poder alterar o comportamento das alvenarias quando introduzidos excessivamente ou aplicados como argamassas fluidas na sua consolidação.

Nas argamassas, a cal forma com a água e os inertes que a encorpam, uma mistura pastosa que penetra nas reentrâncias e vazios dos blocos construtivos, cimentando-os, principalmente pela recristalização dos hidróxidos e de sua reação química com o anidrido carbônico do ar. Durante o endurecimento, as partículas muito finas de hidróxidos se aglomeram, formando cristais que aumentam em número e tamanho à medida que a água se evapora. Esses cristais se entrelaçam, formando uma malha resistente que retém os agregados (GUIMARÃES, 1998).

Do ponto de vista técnico, a cal pode proporcionar às argamassas qualidade de desempenho com relação à função de aglomerante, à melhora na trabalhabilidade, ao aumento da resistência à penetração e à capacidade de retenção de água, além da contribuição na questão da deformabilidade e da resistência (GUIMARÃES, 1998). A resistência à compressão das argamassas varia com a adição da cal hidratada. A cal hidratada diminui essa resistência tornando-a compatível com as exigências estruturais comuns feitas para as alvenarias. Além disso, as argamassas com cal hidratada têm maior deformabilidade, ou resiliência, devido ao

seu baixo módulo de elasticidade, o que acarreta melhor absorção das acomodações iniciais da estrutura (CARVALHO JÚNIOR, 2005).

A Tabela 2 apresenta a variação das propriedades das argamassas em função da variação da proporção de utilização de cal na argamassa (SABBATINI¹⁵, 1981 *apud* CARVALHO JÚNIOR, 2005).

TABELA 2: Variação das propriedades das argamassas com origem na variação do aglomerante cal (argamassa de cimento, cal e areia).

Propriedade	Aumento de cal no aglomerante
Resistência à compressão (E)	Decresce
Resistência à tração (E)	Decresce
Capacidade de aderência (E)	Decresce
Durabilidade (E)	Decresce
Impermeabilidade (E)	Decresce
Resistência a altas temperaturas (E)	Decresce
Resistências iniciais (F)	Decresce
Retração na secagem inicial (F)	Cresce
Retenção de água (F)	Cresce
Plasticidade (F)	Cresce
Trabalhabilidade (F)	Cresce
Resiliência (E)	Cresce
Módulo de elasticidade (E)	Decresce
Retração na secagem reversível (E)	Decresce
Custo	Decresce

Legenda: E = estado endurecido, F = estado fresco.

Fonte: Sabbatini¹⁶ (1981 *apud* CARVALHO JÚNIOR, 2005).

Na Tabela 2, manteve-se constante a proporção volume de aglomerante e agregado e a consistência. Alterando-se o teor de água para mais, pioram-se todas as condições, com exceção da trabalhabilidade (até certo limite de água que, se ultrapassado, conduz a perda de trabalhabilidade) (CARVALHO JÚNIOR, 2005).

- **Plasticidade:** menor ou maior facilidade de aplicação. É plástica quando se espalha facilmente, resultando numa superfície lisa sob o rasto da colher do pedreiro. Cais magnesianas produzem argamassas mais bem trabalháveis que as cálcicas (BAUER, 2000).
- **Retração:** durante a carbonatação há perda de volume, sujeitando-se o produto à retração e, conseqüentemente, ao aparecimento de trincas nos revestimentos. A adição

¹⁵ SABBATINI, F. H. **Argamassas:** notas de aula da disciplina Materiais de Construção Civil. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1981.

¹⁶ Op. cit.

de agregado miúdo em proporção conveniente reduz os efeitos da retração. A proporção determina a capacidade de sustentação de areia da pasta de cal, tendo sido observado que as cals cálcicas têm maior capacidade de sustentação que as da variedade magnésiana (BAUER, 2000).

- **Rendimento:** conforme dito anteriormente, uma cal é gorda ou magra, dependendo do rendimento da pasta ser maior ou menor que 1,82 m³ de pasta para uma tonelada de cal viva, respectivamente, restando definir a consistência da pasta utilizada na determinação desse fator, que é determinada pelo abatimento de um cilindro de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, que se deforma para 8,7 cm pela remoção do molde. Cal de variedade cálcica oferece melhores rendimentos que cal magnésiana (BAUER, 2000).
- **Endurecimento:** a **cal aérea** necessita da absorção de CO₂ do ar para endurecer, desse modo não endurece debaixo d'água. O endurecimento dá-se de forma lenta, e quando são utilizadas argamassas de cal e areia para revestimento, necessita-se aplicação em camadas finas, geralmente com intervalos de 10 dias entre uma e outra. Além da carbonatação, o endurecimento também se dá pela combinação do hidróxido com a sílica encontrada na areia, fenômeno já conhecido pelos romanos há bastante tempo (uso de pozolana). O endurecimento com o tempo é a principal propriedade da cal aérea. O tempo de endurecimento é normalmente longo (BAUER, 2000). Já uma **cal hidráulica** endurece por ação da **água**.
- **Trabalhabilidade:** maior, ou melhor facilidade nas operações de manuseio com argamassas e concretos frescos (BAUER, 2000).
- **Resiliência:** um material é considerado perfeitamente elástico se surgem e desaparecem deformações imediatamente após a aplicação ou retirada de tensões. Essa definição não implica linearidade entre tensões e deformações, sendo que alguns materiais apresentam comportamento elástico não linear. Segundo Ferreira e Hanai,

[...] entende-se por resiliência a propriedade apresentada pelo material de deformar-se em regime elástico. As deformações elásticas ou resilientes são resultados da reversão dos movimentos relativos dos átomos, uma vez cessada a solicitação externa. Por outro lado, as deformações irreversíveis resultam de deslocamentos relativos dos átomos, que persistem depois de cessada a solicitação externa (FERREIRA; HANAI, 2007).

- **Módulo de elasticidade:** segundo Mehta e Monteiro (2008), “as características elásticas de um material são uma medida de sua rigidez”. O Módulo de Elasticidade é relação entre a tensão aplicada e a deformação instantânea dentro de um limite proporcional

assumido. “No concreto, observa-se que a deformação resultante da ação de uma carga instantânea em um corpo-de-prova de concreto não é diretamente proporcional à tensão aplicada, nem é totalmente recuperada no descarregamento” (MEHTA; MONTEIRO, 2008, p. 87).

Existe uma relação direta entre densidade e módulo de elasticidade, em materiais homogêneos. Já o comportamento elástico de materiais heterogêneos e multifásicos é determinado pela fração volumétrica, pela densidade e pelo módulo dos principais componentes, além das características da zona de transição na interface (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Sendo a densidade inversamente proporcional à porosidade, os fatores que afetam a porosidade do agregado, da matriz pasta de cimento e da zona de transição na interface devem ser considerados (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A resistência tem uma relação direta com o módulo de elasticidade, e são ambos afetados pela porosidade das fases constituintes, porém em diferente grau (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Quanto ao agregado graúdo, a porosidade é a característica que mais afeta o módulo de elasticidade. Isto porque a porosidade determina sua rigidez que por sua vez controla a capacidade de o agregado restringir a deformação da matriz (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

- **Retração na secagem reversível:** a granulometria, a dimensão máxima, a forma e a textura do agregado são fatores que influenciam a retração por secagem e fluência da argamassa. O módulo de elasticidade do agregado é o fator mais importante (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

4.4.2.2 Benefícios da utilização da cal

Segundo Ribeiro, Pinto e Starling (2002), os benefícios da utilização da cal seriam:

- **Plasticidade:** ao se usar a cal, uma característica a ser considerada é o aumento da plasticidade da argamassa, devido ao papel lubrificante das suas partículas finas, que tornam a argamassa mais plástica e trabalhável. Melhora-se a sua aplicabilidade e rendimento, o que implicará em redução da mão de obra para sua aplicação.

- **Retenção de água:** ao reagir com o ar, a cal libera a água que mantinha retida em sua estrutura molecular. Esse é um dos fatores benéficos, por exemplo, da associação da cal ao cimento em argamassas, pois essa água é então aproveitada na cura do cimento, evitando a formação de trincas por retração de massa.
- **Durabilidade:** outro fator benéfico da associação da cal em argamassas de cimento é o aumento da durabilidade, pois diminui a ocorrência de eflorescência e combate a presença de fungos. A eflorescência é o fenômeno de lixiviação dos sais minerais existentes no interior das argamassas, que, dissolvidos pela água, depositam-se na superfície do revestimento. Devido à cal ter um menor teor de álcalis (Na_2O e K_2O) que o cimento, isso impede a reação de lixiviação em emboços e rebocos onde foi utilizada.

A cal é também um poderoso agente fungicida e bactericida, pois combate a presença de fungos nas argamassas endurecidas evitando a geração de manchas.

As argamassas à base de cal têm versatilidade para auto-refazer muitas das pequenas fissuras que ocorrem ao longo do tempo, graças à sua atividade química, que só se extingue após muito tempo. Há uma reconstituição autógena de fissuras enquanto houver hidróxido de cálcio e/ou de magnésio livres na massa das argamassas, pois a água que circula pelos espaços intergranulares provoca reações químicas, preenchendo as discontinuidades (GUIMARÃES, 1998).

Entre todos os plastificantes utilizados na preparação das argamassas, o mais recomendável para utilização é a cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), cujo desempenho como plastificante é comprovado em vários institutos de pesquisas. Seu uso é normalizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Segundo Veado (2008), o princípio da compatibilidade estabelece que os materiais usados em restauração devam, sempre que possível, apresentar resistência física e mecânica igual ou menor que os materiais construtivos adjacentes à restauração, pois aqueles que possuem resistência maior colocam em risco a integridade dos materiais históricos, tornando-os vulneráveis à deterioração, por sua própria natureza e constituintes.

Quanto ao uso de materiais à base de cal, Veado (2008) destaca as seguintes vantagens: boa plasticidade, aderência e harmonia estética, cuja aparência valoriza a arquitetura histórica; alta porosidade e alta permeabilidade, o que permite a evaporação da umidade da parede, protegendo-a dos efeitos de degradação, ajudando a secar os edifícios e propiciando conforto

aos usuários; baixa condutividade térmica, contribuindo para um melhor conforto térmico do ambiente, sendo mais agradáveis ao toque que os de cimento; capacidade de acomodar movimentos, pois desenvolvem microfissuras que podem vir a ser novamente preenchidas com a consolidação da cal dissolvida pela água de chuva e absorvida pela argamassa porosa; resistência mecânica adequada às alvenarias antigas, permitindo reversibilidade e não causando tensão; durabilidade e longevidade, pois não alteram fisicamente a edificação à medida que envelhecem, podendo sobreviver por vários séculos.

Do ponto de vista econômico e ambiental, a cal hidratada também confere vantagens às argamassas. A utilização da cal representa diminuição do custo do metro cúbico da argamassa, por permitir usar uma maior quantidade de agregados para uma mesma quantidade de cimento. As argamassas com cal contribuem para a qualidade do meio ambiente, devido a algumas características físicas e químicas da cal, como alcalinidade (pH maior que 11,5), o que torna o meio mais asséptico; e a cor branca, que clareia as misturas, tornando-as mais refletivas aos raios solares, transmitindo menos calor e diminuindo a iluminação artificial (GUIMARÃES, 1998).

4.4.2.3 Desvantagens da utilização da cal

Segundo Veado (2008), alguns fatores têm limitado o uso da cal em restauração: trata-se de um material disponibilizado no mercado apresentando impurezas, hidratação e acondicionamento inadequados, diminuindo sua qualidade; requer uma considerável qualidade técnica por parte dos pedreiros, que atualmente não detém a experiência na manipulação da cal; por desconhecimento das técnicas por parte desses pedreiros, há uma tendência de se adicionar água em excesso na massa para melhorar a trabalhabilidade, o que acarreta maior retração durante a fase de secagem e redução da resistência mecânica; requerem um tempo de pega maior que o das argamassas de cimento, principalmente em situações de extrema umidade, exigindo prazos maiores nas obras.

4.4.2.4 Avaliações relevantes sobre o tema

Veiga (2003), em sua campanha experimental sobre o conjunto de formulações de argamassas com vocação para revestimentos de edifícios antigos, constatou que as argamassas de cimento são demasiadamente fortes e rígidas, transmitem ao suporte forças consideradas excessivas e tem uma ruptura frágil (ruptura das ligações atômicas sem o desenvolvimento prévio de

mecanismos de deformação permanente com intensidade apreciável). Dessa forma, são argamassas pouco adequadas para paredes antigas e podem vir a degradar as alvenarias por transmitirem esforços elevados e fissurar devido à dificuldade em acomodar deformações elevadas. Já as argamassas bastardas, segundo o conceito português, onde se emprega mesmo teor de cimento e cal aérea, foram consideradas demasiadamente fortes. Já aquelas bastardas com baixo teor de cimento apresentaram características mecânicas consideradas adequadas.

Da mesma forma que as argamassas bastardas, as argamassas com cal hidráulica artificial (traço 1:3) foram consideradas demasiadamente fortes, rígidas e susceptíveis à fissuração. Já a argamassa de cal hidráulica natural mostrou-se excessivamente fraca, pelo menos para juntas, num traço (1:4).

No tocante ao comportamento à água, as argamassas de cimento e as argamassas com caráter hidrófugo mostraram tendência de reter água no suporte, e podem vir a contribuir para a degradação deste, por dificultarem sua secagem.

Já as argamassas de cal aérea e cal hidráulica sem hidrofugação apresentaram boas características de comportamento à água, assim como as de cimento e cal aérea.

Em síntese, nessa pesquisa Veiga (2003) concluiu que:

- as argamassas de cimento do ponto de vista da resistência mecânica quanto ao comportamento à água são inadequadas;
- as argamassas de cal hidráulica artificial são também demasiadamente fortes e rígidas;
- as com hidrofugação são inadequadas quanto ao comportamento à água;
- as argamassas de cal aérea são as que em geral apresentam as melhores características, embora se precise pensar em melhorar sua durabilidade;
- as argamassas com adição de pozolana merecem uma maior exploração. O uso de aditivos que confirmam alguma hidraulicidade à argamassa, sem prejudicar a capacidade de secagem do suporte, confirma-se como um bom caminho a prosseguir.

4.4.3 Quanto ao agregado

Com relação ao agregado, a relação que este exerce sobre as propriedades das argamassas geralmente tem sido correlacionada aos índices físicos desse material, como granulometria, a massa unitária, a massa específica e o inchamento.

Segundo Kanan (2008), é fundamental determinar as características do agregado das argamassas antigas, uma vez que influenciarão nas propriedades importantes como resistência, textura, porosidade e cor. Deve-se a determinar o tipo do agregado, o tamanho e a distribuição granulométrica, bem como sua forma e sua cor: “idealmente, a areia deve apresentar uma distribuição de grãos uniformemente variada, do maior ao menor tamanho, porém, as análises das amostras antigas mostram que, muitas vezes, as propriedades das diferentes frações variam de um local para outro. E aí está a importância que têm as análises do agregado das argamassas antigas. A curva granulométrica dos agregados antigos quase nunca corresponde às usadas hoje. Essa curva geralmente apresenta grande quantidade de finos, partículas menores que 0,075 mm, compostos de argilas, siltes, ou componentes hidráulicos, bem como proporções relativamente altas de grãos maiores que 4 mm.” Entretanto, de acordo com Santiago (2007), ensaios realizados no NTPR nem sempre apresentam valores que comprovem essa informação.

Segundo Guimarães¹⁷ (1997 *apud* CARVALHO JÚNIOR, 2005), as propriedades mecânicas das areias que interferem no comportamento das argamassas seriam as seguintes:

- a) **Inchamento:** a areia seca absorve água, que passa a formar uma película em torno dos grãos. Como os vazios da areia chegam, por vezes, a ser tão delgados quanto à espessura da película de água, esta afasta os grãos entre si, produzindo inchamento (GUIMARÃES, 1997 *apud* CARVALHO JÚNIOR, 2005). As areias finas apresentam maior inchamento porque a tensão superficial da água mantém as partículas separadas. Podem ocorrer grandes variações nas dosagens em volume das areias, se essas estiverem saturadas. Por isso, devem-se preferir as dosagens em massa (MEHTA; MONTEIRO, 2008).
- b) **Higroscopia:** a areia seca tem duas fases: sólidos (grãos) e vazios (ar); a areia úmida tem três fases: sólidos, água e ar; a areia saturada, duas fases: sólidos e água. Os vazios (espaços entre os grãos) da areia seca são de dimensões muito pequenas, de modo que a areia pode apresentar higroscopia ou ascensão capilar. Isto é, quando a areia entra em contato com água na base, a água no interior da massa alcança nível acima da água no exterior, devido à capilaridade. Quanto mais fina a areia, mais alta é a ascensão capilar.

¹⁷ GUIMARÃES, J. E. P. **A cal:** fundamentos e aplicações na construção civil. São Paulo: Pini, 1997. 285p.

Isto deve ser levado em conta em algumas aplicações, como pisos, por exemplo (GUIMARÃES, 1997 *apud* CARVALHO JUNIOR, 2005).

- c) **Coesão aparente:** o valor cresce rapidamente de zero (para teor de umidade nulo) até o máximo, para decrescer em seguida até se anular novamente para a areia saturada.
- d) **Friabilidade:** a areia perde qualidade se contiver grãos friáveis. Para verificar, em primeira aproximação, a presença de grãos friáveis em tempo mais curto do que o necessário para o ensaio de qualidade pode ser feito um teste de esmagamento. A areia é colocada em um molde e recoberta por um êmbolo sobre o qual se exerce uma força crescente, necessária para atingir a pressão de 40 MPa em um minuto. Essa pressão é conservada constante por quatro minutos. Determinam-se os módulos de finura antes e depois do ensaio e calcula-se a sua porcentagem de redução, que se compara com a da areia normal.

Guimarães (1997 *apud* CARVALHO JÚNIOR, 2005) também salienta a importância da qualidade do agregado utilizado na composição das argamassas. Quando o mineral argiloso presente é do grupo das esmectitas (montmorilonitas), são possíveis fenômenos de expansão e retração no sistema, em função da variação da umidade. O grupo de minerais de ferro — magnetita, ilmenita, pirita e concreções ferruginosas — tem ação deletéria, por possibilitar a formação de compostos expansivos resultantes de reações oxidantes. A mica, geralmente com formas de cristais lamelares, dificulta a homogeneidade das características físicas do revestimento e a aderência da argamassa na sua interface com a base, atuando também no interior da massa como superfície diminuta de escorregamento ou descolamento, resultando na esfoliação do revestimento. Em areias mal lavadas e/ou mal selecionadas, aparece a matéria orgânica, resultante de restos vegetais, que inibe o endurecimento do aglomerante, provocando na superfície o aparecimento de vesículas, cujo interior tem tonalidade escura.

Algumas características da areia são decorrentes de fatores microestruturais e fatores relacionados ao seu processamento, como por exemplo:

- a) Massa específica, absorção de água, resistência, dureza, módulo de elasticidade e sanidade: características dependentes da porosidade;
- b) Tamanho, forma, e textura das partículas: características dependentes das condições prévias de exposição e fatores relacionados ao processo de fabricação (MEHTA; MONTEIRO, 2008);

- c) Resistência, dureza, módulo de elasticidade e substâncias deletérias presentes: características dependentes da composição química e mineralógica (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Massa específica

“É a massa da unidade de volume do material de que se constituem os grãos do agregado.” (BAUER, 2000, p. 88).

Pode-se dizer de forma simplificada que massa específica é a relação entre a massa dos grãos e o seu volume. Mas como os grãos possuem poros internos e superficiais, impermeáveis e permeáveis, Metha e Monteiro (2008) salientam que o volume geralmente medido inclui a parcela referente aos poros internos. Deste modo, quando se tratar de trabalhos onde os poros internos dos materiais possam ter influência significativa, deve-se deixar claro se estão sendo levados em consideração os poros impermeáveis. Já o conhecimento do volume ocupado pelas partículas ou grãos, para abordagem da dosagem de argamassas, é suficiente. Para determinação da massa específica podem-se levar em conta apenas os poros permeáveis (externos), isto é, o volume dos grãos, incluindo o volume dos seus poros impermeáveis (internos). A massa específica dos grãos que é usada rotineiramente é aquela em que o volume dos grãos inclui os poros internos dos mesmos.

Granulometria

Composição granulométrica é a distribuição de dimensão das partículas de um material granular entre várias faixas granulométricas, normalmente expressas em termos de porcentagem acumulada maior ou menor do que cada uma das aberturas de uma série de peneiras, ou da porcentagem entre certa faixa de aberturas das peneiras (METHA; MONTEIRO, 2008). O fator mais importante em se especificar os limites granulométricos e a dimensão máxima do agregado está na sua influência sobre a trabalhabilidade e o custo. Segundo Mehta e Monteiro (2008), areias muito grossas produzem misturas ásperas e não trabalháveis, e areias muito finas aumentam a demanda de água (e também o consumo de cimento para uma dada relação água cimento) não sendo econômicas. Agregados de granulometria contínua (sem grande deficiência ou excesso de qualquer dimensão de partícula) produzem misturas mais trabalháveis e econômicas. Em geral, quanto maior a dimensão máxima do agregado, menor será a sua área superficial por unidade de volume que

deve ser coberta pela pasta para uma dada relação água cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Segundo Gomes (2000), na argamassa, a granulometria dos materiais inertes — areia e adições — possui grande significado, por ter relação direta com as propriedades da argamassa no estado fresco (como trabalhabilidade e retenção de água) e no estado endurecido, pela modificação das propriedades mecânicas (resistência e deformação) e hidráulicas (permeabilidade e capilaridade).

Segundo Bauer (2005), um dos principais parâmetros utilizados na classificação de uma areia para uso em argamassas é o **módulo de finura**. Por definição, este parâmetro é o resultado da soma das frações retidas acumuladas, divididas por 100, obtidas durante o ensaio de granulometria, utilizando a série normal de peneiras (NBR 7.217) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987).

Pode-se dizer que a análise granulométrica do agregado é o principal método de ensaio utilizado para se avaliar os diferentes tipos de agregados que compõem as argamassas de revestimento. Esta consiste na determinação das dimensões das partículas e das proporções relativas em que elas se encontram na composição. Atualmente, existem vários métodos que são utilizados nesta avaliação. Métodos mais simples baseados no peneiramento do agregado em peneiras com diferentes dimensões de malhas conforme recomendações da NBR 7.217 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987), e métodos mais sofisticados, que complementam o anterior, como, por exemplo, granulometria a laser, sedimentação, dentre outros. No caso específico de agregados para argamassa, discute-se ainda a utilização de uma série de peneiras específica que contemple uma melhor caracterização do material, conforme os estudos de Carneiro (1999).

Recomenda-se as séries de peneiras especificadas a seguir:

- Série conforme NBR 7.217 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987) → 2,4 mm — 1,2 mm — 0,6 mm — 0,3 mm — 0,15mm — 0,075 mm;
- Série recomendada por Carneiro (1999) → 2,4 mm — 1,7 mm — 1,18 mm — 0,85mm — 0,6 mm — 0,425 mm — 0,3 mm — 0,212 mm — 0,15 mm — 0,106 mm — 0,075 mm.

A distribuição das dimensões das partículas do agregado é representada, graficamente, pela curva granulométrica. Esta curva é traçada por pontos em um diagrama semilogarítmico, no qual sobre o eixo das abscissas, são marcados os logaritmos das dimensões das partículas e sobre o eixo das ordenadas as porcentagens, em peso, de material que tem dimensão média menor que a dimensão considerada (% passante — representação mais adotada na mecânica dos solos) ou maiores que a dimensão considerada (% retida acumulada — mais adotada no estudo dos agregados para argamassas e concreto) (BAUER, 2005).

Sabbatini¹⁸ (1998 *apud* CARVALHO JÚNIOR, 2005) apresenta na Tabela 3 uma sinopse qualitativa da influência dos parâmetros granulométricos das areias nas principais propriedades das argamassas.

TABELA 3: Influência das características granulométricas das areias nas propriedades das argamassas de assentamento.

Propriedades	Características da areia		
	Quanto menor o módulo de finura	Quanto mais descontínua for a granulometria	Quanto maior o teor de grãos angulosos
Trabalhabilidade	Melhor	Pior	Pior
Retenção de água	Melhor	Variável	Melhor
Resiliência	Variável	Pior	Pior
Retração na secagem	Aumenta	Aumenta	Variável
Porosidade	Variável	Aumenta	Variável
Aderência	Pior	Pior	Melhor
Resistências mecânicas	Variável	Pior	Variável
Impermeabilidade	Pior	Pior	Variável

Obs.: O termo variável é aplicável quando não existe uma influência definitiva ou quando esta influência depende de outros fatores.

Fonte: Sabbatini¹⁹ (1998 *apud* CARVALHO JÚNIOR, 2005).

No entanto, Sabbatini²⁰ (1998 *apud* CARVALHO JÚNIOR, 2005) também afirma que, em linhas gerais, a areia que apresenta melhor potencial de produzir uma argamassa adequada é a que tem granulometria contínua (corrida), classificada como média (módulo de finura entre 1,8 e 2,8) e tenha predominância de grãos arredondados.

¹⁸ Op. cit.

¹⁹ Op. cit.

²⁰ Op. cit.

4.4.4 Quanto à água

Em termos da quantidade de água a ser utilizada no amassamento (no caso de argamassa de cimento), Carasek (2001 *apud* CARVALHO JÚNIOR, 2005) afirma que a água é um ingrediente essencial na argamassa, uma vez que ela possui duas funções primordiais:

- a) como único líquido, possibilita que a mistura seja trabalhável; e
- b) combina-se quimicamente com os aglomerantes proporcionando o endurecimento e a resistência da argamassa.

Portanto, manter uma relação água/cimento (a/c) baixa, aspecto tão importante no aumento da resistência à compressão do concreto, perde a importância quando se deseja obter uma adequada resistência de aderência de revestimentos. Por analogia ao concreto, essas argamassas devem ser relacionadas com os concretos preparados com agregado leve, onde, segundo Neville (1997 *apud* CARVALHO JÚNIOR, 2005), mais importante do que a relação a/c é o teor de cimento da mistura, uma vez que o agregado poroso retira parte da água disponível, fazendo com que a relação a/c real seja mais baixa do que a inicialmente existente. No caso das argamassas de revestimento, raciocínio semelhante é válido, pois a argamassa no estado fresco com alta relação a/c (geralmente na faixa de 0,7 a 2,8), ao entrar em contato com a base (geralmente alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto) perde rapidamente água por sucção do substrato.

Nas argamassas de cal, a quantidade de água usada não é um ponto crucial na dosagem, como acontece com as argamassas onde se utiliza o cimento tipo Portland. Porém, influi na sua retratibilidade e na sua estrutura porosa. A quantidade da água influencia na velocidade de carbonatação da argamassa e determina sua consistência (secas, plásticas ou fluidas) (SANTIAGO, 2007).

Quanto às propriedades químicas, os teores de cloretos em água para amassamento não devem ultrapassar os limites estabelecidos na NBR 15.900-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a), devendo-se consultar também a NBR 12.655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996) e procedimentos de ensaios da NBR 15.900-6 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009b).

Quanto aos teores de sulfatos na água, não deve ultrapassar 2.000 mg/L, ensaiada de acordo com a NBR 15.900-7 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009c).

Quanto aos álcalis, se forem utilizados no concreto agregados potencialmente reativos com álcalis, deve-se ensaiar a água segundo a NBR 15.900-9 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009d). O equivalente alcalino de óxido de sódio não deve exceder 1.500 mg/L, caso contrário, devem-se tomar ações preventivas quanto à reação álcali-agregado, conforme NBR 15.577-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008).

A contaminação na água de amassamento por substâncias como açúcares, fosfatos, nitrato, chumbo e zinco pode alterar os tempos de pega e resistências do concreto, devendo-se consultar os limites estabelecidos na NBR 15.900-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009a).

4.4.5 Quanto aos principais aditivos e adições

As adições são materiais finamente divididos, com capacidade de conferir algumas propriedades à argamassa. Na maioria das vezes, não possuem poder aglomerante, atuando como agregados, e, de modo geral, possuem poder aglutinante (promovem a liga).

Segundo Bauer (2000), aditivo é todo produto, não indispensável à composição e finalidade do concreto, que colocado na betoneira imediatamente antes ou durante a mistura do concreto, em quantidades geralmente pequenas, bem homogêneo, faz aparecer ou reforça certas características, como as relativas à trabalhabilidade, plasticidade, tempo de pega e endurecimento, resistência mecânica, impermeabilidade, aderência, aparência e durabilidade.

Segundo Kanan (2008), as argamassas antigas também eram preparadas com aditivos pozolânicos, naturais ou artificiais. Geralmente, são adicionados às argamassas de reconstituição à base de cal aérea pura os seguintes aditivos hidráulicos:

- a) Pozolanas artificiais: (pó de telha ou tijolo) favorecem o aumento da porosidade na argamassa, ajudam na pega e na cura final, e, dessa forma, melhoram a capacidade de resistência aos sais. Além dos aspectos positivos da porosidade, podem ainda conter sílica e alumina reativa, conferindo propriedades hidráulicas à argamassa de cal;

- b) Cal hidráulica: praticamente não é encontrada no Brasil, mas restauradores preferem especificá-la ao cimento;
- c) Pigmentos: apenas conferem à argamassa coloração, não interferem em resistência mecânica e se diferenciam entre si pelos tipos orgânicos e inorgânicos (CARVALHO JÚNIOR, 2005).

Conforme Kanan (2008), o uso de componentes orgânicos em argamassas à base de cal deve ser restrito a casos específicos. A durabilidade das argamassas históricas, tradicionalmente, tem sido atribuída a aditivos orgânicos como óleo, sangue, urina, mucilagem de cactos e caseína. Porém, a inclusão desses materiais em argamassas de reconstituição nem sempre é recomendável, mesmo que se possam identificar esses componentes em algumas argamassas antigas, pois pode alterar as características de permeabilidade. Caso se opte por utilizá-los, deve-se proceder a testes para definir as proporções corretas, bem como observar o comportamento em relação aos problemas de umidade e biodeterioração.

4.4.6 Quanto às fibras

Segundo Kanan (2008), é comum o uso de fibras (vegetais: palha; animais: crina e esturme) em rebocos de paredes mistas de madeira e vedações em tijolo ou taipa e paredes mistas de alvenaria e concreto, porque as fibras ajudam a conter as retrações diferenciais dos dois materiais. São também usadas como agregados em rebocos de revestimento de paredes de adobe e taipa, pois, além de controlar as retrações, ajudam a dar aderência ao suporte e a controlar e prevenir a erosão dos rebocos bastardos de solo e cal.

4.4.7 Quanto aos sais solúveis

A presença de sal na argamassa faz com que a umidade do ar seja absorvida por higroscopia, apresentando consequentemente manchas escuras de molhação (SANTIAGO, 2007). Microorganismos podem se desenvolver sobre essa argamassa umidificada, pois encontram condições favoráveis, assim como manchas esbranquiçadas podem aparecer em decorrência da cristalização salina (eflorescências). Devido ao aumento dos sais dentro da argamassa, as camadas mais externas do revestimento podem escamar e/ou descolar das paredes. Conforme Santiago (2007), o umedecimento das paredes acarreta também a degradação dos outros materiais que a compõem (alvenaria estrutural de tijolos) ou madeiras contíguas a elas.

Determinar os sais existentes no revestimento é importante para se caracterizar os agentes de deterioração da argamassa e o comportamento do desgaste e definir-se o tratamento e limpeza adequados para sua eliminação. Fatores como a qualidade, quantidade e profundidade na alvenaria, assim como a origem desses sais (material, solo, ar) e o tipo de sal (pois se solubilizam em diferentes temperaturas, o que facilita sua identificação) podem auxiliar no entendimento do processo de deterioração e, também, ajudar a diminuir o seu impacto na estrutura.

4.4.8 Quanto à porosidade

A porosidade é uma importante característica física a ser considerada como parâmetro,

[...] já que incide no comportamento higroscópico (transferência de água no estado líquido e gasoso), nos mecanismos de desgaste (pressão da cristalização dos sais precipitados), na resistência (a compressão e flexão) e durabilidade das argamassas. A porosidade controla o conteúdo de água (retenção e evaporação da umidade), a penetração do ar na estrutura da argamassa e, portanto, também a carbonatação do hidróxido de cálcio. (KANAN, 2008).

A porosidade pode ser determinada ou avaliada medindo-se a porosidade total e a absorção capilar. As argamassas de cal geralmente têm maior quantidade de poros de maior diâmetro, absorvem mais rapidamente a água, têm menor ascensão capilar (entre 40 a 90 cm), mas secam mais rapidamente; enquanto que as de cimento geralmente têm maior quantidade de poros de menor diâmetro, absorvem mais lentamente água, têm maior ascensão capilar (podem chegar a 2 m) e tendem a reter por mais tempo a água. (KANAN, 2008).

4.4.9 Quanto à resistência mecânica

A caracterização da resistência mecânica com amostras de tamanho reduzido é problemática, uma vez que nem sempre é possível conseguir amostras de boa qualidade. O método a ser seguido, geralmente, é a estimativa da resistência mecânica a partir de outros parâmetros como a composição, a densidade aparente e a distribuição das partículas de areia. “Uma alternativa é caracterizar os elementos das alvenarias e determinar as características compatíveis com a argamassa.” (KANAN, 2008, p. 39).

4.4.10 Quanto ao índice de hidráulidade

Cais que endurecem ao ar são denominadas cais aéreas. Cais que endurecem na água são chamadas cais hidráulicas, como já mencionado. Estabelece-se o grau de hidráulidade de uma cal por meio da correlação entre os percentuais de determinados óxidos presentes nas argamassas. Segundo Santiago (2007), alguns autores consideram apenas a relação entre os percentuais de sílica, alumina e óxido de ferro e o percentual de óxido de cálcio, enquanto outros autores incluem também os percentuais de óxido de magnésio presentes na amostra, sendo esta última mais conveniente uma vez que a maioria dos calcários utilizados na fabricação da cal são dolomíticos (presença de MgO — óxido de magnésio).

4.4.11 Quanto ao traço — traços recomendados

Antigamente, para a indicação das proporções entre os diversos componentes das argamassas não havia regras determinadas, conforme observou Santiago (2007) em suas referências bibliográficas consultadas. O traço da argamassa era indicado por meio das frações que cada componente ocupava do volume total do material.

Hoje, para expressar as diversas proporções de uma argamassa, a norma exige: o aglomerante, primeiro valor na sequência dada, representado pela unidade, seguido do valor correspondente ao agregado, por exemplo: “argamassa traço 1:2 (cal, areia)”, em volume.

No Brasil, é costume representar os traços das argamassas e concreto com duas casas decimais, porque, eventualmente, estes traços podem ser explicitados em massa e não em volume. Já em Portugal, é usual essa representação em números inteiros (SANTIAGO, 2007).

Segundo Santiago (2007), no caso de avaliação de composição de argamassas antigas por meio de análise química, já que é praticamente impossível determinar com precisão o traço original, julga-se mais conveniente usar esta representação em massa, permanecendo-se com o valor encontrado por meio dos cálculos, mesmo que representem números fracionados, do que se fazer nova aproximação e aumentar ainda mais a margem de erro.

Traços já representados em massa são mais confiáveis do que aqueles representados em volume, pois os grãos podem ficar arrumados de forma distinta, dentro de um determinado recipiente, podendo ficar muitos espaços vazios entre os eles; dois recipientes iguais podem conter massas distintas do mesmo sólido.

Atualmente, apesar de não se usar com tanta frequência a cal nas argamassas, naquelas em que o aglomerante é o cimento tipo Portland, costuma-se adotar traços padronizados, como no passado, em obras de pequeno porte ou pequenas reformas, mesmo sem se saber a procedência ou a qualidade dos materiais. O correto, segundo Santiago (2007), seria definir-se o traço de uma argamassa em massa, com base na granulometria do agregado, no seu teor de umidade e no inchamento, e utilizar-se a medição dos materiais na obra em volume.

Recomenda-se, assim, que o traço seja dado em massa, pois quando dado em volume, este varia de acordo com a umidade do agregado. Agregados miúdos úmidos ocupam um maior volume do que quando secos, por causa do inchamento. Segundo Santiago (2007), esta recomendação é decorrente do fato de que a massa de um material é constante para toda uma região, enquanto que o seu volume varia dependendo da massa unitária do material e do seu módulo de finura. O inchamento da areia é regular e pode ser calculado, já o do arenoso e do caulim, não. Devido a essa variação do volume, em função do percentual de umidade dos agregados miúdos, serão requeridos consumos diferentes de aglomerante. O mesmo ocorre em função do número de finos e da forma dos grãos dos agregados.

Em argamassas atuais que contém cimento tipo Portland, se alterado o fator água cimento, isso levará a uma mudança nas características do material, tanto no estado fresco, quanto no endurecido, chegando-se até mesmo a causar a ruína da edificação (SANTIAGO, 2007).

Porém, numa argamassa à base de cal, a quantidade de água presente na mistura não é tão problemática assim, para a argamassa formada, quanto o é para a argamassa onde o aglomerante é o cimento tipo Portland. Destaca-se, entretanto, o papel fundamental da água na mistura da argamassa à base de cal, visto que seu endurecimento só ocorre em ambiente úmido (e na presença de gás carbônico).

Segundo Kanan (2008), nas argamassas preparadas à base de cal, a proporção do aglomerante e do agregado é de pelo menos 25 a 35% de CaCO_3 , o que corresponde a um traço, em volume que varia entre 1:4 a 1:3 (cal:agregado), o que dependerá da função da argamassa, sendo mais rico em cal (1:2 a 1:0,5).

Segundo Dias, Cunha e Ferrari (2000), em trabalho iniciado em 1994, por grupos de pesquisadores de universidades do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, por incentivo de técnicos do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN)/Rio Grande do Sul e Santa Catarina, por meio de um Programa de Cooperação Brasil-Alemanha, com

objetivo de determinar propriedades das argamassas de recuperação (saneamento) europeias, tais como densidade, porosidade, absorção, resistência à compressão, relatam que, quando da recuperação da argamassa da Catedral de São Pedro e Capela São Francisco, para a dosagem final do traço da argamassa, partiu-se do princípio básico que diz que uma argamassa que apresente desempenho adequado para utilização em assentamentos e revestimentos de obras antigas deve possuir uma relação aglomerante/agregado na proporção de 1:3. Segundo os autores, esta é uma recomendação internacional. São exemplos de alguns traços retirados da bibliografia — (cimento : cal : areia):

1 : 1 : 4

1 : 1 : 6

1 : 2 : 8

1 : 2 : 9

1 : 3 : 12

Destaca-se que os traços sublinhados são os que estão de acordo com a recomendação internacional 1:3. Isso significa que 25% da composição devem ser constituídas de aglomerantes (cimento + cal) e 75% composto por agregados (areias).

5 METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesse trabalho para caracterização de argamassas antigas começa por delimitar o objeto da análise em questão, ou seja, apresentar o estudo de caso da restauração da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras (FIG. 13 e 14), de onde foram obtidas as amostras de argamassas de reboco antigo utilizadas nas análises laboratoriais. Em seguida, apresentam-se os métodos e instrumentos utilizados para caracterização dessas argamassas, que se baseiam, essencialmente, na aplicação de técnicas de análises física, químico-mineralógica, infravermelho e termogravimetria.

5.1 “Casa Amarela” — UMEI Timbiras: um estudo de caso

5.1.1 Introdução — Característica e localização

Com o objetivo de preservar uma construção antiga de expressivo valor arquitetônico, situada na Rua Timbiras, 1697, esquina de Rua Espírito Santo e Av. Álvares Cabral (FIG. 13 e 14), e que se encontrava abandonada há alguns anos, a PBH, numa iniciativa da Secretaria Municipal de Educação, encaminhou um ofício à Gerência de Patrimônio Histórico Urbano, da então Secretaria Municipal Adjunta de Regulação Urbana, no intuito de avaliar a viabilidade de utilização do imóvel tombado para implantação de uma Unidade Municipal de Educação Infantil (UMEI). O ofício, datado de 16 de agosto de 2007, solicitava informações sobre os procedimentos e diretrizes de ocupação para preservação e restauração do imóvel em questão. A UMEI visava o atendimento de 440 crianças na faixa etária de zero a cinco anos e oito meses. Para a pretendida implantação dessa UMEI tornar-se-ia necessário, além do referido imóvel, a desapropriação de duas áreas contíguas, constituídas por estacionamento e imóvel alugado à Guarda Municipal.

Em 9 de janeiro de 2008 a Gerência de Patrimônio Histórico Urbano, da FMC-BH, em resposta ao citado ofício, encaminhou à Secretaria Municipal de Educação do Município de Belo Horizonte as diretrizes de ocupação e restauração da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras (FIG. 13 e 14), enfatizando que qualquer intervenção no imóvel e projeto de nova edificação deveria, a rigor, ser analisada e aprovada pelo CDPH-BH.



FIGURA 13: Situação das fachadas frontais em 2008.

Fonte: Rede Cidade (2008a). Autoria: Daniel Quintão.



FIGURA 14: Restauração das fachadas frontais em 2010.

Fonte: NEPE-EI/SUDECAP. Autoria: Silvana Lamas.

5.1.2 O Projeto arquitetônico

Para acomodar todas as instalações da escola infantil, os dois lotes contíguos ao da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras, voltados para a Rua Timbiras, números 1685 e 1671, foram desapropriados (totalizando 1.802,55 m²). A execução dos projetos ficou a cargo do Núcleo de Execução de Projetos Especiais-Escolas Infantis (NEPE-EI)/SUDECAP/PBH, tendo sido entregue, em 17 de janeiro de 2008, aos arquitetos Marcelo Amorim e Silvana Lamas da Matta, que ficaram responsáveis pela elaboração do projeto arquitetônico da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras.

O projeto arquitetônico contemplava a restauração da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras e a construção de três anexos, para acomodar os serviços necessários ao funcionamento da UMEI Timbiras, além de um subsolo para guarda de veículos (FIG. 15, 16 e 17).



FIGURA 15: Perspectiva do projeto arquitetônico da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras.

Fonte: Autores do projeto arquitetônico: arquitetos Marcelo Amorim e Silvana Lamas da Matta.



FIGURA 16: Estudo preliminar para “Casa Amarela” — UMEI Timbiras. Plantas 1º e 2º pavimentos.

Fonte: Autores do projeto arquitetônico: arquitetos Marcelo Amorim e Silvana Lamas da Matta.



FIGURA 17: Foto da Maquete do projeto arquitetônico da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras.

Fonte: Autores do projeto arquitetônico: arquitetos Marcelo Amorim e Silvana Lamas da Matta.

Para se fazer qualquer intervenção em um bem tombado em BH, exige-se mais do que a simples aprovação do projeto arquitetônico na Secretaria Municipal de Regulação Urbana. É necessário aprovar um projeto arquitetônico de restauração junto à FMC-BH. Para essa aprovação, a SUDECAP contratou, por meio do NEPE-EI/SUDECAP/PBH, sob a coordenação do arquiteto Marcelo Amorim e supervisão da arquiteta Silvana Lamas da Matta, ambos do NEPE-EI/SUDECAP/PBH, a empresa Rede Cidade — Arquitetura/Urbanismo, Patrimônio Cultural, para a execução do projeto executivo de restauração (Projeto de Intervenção). Sob a coordenação de Rafael Caldeira Ferreira Pinto, a empresa Rede Cidade ficou responsável pela recuperação das características arquitetônicas, históricas e estilísticas da antiga construção. O trabalho completo é constituído de dois volumes: Levantamento Cadastral/Diagnóstico (REDE CIDADE, 2008a) e Projeto de Intervenção — obra (REDE CIDADE, 2008b), e está hoje arquivado na FMC-BH, juntamente com o projeto arquitetônico de restauração aprovado da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras.

Para ilustrar a aplicação dos conceitos de restauro relacionados com o tema deste trabalho, ou seja, aqueles que dizem respeito às peculiaridades na recuperação de argamassas em obras históricas e no intuito de conhecer e analisar a edificação “Casa Amarela” — UMEI Timbiras sob os aspectos históricos, estéticos, artísticos, formais e técnicos, apresenta-se a seguir (na seção 5.1.3. desse trabalho) uma síntese do Levantamento Cadastral/Diagnóstico da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras, desenvolvido pela Rede Cidade, para o NEPE-EI/SUDECAP, no período de setembro a novembro de 2008, onde se aborda brevemente:

- a) a **análise histórico-documental** da edificação, seu contexto histórico e sua importância como bem cultural;
- b) a **análise estética crítica**, apontando alguns pontos relevantes como as características arquitetônicas do bem e seu sistema construtivo;
- c) a **análise estática construtiva**, com prospecções arquitetônicas e identificação de danos na edificação, especificamente, daqueles referentes à argamassa de revestimento das alvenarias da fachada externa da construção antiga.

5.1.3 Levantamento/Diagnóstico e Proposta de intervenção

A elaboração de um *Levantamento/Diagnóstico* e de uma *Proposta de intervenção* faz-se necessária para a perfeita identificação do objeto a ser restaurado. Portanto, antes da

elaboração de um projeto de restauração, deve-se realizar um estudo criterioso e atento sobre a edificação, sob diversos pontos de vista.

- **Levantamento** — O Levantamento é necessário para apresentar as características físicas da edificação, consistindo da representação gráfica detalhada de todos os seus elementos. A importância desta etapa evidencia-se em virtude de seu significado como um conjunto básico de informações a respeito da edificação, permitindo análises de sua constituição, processos construtivos, partido de composição e proporções volumétricas. Além disso, esta etapa é responsável pela qualidade das etapas subsequentes, e indispensável às análises posteriores da edificação.
- **Diagnóstico** — O diagnóstico tem o objetivo de conhecer e analisar a edificação sob os aspectos históricos, estéticos, artísticos, formais e técnicos. Objetiva, também, compreender o seu significado atual e ao longo do tempo, conhecer a sua evolução e, principalmente, os valores pelos quais o bem foi reconhecido como patrimônio cultural. A maior abrangência de aspectos possibilita um profundo conhecimento do monumento, indispensável à proposição de soluções adequadas a cada caso.
- **Proposta de intervenção** — Baseado no levantamento elabora-se a Proposta de intervenção, que corresponde à segunda etapa do trabalho. Abrange o projeto executivo, instrumento a partir do qual são realizados os demais projetos complementares, a saber: estrutural, fundações, instalações elétricas internas e externas, instalações hidrossanitárias/drenagem, segurança eletrônica, prevenção e combate a incêndios e pânico, sistema de proteção contra descargas atmosféricas, sonorização, comunicação visual, urbanismo, paisagismo, entre outros.

5.1.3.1 Rápida análise histórico-documental

O bem cultural situado a Rua dos Timbiras, nº 1697, esquina com Rua Espírito Santo e Av. Álvares Cabral, recentemente denominada “Casa Amarela” — UMEI Timbiras, antiga residência do Desembargador Amadeu Alves da Silva (FIG. 18 a 21), localiza-se em uma área de transição entre o centro da cidade e a região da Praça da Liberdade, onde convivem edificações de diversos períodos históricos de BH. Encontra-se em uma área de sobreposição entre o conjunto urbano da Av. Álvares Cabral e o conjunto urbano da Rua da Bahia, conjuntos esses de grande importância no contexto histórico de BH.



FIGURA 18: “Casa Amarela” — UMEI Timbiras - Fachada Rua Timbiras.

Fonte: Fundação Municipal de Cultura de Belo Horizonte (FMC-BH) (autoria desconhecida, 1998).



FIGURA 19: “Casa Amarela” — UMEI Timbiras - Fachada lateral direita.

Fonte: FMC-BH (autoria desconhecida, 1998).



FIGURA 20: “Casa Amarela” — UMEI Timbiras - Alpendre.

Fonte: FMC-BH (autoria desconhecida, 1998).



FIGURA 21: “Casa Amarela” — UMEI Timbiras - Varanda lateral, alpendre e escada de acesso principal.

Fonte: FMC-BH (autoria desconhecida, 1998).

A edificação foi originalmente construída para abrigar a residência da família do Desembargador Amadeu Alves da Silva. Juntamente com outros bens culturais existentes nas imediações, é testemunha de um período de desenvolvimento urbano de BH, que tinha na área central residências de tradicionais e abastadas famílias.

O projeto arquitetônico do casarão é de autoria do arquiteto e desenhista carioca Edgard Nascentes Coelho e foi aprovado na PBH, em 6 de novembro de 1899. Edgard atuou como desenhista na Seção de Arquitetura da Comissão Construtora da Nova Capital, no período de 1894 a 1897. Posteriormente, projetou outras obras como: Igreja de Santa Efigênia (1900); Igreja do Sagrado Coração de Jesus; Santa Casa de Misericórdia (1900; demolida); Palácio das Exposições Permanentes (1900), cujo projeto inspirou o atual Colégio Arnaldo; a Capela Santa Cruz, localizada na Rua Maranhão (1914); coreto da Praça da Liberdade, juntamente

com Francisco Izidoro Monteiro (1904); prédio da União Brasileira de Tecidos, na Praça da Estação 104; dentre outros.

A “Casa Amarela” — UMEI Timbiras foi erguida em 1899, quando da construção de BH, que foi inaugurada em 1897. Possui características da primeira fase de ocupação da cidade, quando então prevalecia o estilo eclético, representando um belo exemplar da arquitetura residencial do início do século na capital. Nessa época, arquitetura passava a ser uma demonstração do poder de uma determinada classe social. Os elementos decorativos das fachadas eram utilizados para caracterizar a classe social dos proprietários.

A construção é em alvenaria de tijolos maciços e apresenta apenas um pavimento elevado, o que é típico das casas ecléticas da cidade. Consta de aproximadamente 300 m² de área construída. Toda a estrutura e decoração internas da casa demonstram as características do estilo e da época em que as famílias tradicionais mostravam a sua riqueza, como era costume na época, por meio da arquitetura.

Foram aprovadas e realizadas, em 1935, algumas modificações para a edificação: uma varanda e uma garagem. Francisco Farinelli, arquiteto e desenhista italiano que trabalhava na Diretoria de Obras Públicas de BH, assinou ambos os projetos.

O bem cultural em questão, que pertence ao Conjunto Urbano da Praça da Liberdade, Av. João Pinheiro e adjacências, foi tombado em 10 de novembro de 1994, sendo o tombamento foi ratificado em 19 de janeiro de 1995. O complexo arquitetônico da Praça da Liberdade foi iniciado na época da construção da fundação da nova capital (1895-1897) para abrigar a sede do poder mineiro. O Palácio do Governo e as primeiras Secretarias de Estado obedecem à tendência da época — estilo eclético com elementos neoclássicos, inspirados nas linhas básicas da arquitetura greco-romana e renascentista —, e apresentavam um vocabulário ornamental de nítida aparência afrancesada.

Na década de 1990, dois projetos propunham restaurar o imóvel, mas não foram executados. A partir de então, o imóvel foi abandonado, sendo a casa ocupada por menores carentes e moradores de rua. Em 11 de janeiro de 2000, a edificação pegou fogo. O incêndio destruiu parte do imóvel. As chamas consumiram o engradamento do telhado, tendo esse vindo abaixo, todo o assoalho de madeira e as janelas, ficando preservadas apenas as alvenarias.

Em 2007, quando foi solicitado o projeto arquitetônico ao NEPE-EI, o bem se apresentava em estado de deterioração, podendo-se observar fissuras, trincas, algumas perdas e até mesmo, em alguns pontos, era possível observar o crescimento aleatório de vegetação. Foi preciso solicitar o escoramento de alvenarias e peças do telhado para evitar um possível desmoronamento.

Em junho de 2008, a PBH fez um diagnóstico para obter dados mais recentes sobre o casarão. Nesse relatório, avaliou-se a situação em que o bem se encontrava, assim como as intervenções necessárias para a elaboração do projeto arquitetônico e restauração do imóvel.

É importante também ressaltar a importância de se preservar esse patrimônio cultural da cidade de BH, além de caracterizar o casarão e o contexto onde foi construído. A arquitetura vai além de fundações, paredes ou portas. A preservação desse imóvel serve de registro de uma época e mantém viva a história, a memória e a identidade do lugar em que está inserido.

A arquitetura institui o lugar do homem no mundo. É arte social. É usada e gera fatos urbanos. É um artefato cultural dinâmico, como a cidade (CARSALADE, 2011).

5.1.3.2 Análise estético crítica

5.1.3.2.1 Sistema construtivo

As paredes do imóvel da antiga residência do Desembargador possuem as seguintes características:

- alvenaria estrutural: tijolos de barro cozido maciço;
- argamassa de cal e areia, rebocadas e pintadas nas faces externas;
- paredes externas: maior espessura (um tijolo e meio ou mais);
- vergas de portas e janelas: blocos do mesmo tijolo assentados obliquamente em relação às fiadas (FIG. 22);
- paredes: pé-direito alto de aproximadamente 4,5 metros e coroadas pelo contra-frechal de madeira, constituinte do engradamento da cobertura (FIG. 23);
- paredes do porão: constituídas de pedra e “concreto ciclópico”, de maior espessura, visto que estas funcionam também como um muro de arrimo recebendo material aterrado, reboco e pintura no lado externo; apresentam frisos em baixo relevo na massa ao longo de sua extensão;

- alicerces: ocorrerem com maior espessura, a fim de se alcançar maior espessura e consequente inércia da parede;
- revestimentos externos: rebocos de cal e areia pintados na cor ocre;
- cimalthas, colunas, capitéis e demais ornatos: estucados e aplicados diretamente sobre a parede.



FIGURA 22: Vergas de portas e janelas.

Fonte: Rede Cidade (2008a). Autoria: Daniel Quintão.



FIGURA 23: Alvenarias internas — Pé direito: 4,50 m.

Fonte: Rede Cidade (2008a). Autoria: Daniel Quintão.



FIGURA 24: Alvenaria em tijolo cerâmico, cimalthas e demais ornatos.

Fonte: Rede Cidade (2008a). Autoria: Daniel Quintão.



FIGURA 25: Fachada voltada para Rua Espírito Santo.

Fonte: Rede Cidade (2008a). Autoria: Daniel Quintão.



FIGURA 26: Alvenaria sobre alicerces.

Fonte: Rede Cidade (2008a). Autoria: Daniel Quintão.



FIGURA 27: Fachada voltada para Av. Álvares Cabral, 2008.

Fonte: Rede Cidade (2008a). Autoria: Daniel Quintão.

5.1.3.2.2 Acabamentos internos e ornamentação

A pintura geral da edificação é constituída por tintas à base de cal, e as cores originais eram o rosa antigo para as molduras, balaustrada e paredes externas do porão (baldrame) e ocre para os panos de parede. As cores originais foram obtidas por meio de prospecção feita pelo IEPHA/MG, em 3 de agosto de 1998.

Modificações relativas à pintura ocorreram presumivelmente nos interiores e exteriores inúmeras vezes em diferentes épocas, conforme prospecção realizada pelo IEPHA/MG, revelando variadas camadas pictóricas das paredes, esquadrias, base e ornamentos da fachada conforme descrição assinada por Maria Caldeira.

TABELA 4: Prospecção de cores das fachadas, realizada em 3 de agosto de 1998.

Base	Parede	Molduras e balaustrada da varanda	Esquadrias em pinho de riga	Gradis metálicos	Detalhes da sacada em chumbo
1ª cor: rosa antigo (pigmentado) — base cal	1ª cor: ocre (pigmentado) — base cal	1ª cor: rosa antigo (pigmentado) — base cal	Massa de fundo preparador	Zarcão;	1ª cor: branco gelo — esmalte
2ª cor: ocre (pigmentado) — base cal	2ª cor: verde-água (pigmentado) — base cal	2ª cor: branco gelo — látex	1ª cor: marfim — esmalte	1ª cor: marfim — esmalte	2ª cor: cinza — esmalte
3ª cor: azul claro — látex	3ª cor: ocre — látex		2ª cor: cinza — esmalte	2ª cor: cinza — esmalte	3ª cor: branco gelo — esmalte
4ª cor: ocre - látex gelo — esmalte	3ª cor: branco gelo — esmalte		3ª cor: branco		

Fonte: Processo de tombamento referente à “Casa Amarela” (FMC-BH).

A sala apresentava tratamento diferenciado:

- as paredes possuíam pinturas decorativas com motivos florais e a base das paredes com pintura imitando madeira;
- sobre as portas havia óculos pintados retratando cenas e paisagens, conforme registro fotográfico datado de 6 de junho de 1999. Tal tratamento era correntemente empregado nos ambientes internos das edificações da época, firmando-se como característica peculiar do estilo desenvolvido no início da Nova Capital (REDE CIDADE, 2008a).

5.1.3.3 Análise estático construtiva

Situação do revestimento original — Estado de arte

Após o período de abandono pelo qual a edificação passou, a partir de janeiro de 2000, muitos elementos arquitetônicos foram roubados e diversos problemas surgiram em decorrência da exposição direta às intempéries (FIG. 28 a 31), a saber:

- os revestimentos internos desprenderam-se das paredes, expondo a alvenaria de tijolos diretamente à ação erosiva das águas pluviais;
- houve invasão de vegetação indesejável nas partes internas e externas do bem;
- o revestimento cerâmico despreendeu-se das paredes da cozinha e do banheiro;
- as paredes perderam material do alicerce devido à exposição direta à ação das águas pluviais;
- as fachadas adjacentes às vias públicas apresentam manchas de umidade, sujidades, partes faltantes, trincas estruturais e fissuras superficiais, descolamento da pintura;
- a fachada voltada ao pátio interno não apresenta o reboco, ou seja, a alvenaria encontra-se aparente.



FIGURA 28: Varanda lateral - casarão sem a cobertura, que foi queimada pelo incêndio.

Fonte: Rede Cidade (2008a). Autoria: Daniel Quintão.



FIGURA 29: Varandas frontal e lateral e escada de acesso Rua Timbiras.

Fonte: Rede Cidade (2008a). Autoria: Daniel Quintão.



FIGURA 30: Detalhe alvenaria sem reboco. O piso, em madeira, foi queimado pelo fogo em 2000.

Fonte: Rede Cidade (2008a). Autoria: Daniel Quintão.



FIGURA 31: Varanda lateral sem a cobertura.

Fonte: Rede Cidade (2008a). Autoria: Daniel Quintão.

Tendo em vista a situação em que o imóvel se apresentava, tornava-se imperativo a implementação de ações de recuperação emergenciais, a fim de estancar o processo de deterioração, sobretudo dos elementos que apresentavam alto risco de desabamento.

5.1.3.3.1 Alvenarias

Comparadas com as paredes externas, as paredes internas apresentavam-se em pior estado de conservação. Devido à destruição da cobertura, as paredes estavam diretamente expostas às intempéries desde janeiro de 2000, quando houve o incêndio.

Na maior parte das superfícies das paredes internas, a ação erosiva das águas pluviais causou o descolamento das camadas de reboco. Grande parte da parede entre o hall de entrada e a sala de jantar desmoronou, e a parte que restava apresentava risco de queda. A verga da porta da sala de jantar de acesso ao corredor ruiu e a alvenaria sobre a porção posterior apresentava risco de queda, o mesmo ocorrendo analogamente nos demais vãos de portas e janelas deste mesmo cômodo.

As paredes constituintes das fachadas adjacentes às vias públicas estavam em razoável estado de conservação, visto que apresentavam os elementos decorativos estucados, cimalthas, platibandas, coroamentos dos vãos, pilares e demais relevos, em grande parte, em bom estado de conservação. Na fachada voltada para a Av. Álvares Cabral observava-se parte da alvenaria quebrada na porção inferior das janelas de parapeito sacado devido à retirada dos balcões. Um dos pilares que sustentava a cobertura do alpendre foi demolido ou desmoronou, provavelmente em decorrência do incêndio do dia 11 de janeiro de 2000.

Constatou-se perda de material na base das paredes em decorrência da ação direta das águas pluviais e capilaridade ascendente, nos cômodos onde havia o piso em tabuado de madeira sobre barrotes. Os buracos onde os barrotes encaixavam encontravam-se vazios, comprometendo a estabilidade estrutural das alvenarias.

Quanto às portas e esquadrias, as janelas de parapeito sacado da fachada adjacente à Av. Álvares Cabral apresentavam os marcos e alguns dos elementos constituintes das folhas internas, mas estavam em péssimo estado de conservação. Apresentavam partes faltantes e as demais que permaneceram estavam queimadas e apodrecidas. A camada de pintura também havia se desprendido. Os marcos das portas e janelas da fachada voltada ao pátio interno estavam em péssimo estado de conservação, apresentando partes faltantes e/ou apodrecidas, queimadas e com o desprendimento de pintura.

5.1.3.3.2 Revestimentos e pintura

De um modo geral, os revestimentos internos encontravam-se em péssimo estado de conservação. A maior parte do reboco das superfícies desprendeu-se em decorrência da exposição direta às intempéries. Apesar disso, podiam-se perceber pequenas regiões com um tratamento especial na pintura, pela identificação das diferentes camadas pictóricas e tratamento decorativo em barrados. Na cozinha, o revestimento cerâmico apresentava partes faltantes, quebradas, preenchimento inadequado com argamassa de cimento branco e

sujidades, o mesmo acontecendo no banheiro, onde havia revestimento cerâmico na cor azul, certamente executado em época recente. Apesar da ação direta das intempéries, as fachadas adjacentes às vias públicas apresentavam as superfícies em razoável estado de conservação, notando-se, porém, manchas de umidade, sujidades, partes faltantes, trincas estruturais e fissuras superficiais e ainda descolamento da pintura em algumas regiões. Já a fachada voltada ao pátio interno não apresentava o reboco, ficando a alvenaria aparente.

5.1.3.3.3 Elementos decorativos



FIGURA 32: (A) detalhe da janela da fachada voltada para Rua Espírito Santo; (B) detalhe da janela da fachada da Av. Álvares Cabral, sem o parapeito sacado em ferro batido; (C) detalhe das janelas da fachada voltada para Av. Álvares Cabral, sem os parapeitos sacados; (D) detalhe da cimalha e adornos.

Fonte: Rede Cidade (2008a). Autoria: Daniel Quintão.

Os elementos decorativos (FIG. 32) apresentavam:

- manchas de sujidades e bolor;
- partes faltantes na balaustrada do alpendre e gradil;
- fissuras e trincas nas cimalthas, desprendimento das camadas de pintura;
- partes faltantes e quebradas na porção inferior das janelas de parapeito sacado sobre a fachada da Av. Álvares Cabral.

5.1.3.3.4 Agenciamento externo

As áreas externas também se encontravam em péssimo estado de conservação, invadidas, inclusive, por vegetação (FIG. 33), conforme indicado a seguir:

- muros de divisa: desprendimento da camada de reboco, manchas de bolor sobre a pintura e vegetação invasora;

- escada de acesso ao alpendre: pavimentação de ladrilhos hidráulicos em bom estado de conservação, porém sujos;
- corrimãos em madeira: apodrecidos e com desprendimento de pintura;
- balaustrada do alpendre: péssimo estado de conservação, tendo seus elementos constituintes partes faltantes, quebradas e/ou fissuradas e com desprendimento da camada de pintura.



FIGURA 33: Detalhe escada de acesso ao alpendre e varanda frontal.

Fonte: Rede Cidade (2008a). Autoria: Daniel Quintão.

5.1.4 Proposta de intervenção — Restauração da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras



FIGURA 34: Foto da maquete do Projeto arquitetônico de restauração da UMEI Timbiras.

Fonte: NEPE-EI/SUDECAP/PBH.

O projeto arquitetônico de restauração e intervenção proposto para a “Casa Amarela” — UMEI Timbiras objetivou a valorização do bem e a recuperação de suas características estilísticas que foram sendo parcialmente destruídas ao longo dos anos, principalmente após o incêndio ocorrido em 11 de janeiro de 2000 (FIG. 34 e 35). Pretendia-se garantir sua

identidade cultural, assim como adaptá-la ao novo uso proposto, aplicando-se nesse projeto os conceitos e princípios das teorias de restauração comentados no início deste trabalho.

O projeto arquitetônico de restauração foi aprovado pela FMC-BH, em 2009, e lá se encontra arquivado, juntamente com os dois volumes do Levantamento Cadastral/Diagnóstico e Projeto de Intervenção/Obra e todos os demais projetos complementares relativos à “Casa Amarela” — UMEI Timbiras. O projeto completo da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras, com todos os anexos e projetos complementares, estão sob a guarda do NEPE-EI/SUDECAP/PBH.



FIGURA 35: Foto da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras obtida através da abertura da escada do recreio coberto (bloco anexo), em dezembro de 2010.

Fonte: Acervo do autor.

5.1.5 Relevância da caracterização da argamassa antiga

Na recuperação e no restauro de edifícios antigos, além das técnicas de restauração, outro ponto muito importante a ser considerado é a análise dos materiais constituintes da argamassa de revestimento original, pois é de extrema valia quando da determinação da constituição e traço da argamassa de recuperação durante a obra.

Foi o que se constatou no segundo semestre de 2009, etapa da obra em que foi recuperado todo o revestimento das fachadas da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras. Nessa época, diante da impossibilidade financeira de serem realizadas as análises de caracterização da argamassa original, a empresa responsável pela obra, Construtora Belling, sob as orientações de técnicos da FMC-BH e dos arquitetos da empresa Rede Cidade e NEPE-EI/SUDECAP, utilizou-se de uma argamassa industrializada à base de silicato, específica para as recomposições de fachadas antigas.

Contudo, a arquiteta, autora dessa dissertação, achou por bem recolher algumas amostras do revestimento das fachadas da antiga construção, durante esse período da obra, e guardá-las para utilização em futuras análises laboratoriais, que pudessem vir a elucidar aspectos relevantes da sua constituição e sua caracterização. Desse grande interesse em conhecer os constituintes e o traço da argamassa original nasceu o tema dessa dissertação de mestrado.

O processo de caracterização de uma argamassa antiga é etapa fundamental em uma obra de restauro. É possível, por meio de uma investigação minuciosa da argamassa original, obter informações preciosas sobre sua constituição, que irão possibilitar a definição de parâmetros para a produção da argamassa de recuperação. Profissionais envolvidos em obras de restauração, preocupados com a qualidade das intervenções a serem executadas nas edificações, têm procurado utilizar todos os recursos científicos disponíveis que possam auxiliar na busca por informações sobre a argamassa original, com vista à tomada de decisões.

Isso pode ser conseguido utilizando-se técnicas laboratoriais variadas que possibilitam a identificação da composição da argamassa original, a partir da análise de amostras de reboco que puderem ser obtidas na obra de restauro da edificação antiga. Essas técnicas permitem caracterizar a argamassa, identificando sua composição química e mineralógica e servindo de embasamento na reedição do traço. Pode-se utilizar de recursos especializados como difração de raios-X, fluorescência de raios-X, microscopia eletrônica de varredura, análise termogravimétrica etc., e comprovar, por exemplo, se a argamassa analisada trata-se de uma argamassa à base de cal ou se em sua composição está presente o cimento Portland.

5.2 Métodos de investigação e análise microestrutural utilizados para caracterização da argamassa de revestimento antiga

O presente trabalho relata os instrumentos e os métodos laboratoriais utilizados para a caracterização da argamassa de revestimento original de uma edificação antiga. Foram utilizados como amostra nesse trabalho pedaços de reboco da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras.

Pretende-se avaliar aspectos microestruturais da argamassa antiga, identificar as principais fases cristalinas e elementos associados encontrados nessa amostra e confirmar se a composição química encontrada está de acordo com os resultados esperados, segundo os dados históricos levantados.

Para a caracterização da argamassa antiga, fez-se necessário a utilização de uma gama de técnicas instrumentais. Essas técnicas, na maioria das vezes, são complementares e por meio da análise dos diversos resultados obtidos em cada método, apresenta-se um resultado final.

5.2.1 Métodos utilizados

Para caracterização da argamassa antiga utilizaram-se os seguintes métodos e instrumentos:

a) Área superficial específica — Método Brunauer-Emmett-Teller (BET) por adsorção gasosa

Instrumento: Quantachrome, modelo Nova 1.000, com software versão 9.0.

A área superficial específica é a soma total da área superficial de um material particulado ou de um corpo de prova poroso, por unidade de massa, cujos fatores determinantes são:

- distribuição dos diâmetros das partículas;
- forma das partículas;
- porosidade;
- rugosidade.

Dividindo-se essa área superficial encontrada pela massa da amostra obtém-se a área superficial específica (BRANDÃO, 2010).

Determinação da área superficial específica da amostra pelo método de adsorção de nitrogênio — Método BET.

b) Porosimetria

Instrumento: Quantachrome, modelo Nova 1.000.

Determinação da porosidade da amostra pelo método de adsorção-condensação de nitrogênio - Método BET-BJH.

c) Espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX, variedade WDS ou *wavelength-dispersive X-ray spectrometry*)

Instrumento: Espectrômetro de fluorescência de raios-X sequencial, marca Philips (Panalytical), modelo PW 2400.

Faz-se com esse método uma análise química semiquantitativa ou quantitativa, determinando-se os elementos presentes na amostra e estimando-se suas concentrações. Determinam-se, também, os traços (elementos que representam menos que 1% da amostra) e os elementos ditos leves, isto é, até o limite do boro, com número atômico 5. Foi utilizada amostra pulverizada para preparar pastilhas prensadas e também pastilhas fundidas com tetraborato de lítio.

d) Difração de raios-X (DRX)

Instrumento: Difratorômetro de raios-X (DRX) para amostras em pó, marca Philips (Panalytical), sistema X'Pert-APD, controlador PW 3710/31, gerador PW 1830/40, goniômetro PW 3020/00.

Faz-se com esse método uma análise qualitativa de fases cristalinas da amostra e indica-se a presença ou ausência de fase amorfa. A difração de raios-X é a técnica mais utilizada para identificar as fases mineralógicas que constituem uma amostra, ou seja, as espécies cristalinas, os minerais presentes na amostra. Além da identificação, é possível uma análise semiquantitativa dos minerais (GOMES, 1984). A análise semiquantitativa por difração de raios-X é a base inicial do cálculo mineralógico da amostra (HOLLER; SKOOG; CROUCH, 2009). Para a análise de DRX, a amostra foi triturada até a obtenção de um pó fino e homogêneo.

e) Espectrometria de infravermelho (IV)

Instrumento: espectrômetro FTIR Shimadzu modelo IRAffinity-1.

Investiga-se a composição da amostra quanto à presença de compostos orgânicos e inorgânicos. A espectrometria de infravermelho (EIV) aplica-se à análise de amostras gasosas, líquidas e sólidas (cristalinas e amorfas). Foi utilizada amostra pulverizada, com pastilha de KBr. É aplicável tanto a estudos qualitativos como quantitativos. O espectro infravermelho é um gráfico cartesiano onde a ordenada é a absorção de energia — T ou A, e a abscissa é a frequência — número de onda em cm^{-1} . Mais raramente, também se usa o comprimento de onda em (l) μm .

f) Análise termogravimétrica (TG)

Instrumento: Shimadzu modelo TGA-50.

Obtêm-se informações quanto ao desempenho térmico das fases inorgânicas e ou orgânicas que compõem a amostra. É um método extremamente importante para o estudo de fases que sofrem decomposição térmica. O método de maior importância quanto à identificação de fases é a **termogravimetria** (TG ou TGA ou *ATG* em inglês), que quantifica qualquer reação que implique uma perda de massa (desidratação, desidroxilação, descarbonatação) ou um ganho de massa (mais raramente), ocorrida em determinados intervalos de temperatura, o que caracteriza a presença de um determinado composto (BRANDÃO, 2010). É uma análise que é geralmente quantitativa. Foi utilizada amostra pulverizada.

g) Microscopia óptica — Lupa estereoscópica

O microscópio estereoscópico, ou lupa estereoscópica, é um instrumento relativamente simples, que é usado para a observação de amostras tridimensionais, com relevo maior ou menor. Caracteriza-se por ter caminhos ópticos totalmente independentes, para os olhos esquerdo e direito do observador; assim, a estereoscopia ou natureza tridimensional original da amostra sob observação é preservada na imagem gerada. As lupas estereoscópicas tipicamente mostram elevadas profundidades de foco e, ao contrário, uma faixa de aumentos menor, geralmente entre 2x a 30x, sendo a faixa de uso mais frequente de 2x a 12x.

h) Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com microanalisador EDS

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) é utilizado para formar imagens, sendo de dois tipos: imagem de elétrons secundários e imagem de elétrons retroespalhados. Anexo ao MEV, em geral, utiliza-se um espectrômetro de raios-X dispersivo em energia (EDS), com o qual se podem realizar análises químicas na escala microestrutural, em pontos e microrregiões da amostra. Utilizam-se secções polidas e fraturas de amostras.

De acordo com Padilha e Ambrosio Filho²¹ (1985 *apud* CARVALHO JÚNIOR, 2005), a elevada profundidade de foco (imagem com aparência tridimensional) e a possibilidade de combinar a análise microestrutural (física) com a microanálise (química) são fatores que tem contribuído para o grande uso desta técnica. Com o uso adequado de padrões, presta-se a análises semiquantitativas e mesmo quantitativas, com boa estatística de precisão e exatidão.

Quanto à preparação da amostra, o polimento é a operação mais delicada de todo o processo, uma vez que as secções devem apresentar superfície destituída de relevo (GOMES, 1984). Para estudo de amostras não condutoras no MEV, é necessário o recobrimento da superfície por uma película condutora, que pode ser de carbono ou metal, em geral, ouro.

5.2.2 Origem, descrição e preparo das amostras

a) Coleta das amostras

As amostras foram coletadas na obra da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras pela arquiteta autora dessa dissertação, quando da recuperação das fachadas e são oriundas de trechos das fachadas voltadas para as ruas Espírito Santo e Timbiras e Av. Álvares Cabral. Durante a reforma, para remoção dos restos de janelas existentes e posterior substituição por novas janelas, foi necessário retirar parte do reboco existente junto aos marcos. Pedacos desses rebocos foram recolhidos do chão, aleatoriamente. Foram colhidas 12 amostras.

Trata-se de pedaços de reboco que, pela data da construção do imóvel, supõe-se que não apresentem cimento na sua composição. Para comprovar tal suposição foram realizadas as análises discriminadas a seguir.

²¹ PADILHA, A. F.; AMBRÓZIO FILHO, F. **Técnicas de Análise Microestrutural**. São Paulo: Hemus, 1985.

b) Descrição macroscópica das amostras

As amostras apresentam as seguintes características:

- **Forma:** contornos irregulares, com forma achatada, com alguns lados planos, ou seja, aqueles que ficavam voltados para a área externa da alvenaria.
- **Tamanho:** medidas em torno 15 cm x 8 cm x 5 cm.
- **Peso:** variando de 200 g a 815 g.
- **Textura:** áspera e heterogênea, com grãos que se soltam ao toque, além do desprendimento de um pó fino. As faces planas (áreas externas do reboco, voltadas para o exterior) apresentam textura mais lisa, sem desprendimento de grãos e com pouco desprendimento de pó, além de camadas finas superpostas de pinturas de acabamento.
- **Cor:** as faces planas apresentam restos de pintura, prevalecendo a cor amarela. As faces irregulares, quebradas com martetele para desprendimento da alvenaria, apresentam coloração, predominantemente, na cor bege, com manchas amarronzadas, alaranjadas e acinzentadas. Aparecem, também, pontos pretos, brancos, marrons, cristais de cores variadas e alguns pontos que brilham quando submetidos a um feixe de luz.
- **Cheiro:** a amostra, após submersão em água, desprende um cheiro típico de terra molhada.
- **Porosidade:** as amostras apresentam numerosos poros visíveis, com diâmetros variados.

c) Preparação das amostras

Descrição do processo de moagem, homogeneização, quartejamento pesagem, pulverização, armazenamento e destino das amostras:

No laboratório de tratamento de minérios, do Departamento de Engenharia de Minas, processaram-se duas amostras do reboco de aproximadamente 230 g. As amostras foram colocadas no triturador (britador de mandíbula), com largura de 10 mm. Após a trituração, os fragmentos foram reunidos e os pesados, obtendo-se 223,37 g.



FIGURA 36: Tritador (britador de mandíbula).

Fonte: Acervo do autor.



FIGURA 37: Tritador (britador de mandíbula) - Detalhe.

Fonte: Acervo do autor.

Os fragmentos foram colocados sobre uma bancada e, depois de misturá-los bem para homogeneizar-se todo o conteúdo, fez-se um monte em forma de cone, para que o material fosse quarteado em alíquotas, para caracterização física e mineralógica e arquivamento.



FIGURA 38: Quarteador metálico.

Fonte: Acervo do autor.



FIGURA 39: Recolhimento das porções com pincel e espátula.

Fonte: Acervo do autor.

Utilizando-se um quarteador metálico, o monte de fragmentos foi dividido em quatro porções. Cada porção foi pesada, separada em saco plástico e identificada, tendo-se o cuidado de tarar a balança antes da pesagem e descontar o peso do saco plástico.

O conteúdo destas quatro porções teve a seguinte destinação: a primeira e a segunda ($1/4 + 1/4$), pesando 113,52 g, foram reservadas para os ensaios; a terceira porção ($1/4$), pesando 55,77 g, foi reservada para ser pulverizada e utilizada nos seguintes ensaios: difração de raios-X, espectrometria de fluorescência de raios-X, espectrometria de infravermelho, análises térmicas e químicas; a quarta porção ($1/4$), pesando 55,33 g, foi reservada para

arquivo (FIG. 40). A diferença entre o peso inicial (223,37 g) e o da somatória das partes, que totalizou 224,62 g, foi atribuída a alguma contaminação dos pincéis utilizados, dos pesos dos sacos plásticos ou erro de pesagem.



FIGURA 40: (A) balança para pesagem das porções; (B) ensacamento das porções; (C) identificação das porções.

Fonte: Acervo do autor.

Para pulverização da terceira porção (55,77 g), utilizou-se um moinho de panela que foi devidamente limpo. O material foi pulverizado por aproximadamente um minuto. Após esse tempo, abriu-se o moinho e retirou-se o conteúdo com a ajuda de um pincel (FIG. 41 e 42).



FIGURA 41: (A) limpeza do moinho de panela; (B) detalhe externo do moinho de panela; (C) detalhe interno do moinho de panela, com amostra pulverizada.

Fonte: Acervo do autor.



FIGURA 42: (A) remoção do material do moinho com pincel; (B) pesagem e (C) ensacamento do material pulverizado; (D) registro do peso das amostras.

Fonte: Acervo do autor.

O conteúdo pulverizado foi dividido em três porções, colocadas em três saquinhos para pesagem, obtendo-se o seguinte peso em cada amostra: a amostra 1 — pesou 18,39 g; a amostra 2 — pesou 18,69 g; a amostra — 3 pesou 17,85 g, totalizando-se 54,93 g (houve perda de material durante o processo, provavelmente devido à retenção de pó nas paredes do moinho ou no pincel utilizado).

d) Recobrimento com fina camada de carbono para uso no MEV



FIGURA 43: Amostras sendo preparadas para recobrimento com película condutora.

Fonte: Acervo do autor.



FIGURA 44: Instrumento: Coater tipo Spi-Module Carbon Coater.

Fonte: Acervo do autor.



FIGURA 45: Aparelho SPUTTER, utilizado para recobrimento da amostra.

Fonte: Acervo do autor.

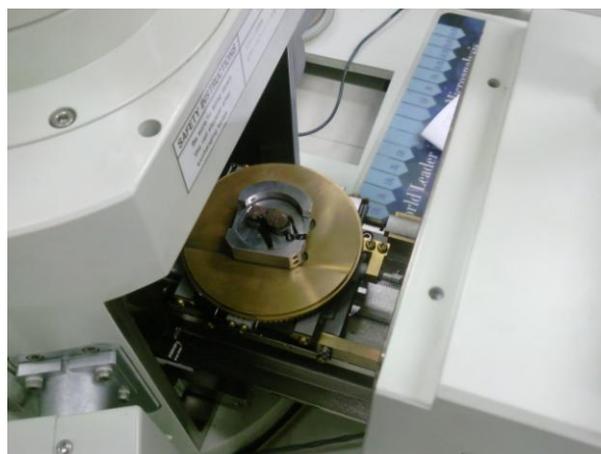


FIGURA 46: Amostra sendo colocada no compartimento porta-amostra do MEV.

Fonte: Acervo do autor.

Escolheu-se uma amostra com superfície mais plana. A amostra foi colada em uma base de latão com uma fita condutora de carbono dupla face. Para tornar a amostra condutora, foi

realizado o recobrimento da superfície com carbono, utilizando-se o equipamento Sputter Coater tipo Spi-Module Carbon Coater. Para a fixação no porta-amostra do MEV-EDS e melhor contato da amostra, utilizaram-se tiras de fita de carbono. Após o recobrimento a amostra foi colocada no porta-amostra do MEV para análise, onde foram gerados os gráficos apresentados no item resultados.

e) Amostras polidas

Para tornar a superfície da amostra de argamassa antiga o mais linear possível, foi realizado o embutimento a vácuo de dois de seus fragmentos, em resina epóxi, dentro de duas formas de silicone redonda. Depois do endurecimento da resina, o que leva aproximadamente 24 horas, amostra foi cortada com uma serra de diamante de baixa velocidade, para a obtenção de uma superfície plana.

Em seguida, as duas amostras foram lixadas, em duas etapas, com um aparelho Minimet 1000 (Politriz) *Polisher/Grinder*, para preparo de amostra metalográfica, marca Bueher.

Na primeira etapa (lixamento), utilizou-se papel de lixa de 240 mesh, por cinco a 10 minutos, com uma força de 2 Newtons. Em seguida, tal operação foi repetida, substituindo-se a lixa anterior de 240 mesh pela de 400 mesh, depois pela de 600 mesh, finalizando a operação com a lixa de 1.000 mesh.

Na segunda etapa (polimento), utilizou-se tecido e pasta de diamante de 9 μm , por 15 a 20 minutos, com força de 10 Newtons. Em seguida, repetiu-se essa mesma operação, substituindo-se a pasta de diamante anterior de 9 μm , por outra de 6 μm , depois por uma de 3 μm , depois pela de 1 μm , finalizando com tecido aveludado e força zero.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Área superficial específica

Determinou-se a área superficial específica da argamassa antiga pelo método BET, usando-se nitrogênio como adsorvato. O valor determinado foi de 2,5 m²/g, que é relativamente baixo. Este valor colabora para eliminar a possibilidade de presença de argila na amostra, o que implicaria em valores bem mais altos. Contudo, este valor é consistente com a presença de areia fina e de carbonato de cálcio secundário, conforme se verá adiante, pelos resultados de outros métodos.

6.2 Porosimetria

A curva isoterma mostrou uma pequena histerese, portanto, existe uma baixa presença de poros, com um volume de apenas 0,010 cm³/g, abaixo do diâmetro máximo de 84,6 nm. Os dados do modelamento de Barrett-Joyner-Halenda (BJH) mostraram que estes poros estão na faixa inferior dos mesoporos, pois o diâmetro mínimo foi de 3,2 nm e o diâmetro médio foi 3,6 nm. De qualquer maneira, a porosidade determinada pelo método de adsorção-condensação de nitrogênio foi pequena (FIG. 47).

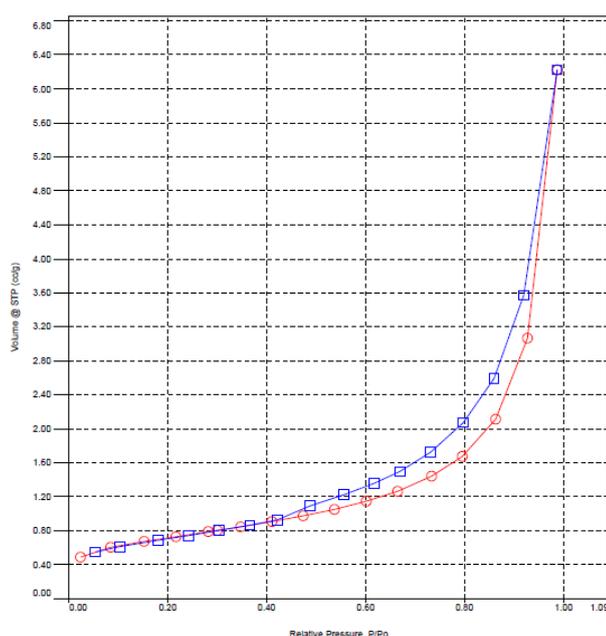


FIGURA 47: Isoterma pelo método BET.

6.3 Análise química

Instrumento: Espectrômetro de fluorescência de raios-X sequencial, marca Philips (Panalytical), modelo PW 2400.

TABELA 5: Composição química global da argamassa antiga (% em massa).

Umid.	PF	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	Soma
0,19	8,14	74,00	3,27	3,77	8,50	0,65	0,97	0,08	0,06	0,10	0,23	0,04	100,00

Legenda: Umid. = umidade; PF = perda ao fogo ou perda por calcinação.

Métodos analíticos: os elementos químicos foram determinados por espectrometria de fluorescência de raios-X; a umidade e a perda ao fogo foram analisadas por gravimetria (TAB. 5).

Discussão: o principal componente químico é a sílica (SiO₂), o que é consistente com a grande quantidade do mineral quartzo, componente majoritário da areia usada na argamassa. Outro silicato, como o feldspato microclina também contribui para o conteúdo de sílica; este mineral, mais parte do quartzo, provêm da areia com contaminação gnáissica usada.

O segundo componente é o CaO, presente na amostra como calcita (CaCO₃). O valor da perda ao fogo também é consistente com a presença de calcita, pois este mineral sozinho apresenta 43,97% de PF. Desta forma, a calcita é a principal responsável pela PF da amostra; este fato é consistente com os resultados de difração de raios-X e da termogravimetria. O teor baixo de MgO está relacionado à impureza da cal.

Os óxidos de ferro associam-se aos minerais de ferro, presentes na areia, assim como outros elementos minoritários e baixos como TiO₂ e MnO. Os outros elementos, Al₂O₃, K₂O, e Na₂O, além de parte da sílica, compõem o feldspato microclina.

6.4 Difração de raios-X

Instrumento: difratômetro de raios-X (DRX) para amostras em pó, marca Philips (Panalytical), sistema X'Pert-APD, controlador PW 3710/31, gerador PW 1830/40, goniômetro PW 3020/00.

O método permitiu a identificação das seguintes fases na amostra:

- quartzo: SiO_2 ;
- calcita: CaCO_3 , provavelmente proveniente da carbonatação da cal;
- microclina (feldspato): KAlSi_3O_8 .

O difratograma é apresentado na Figura 48.

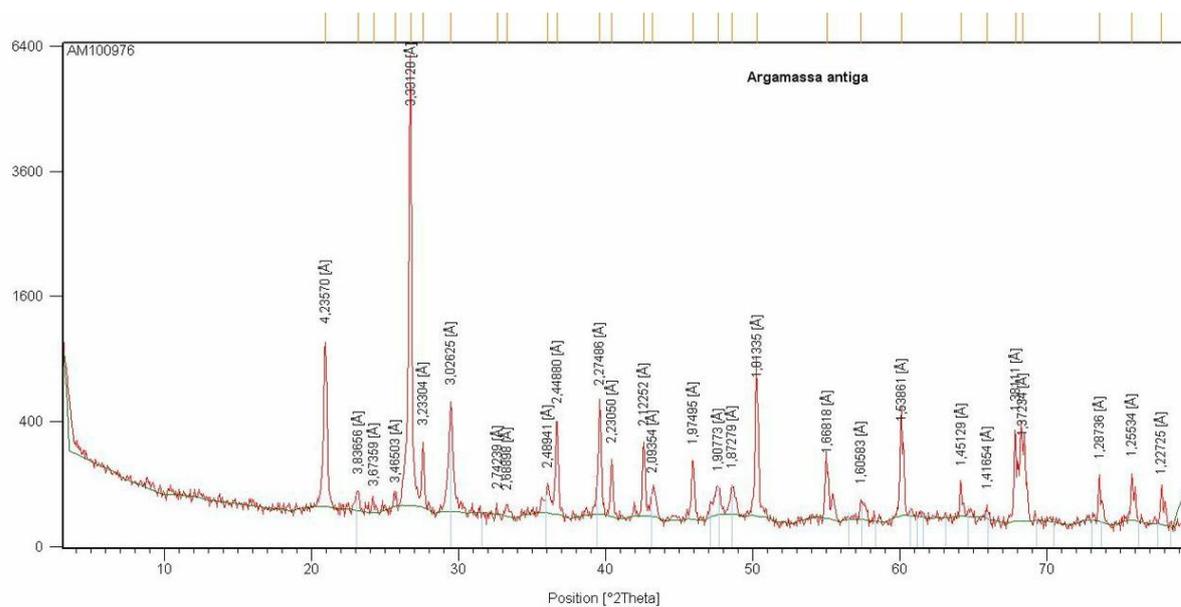


FIGURA 48: Difratograma de raios-X.

6.5 Espectrometria de infravermelho

Instrumento: espectrômetro FTIR Shimadzu modelo IRAffinity-1.

As amostras foram analisadas por espectrometria no infravermelho com transformada de Fourier (*Fourier transform infrared spectrometry* — FTIR).

O espectro de infravermelho é apresentado na Figura 49.

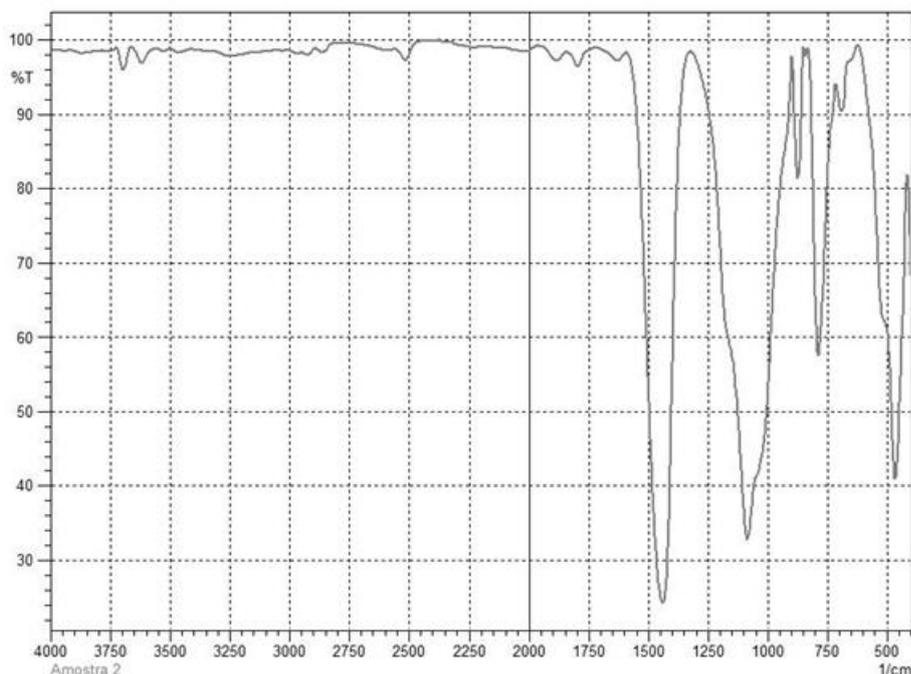


FIGURA 49: Espectro de infravermelho — amostra de argamassa antiga. Método de transmissão, com pastilha de KBr.

Fases identificadas: quartzo, calcita e traços de caulinita (FIG. 49).

Outra informação importante no espectro de infravermelho é que não foram detectadas raias indicativas de compostos orgânicos, ressaltando-se que a EIV é muito sensível à presença dos orgânicos. Assim, isto é forte evidência da ausência de compostos orgânicos na amostra de argamassa.

6.6 *Análise termogravimétrica (TGA)*

Este método é muito importante para o estudo de fases que sofrem decomposição térmica, como muitos minerais e fases inorgânicas, assim como de pirólise dos polímeros orgânicos. Assim, foi utilizado para verificar se na amostra da argamassa antiga havia a presença de material orgânico, além de minerais com perda de massa, devido à elevação da temperatura.

Trata-se de um método quantitativo, onde é possível avaliar indiretamente as fases hidratadas ou carbonatadas desenvolvidas na argamassa, ao longo do tempo.

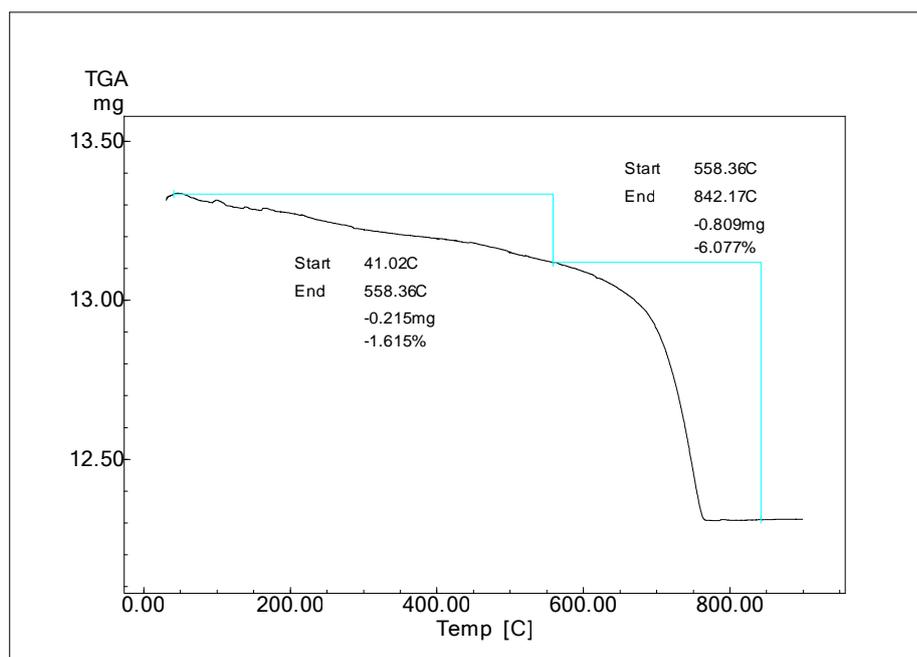


FIGURA 50: Termogravimetria (TGA) da argamassa, com as perdas de massa indicadas.

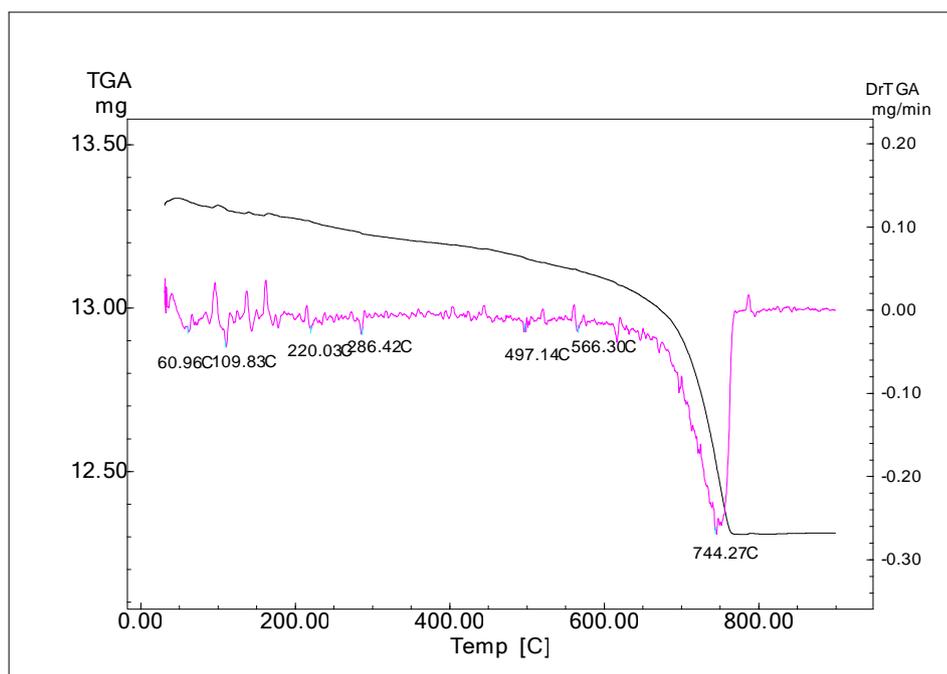


FIGURA 51: Termogravimetria diferencial (DTG) da argamassa.

Pela Figura 50, verifica-se que houve uma perda de massa total de 7,7%, entre a temperatura ambiente e a temperatura máxima de 900°C.

Pode-se dividir esta em duas partes ou regimes:

- a) uma perda suave de 1,6% entre a temperatura ambiente e 558°C, correspondente à saída de água de umidade e de água adsorvida;
- b) uma perda acentuada de 6,1% entre 558°C e 842°C, com um pico de saída de massa em 744°C (FIG. 51); esta perda corresponde à decomposição da calcita (CaCO_3), com a emissão de CO_2 (pirólise). Neste caso, esta perda se deu numa faixa de temperatura menor do que a da calcita natural, dos calcários e mármore, que mostra este pico numa temperatura mais alta (BRANDÃO, 2010). Isto é evidência de que a calcita presente na amostra não é natural, mas sim gerada pela carbonatação da cal hidratada, que estava presente na argamassa fresca.

Os dados da termogravimetria estão consistentes com os valores de perda ao fogo e umidade determinados na análise química quantitativa (TAB. 5).

6.7 Descrição microestrutural

Os estudos microestruturais foram efetuados principalmente por microscopia eletrônica de varredura com amplo apoio de microanálises por EDS (MEV-EDS), mas com uso importante do microscópio óptico estereoscópico.

6.7.1 Observações em lupa estereoscópica

Instrumento: microscópio óptico estereoscópico (lupa), marca Leitz/Leica, modelo MZ6, com câmera digital, marca Canon, modelo PowerShot S80.

Secções polidas da argamassa foram preparadas e observadas na lupa estereoscópica. Também se observaram fragmentos tridimensionais da amostra. As Figuras 52, 53 e 54 ilustram os principais aspectos microestruturais. A iluminação foi de luz refletida difusa.



FIGURA 52: Fragmento tridimensional da argamassa. Escala em milímetros.

Na Figura 52, observam-se regiões brancas e partículas escuras de areia, ambas envoltas por uma matriz de cor creme amarronzada.

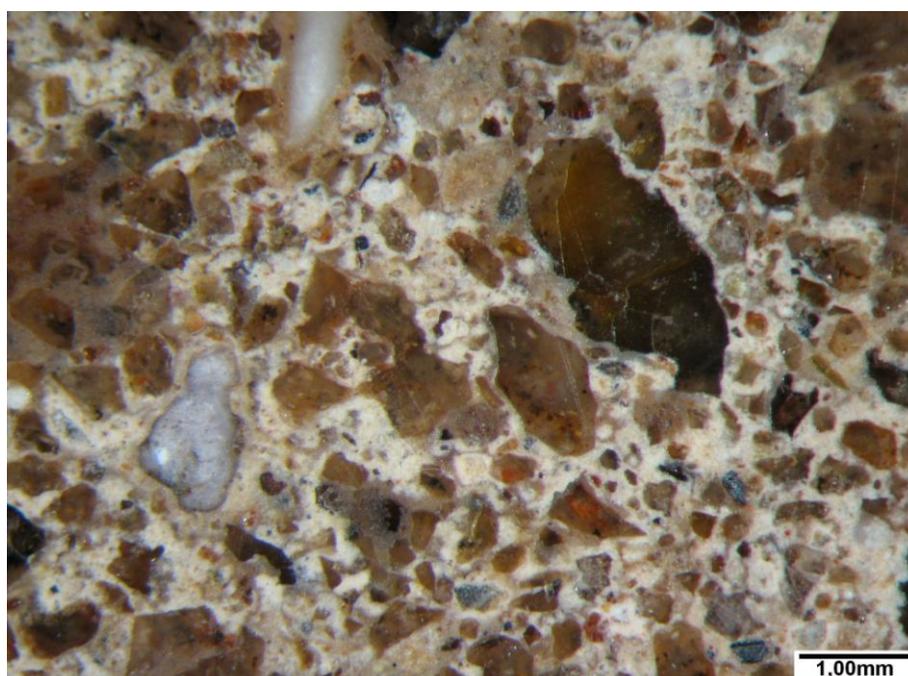


FIGURA 53: Lupa estereoscópica, seção polida 1.

Na Figura 53, observam-se partículas muito angulosas, em geral quartzosas (cor marrom, às vezes mais escura). As áreas isoladas mais claras são compostas de calcita. A matriz clara é composta de uma mistura fina de quartzo e calcita.

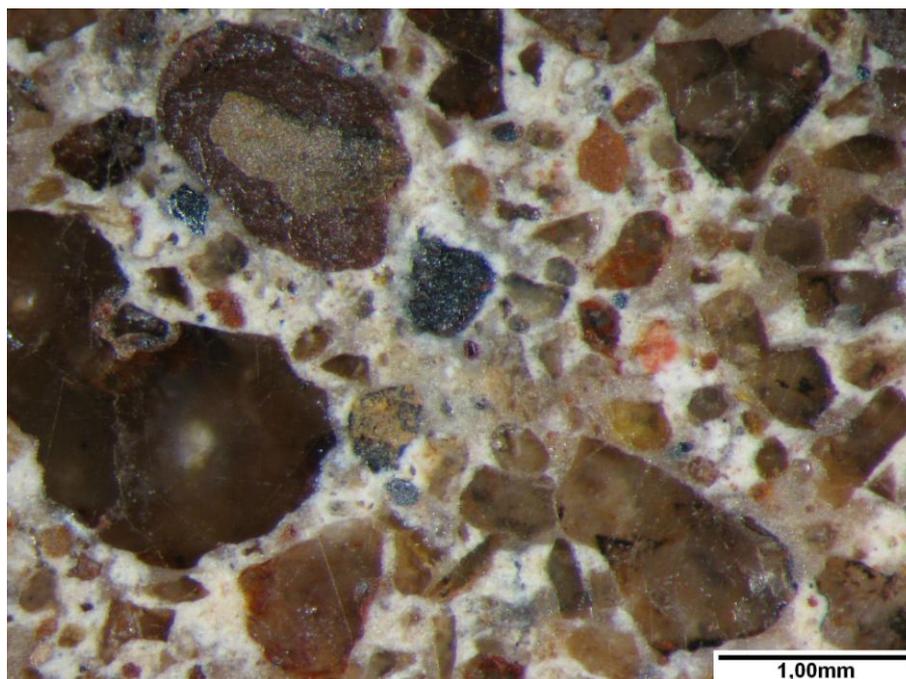


FIGURA 54: Lupa estereoscópica, secção polida 2.

Na Figura 54, observam-se partículas muito angulosas usualmente, em geral quartzosas (cor marrom, às vezes mais escura). Na parte superior esquerda, há uma partícula arredondada. As partículas mais escuras são compostas de minerais de ferro (hematita). A matriz clara é composta de uma mistura fina de quartzo e calcita.

As fotos da lupa estereoscópica mostram que a argamassa é composta por dois domínios distintos (FIG. 52):

- a) Partículas relativamente grossas, na faixa de 0,2 a 1,5 mm, que são marcadamente angulosas (FIG. 53 e 54), sendo as partículas arredondadas nitidamente minoritárias (FIG. 54);
- b) uma matriz contínua, com poucos detalhes visíveis na faixa de aumento da lupa, com tonalidade clara, quase branca (FIG. 53 e 54), mas também às vezes com cor creme amarronzada (FIG. 52).

6.7.2 Microscópio eletrônico de varredura (MEV) com microanalisador EDS

- **Instrumento 1:** Microscópio eletrônico de varredura (MEV), marca JEOL JSM-5410, com o microanalisador de espectrometria de raios-X dispersivo em energia (EDS), marca Noran, modelo TN-M3055;

- **Instrumento 2:** Microscópio eletrônico de varredura (MEV), marca FEI, modelo Inspect S50 e microanalisador de espectrometria de raios-X dispersivo em energia (EDS), marca EDAX, modelo Genesis.

Na análise microestrutural da amostra de argamassa foram usadas fraturas e secções polidas; em ambos os casos, usou-se metalização com uma camada muito fina de ouro.

As microanálises mostradas abaixo das fotos confirmam a identificação dos minerais e fases presentes, já antecipadas pelas análises de DRX, química global, por espectrometria de infravermelho e termogravimetria. Nas microanálises EDS, o elemento carbono é identificado nos espectros, mas não é quantificado na análise sem padrão (*standardless*); por isto, este elemento é citado nas tabelas de microanálise por letras que são estimativas de sua quantidade: A = abundante; M = medianamente abundante; B = baixo; N = nulo, não identificado.

Pelos estudos microestruturais e microquímicos, verifica-se que a argamassa está composta por uma areia grossa, cuja composição é majoritariamente quartzosa, isto é, composta por partículas compostas de sílica alta. Esta areia grossa tem também uma contribuição de partículas de origem gnáissica, o que é comprovado pela presença de grãos de microclina (feldspato) e vestígios de caulinição. Também se observaram partículas de minerais de ferro, com presença de hematita, goethita e impurezas comumente associadas a estes minerais como compostos de manganês e titânio.

Um aspecto notável na microestrutura é a morfologia das partículas grossas, que são altamente angulosas (FIG. 55, 56 e 57), sendo as partículas arredondadas nitidamente minoritárias (FIG. 55). Isto é evidência de que a areia proveio de um depósito eluvial (vulgarmente chamado de “areia de barranco”) e não de um depósito aluvial (denominado informalmente de “areia de várzea”).

A matriz fina, responsável pela adesão (liga) do conjunto, é atualmente formada por uma mistura íntima de calcita e quartzo (FIG. 56 e 58). A presença da calcita, restrita à matriz (ausente nas partículas grossas) explica a cor mais clara, mesmo localmente branca, da matriz (FIG. 52, 53 e 54). No passado, na ocasião da aplicação da argamassa fresca, esta matriz foi composta por uma mistura íntima de cal apagada (hidróxido de cálcio) e areia quartzosa fina que foi a responsável pela pega do material. Com o passar dos anos, a cal hidratada (Ca(OH)_2) transformou-se totalmente em calcita (fenômeno da carbonatação, por reação com o CO_2

atmosférico). Esta conclusão é reforçada pela ausência de cimento Portland e materiais pozolânicos na argamassa. O tamanho das partículas e cristalitas da matriz é realmente muito pequeno, variando de 3 μm a 15 μm (FIG. 56 e 58).

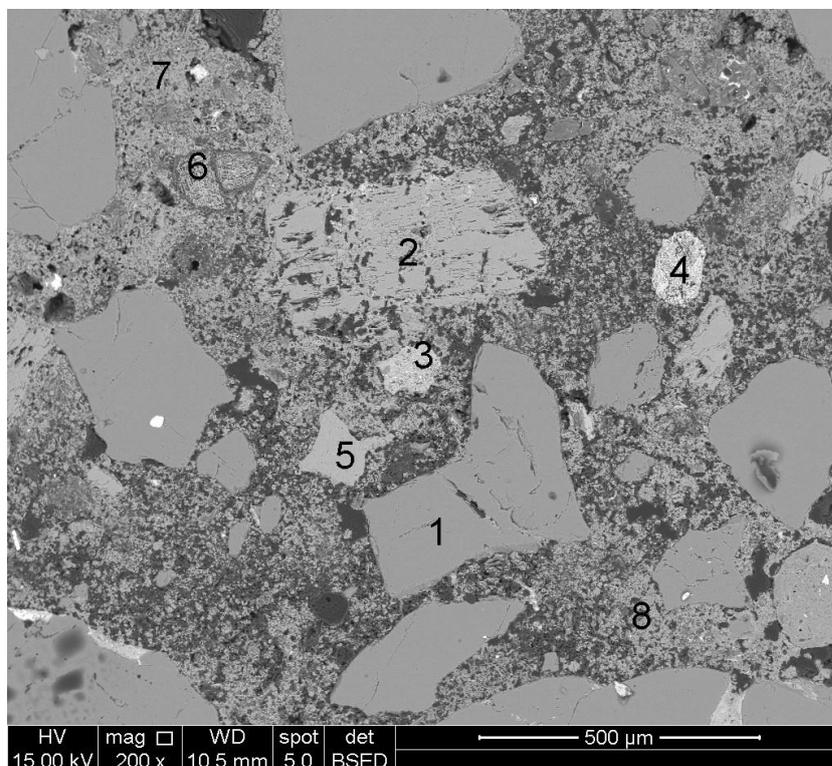


FIGURA 55: Microestrutura geral da argamassa. MEV, imagem de elétrons retroespalhados (IER). Seção polida.

Quase todas as partículas da areia são de quartzo, isto é, silicosas (por exemplo, a de nº 1) (FIG. 55). Microanálises das várias feições relativas à Figura 55 são mostradas na Tabela 6.

TABELA 6: Microanálises referentes aos pontos marcados na Figura 55.

Área	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	CO ₂	Mineral
1	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	N	Quartzo
2	49,7	27,8	0,0	0,0	0,0	21,2	1,3	0,0	N	Microclina
3	23,4	24,2	39,2	0,5	9,9	1,7	0,0	1,0	M	Impureza com cal
4	2,8	2,9	24,4	0,0	12,4	0,0	0,0	57,5	M	Impureza com cal
5	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	A	Calcita
6	41,9	25,5	3,0	2,1	19,1	5,4	0,7	0,0	M	Impureza com cal
7	14,5	6,3	0,0	0,0	77,6	1,7	0,0	0,0	A	Calcita, quartzo, microclina
8	7,6	5,2	0,0	0,0	86,3	0,0	0,0	0,0	A	Calcita, quartzo

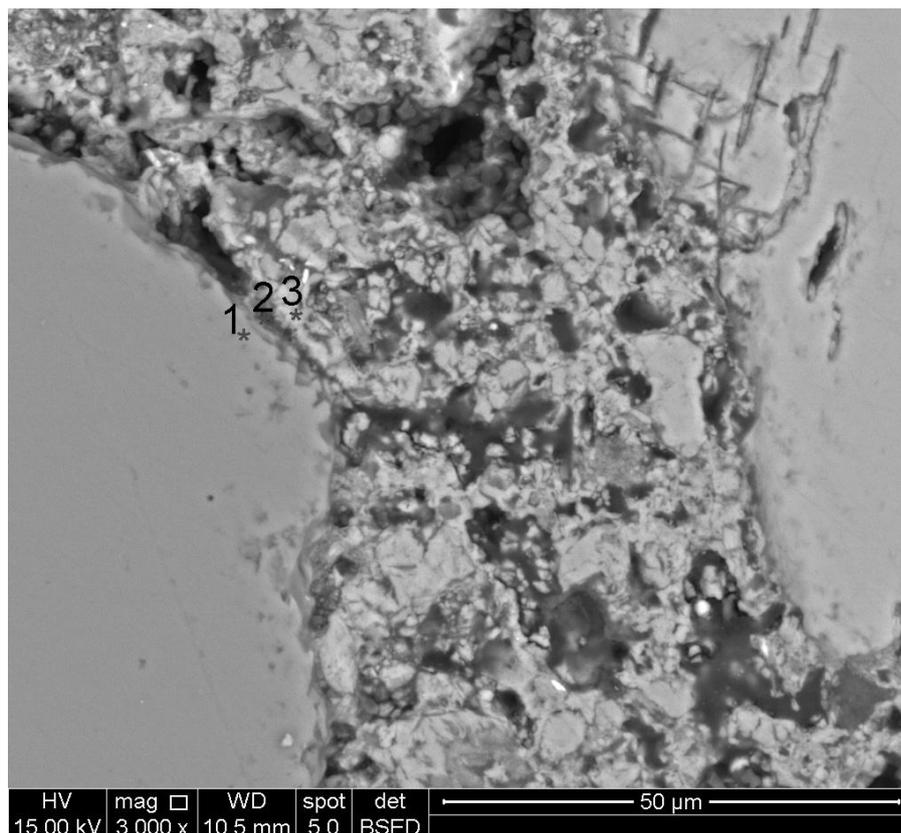


FIGURA 56: Microestrutura de detalhe da argamassa, focando no contato entre partículas de areia grossa e a matriz fina. MEV, imagem de elétrons retroespalhados (IER). Seção polida.

A Figura 56 mostra a microestrutura de detalhe da argamassa, focando no contato entre partículas de areia grossa e a matriz fina. Esta é formada por uma mistura íntima de quartzo (areia fina) e calcita (anteriormente cal). Microanálises das várias feições relativas à Figura 56 são mostradas na Tabela 7 a seguir.

TABELA 7: Microanálises referentes aos pontos marcados na Figura 56.

Área	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	CO ₂	Mineral
1	97,9	0,8	0,4	0,0	0,5	0,4	0,0	0,0	N	Quartzo
2	47,0	17,1	6,8	0,0	25,9	3,3	0,0	0,0	M	Quartzo, microclina, calcita
3	7,5	3,3	1,0	0,0	87,3	1,0	0,0	0,0	A	Calcita, quartzo

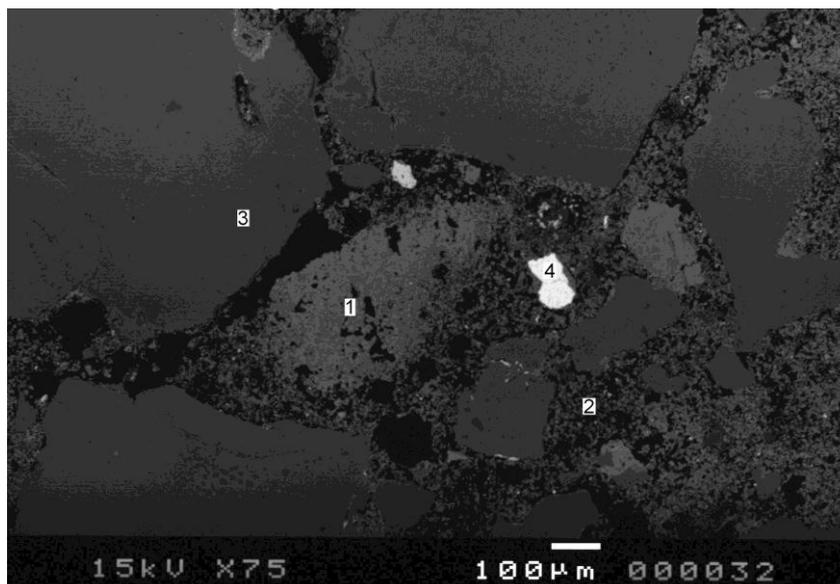


FIGURA 57: Microestrutura da argamassa mostrando grandes partículas de areia quartzosa grossa e a matriz fina. MEV, imagem de elétrons retroespalhados (IER). Secção polida.

A região 1 da matriz (FIG. 57) tem uma concentração maior de calcita (anteriormente cal); a região 2 é mais típica da matriz, composta de mistura de calcita e quartzo. Microanálises das várias feições relativas à Figura 57 são mostradas na Tabela 8 a seguir.

TABELA 8: Microanálises referentes aos pontos marcados na Figura 57.

Área	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	CO ₂	Mineral
1	6,3	1,3	0,0	0,0	92,4	0,0	0,0	0,0	A	Calcita, quartzo
2	8,8	3,2	1,4	0,7	85,9	0,0	0,0	0,0	M	Calcita, quartzo
3	100,0								N	Quartzo
4	0,4	0,0	99,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	N	Hematita

Tanto nas partículas grossas como na matriz fina, o grau de heterogeneidade é bem elevado (FIG. 57) e a presença de impurezas minerais é frequente. As Figuras 55 e 57 ilustram esses aspectos, evidenciados pelas microanálises, indicando a ocorrência de impurezas ricas em ferro, com fases mais raras ricas em titânio, fragmentos de origem gnáissica e áreas mais ricas em cálcio.

Na sua condição atual, a argamassa mostrava-se bastante friável, com fragmentos se destacando com pouco esforço e mostrando regiões porosas; isto está bem evidenciado na Figura 59.

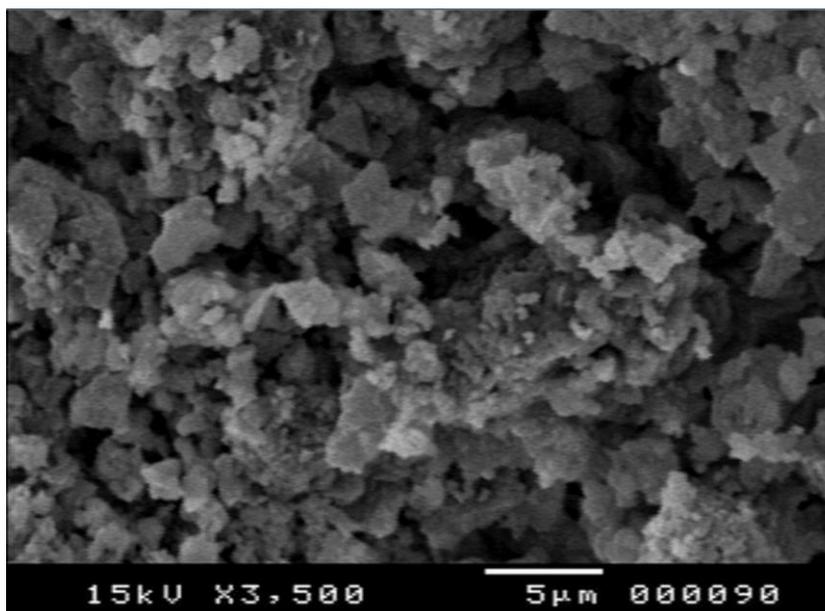


FIGURA 58: Microestrutura de detalhe da argamassa, focando na matriz fina. MEV, imagem de elétrons secundários (IES). Fratura.

A Figura 58 evidencia a mistura íntima de calcita e quartzo.

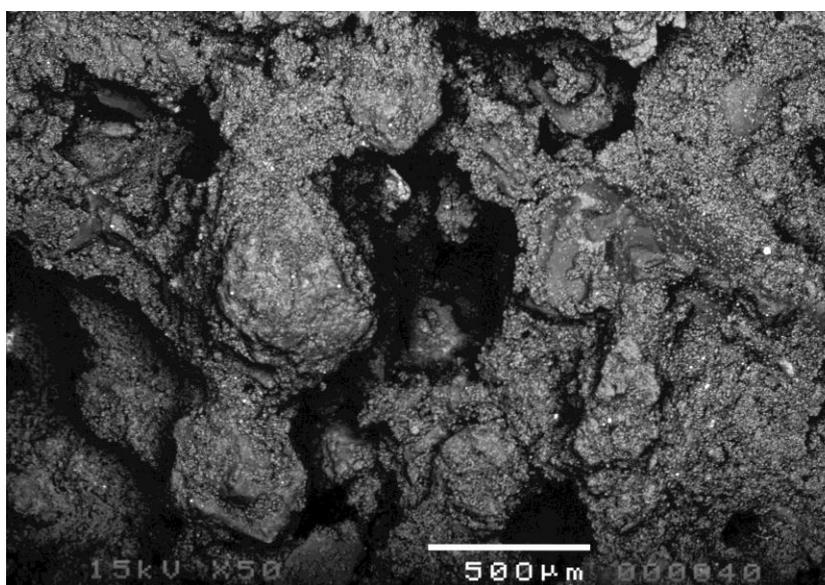


FIGURA 59: Microestrutura geral da argamassa. Área notadamente porosa. MEV, imagem de elétrons secundários (IES). Fratura.

Observa-se na Figura 59 a microestrutura geral da argamassa, mostrando partículas grossas, em geral angulosas, envolvidas pela matriz. Esta área é notadamente porosa, indicando o comportamento friável da argamassa.

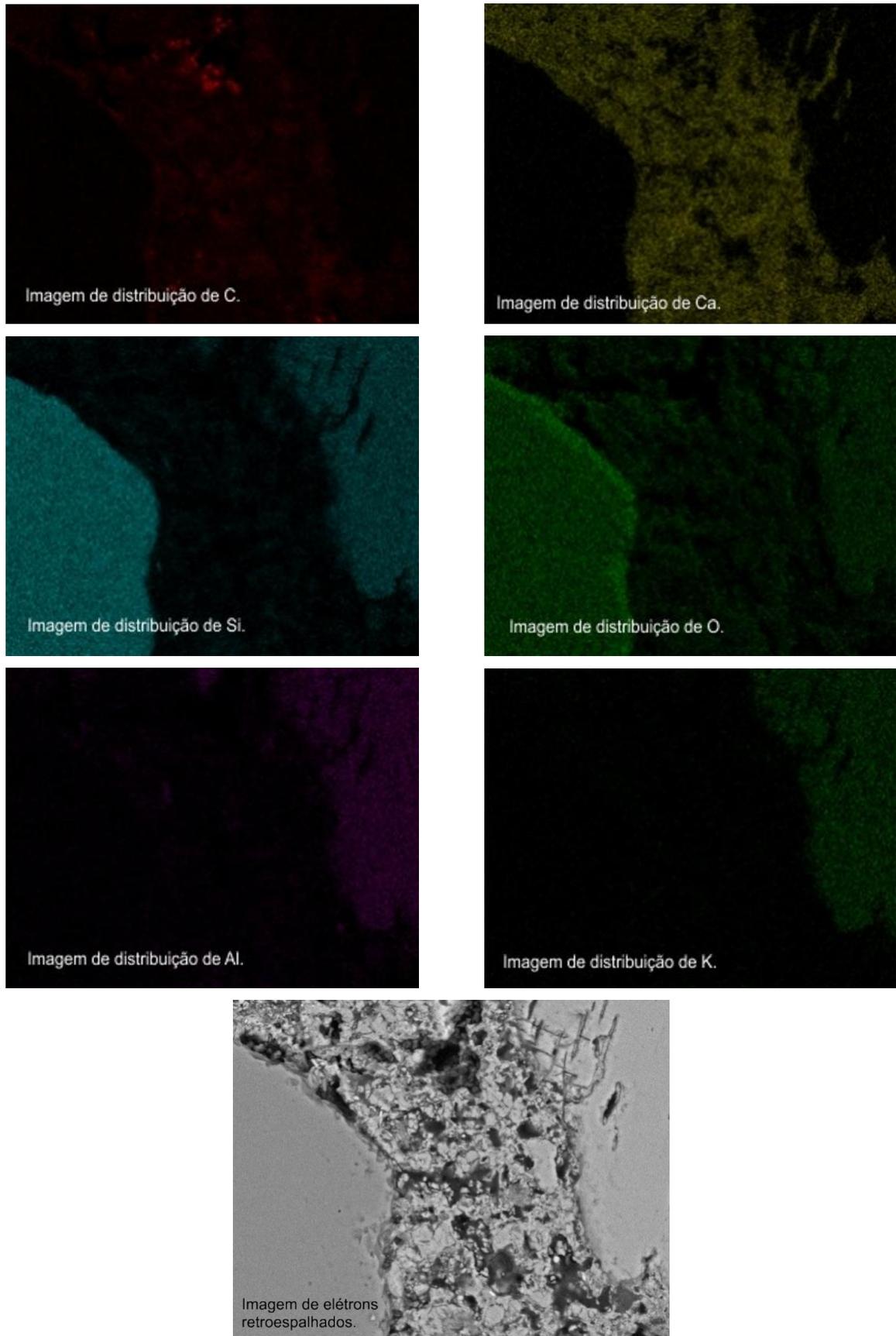


FIGURA 60: Mapeamento de área da matriz ligando duas partículas grandes (mesma área da Figura 56).

As composições química e mineralógica das partículas e da matriz são confirmadas pelos mapas de distribuição dos elementos químicos e pela imagem de elétrons retroespalhados, como mostrado na Figura 60.

Os mapas dos elementos mostrados evidenciam que a matriz, que forma a faixa entre as duas partículas grandes, é rica nos elementos Ca, Si, O e C, confirmando que a matriz é composta por uma mistura de calcita e quartzo. Outra conclusão interessante é que a partícula da direita é composta de Si, O, Al e K, indicando que se trata do mineral microclina, um feldspato de origem gnáissica. A partícula da esquerda é constituída apenas de quartzo (Si e O).

7 CONCLUSÕES

A metodologia utilizada para a caracterização de uma argamassa antiga, obtida de uma edificação do final do século XIX, recorreu a um conjunto diversificado de técnicas físico-químicas realizadas em laboratórios, que se complementaram, permitindo um resultado bastante confiável. Com o uso dessas diversas técnicas laboratoriais identificaram-se os compostos e elementos presentes na amostra de argamassa de reboco antigo, além de seus aspectos microestruturais e morfológicos.

Por meio da análise mineralógica realizada por difração de raios-X foi possível conhecer o tipo de aglomerante utilizado na argamassa antiga. Complementada pela fluorescência de raios-X e pela microscopia eletrônica de varredura (MEV), com microanálise de raios-X (EDS) foi possível caracterizar, com confiabilidade, a argamassa antiga como sendo uma argamassa à base de cal. As análises se complementaram e confirmaram a presença de cal ao invés de cimento tipo Portland como aglomerante, conforme se suspeitava inicialmente. Com base nos dados da pesquisa histórica realizada sobre o uso do Cimento tipo Portland no Brasil, verificou-se que sua produção teve início com a instalação da primeira fábrica de cimento no país, o que só ocorreu em 1924, e que foi a partir daí que o seu uso se tornou corrente. Sabendo-se que a construção da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras é anterior a essa data, ou seja, aconteceu em 1899, o resultado da análise químico-mineralógica, que constatou a ausência de Cimento tipo Portland na argamassa antiga, está de acordo com a pesquisa realizada.

A difração de raios-X permitiu a análise mineralógica da argamassa, identificando as seguintes fases cristalinas presentes na amostra pulverizada: quartzo SiO_2 ; calcita CaCO_3 , provavelmente proveniente da carbonatação da cal e microclina KAlSi_3O_8 . Os picos dos gráficos bem definidos indicaram se tratar de um material cristalino.

Por meio do MEV verificou-se que a argamassa é principalmente composta por uma areia grossa, cuja composição é majoritariamente quartzosa de origem gnáissica e uma matriz fina, responsável pela adesão (liga) do conjunto, atualmente formada por uma mistura íntima de calcita e quartzo.

Utilizou-se a espectrometria de infravermelho (EIV) que é um método indicado para detectar compostos orgânicos, mesmo em baixas concentrações. A EIV descartou a presença de

material orgânico na amostra, pois não foram detectadas raias indicativas de compostos orgânicos. A análise termogravimétrica (TGA) também corroborou a hipótese da ausência de material orgânico.

Duas hipóteses, então, podem ser levantadas: a primeira é que, na época da execução da argamassa, não foram utilizados esses materiais orgânicos para melhorar a liga (possivelmente obtida pelos materiais finos detectados por meio das análises anteriores); a segunda é que, com o passar dos anos, a argamassa original passou por um processo de transformação, que impediu a verificação desses materiais por meio dos ensaios realizados. A análise termogravimétrica também comprovou a hipótese da ausência de material orgânico.

Com base nas análises laboratoriais realizadas para caracterização da argamassa de revestimento das fachadas da “Casa Amarela” — UMEI Timbiras, concluiu-se que as argamassas à base de cal seriam as mais aconselháveis para os trabalhos de restauro a serem realizados na edificação, quando houver necessidade de novas intervenções.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho, espera-se contribuir positivamente para uma maior conscientização sobre a importância da reabilitação de edificações antigas, dentro dos princípios teóricos de restauração vigentes e sobre a importância do conhecimento dos constituintes das argamassas originais, antes de se especificar uma argamassa de recuperação. Espera-se que esses conhecimentos possam evitar que se cometam erros de especificações em obras de reabilitação de fachadas antigas, tais como o uso de materiais de recuperação incompatíveis com os originais, ou mesmo intervenções radicais, que provocam perdas e danos às valiosas estruturas patrimoniais.

As análises laboratoriais citadas nesse trabalho são ferramentas importantes que auxiliam o arquiteto/engenheiro na etapa de especificação da argamassa de recuperação, durante a obra de conservação e restauro de uma edificação antiga, com o fornecimento de informações de grande valia para a correta escolha dos materiais de construção a serem utilizados. Os resultados alcançados foram bastante confiáveis sendo recomendado o uso de tais técnicas para fins de identificação e caracterização de argamassas antigas.

Havendo a necessidade de substituição parcial ou total das argamassas existentes, devem-se escolher argamassas adequadas para esse uso específico, verificando-se requisitos funcionais e estéticos, além dos aspectos referentes às características do suporte, o tipo de edificação, a respectiva época da construção, o clima da região e as condições ambientais a que está sujeito. Para se atingir esses requisitos, devem-se definir as características das novas argamassas e estabelecer limites que possam garantir um comportamento funcional adequado.

Como já foi dito, argamassas de cimento apresentam um aspecto final muito diferente das argamassas antigas, em termos da textura, da superfície, do modo como refletem a luz, etc., além de conter na sua composição sais solúveis (com exceção do cimento pozolânico), que, sendo transportados para o interior das paredes, cristalizam, contribuindo para a degradação da mesma. Outra característica desfavorável está no fato de apresentarem uma rigidez excessiva e uma capacidade limitada de permitirem a secagem da parede. Já as argamassas à base de cal, cuja composição mais se aproxima à das argamassas antigas, são, ao contrário, capazes de assegurar um aspecto estético mais compatível, além de favorecerem a conservação do substrato devido à sua estrutura porosa, que incide diretamente em seu

comportamento higroscópico. Porém, deve-se considerar o fato de apresentarem problemas quanto à durabilidade, quando expostas à chuva, umidade e gelo.

Os materiais de substituição não necessitam ser idênticos aos antigos, no caso de reparos e substituições, parciais ou totais. Porém, é preciso que sejam compatíveis, isto é, que conciliem suas propriedades físico-químicas e estéticas com as dos materiais do substrato e com as dos materiais com os quais mantenha contato direto. Se o material resultante não tiver as características adequadas para proteger e ligar os elementos da alvenaria terminará por se degradar e, em consequência disso, destruirá seu próprio substrato. Daí a importância de se conhecer e especificar corretamente os materiais componentes de uma argamassa.

Espera-se que este trabalho sirva de base para profissionais envolvidos em restauração de edificações antigas e desperte o interesse pela caracterização prévia da argamassa original, valendo-se do uso de técnicas laboratoriais confiáveis.

9 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Quanto à proposição da argamassa de recuperação, pretende-se sugerir que se determine um traço compatível com o da argamassa original, à base de cal e areia, comparando-se os resultados de trabalhos científicos já realizados por outros profissionais sobre o mesmo assunto.

Um dos motivos que também contribui para o aparecimento de novas anomalias nas argamassas antigas é a incorreta aplicação do sistema de pintura, que também deve ser compatível com a pintura original. As tintas são materiais utilizados para a proteção e decoração da edificação e as camadas do “esquema” de pintura devem ser quimicamente compatíveis com as características do substrato. O uso de tintas plásticas, acrílicas ou de PVA em substratos à base de cal mostra-se inadequado, pois essas tintas impedem a eliminação dos vapores de água que ascendem por capilaridade por meio do substrato. Segundo Veiga (2002),

[...] as tintas plásticas, devido à sua composição química, quando aplicadas, formam um filme, que tem uma ação impermeabilizante nas paredes, alterando o seu comportamento global à água. Estas tintas apresentam também, em geral, uma aderência deficiente às superfícies frágeis e muitas vezes com baixa coesão superficial dos rebocos de cal, sejam eles antigos ou de substituição, surgindo, assim, facilmente, vários tipos de degradação na camada pictórica, tais como, empolamento, fissuração e destacamento.

Sugere-se, assim, para futuras pesquisas, o estudo de tintas mais apropriadas para aplicação sobre substratos antigos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7. ed. São Paulo: ABCP, 2002. 28p. (BT-106). Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2009/12/BT106_2003.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.578**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.655**: Concreto - Preparo controle e recebimento. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.529**: define argamassas de revestimento. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.577-1**: Agregado - reatividade álcali-agregado - Parte I - Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para de agregados em concreto. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.900-1**: Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: 2009a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.900-6**: Água para amassamento do concreto - Parte 6: Análise química - Determinação de cloreto solúvel em água. Rio de Janeiro, 2009b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.900-7**: Água para amassamento do concreto - Parte 7: Análise química - Determinação de sulfato solúvel em água. Rio de Janeiro, 2009c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.900-9**: Água para amassamento do concreto - Parte 9: Análise química - Determinação de álcalis solúveis em água. Rio de Janeiro, 2009d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.217**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987. (Substituída por: ABNT NBR NM 248:2003 Agregados - Determinação da composição granulométrica)

BASILIO, F. A. **Cimento Portland**: Estudo Técnico. 5. ed. São Paulo, ABCP, 1983.

BAUER, Elton. **Revestimentos de Argamassa**: características e peculiaridades. Brasília: Sinduscon-DF, 2005.

BAUER, L. A. Falcão (Coord.). **Materiais de construção**. 5. ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2000. v. 1. 471p.

BRANDÃO, Paulo R. G. **Apontamentos das aulas da Disciplina**: Métodos de Instrumentação e Análise. Curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Mina do

Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

BRANDI, Cesare. **Teoria da Restauração**. Cotia: Ateliê Editorial, 2008.

BRASIL. Ministério da Cultura. **Programa Monumenta: Cadernos de encargos**. Brasília: Ministério da Cultura, 2005. 420 p. (Cadernos técnicos 2)

CARASEK, Helena. Argamassas. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de ciências e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. 2v.

CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas**. 1999. 170p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CARSALADE, Flávio. Convivência entre o Novo e o Antigo. In: SEMANA INTERNACIONAL DO DIREITO DE IR E VIR, 2011, Belo Horizonte. **Palestra**. Belo Horizonte: CREA-MG, 2011.

CARTA de Veneza. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ARQUITETOS E TÉCNICOS DOS MONUMENTOS HISTÓRICOS, 2. 1964, Veneza. **Carta...**, Veneza, ICOMOS, 1964. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/portal/baixaFcdAnexo.do?id=236>>. Acesso em: 02 abr. 2011.

CARVALHO JÚNIOR, Antônio N. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico**. 2005. 331p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

DIAS, Cláudio R. R.; CUNHA, Ronaldo O.; FERRARI, Alexandre S. **A utilização de rebocos de recuperação na restauração da Capela de São Francisco: teoria e prática na Engenharia Civil**. Porto Alegre: FURG, 2000.

FERREIRA, L. E. T.; HANAI, J. B. Mecânica da Fratura. In: ISAIA, Geraldo Cecchella. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência dos Materiais**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2007, v. 1.

GOMES, Adailton O. **Influência dos argilominerais nas propriedades das argamassas de revestimento em Salvador: uma contribuição à qualidade ambiental**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - UFB, Salvador, 2000.

GOMES, Celso B. (Coord.) **Técnicas Analíticas Instrumentais Aplicadas à Geologia**. São Paulo: Pró-Minério/Edgard Blücher, 1984. 218 p.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal: fundamentos e aplicações na engenharia civil**. São Paulo: Pini, 1998.

HOLLER, F. J.; SKOOG, D. A.; CROUCH, S. R. **Princípios de Análise Instrumental**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) **Materiais de construção civil e princípios de ciências e engenharia de materiais**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Concreto, 2007. 1712p. v. 1.

KANAN, Maria Isabel. **Manual de conservação e intervenção em argamassas e revestimentos à base de cal**. Brasília: IPHAN/Programa Monumenta, 2008. (Cadernos Técnicos 2)

LEMOS, Carlos A. C. **O que é patrimônio histórico**. São Paulo: Brasiliense, 1981.

MAGALHÃES, A. C.; VEIGA, M. R. Estudo comparativo de possíveis soluções de argamassas para revestimentos de paredes de edifícios antigos. In: CONGRESSO NACIONAL ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 1., 2005, Lisboa. **Actas...** Lisboa: LNEC, 2005.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: micro estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Materiais de construção**, 8. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987.

QUINTÃO, Daniel Martins da Costa. **Levantamento Cadastral/Diagnóstico: Restauração “Casa Amarela” — UMEI Timbiras**. Belo Horizonte: NEPE-EI/SUDECAP/Rede Cidade - Arquitetura, Urbanismo, Patrimônio Cultural, 2008.

REDE CIDADE: Arquitetura, Urbanismo, Patrimônio Cultural. **Projeto de intervenção - obra**. Coordenador: Rafael Caldeira Ferreira Pinto e Núcleo de Execução de Projetos Especiais - Escolas Infantis - SUDECAP/PBH. Belo Horizonte, 2008b. v. 2. 61p.

REDE CIDADE: Arquitetura, Urbanismo, Patrimônio Cultural. **Restauração da Casa Amarela: levantamento cadastral/Diagnóstico**. Coordenador: Rafael Caldeira Ferreira Pinto e Núcleo de Execução de Projetos Especiais - Escolas Infantis - SUDECAP/PBH. Belo Horizonte, 2008a. v. 1. 105p.

RIBEIRO, C. C. PINTO, J. D. S., STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2002.

SANTIAGO, Cybèle Celestino. **Argamassas tradicionais de cal**. Salvador: EDUFBA, 2007.

VEADO, Fernando Roberto de Castro. **Resgate das técnicas construtivas e a importância dos materiais remanescentes da argamassa utilizada nas confecções das paredes de barro e dos revestimentos das edificações históricas: uma abordagem epistêmica**. 2008. 210f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, Belo Horizonte, 2008.

VEIGA, M. R.; TAVARES, M. Características das paredes antigas. Requisitos dos revestimentos por pintura. In: ENCONTRO ‘A INDÚSTRIA DAS TINTAS NO INÍCIO DO SÉCULO XXI’, 2002, Lisboa. **Actas...** Lisboa: APTETI, out. 2002.

VEIGA, Maria do Rosário. Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes. In: ENCONTRO SOBRE CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS (ENCORE), 3, 2003, Lisboa. **Actas...** Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, maio 2003. v. 2.

SUGESTÃO BIBLIOGRÁFICA

ALLEN, T. **Particle size measurement**. 5. ed. London: Chapman & Hall, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.175**: Cal hidratada para argamassas - requisitos. Rio de Janeiro, 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE CAL. **Negócios da cal**. São Paulo: ABPC, n. 81, jun. 2003. 12p. Disponível em: <<http://www.abpc.org.br>>. Acesso em: 21 jun. 2012.

BEZERRA, G. S. **Diagnóstico sócio-econômico e ambiental da indústria da cal no município de Apodi/RN**. Natal: SEBRAE-RN, 2008.

BRANDÃO, P. **Emissão de elétrons e raios-X**: difração de raios-X (Notas de aula da disciplina Métodos de Instrumentação e Análise do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

BRANDÃO, P. **Espectrometria de fluorescência de raios-X** (Notas de aula da disciplina Métodos de Instrumentação e Análise do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

BRANDÃO, P. **Introdução - granulometria** (Notas de aula da disciplina Métodos de Instrumentação e Análise do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

BRANDÃO, P. R. G. **Difração de raios-X - método do pó** (Notas de aula da disciplina Métodos de Instrumentação e Análise do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

CACARELLI, I.; ISOLANI, P.C.; SANTOS, R. H. A.; FRANCISCO, R. H. P. **Princípios de Análise Instrumental**. 5. ed. São Paulo: Artmed, 1998.

CALLISTER JÚNIOR, William D. **Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Org.) **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 1995. p. 863-804.

CARVALHO JÚNIOR, Antônio N. **Argamassas**. (Notas de aula da disciplina Materiais de Revestimento do Curso de Pós-Graduação em Construção Civil). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

CINCOTTO, M. A. (Coord.); SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimentos**: características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo: IPT, 1995.

COUTO, H. H. **A arte integrada na Matriz de Nossa Senhora do Rosário, em Raposos: uma experiência de Restauro.** Dissertação (Mestrado) - Escola de Arquitetura da UFMG, Belo Horizonte, 2009.

DUTRA, C. V.; GOMES, C. B. A fluorescência de raios-X na geologia. In: GOMES, C. B. (Coord.). **Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 1984.

FORMOSO, M. L. Difractometria de raios-X. In: GOMES, C. B. (Coord.). **Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia.** São Paulo: Edgard Bücher, 1994.

FREITAS, João. M. C. **Influência da variação dos constituintes no desempenho de argamassas de revestimento.** 2007. 168p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

KLÜPPEL, G. P.; SANTANA, M. C. **Manual de conservação preventiva para edificações.** Salvador: IPHAN/MONUMENTA, 1999. Disponível em: <<http://www.monumenta.gov.br/upload>>. Acesso em: 21 jun. 2012.

LE MOS, Carlos A. C. **Alvenaria burguesa: breve história da arquitetura residencial de tijolos em São Paulo a partir do ciclo econômico liderado pelo café.** 2. ed. São Paulo: Nobel, 1989.

MARGALHA, M. G.; VEIGA, M. R.; BRITO J. Influência das areias na qualidade de argamassas de cal aérea. CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO: Sob a Égide da Reabilitação, 2., 2007, Lisboa. **Actas...** Lisboa: APFAC, 2007.

MOURA, Ana Raquel Subtil. **Características e estado de conservação de pinturas em fachadas: Caso da Alta de Coimbra - Pinturas Recentes em Fachadas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Coimbra - Faculdade de Ciências e Tecnologias - Portugal, Coimbra, 2008.

NASCIMENTO, G. B. **Caracterização e utilização de pó-de-pedra em revestimentos para restauração de edificações históricas em estilo art déco.** 2008. 188p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2008.

PIANCASTELLI, Elvino Mosci. **Laudo técnico estrutural Casarão Rua Timbiras nº 1697 - "Casa Amarela"** - Belo Horizonte, MG. Belo Horizonte: Trierre Engenharia e Técnica Ltda., 2008.

POLITO, G. **Avaliação da introdução de cal hidratada nas argamassas aplicadas sobre blocos cerâmicos e sua influência no desempenho e morfologia.** 2008. 181p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2008.

SANTILLI, C. V.; PULCINELLI, S. H. Análise da textura de materiais cerâmicos a partir das isotermas de adsorção de gases. **Cerâmica**, v. 39, n. 259, p. 11-16, 1993.

SILVA, A. S. Nova abordagem na caracterização de argamassas antigas. In: ENCONTRO SOBRE CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS (ENCORE), 3, 2003, Lisboa. **Actas...** Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, maio 2003. v. 2.

TAVARES, Martha Lins; FRAGATA, A.; VEIGA, M. R. **A consolidação da falta de aderência de rebocos antigos**: um estudo com diferentes argamassas para *grouting*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2007. Disponível em: <http://conservarcal.lnec.pt/pdfs/MARTHA_TAVARES_APFAC.pdf>. Acesso em: 02 dez. 2012.

TAVARES, M. **Revestimentos por pintura para edifícios antigos**: um estudo experimental sobre as caiações e as tintas de silicatos. Cadernos de Edifícios, nº 2. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, out. 2002.

VEIGA, M. R. **Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos**. Lisboa: LNEC, jul. 2008. (Coleção Edifícios, CED 9).