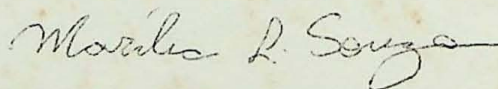


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GIPSITA EM REVESTIMENTOS DE ARGAMASSAS HISTÓRICAS:
CARACTERIZAÇÃO E ORIGEM**

Marília Lopes de Souza



Orientadora: Profa. Dra. Eliane Aparecida Del Lama



Co-orientadora: Dra. Mírian Cruxên Barros de Oliveira

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-07/27)

São Paulo
2007

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900024375

**GIPSITA EM REVESTIMENTOS DE ARGAMASSAS HISTÓRICAS:
CARACTERIZAÇÃO E ORIGEM**



Marília Lopes de Souza

Marília L. Souza

Orientadora: Profa. Dra. Eliane Aparecida Del Lama *Ead*

Co-orientadora: Dra. Mírian Cruxên Barros de Oliveira

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-07/27)

São Paulo
2007

AGRADECIMENTOS

Agradeço às minhas orientadoras, Eliane e Mirian, pela paciência que tiveram comigo durante a realização deste trabalho de formatura.

Agradeço à minha família: minha mãe Fátima, meu pai Antoniel, minha irmã Liana, minhas avós Janette e Rosa, e Lurdes (com seu sorriso de eterna criança) que me acompanharam nesta e em todas as etapas da minha vida.

Agradeço, também, às pessoas que surgiram na minha vida neste período da faculdade.

Às minhas irmãs Sueli, Luizemara, Marcela e Alexandra.

Aos meus amigos de toda hora Thaís, Marcelo, Adriana, Gabriel, Reginaldo, Vívian, Juliana e tantos outros...

Leonardo e Luciano, que sem querer ajudaram nas minhas escolhas profissionais.

Ao Bruno, pelo amor, que mesmo longe foi sempre tão presente.

Ao pessoal do IPT Cláudia, Nilson, Cecília, Valdecir, Fabiano, Priscila, Eduardo, Mariana, Ernan, Luis que sempre me deram muita força.

Bruno, Beatriz, Manuela, Tomás, René, Pedro, amigos atemporais, que nem sabem o quanto sua presença foi importante para mim.

Por fim, agradeço pela compreensão de todos aqueles que não estão listados aqui, mas que tiveram um papel importante na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVOS	3
3. TRABALHOS PRÉVIOS	4
3.1 Estudos de argamassas históricas	4
3.2 Cristalização de sais	5
3.3 Ação dos poluentes atmosféricos	6
4. OBJETOS DE ESTUDO	8
4.1 Estação da Luz	8
4.2 Museu de Zoologia da USP	9
4.3 Capela do Hospital das Clínicas	9
4.4 Edifício Itália	10
5. MATERIAIS E MÉTODOS	11
5.1 Materiais	11
5.2 Amostragem	12
5.3 Métodos analíticos	13
5.3.1 <i>Estereomicroscopia e microscopia óptica</i>	13
5.3.2 <i>Difratometria de raios X</i>	13
5.3.3 <i>Microscopia eletrônica de varredura</i>	13
5.3.4 <i>Análise química</i>	13
6. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	14
6.1 Levantamento do material pré-existente	14
6.2 Revisão bibliográfica	14
6.3 Trabalhos de campo e amostragem	14
6.4 Estereomicroscopia e microscopia óptica	17
6.5 Difratometria de raios X (DRX)	18
6.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	18
7. RESULTADOS OBTIDOS	19
7.1 Estereomicroscopia e microscopia óptica	19
7.1.1 <i>Estação da Luz</i>	19
7.1.2 <i>Museu de Zoologia</i>	19

7.1.3 Edifício Itália	19
7.2 Difratometria de raios X (DRX)	21
7.2.1 Estação da Luz	21
7.2.2 Museu de Zoologia	21
7.2.3 Capela do Hospital das Clínicas	22
7.2.4 Edifício Itália	22
7.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	22
7.3.1 Capela do Hospital das Clínicas	22
7.4 Análises químicas	24
7.4.1 Estação da Luz	24
7.4.2 Museu de Zoologia	25
7.4.3 Edifício Itália	25
8. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	25
19. CONCLUSÕES	26
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
ANEXO A – Fichas de descrição de amostras	32
ANEXO B – Fichas de descrição petrográfica	42
ANEXO C – Resultados das análises por difratometria de raios X	64
ANEXO D – Resultado das análises químicas	77

GIPSITA EM REVESTIMENTOS DE ARGAMASSAS HISTÓRICAS: CARACTERIZAÇÃO E ORIGEM

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a argamassa de quatro edificações históricas da cidade de São Paulo onde foi identificada a presença de gipsita: Estação da Luz, Museu de Zoologia da USP, Edifício Itália e Capela do Hospital das Clínicas.

Foram realizadas análises ao microscópio óptico, difratometria de raios X, microscopia eletrônica de varredura e análises químicas para identificar a mineralogia da argamassa, e assim detectar gipsita.

Na Estação da Luz foi identificada gipsita nas amostras do emboço, o que indica provável adição de gesso de construção ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) à pasta de argamassa durante sua confecção; na superfície da argamassa de reboco, que pode ter sido gerada a partir da reação com o SO_2 da atmosfera, e próxima a tijolos, material que pode ter fornecido o enxofre para a cristalização de gipsita.

No Museu de Zoologia detectou-se gipsita superficialmente em amostras de coloração amarelada. O teor de enxofre encontrado não é suficiente para determinar adição de gesso à argamassa, e a gipsita presente pode ter se originado a partir do SO_2 na atmosfera, ou pela presença de gesso no revestimento da fachada.

No Edifício Itália, a gipsita reveste a superfície do fulget, sendo encontrada também na camada do emboço. Neste caso, a gipsita pode ter duas origens paralelas: a partir da reação do SO_2 da atmosfera e a partir da própria argamassa, que pode ter sido preparada com aditivo de gesso.

Na Capela do Hospital das Clínicas foi identificada uma camada sob a tinta de parede com elevado teor de gipsita, indicando uso de gesso na pasta de regularização da parede, sendo esta a provável origem da gipsita encontrada nas eflorescências da parede da capela.

ABSTRACT

This is a study on the mortar of four historical buildings in São Paulo on which gypsum has been found: Luz Station, the University of São Paulo Museum of Zoology, Edifício Itália and the Clínicas Hospital Chapel.

Optical microscope, X-ray diffraction and scanning electron microscope analyses, as well as chemical analyses, were conducted in order to identify the mortar mineralogy, thus detecting the gypsum.

At the Luz Station, gypsum has been found in the samples of plastering (internal layer of the mortar), indicating that plaster of Paris ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) may have been added to the coating; on the surface of the rendering (external layer of the mortar), probably originated from the reaction with the SO_2 present in the atmosphere; and near the bricks, material which may be the origin of the sulphur in the gypsum crystallization.

At the Museum of Zoology, gypsum was detected on the surface of yellow colored samples. The sulphur level found in them is not enough to determine the addition of plaster of Paris to the mortar, and the gypsum present in them may have originated from the SO_2 present in the atmosphere or from the plaster of Paris on the façade coating.

At the Edifício Itália, the fulget surface is covered with a gypsum crust, which is also found on the rendering layer. In this case, the gypsum may have two parallel origins: the reaction of the SO_2 present in the atmosphere or the mortar itself, which may have been prepared with plaster of Paris.

At the Clínicas Hospital Chapel a layer with a high level of gypsum was found under the ink layer, which indicates the use of plaster of Paris in the leveling layer. This is the probable origin of the gypsum of the efflorescences on the chapel wall.

1. INTRODUÇÃO

Estudos do Instituto de Geociências em algumas edificações históricas (Hospital das Clínicas e Edifício Itália) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (Museu de Zoologia da USP e Estação da Luz) evidenciaram a presença de gipsita nas argamassas de revestimento externo ou interno.

Na Capela do Instituto Central do Hospital das Clínicas da Universidade de São Paulo foram observadas eflorescências de gipsita nos afrescos murais pintados em 1947, por Fulvio Pennacchi (1905-1992), assim como na parede lisa da capela. Já no Edifício Itália, inaugurado em 1965, o revestimento externo de fulget apresenta recobrimento de gipsita. O Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo foi construído no Parque da Independência, na década de 40. Sua fachada possui revestimento de coloração amarelada, no qual foi identificada a presença de gipsita. A Estação da Luz, inaugurada em 1901, foi reconstruída após um grande incêndio em 1946. A gipsita foi observada no revestimento externo da fachada principal do prédio.

A origem da gipsita nestes edifícios pode ser a adição de gesso à pasta de argamassa na sua confecção, ou ser produto de reação com o SO_2 da atmosfera, ou ainda a conjunção desses fatores, não descartando outras hipóteses.

Segundo Oliveira (2001), a petrografia e a mineralogia de argamassas têm sido relativamente pouco estudadas no Brasil, destacando-se estudos realizados pela Universidade Federal da Bahia e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

A determinação da mineralogia das argamassas de revestimento de algumas edificações históricas e a detecção da origem da gipsita nelas encontrada podem auxiliar no diagnóstico científico do estado de conservação dos edifícios históricos e subsidiar trabalhos de restauração.

Paralelamente, este trabalho é uma contribuição do geólogo para o estudo e conservação da herança cultural, linha de pesquisa que está sendo implantada no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, além de contar com a experiência acumulada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo nessa área.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é caracterizar a mineralogia das argamassas de revestimento de algumas edificações históricas (Hospital das Clínicas, Edifício Itália, Museu de Zoologia da USP e Estação da Luz) nas quais foi identificada a presença de gipsita, assim como elaborar hipóteses quanto à origem da mesma.

3. TRABALHOS PRÉVIOS

3.1 Estudos de argamassas históricas

O interesse na pesquisa de argamassas históricas e suas patologias tem aumentado cada vez mais, seja para determinar as causas da degradação seja para obter argamassas de reparo adequadas. O estudo sistemático de argamassas históricas ainda é recente, e coube ao ICCROM (International Centre for the Study of the Preservation and Retoration of Cultural Property) a primeira tentativa de estabelecer um método de investigação, em 1981 (Palomo *et al.* 2002). Segundo estes autores, de maneira geral, o estudo das argamassas históricas consiste na caracterização e identificação de seus componentes, e pode ser dividido em análise visual, microscopia óptica, identificação do agregado e estudo da pasta por análises de difratometria de raios X, análises químicas e análises termogravimétricas (termodiferencial - DTA e termogravimétrica - TGA).

Segundo Santos Silva (2002), são várias as técnicas de análises físico-químicas que podem ser utilizadas nos estudos de argamassas históricas, e a escolha dos métodos mais adequados dependem dos objetivos da caracterização: manutenção, consolidação, reparação ou substituição. Este autor descreve uma metodologia que consiste em:

- observação a olho nu ou sob lupa binocular para detectar aditivos, materiais fibrosos e separação das diferentes camadas;

- separação do agregado grosso por peneiramento e moagem do material;

- separação por fração para realização das seguintes análises

- a) análise química (via úmida, cromatografia e espectrofotometria de absorção atômica);

- b) análise mineralógica por difração de raios X;

- c) análises termogravimétricas (DTA e TGA);

- d) análise microestrutural (microscopia óptica, estereomicroscopia e microscopia eletrônica de varredura com microanálise de raios X por dispersão de energia);

- e) análise química orgânica por espectroscopia de infravermelho.

A caracterização de argamassa realizada por Alessandrini *et al.* (1991) contou com análise petrográfica para observar a natureza do agregado, análises químicas para determinar a composição da pasta e análises físicas para determinar aspectos estruturais da argamassa.

Motta (2004) aponta a importância do estudo histórico-científico dos materiais que foram utilizados em edificações históricas para reformular um material parecido ou formular um material de restauro com materiais modernos que não apresente interações negativas com o material antigo. Em seu estudo sobre caracterização de argamassas, a autora utiliza análise sedimentológica para caracterização do agregado e análises térmicas, difratometria

de raios X, espectrometria no infravermelho e de absorção atômica e microscopia eletrônica de varredura para identificar os materiais constituintes da pasta.

Segundo Nascimento (2002), há algumas décadas as técnicas científicas de investigação começaram a ser utilizadas principalmente em pinturas e esculturas, e apenas recentemente passaram a ser utilizadas em estudos de argamassas de edificações históricas. Os dados e informações obtidos podem requerer uma interpretação probabilística devido à inexistência de registro sobre materiais antigos, à heterogeneidade dos mesmos, ou ainda por terem caído em desuso.

No Brasil, atualmente, há uma maior preocupação de se estudar argamassas tendo como foco a preservação do patrimônio cultural. Nascimento (2002) afirma que até a década de 90 as investigações técnico-científicas dos materiais de restauro em edificações históricas tiveram pouca atuação no Brasil, e que a falta de revistas científicas nacionais dificultou a divulgação dos poucos trabalhos realizados até então. Recentemente, os Simpósios Brasileiros de Tecnologia das Argamassas tornaram possível a divulgação de estudos realizados nesta área. Como por exemplo Peres *et al.* (2005), que apresentam a comparação de dois métodos de reconstituição de traço de argamassas históricas; Motta *et al.* (2005) apresentam a caracterização de argamassas extraídas de dez edificações construídas no século XVIII do Estado de Santa Catarina; Gonçalves *et al.* (2005) realizaram estudos em revestimento da Catedral São Francisco de Paula, em Pelotas, identificando suas patologias e pela caracterização química e física do revestimento de cimento. Um resumo da abordagem científica nacional e internacional sobre caracterização de argamassas pode ser encontrado em Nascimento (2002).

3.2 Cristalização de sais

A cristalização de sais é um problema muito comum em edificações, sendo responsável por alterações estéticas de cor e textura e até estruturais, levando à degradação dos revestimentos e, na ausência destes, dos materiais da alvenaria. A cristalização pode ocorrer na superfície (eflorescência, manchas); como subeflorescência, caso em que a cristalização ocorre a certa profundidade, não podendo ser observada superficialmente (Delgado-Rodrigues & Diaz-Gonçalves 2006); ou no interior dos poros dos materiais de construção (criptoeflorescência), que em eventos cíclicos de evaporação da água pode provocar precipitação e dissolução do material e assim formar rachaduras, crostas, esfoliação ou pulverulência (Diaz-Gonçalves & Delgado-Rodrigues 2006).

A formação de eflorescência está condicionada ao teor de sais solúveis presentes na construção, à presença de água e à pressão hidrostática, que faz com que a solução migre até a superfície. A ausência de um desses fatores impede a formação de eflorescências,

mas alguns aspectos, ao contrário, podem favorecê-la, tais como a quantidade de solução que aflora, o tempo de contato, a temperatura ou a porosidade do material (Uemoto 1988).

Os sais podem ser originados a partir do solo, do vapor da água do mar, da poluição atmosférica, da interação entre os materiais de construção, ou mesmo já estar contido nos materiais. Mas os sais só são transportados na presença de água. A penetração da água em um material poroso pode se dar na forma líquida (por capilaridade ou infiltração), ou como vapor (por condensação, condensação capilar ou higroscopia), e a distribuição da umidade no material depende da porosidade, da distribuição e tamanho dos poros e das condições do ambiente (Charola & Herodotus 2000).

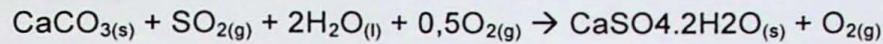
O local de cristalização é determinado pelo equilíbrio entre a taxa de escape na superfície (uma função da temperatura, umidade e corrente de ar local) e da recarga de solução para este local (função da tensão superficial, dimensão dos poros, viscosidade e da distância entre a origem da solução até o local de evaporação). Se a taxa de recarga da solução para a superfície for a mesma que a taxa de evaporação, o soluto se deposita na superfície externa (eflorescência), mas se o fluxo da solução pelos poros for mais lento que a evaporação, o soluto se deposita entre as regiões seca e úmida, logo abaixo da superfície (Lewin 1982).

As eflorescências podem ocorrer em diversos materiais utilizados na construção civil com a cristalização de sais distintos. Em estudo feito por Moreno & Zanardo (no prelo) foi possível constatar que os sais mais freqüentes neste tipo de material são os sulfatos hidratados de cálcio, magnésio e ferro, com a presença da gipsita na maioria dos casos. Em paredes de construção, as eflorescências são compostas por sulfatos de cálcio e magnésio. No cimento é comum a cristalização de gipsita, e em cal com elevado teor de magnésio a formação de epsomita é freqüente. Alves *et al.* (2006) afirmam que as substâncias utilizadas na preparação das argamassas são responsáveis pela variedade de sais solúveis formados, uma vez que são gerados a partir da dissolução e lixiviação de seus constituintes. Sendo assim, eflorescências de sulfato de magnésio são provenientes de argamassas ricas em magnésio; o gesso utilizado nos rebocos conduz à cristalização de gipsita, enquanto nitratos podem ser provenientes de aditivos utilizados na preparação das argamassas.

3.3 Ação dos poluentes atmosféricos

Danos na argamassa podem ser causados pela interação desta com poluentes atmosféricos. A formação de ácido sulfúrico pela oxidação/hidratação do SO_2 da atmosfera e sua interação com o CaCO_3 do substrato leva à formação de gipsita. É bastante aceito na literatura que entre os sulfatos gerados na reação entre a argamassa e o SO_2 , a gipsita é a única fase estável (Palomo *et al.* 2002).

A reação que ocorre em argamassas com carbonato de cálcio é semelhante à que ocorre em rochas calcárias. Segundo Aires-Barros (1991), as zonas frequentemente úmidas, mas que não estão submetidas à lavagem contínua, estão sujeitas à ação da sulfatação, que gera uma camada de gesso e, com o acúmulo de partículas escuras da atmosfera, crostas negras na superfície do material calcário. A reação ocorre conforme abaixo:



Este mesmo autor afirma que a reação do SO_2 da atmosfera (proveniente da emissão de gases industriais) com o calcário ocorre espontaneamente nas fachadas expostas, sendo que a ocorrência deste fenômeno é mais provável que a dissolução por águas pluviais.

A espessura da camada de gipsita formada depende do tempo de exposição ao SO_2 da atmosfera, conforme a Figura 3.01 (Winkler 2002), mas as zonas mais antigas e exteriores tendem a se fragmentar e ser removidas pela ação do vento (Aires-Barros 1991).

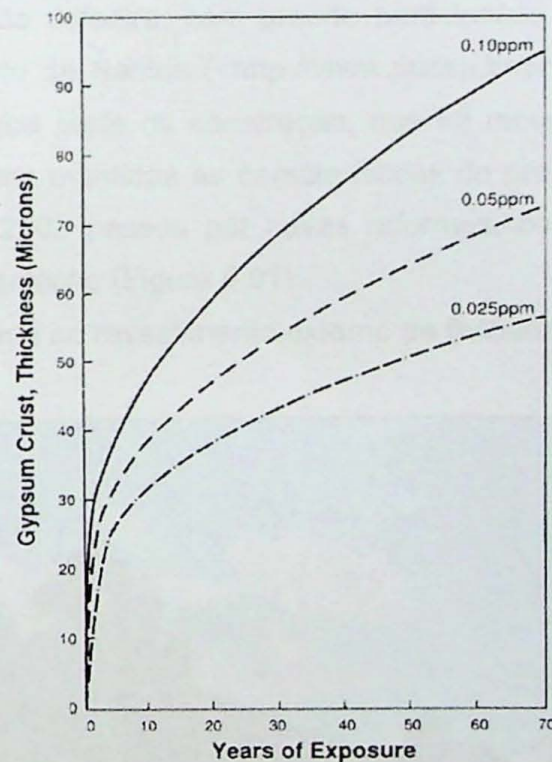


Figura 3.01. Probabilidade de desenvolvimento de camada de gipsita, em função dos anos de exposição ao SO_2 da atmosfera a 0,025, 0,05 e 0,1ppm de SO_2 , com umidade entre 60 e 80%. (Fonte: Gauri *et al.* 1989 *apud* Winkler 2002).

4. OBJETOS DE ESTUDO

Apresenta-se a seguir uma breve descrição dos edifícios, objetos de estudo deste trabalho.

4.1 Estação da Luz

Em um terreno que fazia parte do Jardim Público, atual Jardim da Luz, a Estação da Luz foi construída pela São Paulo Railway Company entre 1895 e 1900. O autor do projeto principal do edifício foi Charles Henry Driver, e as obras da construção foram efetuadas sob a orientação de James Ford (Soukef Júnior 2000). Desde sua inauguração em, 1º de março de 1901, é considerada a "estação principal" e um dos marcos mais importantes de São Paulo. Com 7.520 m² de área, um vão livre de 39 m e 150 m de fachada (Jorge 1988), o edifício original foi construído em estilo vitoriano, com material importado da Inglaterra, obra que custou cerca de 150 Libras (Diaféria 2001). É importante não pelo tamanho, mas por ter sido um marco da produção cafeeira, com grande participação no transporte do café do oeste do estado até o Porto de Santos (<<http://www.pucsp.br/artecidade/>>). Em 1946, um grande incêndio destruiu boa parte da construção, que foi recuperada e ampliada, sendo acrescentado um andar, mas mantidas as características do projeto original (Jorge 1988 e Soukef Junior 2000). Em 2003 passou por novas reformas, com a restauração da parte interna e das fachadas da estação (Figura 4.01).

A gipsita foi observada no revestimento externo da fachada principal do prédio.



Figura 4.01. Estação da Luz em 2005. (Fonte: <http://pt.wikipedia.org>).

4.2 Museu de Zoologia da USP

O Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo estava inicialmente associado ao Museu Paulista. Em 1959, a Seção de Zoologia foi desvinculada do Museu Paulista e transformada no Departamento de Zoologia da Secretaria de Agricultura, Indústria e Comércio, e teve seu acervo transferido para um novo prédio, onde se localiza atualmente. Este edifício, projetado por Christiano Stockler das Neves, foi inaugurado em 1941 sendo o primeiro museu do Brasil projetado especificamente para este fim. Em 1969, foi incorporado à USP e recebeu o nome de Museu de Zoologia (CPC 1999) (Figura 4.02).



Figura 4.02. Fachada principal do Museu de Zoologia da USP.

O prédio foi construído entre os anos de 1939 e 1941, e Christiano Stockler das Neves, além de responsável pelo projeto, foi contratado pela construtora para atuar como arquiteto, engenheiro e administrador da obra, sendo responsável também pelas especificações da construção. Sendo assim, determinou que o revestimento das fachadas do edifício fosse feito com cimento branco, areia branca lavada, quartzo, mica, pó de pedra, sendo uma parte de cimento e três partes dos demais ingredientes. (Silva 2006)

Antes das obras de restauro em 2004 (<<http://www.usp.br/mz/info/fachada.html>>), a fachada do edifício apresentava manchas amareladas na superfície do revestimento, não associadas a processos deletérios, como fissuração, vesículas e desfoliação.

4.3 Capela do Hospital das Clínicas

A Capela do Hospital das Clínicas está localizada no Instituto Central do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP). Foi inaugurada

em 1944, e em 1947 teve suas paredes decoradas por Fulvio Pennacchi com três representações em afresco (CPC 1999) (Figura 4.03).

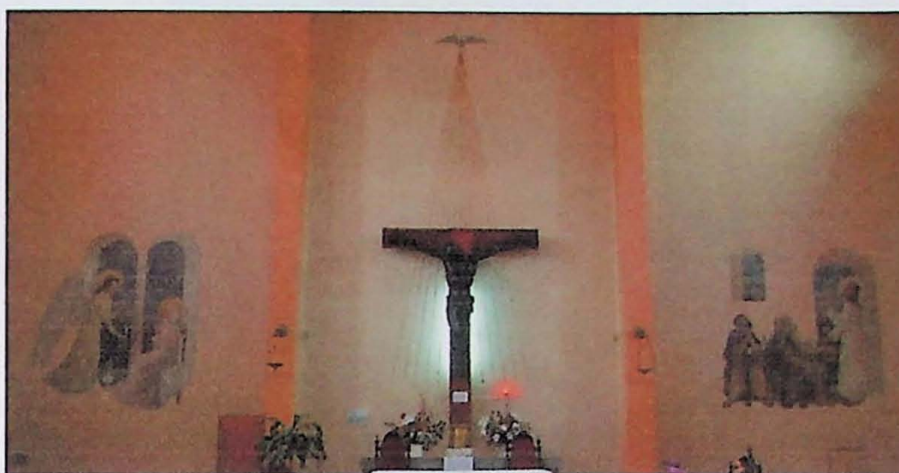


Figura 4.03. Capela do Hospital das Clínicas com afrescos de Fulvio Pennacchi.

Um afresco é a pintura realizada sobre a argamassa ainda úmida. Nas pinturas do século XX é comum observar a adição de cargas de composição e granularidade diferentes, assim como o empastamento de outros materiais com o pigmento para dar textura à superfície pintada. Pennacchi desenvolveu uma técnica de afrescos nova, incomum na época (Baptista 2002), utilizando cal viva dissolvida em água, e para as cores, utilizava as tintas de parede comuns na época (Bardi 1980). Análises realizadas por Tirello & Del Lama (2006) indicam que o principal constituinte da argamassa utilizada por Pennacchi nos afrescos da Capela é a cal cálcica, com presença constante de calcita. Entretanto, a ocorrência de magnesita, gipsita e epsomita pode indicar uso de cal impura e de gesso.

As eflorescências ocorrem tanto nos afrescos como na parede lisa da capela. Del Lama *et al.* (2006a) descrevem a ocorrência de dois tipos distintos de eflorescência nos afrescos: um sobre a superfície pintada e outro entre o estrato pictórico e a camada subjacente, o que conduz à desagregação da superfície colorizada da massa.

4.4 Edifício Itália

O Edifício Itália, um projeto de Adolf Franz Heep, foi construído entre os anos de 1958 a 1964 e inaugurado em 1965. É atualmente o segundo prédio mais alto de São Paulo, com 165 m de altura e 46 andares (Figura 4.04).

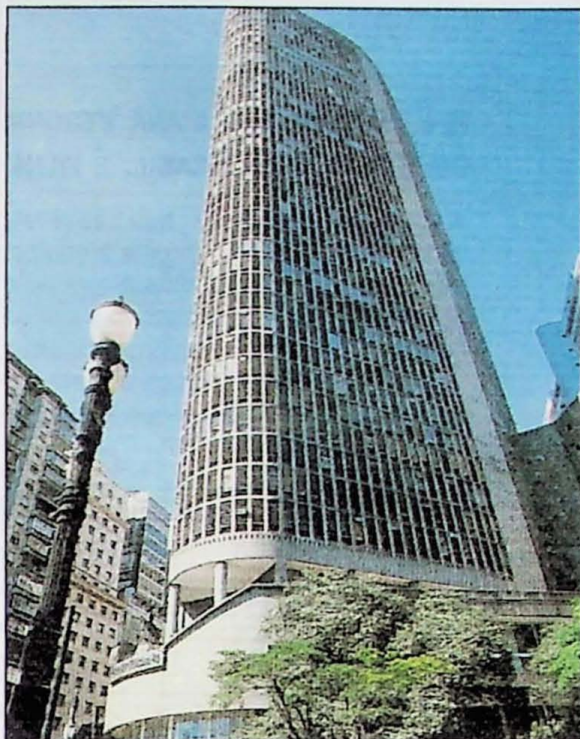


Figura 4.04. Edifício Itália. (Fonte: Revista Veja São Paulo, 09 de agosto de 2006).

Seu revestimento externo é de fulget, um composto de argamassa impregnado superficialmente por grãos grossos e angulosos de quartzo. A obra de revestimento, efetuada em 1964 (<<http://www.granitorre.com.br>>) foi executada pela Fulget Comercial e Indústria LTDA (Fujioka 1996). Sobre este revestimento foram observados cristais de gipsita com coloração escura.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Materiais

Para a realização dessa pesquisa foram estudadas 16 amostras coletadas em estudos anteriores do IPT e do IGc, das quais 5 do Museu de Zoologia, 7 da Estação da Luz e 4 do Edifício Itália, assim como amostras coletadas para este trabalho, sendo 5 da Capela do Hospital das Clínicas, 2 do Museu de Zoologia e 1 da Estação da Luz. O quadro 5.1 apresenta a relação de amostras, seu local de origem e as análises realizadas com cada uma delas.

Local	Amostra	Análise realizada ⁽¹⁾				Acervo IPT	Acervo IGc	Coleta da autora
		AP	DRX	AQ	MEV			
Estação da Luz	EL-A	X	X	X		X		
	EL-B	X	X	X		X		
	EL-C	X	X	X		X		
	EL-D	X	X	X		X		
	EL-F	X	X	X		X		
	EL-01 ⁽²⁾		X					X
	EL-02 ⁽²⁾		X			X		X
Museu de Zoologia	MZ-A	X	X	X		X		
	MZ-B	X	X	X		X		
	MZ-C	X	X	X		X		
	MZ-D	X	X	X		X		
	MZ-E	X	X	X		X		
	MZ-01 ⁽²⁾		X					X
	MZ-02 ⁽²⁾		X					X
Edifício Itália	Edi-1	X	X	X			X	
	Edi-2	X	X				X	
	Edi-3	X	X				X	
	Edi-4		X				X	
Capela do Hospital das Clínicas	HC-01 ⁽²⁾		X					X
	HC-02 ⁽²⁾		X					X
	HC-03 ⁽²⁾		X					X
	HC-04 ⁽²⁾		X					X
	HC-05				X			X

⁽¹⁾ AP = análise petrográfica; DRX = difração de raios X; AQ = análise química; MEV = microscopia eletrônica de varredura

⁽²⁾ amostras na forma de pó

Quadro 5.01. Relação das amostras estudadas, e análises realizadas.

5.2 Amostragem

As amostras foram retiradas de regiões onde foi detectada alguma alteração na aparência da superfície, seja de cor, de textura, ou onde foi detectada a presença de eflorescência. A coleta foi realizada por raspagem da superfície, com auxílio de espátula ou bisturi.

5.3 Métodos analíticos

Foram utilizados os seguintes métodos de análise: estereomicroscopia, microscopia óptica, difratometria de raios X, análises químicas e análises complementares de microscopia eletrônica de varredura. As atividades realizadas serão descritas a seguir.

5.3.1 Estereomicroscopia e microscopia óptica

Foi realizada a observação das amostras a olho nu e ao estereomicroscópio para descrição das mesmas quanto à cor, estruturação, tamanho do agregado etc., e ao microscópio para análise mineralógica da argamassa (pasta, agregado e vazios).

Para a análise petrográfica foi utilizado o estereomicroscópio modelo M8 da marca Wild e o microscópio Carl Zeiss modelo Photomicroscope II do Laboratório de Materiais de Construção Civil do IPT.

5.3.2 Difratometria de raios X

As análises por difração de raios X (DRX) foram realizadas pelo método do pó, que permite a identificação das fases minerais presentes. Para tal foi utilizado o difratômetro Siemens-Brucker modelo D5000 do Laboratório de Difração de Raios X do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do IGc da USP. Análises previamente executadas no IPT foram realizadas em difratômetro Rigaku modelo Geigerflex do Laboratório de Materiais de Construção Civil do IPT.

5.3.3 Microscopia eletrônica de varredura

Foi observada amostra ao Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) com EDS (espectroscopia de energia dispersiva de raios X) acoplado, para verificação de aspectos texturais, diferenciação de fases e obtenção de microanálises químicas. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental do IGc da USP em microscópio eletrônico de varredura LEO 4401 com espectrômetro de energia dispersiva de silício lítio Oxford.

5.3.4 Análise química

As análises químicas apresentadas neste trabalho foram obtidas em trabalhos anteriores do IGc utilizando fluorescência de raios X e analisador elementar de enxofre e, do IPT, realizadas no Laboratório de Química de Materiais do Agrupamento de Materiais de

Construção Civil da Divisão de Engenharia Civil. Foram utilizados os procedimentos DEC-LQM-PE-011 "Determinação de anidrido carbônico (CO₂) por gasometria", baseado em diretrizes gerais da NBR 11.583/90; e DEC-LQM-PE-042 "concreto e Argamassa – Reconstituição de traço" com base nas diretrizes gerais do método de ensaio apresentado em Quarcioni (1998).

6. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

6.1 Levantamento do material pré-existente

Os quatro edifícios em estudo foram objetos de trabalhos anteriores pelo IPT e pelo IGc, que disponibilizaram o material para este trabalho.

Foram disponibilizadas para este trabalho amostras de argamassa do Edifício Itália, da Estação da Luz e do Museu de Zoologia da USP, bem como seções delgadas das mesmas. Além disso, análises químicas e mineralógicas por difratometria de raios X dessas amostras já haviam sido realizadas, não sendo necessária a repetição para este trabalho.

6.2 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica deste trabalho inclui uma pesquisa sobre a história dos edifícios estudados, sobre estudos de argamassas de edificações históricas nacionais e internacionais, sobre cristalização de sais em edifícios e sobre a ação dos poluentes atmosféricos nas construções.

6.3 Trabalhos de campo e amostragem

Foram realizadas duas etapas de campo para observação dos edifícios objetos de estudo e coleta de amostras. A primeira foi realizada na Capela do Hospital das Clínicas, onde foram coletadas 5 novas amostras. O Museu de Zoologia, a Estação da Luz e o Edifício Itália foram visitados durante a segunda etapa dos trabalhos de campo, e foram coletadas mais 3 amostras, 2 no Museu de Zoologia e 1 na Estação da Luz.

A Estação da Luz passou por uma restauração em 2003 e apresenta-se bem preservada. Foi coletada amostra de eflorescência em tijolo (Figuras 6.01 a 6.03), observada no muro ao redor da estação (amostra EL-01). As demais amostras, anteriores ao trabalho de restauro, obtidas no IPT, são de argamassa dos adornos e do revestimento externo da estação.

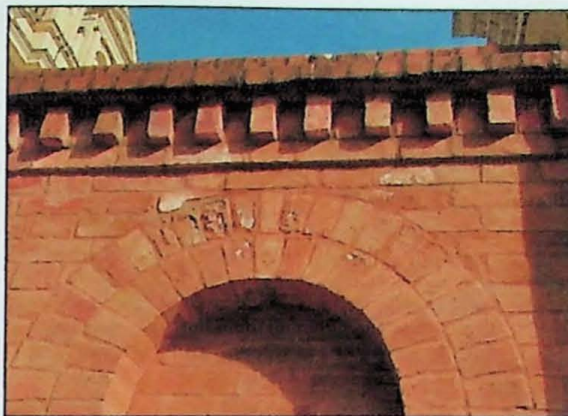


Figura 6.01. Muro ao redor da estação, em frente ao Parque da Luz apresentando eflorescência



Figura 6.02. Detalhe da eflorescência no muro ao redor da Estação da Luz



Figura 6.03. Detalhe da eflorescência na parte superior do arco do muro.

Em 2004, o Museu de Zoologia passou por obras de restauro nas fachadas para a Avenida Nazareth e Rua Padre Marchetti, que atualmente possuem uma argamassa de revestimento de coloração amarelada, com cristais de muscovita de até 1 cm. Em algumas áreas há uma coloração esbranquiçada, que foi coletada para análise (Amostra MZ-02, ilustrada nas Figuras 6.04 e 6.05). Também foi amostrado um resquício de argamassa que ficou exposto com a retirada de parte do revestimento (Amostra MZ-01, ilustrada nas Figuras 6.06 e 6.07). As amostras coletadas antes da reforma, em pesquisas anteriores do IPT, são de argamassa de coloração cinza ou amarelada, com elevado teor de muscovita.



Figura 6.04. Porção esbranquiçada na janela do Museu de Zoologia coletada para análises (amostra MZ-02).



Figura 6.05. Detalhe da Figura 6.04.

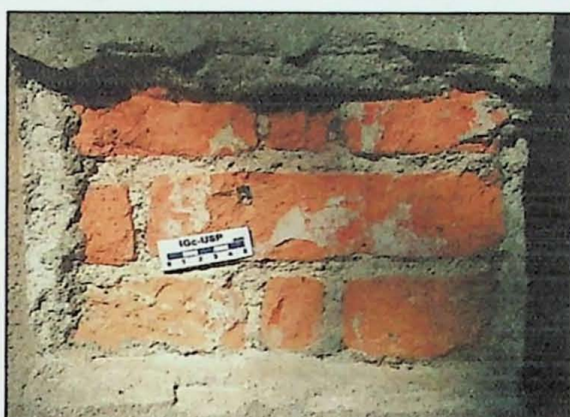


Figura 6.06. Resquício de argamassa exposto com a retirada de parte do revestimento (Amostra MZ-01).

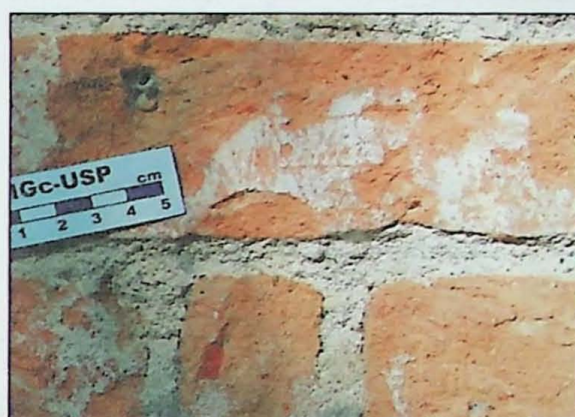


Figura 6.07. Detalhe da Figura 6.06.

Na capela do Hospital das Clínicas foram coletadas amostras da massa de regularização da superfície pintada (amostra HC-01, ilustrada na Figura 6.08), de eflorescência sobre a tinta em área fissurada (amostra HC-02) e em área não fissurada (amostra HC-03). Também foi coletado de uma coluna, um fragmento de argamassa que apresentava duas camadas de tinta (amostra HC-05). Da parede externa da capela foi coletada uma pequena porção da pasta que envolve os grãos de quartzo do fulget (amostra HC-04, ilustrada na Figura 6.09).

Não foram coletadas novas amostras do Edifício Itália. Foram estudadas amostras de pesquisas anteriores do IGc.

A fachada externa do edifício apresentava coloração escurecida. As paredes foram lavadas por jateamento com detergente neutro e água (Figura 6.09). Mesmo após lavagem, algumas regiões abrigadas da luz solar ainda apresentavam coloração escura (Figura 6.10). Os fragmentos escuros, após permanência na estufa a 200°C, ficaram claros, o que pode indicar a presença de matéria orgânica. A 100°C, os fragmentos permaneceram escuros, e não dissolveu no tetracloreto de carbono. As amostras estudadas são referentes à região antes de ser limpa, que foi limpa e ficou clara, e que foi limpa e permaneceu escura. Esta, por sua vez foi levada à mufla às temperaturas de 200°C e 600°C.



Figura 6.08. Aspecto da parede com massa de regularização da superfície pintada aparente - amostra HC-01. Notar coloração esverdeada da pintura anterior sob camada de tinta atual (Capela do Hospital das Clínicas).



Figura 6.09. Fulget da parede externa da Capela do Hospital das Clínicas. A amostra HC-04 corresponde ao cimento entre os grãos de quartzo.



Figura 6.09. Fachada do Edifício Itália com coloração escurecida (à direita) e após lavagem (área mais clara, à esquerda).



Figura 6.10. Detalhe de região abrigada da luz solar com coloração escura do revestimento. Edifício Itália.

Um melhor detalhamento das amostras estudadas encontra-se nas fichas de descrição de amostras do Anexo A.

6.4 Estereomicroscopia e microscopia óptica

As amostras foram observadas a olho nu e ao estereomicroscópio para descrição das mesmas quanto à cor, estruturação, tamanho do agregado etc., assim como para diferenciação das fases presentes, e então deu-se início à análise ao microscópio óptico das seções delgadas, confeccionadas durante os trabalhos anteriores.

A contribuição da petrografia para estudos de argamassas tem se mostrado bastante eficaz (Oliveira *et al.* 1999, Pavia & Caro 2006). Sob o microscópio são observados:

a) aspectos da argamassa, tais como mineralogia, estrutura, tamanho de grãos, fissuras e microfissuras;

b) grãos de cimento remanescentes e produtos de hidratação, como a presença de alita ou belita, de aluminoferrita e de aluminato tricálcico;

c) características da pasta de cimento, tais como grãos de cimento não hidratados, hidróxido de cálcio, etringita em vazios (Oliveira *et al.* 1999);

d) caracterização dos vazios quanto ao tipo, tamanho e distribuição.

Foram analisadas seções delgadas das seguintes amostras:

- Estação da Luz: EL-A, EL-B, EL-C, EL-C-película, EL-D, todas as amostras obtidas no IPT;
- Museu de Zoologia: MZ-A, MZ-B, MZ-C-a, MZ-C-b, MZ-D, MZ-E, todas obtidas no IPT;
- Edifício Itália: EI-01, EI-02 e EI-03, todas obtidas no IGc.

A descrição da análise microscópica dessas amostras encontra-se nas fichas de descrição petrográfica do Anexo B.

6.5 Difratometria de raios X (DRX)

As análises por DRX foram realizadas em 8 amostras, preparadas através do método do pó, para a identificação de fases minerais presentes.

Foram analisadas as seguintes amostras:

- Estação da Luz: EL-01, EL-02.
- Museu de Zoologia: MZ-01, MZ-02.
- Capela do Hospital das Clínicas: HC-01, HC-02, HC-03, HC-04.

Adicionalmente, foram estudados difratogramas das amostras listadas no item anterior, obtidos nas pesquisas previamente realizadas pelo IPT e IGc.

Os difratogramas das análises realizadas estão no Anexo C

6.6 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para a observação ao MEV, foi preparada uma seção polida da amostra HC-05, que foi recoberta com carbono. Foram obtidas imagens de elétrons secundários e retroespalhados, e executadas microanálises químicas e de mapeamento de enxofre.

7. RESULTADOS OBTIDOS

7.1 Estereomicroscopia e microscopia óptica

7.1.1 Estação da Luz

As seções delgadas das amostras da Estação da Luz obtidas no IPT foram analisadas ao microscópio, e apresentam revestimento composto por duas camadas, uma de reboco e a segunda de emboço. O reboco possui agregado composto por grãos subangulosos e esfericidade média, de quartzo e feldspato principalmente. Os vazios são predominantemente de ar aprisionado, mas em alguns casos foi possível observar, ainda, microfissuras e microporos, com diâmetro menor que 40 µm. Os vazios são pouco maiores e em maior concentração próximos ao contato com o emboço. A pasta de cimento apresenta carbonatação intensa, sendo possível observar alguns minerais neoformados, como portlandita e gipsita (como preenchimento de poros em EL-C-reboco e superficialmente em EL-B-película e EL-C-Película) e aglomerados de belita com halo de hidratação.

O emboço apresenta pasta parcialmente carbonatada e agregado grosso, com grãos mais angulosos composto principalmente por quartzo e feldspato, além de biotita, mica e fragmentos de solo em menor quantidade. Os vazios predominantes são alongados, irregulares e de ar aprisionado. Vazios de interface pasta-agregado também são comuns. Nas amostras EL-A-emboço, EL-C-Emboço, EL-E emboço e EL-F emboço foi possível observar crescimento de gipsita em poros.

7.1.2 Museu de Zoologia

Assim como as seções delgadas da Estação da Luz, as amostras do Museu de Zoologia obtidas no IPT também apresentaram duas camadas: uma de reboco e a segunda de emboço, mas apenas o reboco foi analisado ao microscópio. As análises microscópicas das amostras apresentam reboco com pasta não carbonatada a carbonatação incipiente, próxima a grãos de agregado. Na pasta são observados alguns aglomerados de belita e de gipsita. O agregado é em geral composto por grãos angulosos a subarredondados com esfericidade baixa a média, predominantemente de quartzo, mas também são observados muscovita, rocha carbonática e torrões de argila. Vazios de ar aprisionado e de grãos de agregado arrancados são os mais comuns, com vazios alongados e de interface pasta-agregado ocorrendo com menor frequência. Foi identificada gipsita nas amostras MZ-C e MZ-D superficialmente.

7.1.3 Edifício Itália

As amostras de fulget observadas ao estereomicroscópio apresentaram uma camada escura de gipsita com estrutura do tipo “rosa do deserto” na superfície da pasta e também em cavidades formadas por grãos arrancados (Figuras 7.01 e 7.02)

A gipsita foi determinada pelas propriedades ópticas a partir da confecção de lâmina de grãos da porção preta.



Figura 7.01. Estereomicroscopia de fulget apresentando camada de gipsita na superfície do fulget.



Figura 7.02. Estereomicroscopia de fulget apresentando camada de gipsita em cavidade de grão arrancado.

O emboço das amostras do Edifício Itália, analisado ao microscópio óptico, apresenta elevado teor de agregado, formado por grãos irregulares de quartzo, microclínio, plagioclásio e de um mineral opaco, provavelmente um sulfeto. Os vazios são formados predominantemente por bolhas de ar aprisionado e vazios irregulares. A pasta de cimento apresenta coloração homogênea, intensamente carbonatada, com ocorrência de alguns aglomerados de belita proveniente do clínquer. Foram observados cristais de gipsita sobre o mineral opaco (Edi-01-emboço)

O Fulget apresenta pasta com coloração homogênea e carbonatação intensa, sendo possível observar agregados de belita com halo de hidratação, proveniente do clínquer. Como minerais neoformados foram observados cristais de portlandita e de gipsita, este na superfície da amostra Edi-01 (Figuras 7.03 e 7.04). Foram observados dois tipos de agregado: um mais grosso, com grãos angulosos de até 7 mm, compostos principalmente por quartzo e rocha carbonática, e outro, mais fino, composto predominantemente por carbonato e muscovita. A caracterização dos vazios é mais difícil, pois a amostra não está impregnada com corante, mas é possível observar que bolhas de ar aprisionado são comuns, enquanto vazios irregulares e microfissuras são mais raros.

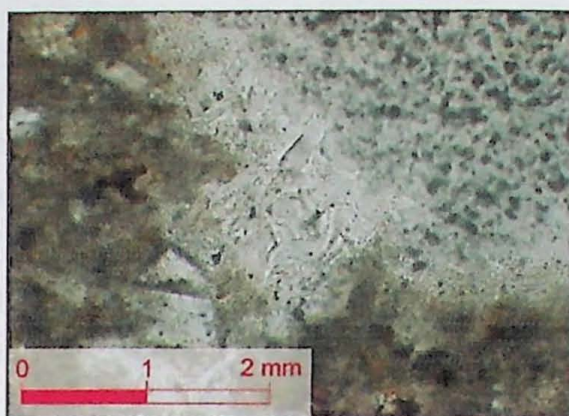


Figura 7.03. Gipsita na superfície do revestimento de fulget – Edifício Itália (polarizadores descruzados).

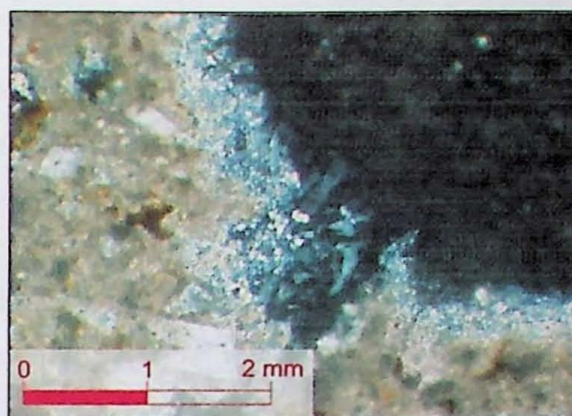


Figura 7.04. Mesmo aspecto da Figura 6.12 (polarizadores cruzados).

7.2 Difractometria de raios X (DRX)

7.2.1 Estação da Luz

Os difratogramas dessas amostras, obtidos no IPT, indicam, em ordem decrescente de abundância, calcita, quartzo, silicato cálcico hidratado, aluminato de cálcio hidratado e feldspato como constituintes do reboco das amostras, tendo sido identificados também mica, caulinita e portlandita. Análises feitas no emboço indicam quartzo, feldspato, calcita, caulinita, gipsita e mica como componentes principais, tendo sido identificados também óxido de ferro (magnetita) hidróxido de ferro (goethita), etringita, portlandita, ilmenita e dolomita.

A amostra EL-D (rosácea de adorno da estação) possui uma camada escurecida na superfície, que foi amostrada para análise por difração de raios X (amostra EL-02). O resultado, apresentado no Anexo C, indica presença predominante de gipsita, enquanto a análise da argamassa dessa mesma amostra identificou calcita, quartzo, feldspato, aluminato de cálcio hidratado, mica, vaterita, silicato cálcico hidratado, portlandita, gipsita e óxido e hidróxido de ferro (magnetita, goethita), em ordem decrescente de abundância.

A amostra EL-01 de eflorescência retirada do muro da estação também apresenta pico de gipsita mais evidente, como mostra difratograma no Anexo C.

7.2.2 Museu de Zoologia

Os difratogramas dessas amostras, obtidos no IPT, apresentam quartzo, calcita e aragonita, comuns a todas as amostras. Gipsita foi identificada em amostras retiradas do segundo pavimento, tanto na composição da argamassa como na porção superficial (MZ-C e MZ-D).

A análise por difratometria de raios X realizada na amostra MZ-01 de argamassa exposta com a retirada de parte do revestimento (Figuras 6.06 e 6.07), também indica a presença de gipsita, conforme difratograma no Anexo C.

A amostra MZ-02 (porção esbranquiçada sobre o revestimento recente) apresentou quartzo, calcita e muscovita como minerais mais abundantes, mas não foi identificada gipsita

7.2.3 Capela do Hospital das Clínicas

Foram realizadas análises por difratometria de raios X (DRX), e ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) das amostras de pó coletadas na Capela do Hospital das Clínicas.

A amostra da massa de regularização da superfície (HC-01) apresenta dolomita e calcita como minerais mais abundantes, tendo sido identificados também, tremolita, gipsita e anidrita em menor quantidade. A análise difratométrica das amostras de eflorescência HC-02 e HC-03 apresenta pico de gipsita mais evidente que na amostra HC-01, como é possível observar nos difratogramas do Anexo C.

Já a análise por DRX da pasta de fulget não indicou a presença de gipsita na parte externa do prédio, tendo sido identificadas apenas dolomita e calcita.

7.2.4 Edifício Itália

As amostras do Edifício Itália apresentam gipsita na superfície do Fulget, com coloração escurecida. Análise por DRX confirma a presença de gipsita e muscovita na superfície escurecida do fulget, e de dolomita, calcita, illita e Mg-calcita na superfície limpa. As amostras que ficaram na mufla a 200 e a 600°C apresentaram bassanita e anidrita, respectivamente.

7.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

7.3.1 Capela do Hospital das Clínicas

A amostra de revestimento retirada da coluna no interior da capela, examinada por MEV, apresenta duas camadas de tinta (A e B) e três camadas de argamassa (C, D e E), sendo C o reboco e D e E duas camadas de emboço (Figura 7.05).

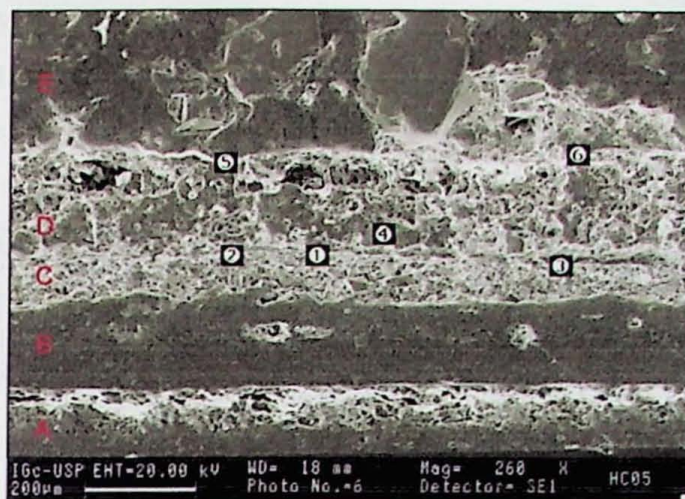


Figura 7.05. Revestimento interno da Capela do Hospital das Clínicas. A e B: camadas de tinta; C: reboco; D e E: emboço. Os números de 1 a 6 indicam os pontos de microanálise química.

Microanálises químicas realizadas nos contatos entre as camadas de argamassa (pontos 1 a 6 da Figura 7.05 e gráficos da Figura 7.06) indicaram a presença predominante de Ca, C, O, Si, Mg e S e Al em quase todos os pontos. O ponto 6 difere dos demais por não apresentar S, Al nem Mg.

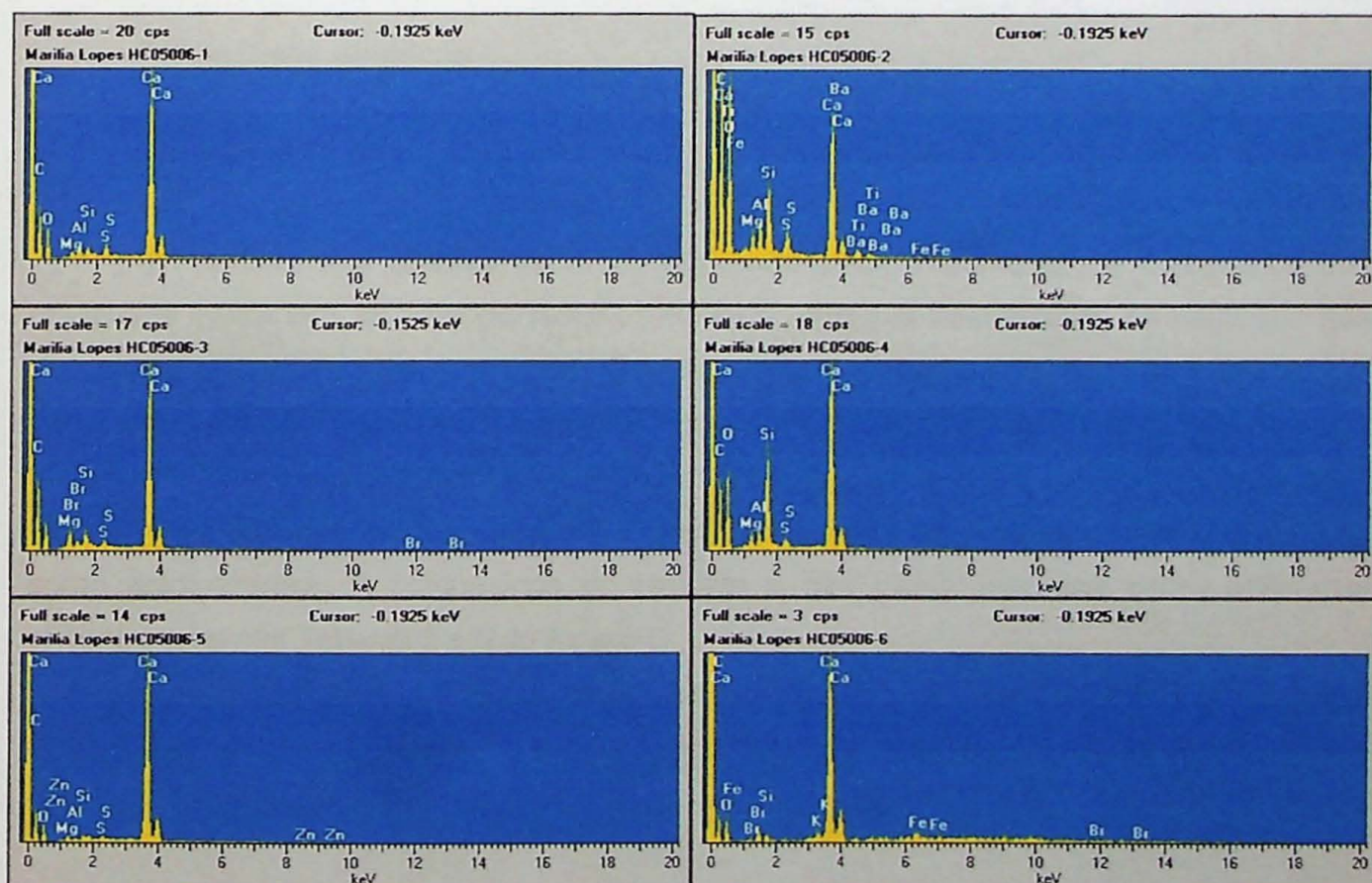


Figura 7.06. Gráficos de microanálise química do revestimento interno da Capela do Hospital das Clínicas referentes aos pontos 1 a 6 da Figura 7.05.

O mapeamento de presença de enxofre na amostra indica maior concentração de enxofre na camada D, principalmente no contato com a camada E. A presença de enxofre na camada C é menos significativa, como pode ser observado na Figura 7.07.

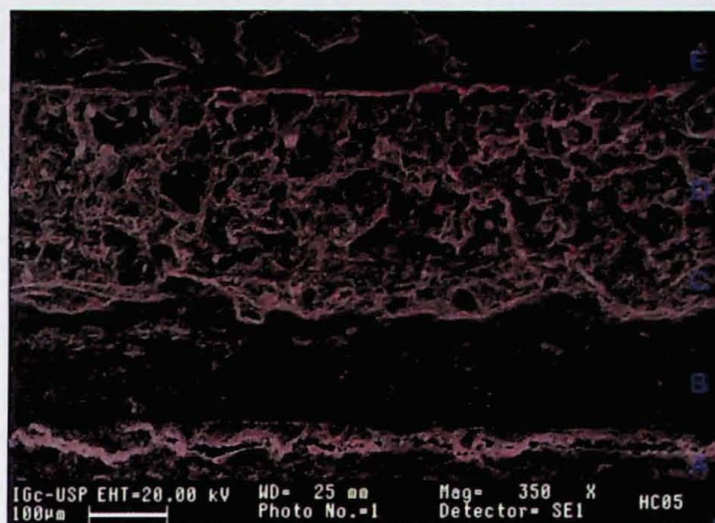


Figura 7.07. Revestimento interno da Capela do Hospital das Clínicas. A e B: camadas de tinta; C: reboco; D e E: emboço. Pontos vermelhos indicam presença de enxofre.

7.4 Análises químicas

7.4.1 Estação da Luz

O resultado das análises químicas das amostras de argamassa da Estação da Luz realizadas indica teor de anidrido sulfúrico mais elevado nas amostras de emboço que nas de reboco (Tabela 1 do Anexo D). Por esse motivo, para o cálculo dos traços, foi considerada a adição de gesso (hemidrato) como aglomerante nas argamassas de emboço, juntamente com cal não hidráulica tipo dolomítica. Nas amostras de reboco, admitiu-se a utilização de cimento Portland tipo CP-1 e cal hidratada não hidráulica tipo magnésiana como aglomerantes. A composição do cimento e das cales utilizados como referência encontram-se nas Tabelas 2 e 3 do Anexo D.

Embora tenha sido identificado um teor de sulfato elevado nas amostras do emboço, a presença de gesso foi desconsiderada na reconstituição do traço, uma vez que a proporção em relação ao teor de cal foi considerada pequena.

7.4.2 Museu de Zoologia

O cálculo de reconstituição de traço considerou a utilização de cal magnesiana nas amostras A, B e E, e de cal dolomítica nas amostras C e D. A composição do cimento e das cales utilizados como referência encontram-se nas Tabelas 8 e 9 do Anexo D.

O resultado das análises químicas realizadas apresentou teor de sulfato mais elevado nas amostras MZ-A, MZ-B e MZ-C, mas não foi possível quantificar eventual presença de gesso.

7.4.3 Edifício Itália

A análise química da pasta de fulget do Edifício Itália foi realizada por fluorescência de raios X e analisador elementar de S, não tendo sido realizado cálculo de reconstituição de traço. O resultado da análise (Tabela 11 do Anexo D) indica presença de enxofre, tanto na porção externa quanto na interna do fulget, sendo que o teor na porção externa do fulget é mais elevado, o que condiz com as observações de que foi identificada gipsita na superfície do fulget.

8. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Todas as amostras de argamassa da Estação da Luz estudadas apresentaram gipsita na camada de emboço quando analisadas por difratometria de raios X, informação que condiz com as obtidas nas análises petrográfica e química. Embora tenha sido desconsiderada a adição de gesso no cálculo de reconstituição de traço, a presença de gipsita provavelmente se deve à adição de gesso à pasta de argamassa na confecção, uma vez que esta camada não está exposta para que haja interação com o SO_2 da atmosfera. A análise mineralógica por difratometria de raios X identificou gipsita em eflorescência sobre tijolo do muro (EL-01) e superficialmente na amostra de rosácea (EL-02) que, como foi observado na análise petrográfica desta amostra, possui agregado grosso composto predominantemente por tijolo. Moreno e Zanardo (no prelo) descrevem eflorescência em tijolos e atribuem a origem do enxofre presente neste tipo de material aos gases de queima do forno e à matéria orgânica contida na matéria prima cerâmica. Já a análise por difratometria de raios X realizada na amostra EL-C, identificou gipsita apenas na porção superficial do reboco, de forma que neste caso, e talvez também na amostra EL-B, a gipsita seja originada a partir da interação com o SO_2 da atmosfera.

As amostras do Museu de Zoologia que apresentaram gipsita na argamassa pela análise mineralógica por difratometria de raios X e análise petrográfica (MZ-C e MZ-D)

possuem superfície com coloração amarelada, e ambas pertencem ao segundo pavimento do edifício. Análises feitas por Nascimento *et al.* (2005) indicam a presença de gipsita nessas áreas, e a coloração amarelada pode ser devido à deposição de poeira proveniente da rua antes de ser asfaltada. Segundo os autores, a origem deste mineral pode ser devido à sulfatação de argamassa devido à presença de SO₂ na atmosfera, ou pela presença de gesso no revestimento da fachada, prática que foi observada em outras edificações contemporâneas a esta. Uemoto (1993) apresenta uma técnica de pintura à base de cal em que o gesso é utilizado para nivelar irregularidades da superfície.

A análise por difratometria de raios X da amostra MZ-01 também identificou gipsita na argamassa exposta após retirada da amostra MZ-E. Esta parte do prédio não pertence à estrutura original do edifício, e foi construída na década de 1990.

O Edifício Itália apresentou fulget com uma camada de gipsita na superfície. Este mineral foi observado também na camada de emboço sob o fulget. Este resultado corrobora a hipótese apresentada por Del Lama *et al.* (2006b) que descrevem esta gipsita como tendo sido gerada a partir do fulget pela adição de gesso (prática comum para o aceleração do processo de pega do cimento), e a coloração escura seria decorrência da aderência de poluentes atmosféricos, como fuligem.

Del Lama *et al.* (2006a) realizaram análises das eflorescências da Capela do Hospital das Clínicas por difratometria de raios X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os resultados indicam a presença de epsomita e gipsita nos afrescos e de gipsita na parede lisa. No caso dos afrescos, estes sais são oriundos do gesso utilizado por Pennacchi como recurso artístico. A análise mineralógica por difratometria de raios-X realizada na amostra HC-01 indica que a pasta de regularização da superfície da parede da capela é composta por dolomita, calcita, tremolita, gipsita e anidrita. A presença de enxofre nas camadas de argamassa da amostra HC-05 analisadas ao microscópio eletrônico de varredura confirma a presença de gesso como constituinte da pasta, sendo esta a possível origem da gipsita das eflorescências na parede não afrescada.

19. CONCLUSÕES

Foram três as formas de ocorrência de gipsita nas amostras de argamassa da Estação da Luz: a) na argamassa de emboço; b) na superfície da argamassa de reboco; c) sobre tijolo.

Todas as amostras estudadas apresentaram gipsita na pasta do emboço, e sua origem se deve provavelmente à adição de gesso à pasta de argamassa na confecção, uma vez que esta camada não está exposta para que haja interação com o SO₂ da atmosfera. Já a gipsita identificada na superfície das argamassas de reboco pode ter sido gerada também

a partir da reação com o SO_2 da atmosfera. Nas amostras EL-D (que contém fragmentos de tijolo no agregado) e EL-01 (eflorescência sobre tijolo), a gipsita pode ter se originado a partir do enxofre presente neste tipo de material devido aos gases de queima do forno e à matéria orgânica contida na matéria-prima cerâmica.

No Museu de Zoologia a gipsita foi identificada na superfície de amostras de coloração amarelada. A análise química apresenta teores de sulfato compatíveis com os encontrados em argamassa de cimento, sendo improvável sua origem devido à adição de gesso como aglomerante da argamassa. A gipsita presente pode ter se originado a partir do SO_2 na atmosfera, ou pela presença de gesso no revestimento da fachada.

Já o revestimento de fulget do Edifício Itália apresenta uma camada de gipsita na superfície, mas este mineral também foi encontrado na camada do emboço. A gipsita, neste caso, pode ter duas origens paralelas a partir da reação do SO_2 da atmosfera e a partir da própria argamassa, que pode ter sido preparada com aditivo de gesso.

As amostras da Capela do Hospital das Clínicas apresentaram gesso como material constituinte da pasta de regularização da parede, sob as camadas de tinta, sendo esta a provável origem da gipsita encontrada nas eflorescências da parede da capela.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIRES-BARROS, L. 1991. *Alteração e Alterabilidade de Rochas*. 1ª ed. Lisboa, Instituto Nacional de Investigação Científica. 384p.
- ALESSANDRINI, G.; BUGINI, R.; NEGROTTI, R. TONIOLO, L. 1991. Characterization of Plasters from the church of San Niccolò di Comelico (Belluno – Northern Italy). *Eur. J. Mineral.*, 3: 619-627.
- ALVES, C.; MORENO F.; VILILA, S. 2006. Sais solúveis em argamassas em obras arquitetônicas: Resultados de caso de estudo em Braga (NW Portugal), Évora (SE Portugal) e Torre de Moncorvo (NE Portugal). In: LNEC ed. *Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos – danos, processos e soluções*, Lisboa, LNEC. p. 209-216.
- BAPTISTA, A.P.P. 2002. *O Eterno ao moderno: arte sacra católica no Brasil, anos 1940-50*. Rio de Janeiro, Tese de Doutorado em História Social - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 285p.
- BARDI, P.M. 1980. *Fulvio Pennacchi*. 1ª ed. São Paulo, Raízes Artes Gráficas. 188p.
- CHAROLA, A.E. & HERODOTUS. 2000. Salts in the deterioration of porous materials: an overview. *Journal of the American Institute for Conservation*. V38, N.3, article 2:327-343
- CPC - COMISSÃO DE PATRIMÔNIO CULTURAL 1999. *Bens imóveis tombados ou em processo de tombamento da USP*. 2 ed.. M.C.F. Lourenço (ORG.) Conservação e Restauro I. São Paulo: Edusp: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo. 224p.
- DELGADO-RODRIGUEZ, J. & DIAZ-GONÇALVES, T. 2006. Sais solúveis nas construções históricas: Introdução e relato sumário. In: LNEC ed. *Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos – danos, processos e soluções*, Lisboa, LNEC. p. 1-13.
- DEL LAMA, E.A.; ANDRADE, F.R.D.; KIHARA, Y.; TIRELLO, R.A. 2006a. Estudo de eflorescências em pinturas murais de Fulvio Pennacchi. *ARC – Revista Brasileira Arqueometria Restauração Conservação*. V. 1, n.1. CD-ROM.
- DEL LAMA, E.A.; SBRIGHI NETO, C.; ZANARDO, A. 2006b. A poluição escurecendo prédios históricos da cidade de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43. Aracaju – SE, 2006. *Anais...* Aracaju, SBG. p. 71.
- DIAFERIA, L. 2001. Como se fosse um livro aberto. In: ELIAS, M. B. C. org. *Um Século de Luz*. São Paulo, Scipione. 223 p.
- DIAZ-GONÇALVES, T. & DELGADO-RODRIGUES, J. 2006. Rebocos para paredes antigas afectadas por sais solúveis, princípios de funcionamento e adequabilidade. In: LNEC ed. *Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos – danos, processos e*

- soluções*, Lisboa, LNEC. p. 35-47.
- FUJIOKA, P.Y. 1996. O Edifício Itália e a arquitetura dos edifícios de escritórios em São Paulo. São Paulo, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. 144p.
- GONÇALVES, M.R.F.; FERNANDES, A.R.; LEITE, C.P.; DIAS, A.R. 2005. Revestimento externo do prédio da Catedral São Francisco de Paulo, Pelotas-RS – Caracterização e identificação de fenômenos patológicos. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 6. Florianópolis. CD-ROM. Florianópolis, SBTA. p. 757-767.
- JORGE, C.A. 1988. *Luz: notícias e reflexões*. 1ª ed. São Paulo, Departamento do Patrimônio Histórico. 127p.
- LEWIN, S.Z. 1982. The Mechanism of Masonry Decay Through Crystallization. In: CONSERVATION OF HISTORIC STONE BUILDINGS AND MONUMENTS, Washington, DC, 1981. *Proceedings...* Washington, DC, National Academy of Sciences. p. 120-144.
- MORENO, M.M.T. & ZANARDO, A. (no prelo) Estudo da eflorescência proveniente de materiais utilizados na construção civil. *Cerâmica Industrial*.
- MOTTA, E.V. 2004. *Caracterização de argamassas de edificações históricas de Santa Catarina*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Universidade federal de Santa Catarina. 100p.
- MOTTA, E.V.; GLEIZE, P.J.P.; SILVA, D.A.; ROMAN, H.R. 2005. Caracterização de argamassas de edificações históricas de Santa Catarina. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 6. Florianópolis. CD-ROM. Florianópolis, SBTA. p. 674-683.
- NASCIMENTO, C.B. 2002. *Deterioração de forro em estuque reforçado com ripas vegetais: o caso "Vila Penteado" – FAUUSP*. São Paulo, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 244p.
- NASCIMENTO, C.B.; OLIVEIRA, M.C.B.; QUARCIONI, V.A. 2005. Presença de gipsita em revestimento de fachada de edificação histórica da cidade de São Paulo. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 6. Florianópolis. CD-ROM. Florianópolis, SBTA. p. 725-734.
- OLIVEIRA, M.C.B.; NASCIMENTO, C.B.; CINCOTTO, M.A. 1999. Microestrutura de argamassas endurecidas: uma contribuição da Petrografia. In: CONPAT, CONGRESO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DE LAS CONSTRUCCIONES, 5, *Memorias/ Proceedings*, v. 1, p. 227-234.
- OLIVEIRA, M.M. 2001. Materiais de revestimento aplicados na conservação de azulejos. In: DIAS, M.C.V.L. (org.). *Patrimônio Azulejar Brasileiro: aspectos históricos e de conservação*. Brasília: Ministério da Cultura. p. 141-163.

- PAIVA, S. & CARO, S. 2006. Lime mortars for masonry repair: analytical science and laboratory testing versus practical experience. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON THEORY AND PRACTICE CONSERVATION. Lisboa. LNEC. p. 493-500.
- PALOMO, A.; BLANCO-VARELA, M.T.; MARTINEZ-RAMIREZ, S.; PUERTAS, F.; FORTES, C. 2002. Historic Mortars: Characterization and Durability. New Tendencies for Research. In: ARCCHIP <http://www.itam.cas.cz/~arcchip/ariadne_9.shtml>, acessado em 06 de março de 2006.
- PERES, R.M.; GREVEN, H.A.; ZAMBRANO, L.G.; BONIN, L.C. 2005. Um estudo de caso sobre a reconstituição de traço de argamassas históricas. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 6. Florianópolis. CD-ROM. Florianópolis, SBTA. p. 663-672.
- QUARCIONI, V.A. 1998. *Reconstituição de traço de argamassas simples e mistas de cimento Portland e cal hidratada: atualização do método do IPT*. São Paulo, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 188p.
- SANTOS SILVA, A. 2002. Caracterização de argamassas antigas – casos paradigmáticos. In: Cadernos de Edifícios nº. 2. Lisboa, LNEC. P 87-101
- SILVA, M.C. 2006. *Christiano Stockler das Neves e o Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo*. São Paulo, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. 274p.
- SOUKEF JUNIOR, A.; MAZZOCO, M.I.D. 2000. *Cem Anos Luz*. 1ª ed. São Paulo, Diaeto Latin American Documentary. 120p.
- TIRELLO, R.A. & DEL LAMA, E.A. 2006. La pintura al fresco moderna brasileña: estudios de caracterización material y ejecución de los murales de Fulvio Pennacchi (São Paulo/Brasil). In: PIFFERETI, A.A. & BOLMARO, R.E. *Metodologías científicas aplicadas al estudio de los bienes culturales: datación, caracterización, prospección, comunicación*. Rosario, Humanidades y Artes Ediciones. p. 201-207.
- UEMOTO, K. L. 1988. Patologia: danos causados por eflorescência (cap.8 Patologia e Manutenção). In: CENTRO DE DOC. DA DIV. DE EDIFICAÇÕES. Org. *Tecnologia das edificações*. São Paulo, Editora Pini Ltda. p. 95-98.
- UEMOTO, K.L. 1993. *Pintura à base de cal*. São Paulo, IPT. 69p. (IPT, Publicação nº. 2030).
- WINKLER, E.M. 2002. *Stone in Architecture: Properties, Durability*. 3ªed. New York, Springer. 313p.

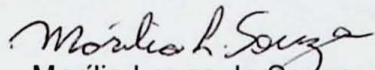
Sites consultados:

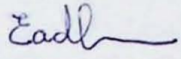
<http://www.pucsp.br/artecidade/site97_99/ac3/hist.html#luzres>, acessado em 05 de março de 2007.

< http://pt.wikipedia.org/wiki/Esta%C3%A7%C3%A3o_da_Luz> , acessado em 09 de março de 2007.

< http://www.granitorre.com.br/fulget_trad_infotec.htm > , acessado em 25 de outubro de 2007.

<<http://www.usp.br/mz/info/fachada.html>>, acessado em 01 de novembro de 2007.

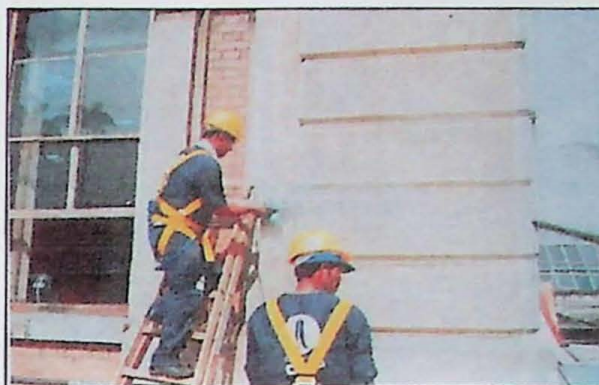

Marília Lopes de Souza


Eliane Aparecida Del Lama

Amostra: EL-A

Origem: Estação da Luz - Lesena do primeiro pilar da fachada principal, pavimento sobre a marquise do térreo. Ala Oeste.

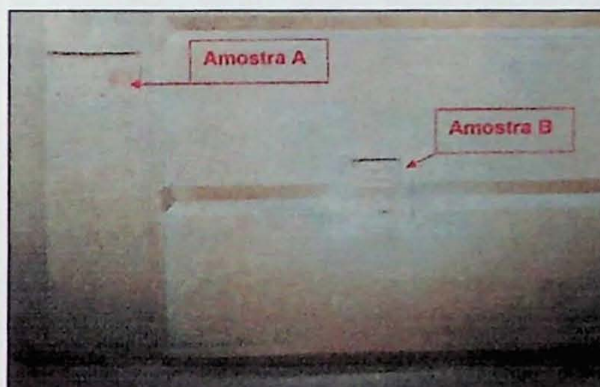
Descrição: Superfície com pintura rala de coloração cinza amarelado. Reboco com espessura de aproximadamente 7 mm de cor cinza claro. Emboço de aproximadamente 10mm de espessura, coloração cinza muito claro, levemente rosado. Vazios entre as camadas.



Amostra: EL-B

Origem: Estação da Luz - Área detalhada do primeiro pilar da fachada principal, pavimento sobre a marquise do térreo. Ala Oeste

Descrição: Argamassa com superfície pintada em camada bem definida, coloração laranja claro acinzentado.



Amostra: EL-C

Origem: Estação da Luz - Moldura da segunda janela a partir da esquerda sobre a marquise na fachada principal. Ala Oeste.

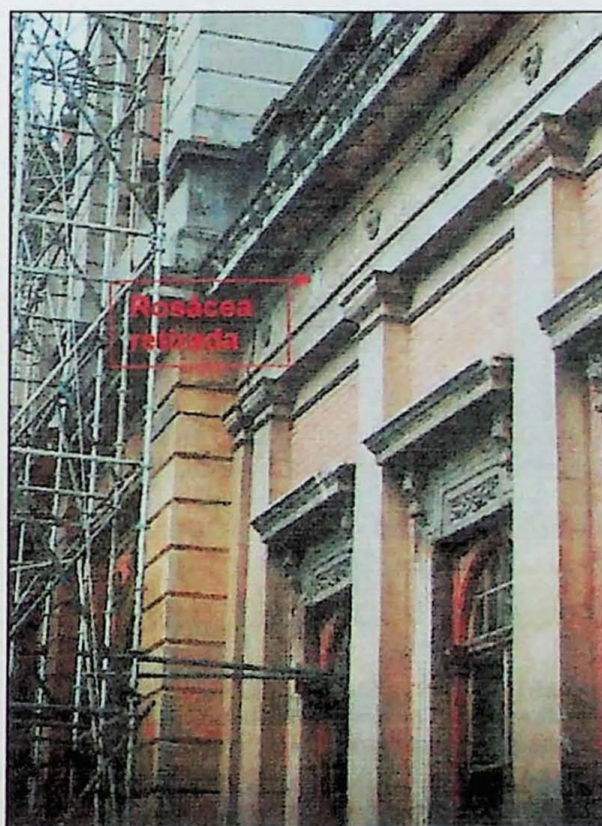
Descrição: Superfície com camada de pintura bem definida de cor cinza amarelado. Reboco de aproximadamente 3mm de espessura, coloração cinza claro. Emboço com espessura entre 20e 50mm, cor cinza claro levemente rosado com pedaços de tijolo nas seções mais espessas.



Amostra: EL-D

Origem: Estação da Luz - Segunda rosácea no avanço da fachada principal no pavimento sobre a marquise do térreo. Ala Oeste

Descrição: Superfície com resquícios de pintura de coloração não identificada devido à presença de camada negra sobre peça. Argamassa de camada única de coloração mais forte próxima à superfície. Presença de fragmento de tijolos de diferentes tonalidades e arestas não angulosas.



Amostra: EL-E

Origem: Estação da Luz - Primeiro pilar da fachada principal, pavimento sobre a marquise do térreo. Ala Leste.

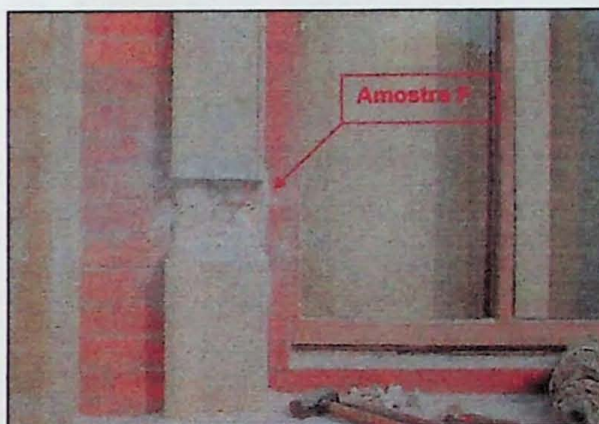
Descrição: Superfície com pintura rala de coloração cinza amarelado. Reboco com espessura menos de 5mm de cor cinza claro. Emboço com 15 a 20,, de espessura, coloração cinza muito claro levemente rosado. Vazios entre as camadas.



Amostra: EL-F

Origem: Estação da Luz - Moldura da segunda janela a partir da esquerda sobre a marquise na fachada principal. Ala Leste.

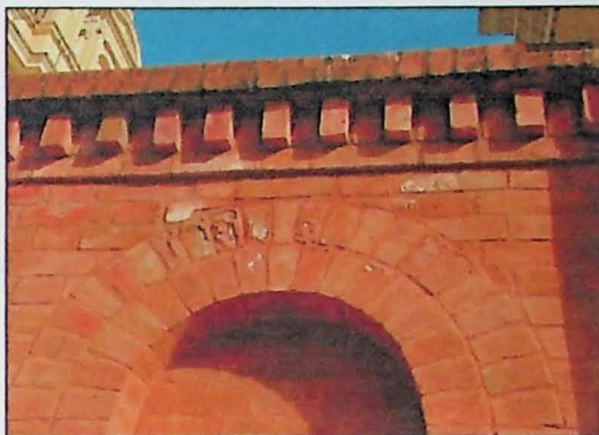
Descrição: Superfície com camada de pintura bem definida de coloração cinza claro rosado. Reboco com 2 a 5mm de espessura e coloração cinza claro. Emboço com espessura entre 10 e 25mm de cor cinza muito claro levemente rosado. Vazios entre as camadas.



Amostra: EL-01

Origem: Muro ao redor da estação,
em frente ao Parque da Luz

Descrição: Estação da Luz -
Eflorescência em Tijolo
(Fotos)



Amostra: EL-02

Origem: Estação da Luz - Rosácea
de adorno (EL-D)

Descrição: Superfície escurecida
sobre argamassa.



Amostra: MZ-A

Origem: Museu de Zoologia -
Fachada para
estacionamento

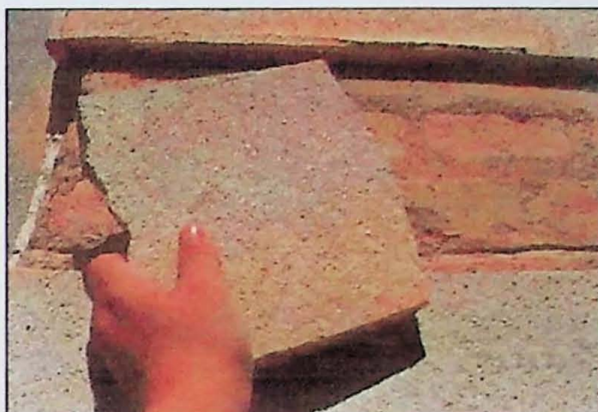
Descrição: Argamassa de coloração
levemente acinzentada



Amostra: MZ-B

Origem: Museu de Zoologia -
Fachada para
estacionamento, acima da
amostra MZ-A

Descrição: Argamassa com
coloração levemente
acinzentada, maior
concentração de mica



Amostra: MZ-C

Origem: Museu de Zoologia -
Fachada para
estacionamento, janela
superior

Descrição: Argamassa com
superfície de coloração
levemente amarelada



Amostra: MZ-D

Origem: Museu de Zoologia -
Fachada para Av. Nazareth,
janela superior

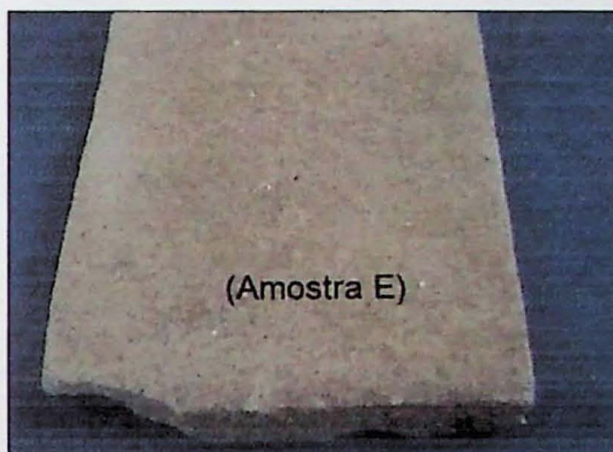
Descrição: Argamassa com
superfície de coloração
amarelada mais intensa



Amostra: MZ-E

Origem: Museu de Zoologia - Lateral
esquerda do prédio
(construída na década de 90)

Descrição: Argamassa de cor cinza



Amostra: MZ-01

Origem: Museu de Zoologia - Lateral
esquerda do prédio

Descrição: Resquício de argamassa
em tijolo aparente após
retirada amostra MZ-E em
trabalho anterior (Fotos)



Amostra: MZ-02

Origem: Museu de Zoologia - Quinta
janela inferior da fachada
principal (Av. Nazareth)

Descrição: Porção esbranquiçada,
após restauro de 2004
(Fotos)



Amostra: HC-01

Origem: Capela do Hospital das
Clínicas - Parte inferior do
afresco à esquerda

Descrição: Porção branca sob
camada de tinta

Sem foto disponível

Amostra: HC-02

Origem: Capela do Hospital das
Clínicas - Fissura na
parede, lado esquerdo

Descrição: Porção branca sobre a
tinta

Sem foto disponível

Amostra: HC-03

Origem: Capela do Hospital das
Clínicas - Abaixo do afresco
do lado esquerdo- área não
fissurada

Descrição: Porção branca

Sem foto disponível

Amostra: HC-04

Origem: Capela do Hospital das
Clínicas - Porção externa
da capela

Descrição: Fulget

Sem foto disponível

Amostra: HC-05

Origem: Capela do Hospital das
Clínicas - Primeira coluna do
lado esquerdo

Descrição: Fragmento do
revestimento (tinta e
argamassa)

Sem foto disponível

Amostra: Edi-01

Origem: Edifício Itália

Descrição: Fulget de revestimento
com superfície escurecida

Sem foto disponível

Amostra: Edi-02

Origem: Edifício Itália

Descrição: Fulget de revestimento
que passou por limpeza,
com coloração escurecida.
Ficou em mufla a 600° por
10 minutos e sua coloração
passou a clara

Sem foto disponível

Amostra: Edi-03

Origem: Edifício Itália

Descrição: Fulget de revestimento
que passou por limpeza, com
coloração escurecida. Ficou
em mufla a 200° por 10
minutos e sua coloração
passou a clara

Sem foto disponível

Amostra: Edi 04

Origem: Edifício Itália

Descrição: Fulget que passou por
limpeza. Apresenta
coloração clara

Sem foto disponível

ANEXO B

Fichas de descrição petrográfica

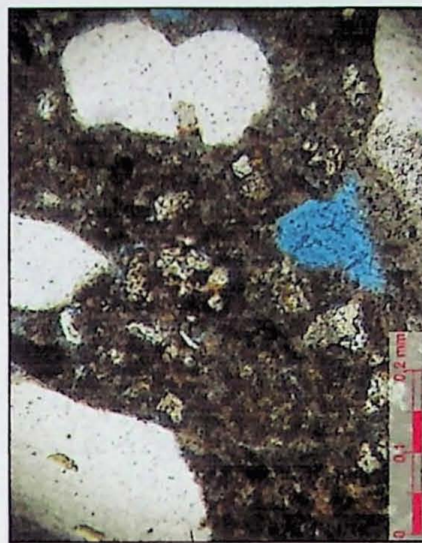
Amostra: EL-A (reboco)



Agregado com grãos angulosos a subarredondados – polarizadores descruzados.



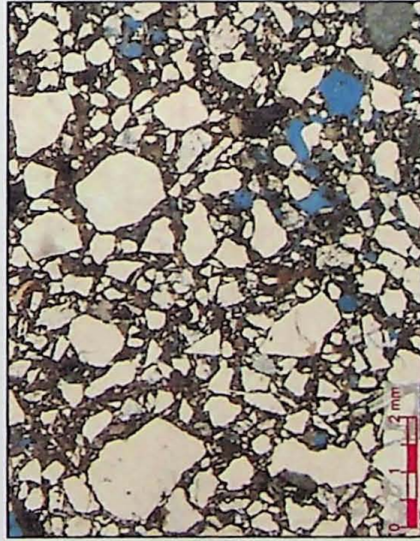
Pasta completamente carbonatada – polarizadores cruzados.



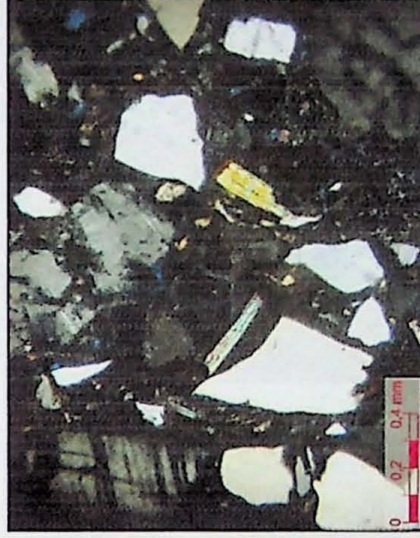
Aglomerado de belita (ao centro) – polarizadores descruzados.

Pasta (25-30%)	Agregado (50%)	Vazios (20-25%)
A pasta encontra-se completamente carbonatada, com presença abundante de cristais dispersos de portlandita e aglomerados de clínquer (belita) com halo de hidratação.	Esfericidade média, grãos angulosos a subarredondados, granulometria de 0,1 a 0,8 mm, com predomínio de 0,3 a 0,5 mm. Composto predominantemente por quartzo (~95%) e feldspato (~5%). Ocorrem ainda agregados carbonáticos, torrão de argila, biotita e muscovita.	São comuns: - Bolhas de ar aprisionado de 0,1 a 2,0 mm de diâmetro; - Vazios alongados de 0,5 a 4,5 mm de comprimento; - Vazios na interface pasta-agregado com espessura menor de 0,1 mm; - Microfissuras na pasta com espessura menor que 0,1 mm. São raros: - Vazios por grãos arrancados com tamanho entre 0,3 e 0,8 mm; - Vazios intersticiais menores que 0,02 mm. O contato com o emboço apresenta uma maior concentração de vazios.

Amostra: EL-A (emboço)



Agregado com grãos angulosos a subangulosos e freqüentes bolhas de ar aprisionado – polarizadores descruzados.



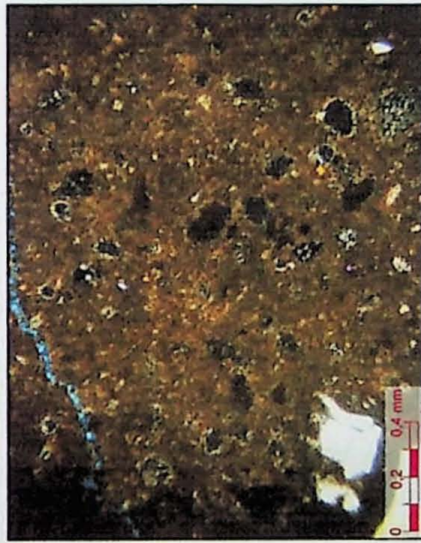
Pasta parcialmente carbonatada e freqüentes vazios de interface pasta-agregado – polarizadores cruzados.

Pasta (15-20%)	Agregado (60-65%)	Vazios (20%)
A pasta encontra-se parcialmente carbonatada.	Esfericidade média a alta, com grãos angulosos a subangulosos. A granulometria varia de 0,03 a 4,0 mm, com predomínio entre 0,5 e 0,8 mm. Composição predominante: Quartzo (70-75%) feldspato (20%), biotita e muscovita (5%). Ocorrem ainda torrões da argila.	São comuns: - Vazios irregulares com comprimento maior entre 0,5 e 1,0 mm; - Vazios de interface pasta-agregado com espessura menor de 0,3mm; - Microfissuras na pasta com espessura menor que 0,1 mm; - Vazios provocados por grãos arrancados de 0,4 a 1,5 mm; - Bolhas de ar aprisionado com diâmetro entre 0,4 e 1,0 mm de diâmetro. O contato com o reboco apresenta uma maior concentração de vazios.

Amostra: EL-B (película)



Argamassa pouco porosa, com agregado de esfericidade média a alta – polarizadores descruzados.



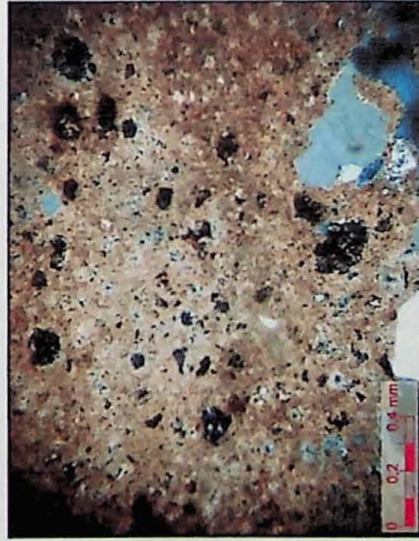
Pasta completamente carbonatada, com microfissuras – polarizadores cruzados.



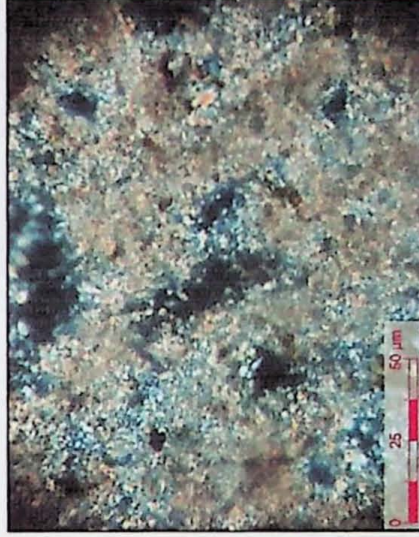
Ao centro, aglomerado de cristais de gipsita – polarizadores cruzados.

Pasta (85%)	Agregado (15%)	Vazios
A pasta encontra-se completamente carbonatada, sendo observada presença abundante de portlandita e de agregados de clínquer (belita). Foi identificada presença de gipsita em poros.	Esfericidade média a alta, com grãos angulosos a subangulosos. A granulometria varia de 0,03 a 1,3 mm, com predomínio entre 0,5 a 7,0. Composição predominante: quartzo (90%) e carbonato (5%). Ocorrem ainda feldspato, biotita, muscovita e torrão de argila.	São comuns: - Bolhas de ar aprisionado de 0,3 a 1,0 mm de diâmetro; - Microfissuras na pasta com espessura menor que 0,1 mm.

Amostra: EL-C (reboco)



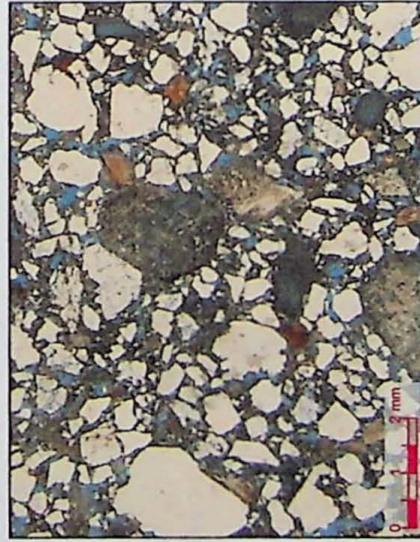
Pasta completamente carbonatada. Grãos do agregado com esfericidade média a alta – polarizadores cruzados.



Aglomerado de cristais de gipsita – polarizadores cruzados.

Pasta (80-85%)	Agregado (15%)	Vazios (<5%)
A pasta encontra-se completamente carbonatada, tendo sido observada presença abundante de portlandita e de agregado de clínquer. Foi identificada presença de gipsita na pasta, próximo à superfície.	Esfericidade média a alta, com grãos angulosos a subangulosos. A granulometria varia de 0,1 a 0,5 mm, com predomínio entre 0,15 e 0,25 mm. Composição predominante: quartzo (85-90%), feldspato (5%), rocha carbonática (5%). Ocorrem ainda biotita, muscovita e torrão de argila.	São comuns: - Vazios alongados com comprimento entre 0,4 e 0,6 mm; - Bolhas de ar aprisionado com 0,1 a 0,5 mm de diâmetro. São raros: - Vazios de interface pasta-agregado.

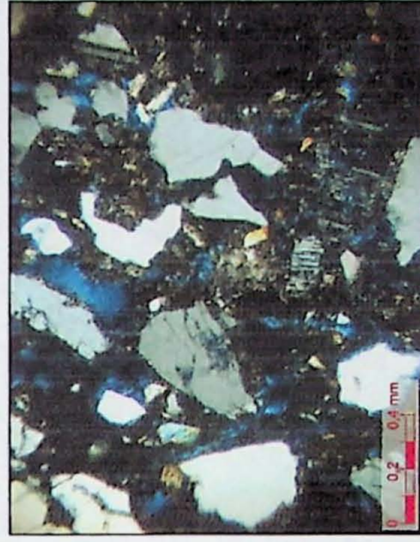
Amostra: EL-C (emboço)



Argamassa com alta percentagem de agregado, com grãos angulosos a subangulosos de esfericidade média – polarizadores descruzados.



Freqüentes vazios irregulares, de interface pasta-agregado e microfissuras – polarizadores descruzados.



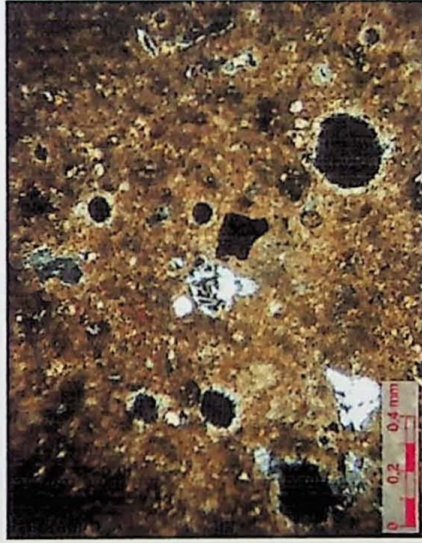
Pasta parcialmente carbonatada – polarizadores cruzados.

Pasta (15%)	Agregado (65%)	Vazios (20%)
A pasta encontra-se parcialmente carbonatada.	Esfericidade média a alta, com grãos angulosos a subangulosos. A granulometria varia de 0,03 a 5,0 mm, com predomínio entre 0,9 e 1,2 mm. Composição predominante: Quartzo (60-65%), feldspato (20-25%), torrões de argila (5-10%) e mica (5%).	São comuns: - Vazios irregulares com 0,5 a 1,0 mm de tamanho maior; - Vazios de interface pasta-agregado com espessura menor que 0,23 mm; - Microfissuras na pasta com espessura menor que 0,1 mm; - Vazios por grãos arrancados de 0,4 a 1,5 mm; - Bolhas de ar aprisionado com 0,4 a 1,0 mm de diâmetro.

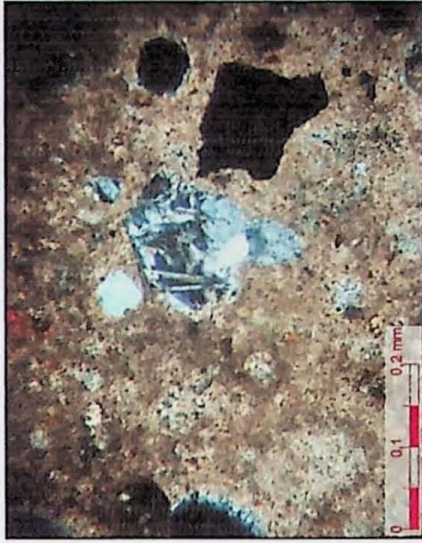
Amostra: EL-C (película)



Grãos do agregado com esfericidade média, com granulometria entre 0,3 e 1,3mm – polarizadores descruzados.



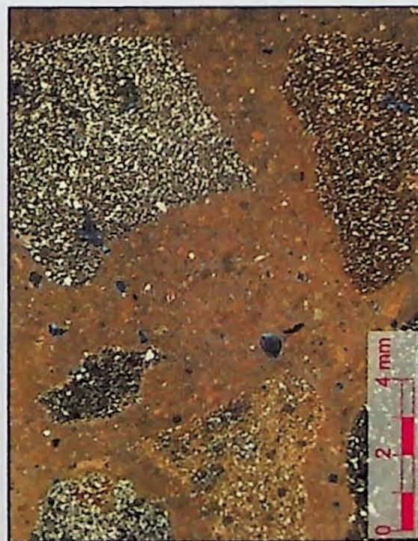
Pasta completamente carbonatada, com bolhas de ar aprisionado – polarizadores cruzados.



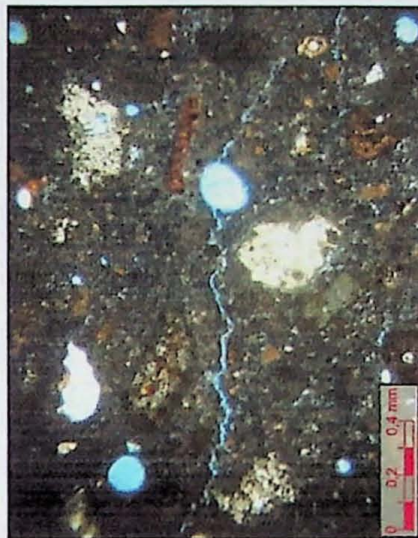
Cristais de gipsita (o centro) – polarizadores cruzados.

Pasta (95%)	Agregado (5)	Vazios
A pasta encontra-se completamente carbonatada, sendo observada presença de portlandita e de clínquer. Foi identificada presença de gipsita.	Esfericidade média a alta com grãos angulosos a subangulosos. A granulometria varia de 0,03 a 1,3 mm, com predomínio entre 0,5 e 0,7 mm. Composição predominante: quartzo (~100%). É possível observar, ainda traços de feldspato, carbonato e mica.	São comuns: - Bolhas de ar aprisionado de 0,3 a 1,0 mm de diâmetro.

Amostra: EL-D



Fração grossa do agregado composta por fragmentos de tijolo – polarizadores cruzados.



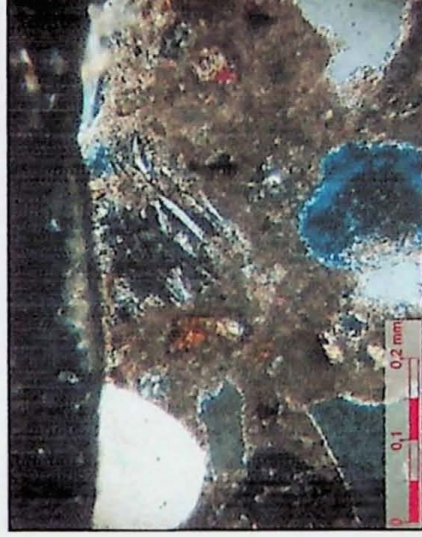
Pasta carbonatada, com frequentes microfissuras – polarizadores cruzados.

Pasta (35%)	Agregado (55%)	Vazios (10%)
A pasta encontra-se totalmente carbonatada, sendo observada rara presença de portlandita e restos de rocha carbonática mal calcinada.	Existem duas frações predominantes: A maior, composta predominantemente por tijolo, apresenta esfericidade baixa, grãos angulosos e granulometria de 1,0 a 2,0 cm, com predomínio entre 1,0 e 1,5 cm. A mais fina, composta predominantemente por carbonato, apresenta esfericidade média a alta, com grãos subangulosos a arredondados. A granulometria varia de 0,08 a 1,0 mm, com predomínio entre 0,3 e 0,6 mm. Composição predominante: fragmentos de tijolos (85%), carbonato (10%) e quartzo (5%).	São comuns: - Bolhas de ar aprisionado de 0,3 a 2,5 mm de diâmetro; - Microfissuras na pasta com espessura menor que 0,1 mm; - Vazios de interface pasta-agregado com espessura menor que 0,1 mm; - Vazios intragranulares no tijolo.

Amostra: EL-E (reboco)



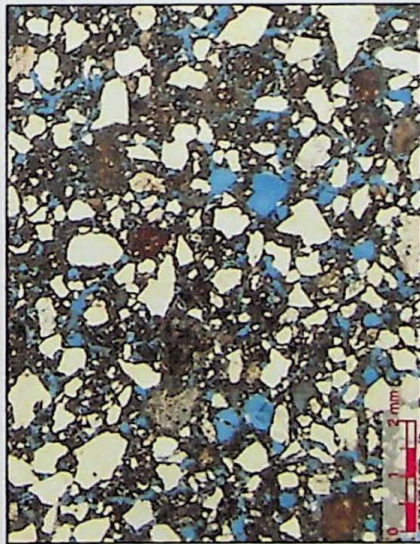
Agregado do reboco com esfericidade média. Frequentes bolhas de ar aprisionado na pasta – polarizadores descruzados.



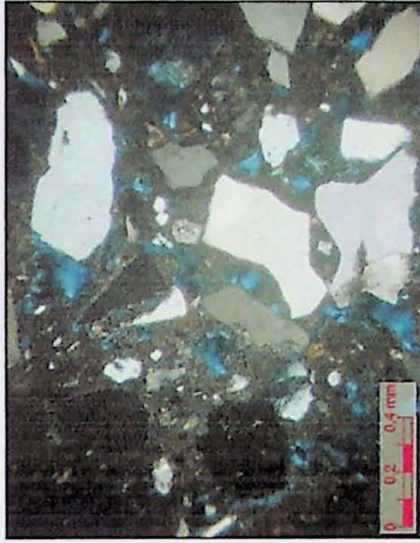
Pasta carbonatada, com presença de gipsita – polarizadores cruzados.

Pasta (30-35%)	Agregado (55-60%)	Vazios (10)
A pasta encontra-se completamente carbonatada, com distribuição homogênea de cor. Presença de gipsita e de portlandita em cristais isolados e agrupados.	Esfericidade média a alta, com grãos angulosos. A granulometria varia de 0,1 a 1,2 mm, com predomínio entre 0,3 e 0,5 mm. Composição predominante: quartzo (90-95%) e feldspato (5-10%). É possível observar, ainda, carbonato e mica.	São comuns: - Bolhas de ar aprisionado com diâmetro entre 0,1 e 2,0 mm; - Vazios provocados por grãos arrancados, com 0,3 a 1 mm de tamanho.

Amostra: EL-E (emboço)



Agregado composto por grãos angulosos, de esfericidade média a alta e frequentes vazios irregulares, provocados por grãos arrancados e microfissuras – polarizadores des cruzados.



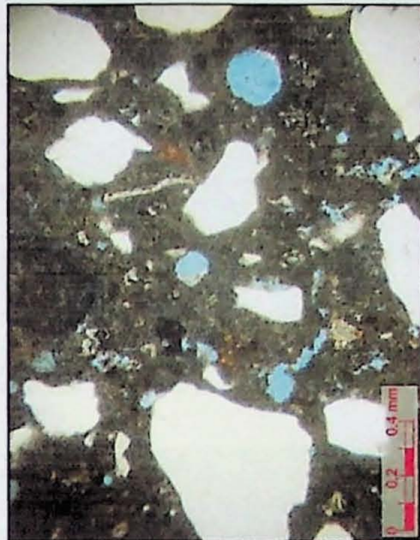
Pasta parcialmente carbonatada, e vazios de interface pasta-agregado – polarizadores cruzados.

Pasta (25-30%)	Agregado (50-55%)	Vazios (20%)
A pasta encontra-se parcialmente carbonatada. Foi identificada presença de gipsita.	Esfericidade média a alta, com grãos angulosos a subangulosos. A granulometria varia de 0,03 a 7,4 mm, com predomínio entre 0,9 a 1,2 mm. Composição predominante: quartzo (35-70%), torrão de argila (20%), feldspato (5-10%) e micas (5%). Ocorrem ainda traços de carbonato.	São comuns: - Vazios irregulares com 0,5 a 1,0 mm de tamanho maior; - Vazios de interface pasta-agregado com espessura menor que 0,3 mm; - Microfissuras na pasta com espessura menor que 0,1 mm; - Vazios provocados por grãos arrancados de 0,4 a 1,5 mm de comprimento; - Bolhas de ar aprisionado com diâmetro de 0,4 a 1,0 mm.

Amostra: EL-F (reboco)



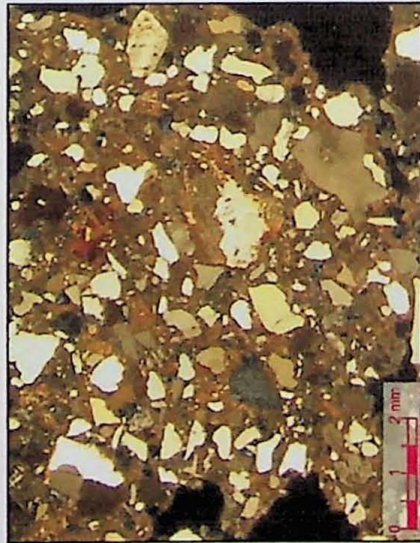
Reboco com pasta completamente carbonatada e agregado com esfericidade média a alta, com grãos angulosos – polarizadores cruzados.



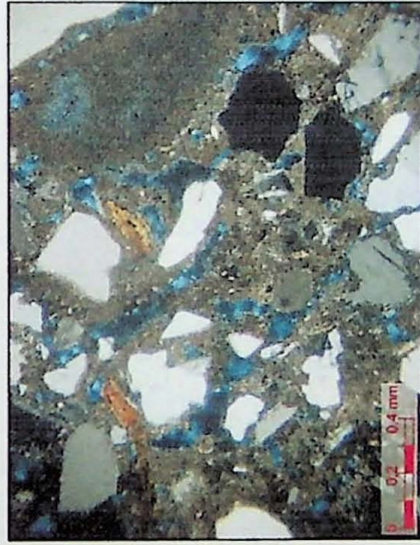
Pasta com vazios alongados e bolhas de ar aprisionado comuns – polarizadores descruzados.

Pasta (30-35%)	Agregado (55-60%)	Vazios (10%)
A pasta encontra-se completamente carbonatada, com distribuição homogênea de cor. Presença de portlandita.	Agregado com esfericidade média a alta e grãos angulosos a subarredondados. A granulometria varia de 0,1 a 1,0 mm, com predomínio entre 0,3 e 0,5 mm. Composição predominante: quartzo (90-95%) e feldspato (5%). É possível observar, ainda, torrão de argila, carbonato e micas (<5%).	São comuns: - Bolhas de ar aprisionado, com diâmetro entre 0,1 e 2,0 mm; - Vazios alongados, com 0,3 a 0,5 mm de comprimento; - Vazios de interface pasta-agregado, com espessura menor que 0,2 mm. São raros: - Vazios intersticiais, menores que 0,02 mm.

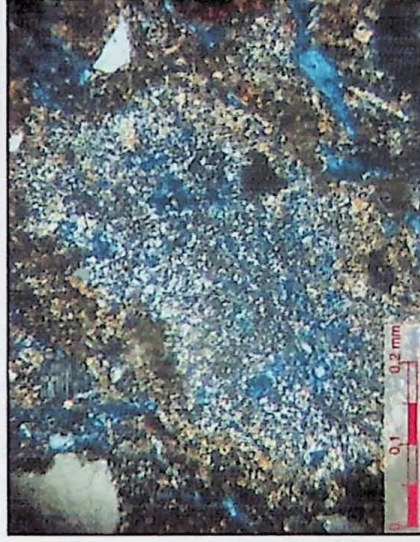
Amostra: EL-F (emboço)



Agregado com esfericidade média e grãos angulosos – polarizadores cruzados.



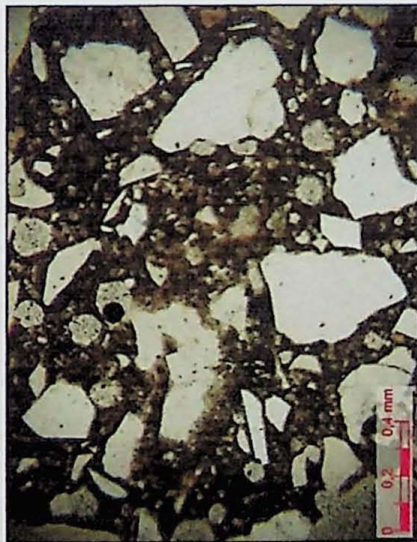
Pasta parcialmente carbonatada. Agregado composto por quartzo, feldspato, biotita e torrões de argila – polarizadores cruzados.



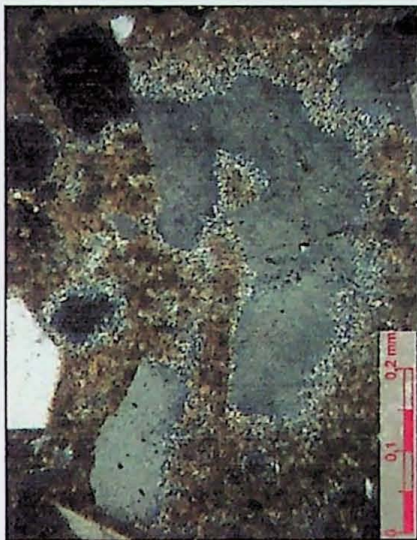
Agglomerado de cristais de gipsita – polarizadores cruzados.

Pasta (20-25%)	Agregado (50-55%)	Vazios (25%)
A pasta encontra-se parcialmente carbonatada. Presença de cristais de portlandita e restos de rocha carbonática mal calcinada. Foi identificada presença de gipsita.	Esfericidade média, com grãos angulosos a subangulosos. A granulometria varia de 0,03 a 6,0 mm, com predomínio entre 0,9 e 1,2 mm. Composição predominante: quartzo (65-70%), feldspato (10-15%) opacos (10%), biotita (5%) e torrão de argila (5%).	São comuns: - Vazios alongados com comprimento de 0,5 a 1,0 mm; - Vazios de interface pasta-agregado, com espessura menor que 0,3 mm; - Microfissuras na pasta com espessura menor que 0,1 mm; - Vazios provocados por grãos arrancados de 0,4 a 1,5 mm; - Bolhas de ar aprisionado com 0,4 a 1,0 mm de diâmetro; - Vazios irregulares de 1,0 a 5,0 mm de tamanho maior.

Amostra: MZ-A



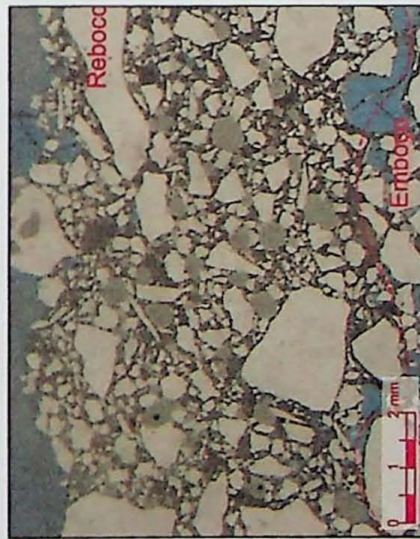
Agregado com esfericidade baixa a média, grãos angulosos – polarizadores descruzados.



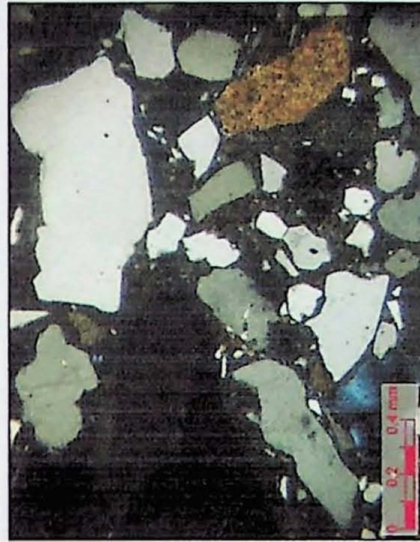
Pasta parcialmente carbonatada, ao redor dos grãos do agregado – polarizadores cruzados.

Pasta (30%)	Agregado (55-60%)	Vazios (10-15%)
A pasta está parcialmente carbonatada, principalmente ao redor dos grãos do agregado.	Esfericidade baixa a média, com grãos angulosos a subarredondados. A granulometria varia de 0,09 a 1,8 mm, com predomínio entre 0,4 e 0,8 mm. Composição predominante: quartzo (85-90%), rocha carbonática (10%). Ocorrem ainda muscovita, torrão de argila e outros (<5%).	São comuns: - Vazios provocados por grãos arrancados de 0,4 a 0,8 mm; - Microfissuras intragranulares nos torrões de argila de 0,1 a 0,2 mm; - Bolhas de ar aprisionado de, 0,3 a 0,9 mm de diâmetro. São raros: - Vazios alongados de 0,9 mm de comprimento; - Microfissuras na pasta com espessura menor que 0,04 mm; - Vazios de interface pasta-agregado com espessura menor que 0,04 mm.

Amostra: MZ-B



Agregado de baixa esfericidade; frequentes vazios provocados por grãos arrancados e bolhas de ar aprisionado – polarizadores des cruzados.



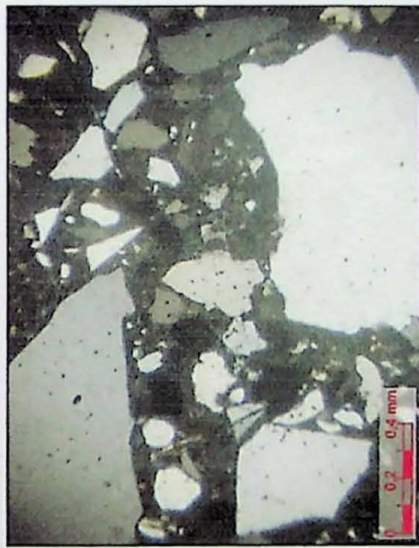
Pasta com carbonatação incipiente – polarizadores cruzados.

Pasta (20-25%)	Agregado (60%)	Vazios (15-20%)
A pasta apresenta carbonatação incipiente, principalmente ao redor dos grãos de agregado.	Esfericidade baixa a média, com grãos angulosos a subarredondados. A granulometria varia de 0,09 a 2,5 mm, com predomínio entre 0,6 e 0,9 mm. Composição predominante: quartzo (95%). É possível observar em quantidade menos significativa muscovita, fragmento de rocha carbonática, torrões de argila e outros (5%).	São comuns: - Vazios provocados por grãos arrancados de 0,4 a 0,8 mm; - Bolhas de ar aprisionado com 0,3 a 0,9 mm de diâmetro. São raros: - Vazios de interface pasta-agregado com espessura menor que 0,04 mm.

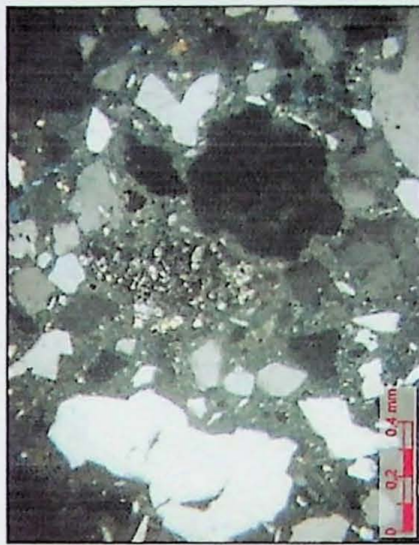
Amostra: MZ-C



Agregado com baixa esfericidade; vazios provocados por grãos arrancados e bolhas de ar aprisionado comuns – polarizadores descruzados.



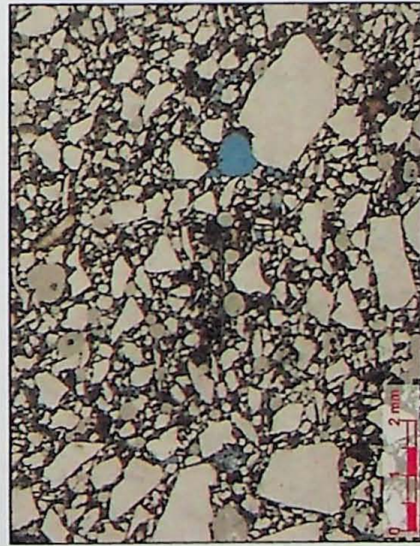
Pasta sem carbonatação – polarizadores cruzados.



Agrupamento de gipsita ao centro – polarizadores cruzados.

Pasta (30-35%)	Agregado (55%)	Vazios (10-15%)
A pasta não apresenta carbonatação. Há presença de clínquer e de fragmentos de rocha carbonática mal calcinada. É possível observar agrupamentos de gipsita em algumas porções da superfície da pasta.	Esfericidade baixa a média, com grãos angulosos a subarredondados. A granulometria varia de 0,09 a 2,5 mm, com predomínio entre 0,6 e 0,9 mm. Composição predominante: quartzo (95%) e torrões de argila (5%). É possível observar em quantidade menos significativa fragmentos de rocha carbonática, muscovita e outros (traços).	São comuns: - Bolhas de ar aprisionado de 0,3 a 0,9 mm de diâmetro; - Vazios provocados por grãos arrancados de 0,4 a 0,8 mm. São raros: - Vazios alongados com 0,9 mm de comprimento; - Vazios de interface pasta-agregado com espessura menor que 0,04 mm.

Amostra: MZ-D



Agregado com esfericidade baixa e presença comum de bolhas de ar aprisionado – polarizadores descruzados.



Pasta parcialmente carbonatada – polarizadores cruzados.



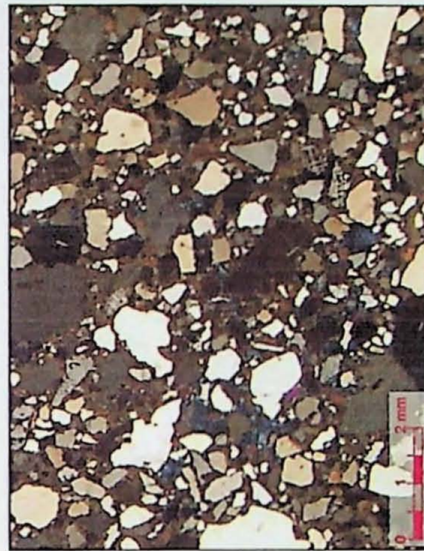
Agrupamento de cristais de gipsita – polarizadores cruzados.

Pasta 20-25(%)	Agregado (65-70%)	Vazios (10%)
A pasta encontra-se parcialmente carbonatada, principalmente ao redor dos grãos do agregado. É possível observar agrupamentos de gipsita em algumas porções da superfície da pasta.	Esfericidade baixa a média com grãos angulosos a subarredondados. A granulometria varia de 0,9 a 2,8 mm, com predomínio entre 0,7 a 1,0 mm. Composição predominante: quartzo (~100%). É possível observar traços de torrões de argila, fragmento de rocha carbonática, muscovita e outros.	São comuns: - Bolhas de ar aprisionado com 0,3 a 0,9 mm de diâmetro; - Vazios provocados por grãos arrancados de 0,4 a 0,8 mm. São raros: - Vazios alongados de 4,5 mm de comprimento.

Amostra: MZ-E



Agregado com esfericidade média e grãos subangulosos; bolhas de ar aprisionado são comuns – polarizadores descruzados.



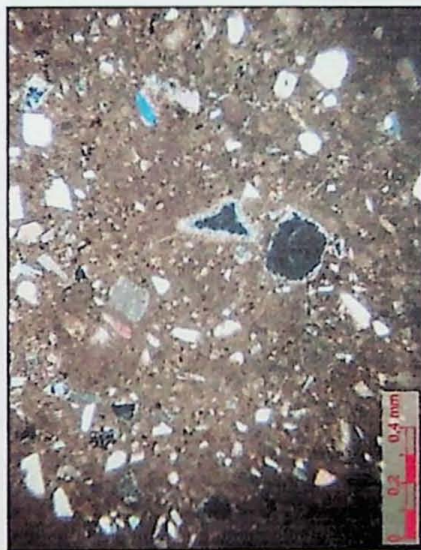
Pasta intensamente carbonatada – polarizadores descruzados.

Pasta (20%)	Agregado (60%)	Vazios (20%)
A pasta encontra-se intensamente carbonatada.	Esfericidade média, com grãos subangulosos a subarredondados. A granulometria varia de 0,9 a 2,8 mm, com predomínio entre 0,9 e 1,3 mm. Composição predominante: quartzo (95%). É possível observar traços de fragmentos de rocha carbonática, mica, feldspato, torrões de argila e outros.	São comuns: - Bolhas de ar aprisionado com 0,3 a 0,9 mm de diâmetro; - Vazios provocados por grãos arrancados com 0,4 a 0,8 mm. São raros: - Vazios de interface pasta-agregado com espessura entre 0,04 e 0,07 mm; - Vazios intersticiais menores que 0,02 mm.

Amostra: Edi 01 (fulget)



Agregado com duas frações granulométricas: fração grossa composta por quartzo – polarizadores cruzados.



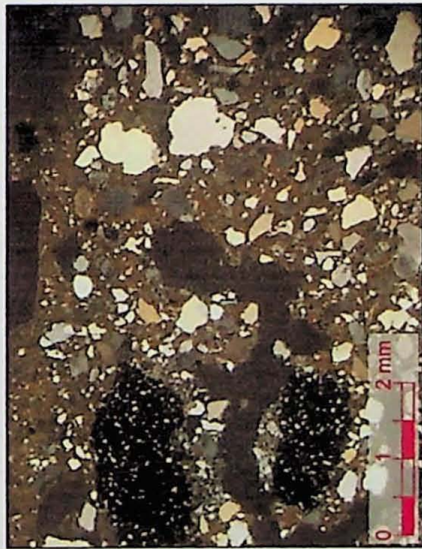
Fração fina do agregado composta por carbonato e muscovita – polarizadores cruzados.



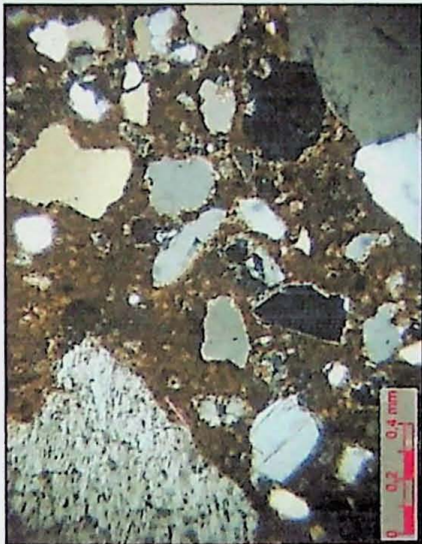
Agrupamento de cristais de gipsita na superfície do fulget – polarizadores cruzados.

Pasta (35%)	Agregado (60%)	Vazios (5%)
Pasta com distribuição homogênea de cor. Presença de cristais de gipsita na superfície da pasta.	Duas frações. A mais grossa é composta por quartzo em grãos angulosos e esfericidade baixa, de 2,5 a 7,5 mm. A mais fina é constituída por carbonato e muscovita. Composição predominante: carbonato (55%), quartzo (35%) e muscovita (10%).	São comuns: - Bolhas de ar aprisionado com aproximadamente 0,6mm de diâmetro; - Microfissuras na pasta, com 0,1mm de espessura.

Amostra: Edi-1 Emboço



Vazio alongado-irregular próximo a agregado de sulfeto – polarizadores cruzados.



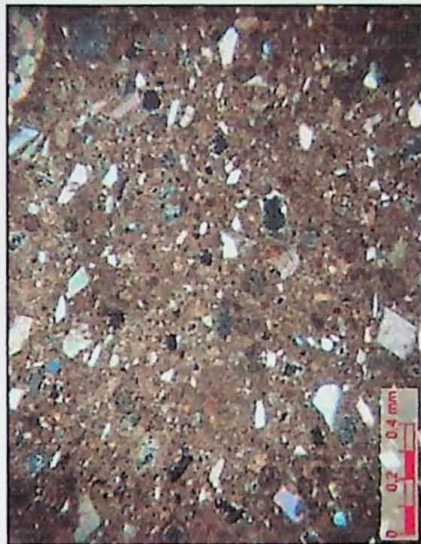
Pasta cm carbonatação moderada – polarizadores cruzados.

Pasta (30%)	Agregado (40%)	Vazios (30%)
Pasta com carbonatação moderada a intensa, pervasiva, mais intensa ao redor de grãos do agregado e de vazios. Presença de resto de rocha carbonática mal calcinada, de agregados de belita com halo de hidratação e de gipsita próximo ao mineral opaco.	Grãos angulosos a subarredondados, mal selecionados. Com granulometria entre 0,18 e 1,8 mm, esfericidade média. Composição predominante: quartzo (70%), feldspato (20%), muscovita (5%) e agregado de mineral opaco (sulfeto) (5%).	São comuns: - Bolhas de ar aprisionado, de 0,2 a 0,5mm de diâmetro; - Vazios irregulares/alongados com 1mm de largura (próximo a agregado de sulfeto). Maior concentração de vazios no contato com o fulget.

Amostra: Edi-2



Fração grossa do agregado composta por quartzo e fragmento de rocha carbonática – polarizadores cruzados.



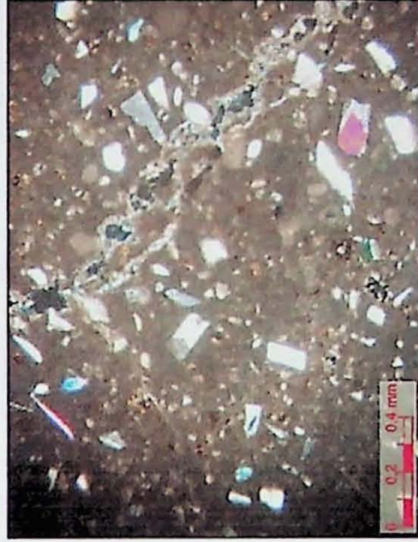
Pasta com carbonatação intensa – polarizadores cruzados.

Pasta (%)	Agregado (%)	Vazios (%)
Pasta com carbonatação intensa, sendo possível observar portlandita e aglomerado de belita.	Fração grossa composta predominantemente por quartzo e rocha carbonática de esfericidade baixa, com grãos angulosos e granulometria de 2,5 a 7,5 mm. Fração fina é composta por carbonato e muscovita, com esfericidade baixa e grãos subangulosos. Composto por quartzo (90%), fragmentos de rocha carbonática (5%) e muscovita (5%).	São comuns: - Bolhas de ar aprisionado de 0,2 a 1,0mm de diâmetro, com maior concentração próximo à superfície.

Amostra: Edi-3 (fulget)



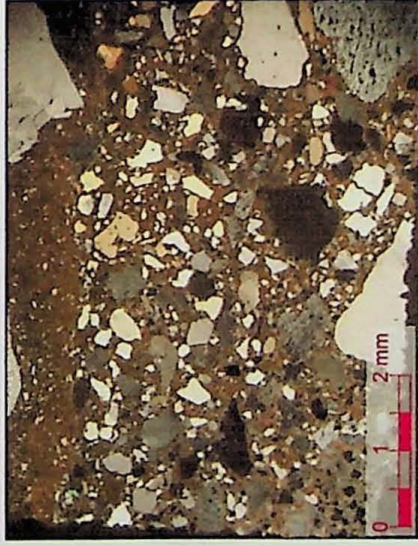
Fração grossa do agregado composta por quartzo e fragmento de rocha carbonática – polarizadores cruzados.



Fração fina composta predominantemente por carbonato. Frequentes microfissuras na pasta – polarizadores cruzados.

Pasta (%)	Agregado (%)	Vazios (%)
Carbonatação incipiente próximo à superfície, em microfissuras e ao redor de grãos do agregado.	Fração grossa composta por quartzo e rocha carbonática de esfericidade baixa, com grãos angulosos e granulometria de 2,5 a 7,5 mm. Fração fina com carbonato predominante apresenta esfericidade baixa e grãos subangulosos. Composto por quartzo (90%), fragmentos de rocha carbonática (5%) e muscovita (5%).	São comuns: - Bolhas de ar aprisionado com aproximadamente 0,6mm de diâmetro; - Microfissuras na pasta, subperpendiculares à superfície, com 0,1mm de espessura.

Amostra: Edi-3 (emboço)



Agregado com esfericidade média e grãos angulosos – polarizadores cruzados.



Pasta com carbonatação moderada – polarizadores cruzados.

Pasta (%)	Agregado (%)	Vazios (%)
Pasta com carbonatação moderada a intensa, pervasiva, mais intensa ao redor de grãos do agregado e de vazios. Presença de resto de rocha carbonática mal calcinada e aglomerados de belita com halo de hidratação.	Grãos angulosos a subarredondados, mal selecionados. Com granulometria entre 0,18 e 1,8 mm e esfericidade média. Composição predominante: quartzo (75%), feldspato (20%) e muscovita (5%).	São comuns: - Bolhas de ar aprisionado com aproximadamente 0,25mm de diâmetro; - Vazios alongados com aproximadamente 1,0mm de espessura; - Vazios irregulares com cerca de 2,0mm de tamanho maior. Maior concentração de vazios no contato com o fulget.

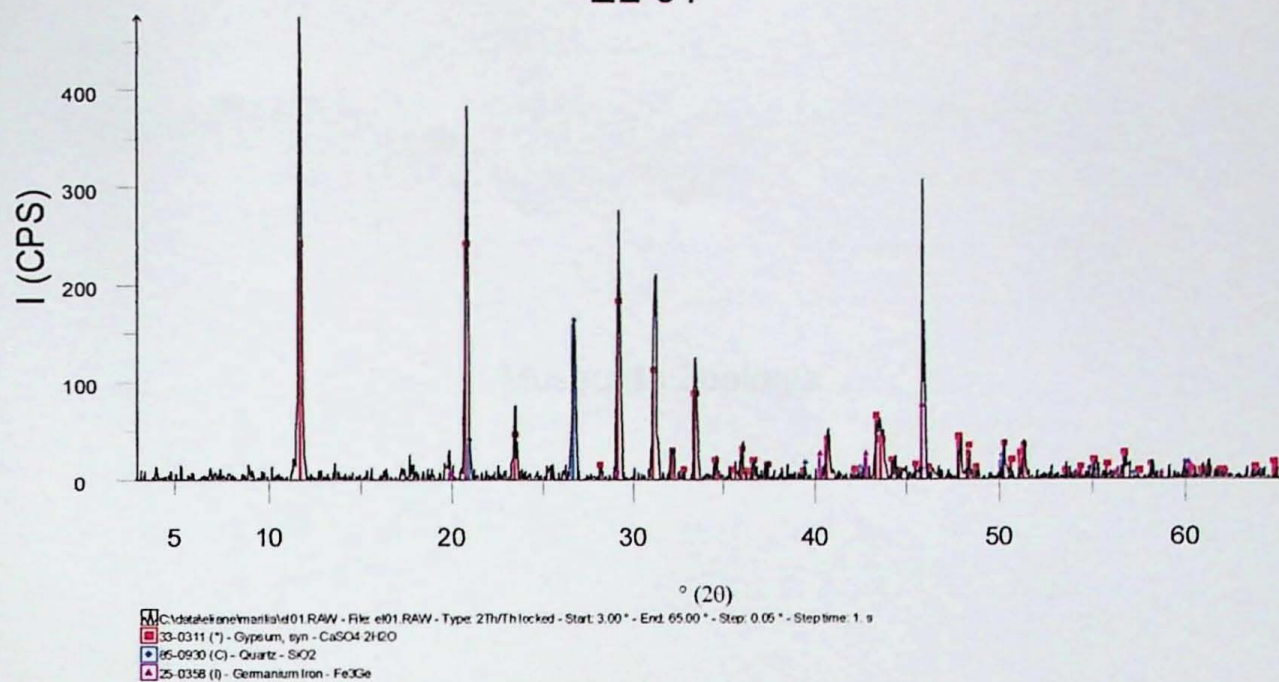
ANEXO C

Resultados das análises por difratometria de raios X

Tabela 1. Resultado da análise mineralógica por difratometria de raios X das amostras da Estação da Luz

Amostra	Minerais (em ordem decrescente de abundância)
EL-A Reboco	Silicato cálcico hidratado, calcita (CaCO_3), quartzo (SiO_2), aluminato de cálcio hidratado (C_4AH_{13}), feldspato e mica.
EL-A Emboço	Quartzo (SiO_2), feldspato, calcita (CaCO_3), caulinita, etringita ($\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$), silicato cálcico hidratado, aluminato de cálcio hidratado (C_4AH_{13}), gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e óxido de ferro.
EL-B Película	Quartzo (SiO_2), bassanita ($2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), aluminato de cálcio hidratado (C_4AH_{13}), feldspato, gipsita, silicato cálcico hidratado, calcita (CaCO_3), caulinita e mica.
EL-C Reboco	Calcita (CaCO_3), quartzo (SiO_2), silicato cálcico hidratado, aluminato de cálcio hidratado (C_4AH_{13}) e feldspato.
EL-C Emboço	Feldspato, quartzo (SiO_2), calcita (CaCO_3), caulinita, gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), mica, silicato cálcico hidratado, aluminato de cálcio hidratado (C_4AH_{13}) e óxido de ferro.
EL-C Película	Quartzo (SiO_2), calcita (CaCO_3), aluminato de cálcio hidratado (C_4AH_{13}), gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e feldspato.
EL-D	Calcita (CaCO_3), quartzo (SiO_2), feldspato, aluminato de cálcio hidratado (C_4AH_{13}), mica, vaterita (CaCO_3), silicato cálcico hidratado (CSH), portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) e óxido e hidróxido de ferro (magnetita, goethita)
EL-E Reboco	Quartzo (SiO_2), calcita (CaCO_3), silicato cálcico hidratado (CSH), aluminato de cálcio hidratado (C_4AH_{13}), feldspato, caulinita e mica.
EL-E Emboço	Quartzo (SiO_2), feldspato, calcita (CaCO_3), caulinita, gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), mica e hidróxido de ferro (goethita).
EL-F Reboco	Quartzo (SiO_2), silicato cálcico hidratado (CSH), calcita (CaCO_3), aluminato de cálcio hidratado (C_4AH_{13}), feldspato, mica e portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).
EL-F Emboço	Quartzo (SiO_2), feldspato, calcita (CaCO_3), caulinita, hidróxido de ferro (goethita), ilmenita (FeTiO_3), mica, gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) e magnetita (Fe_3O_4).

EL 01



EL 02

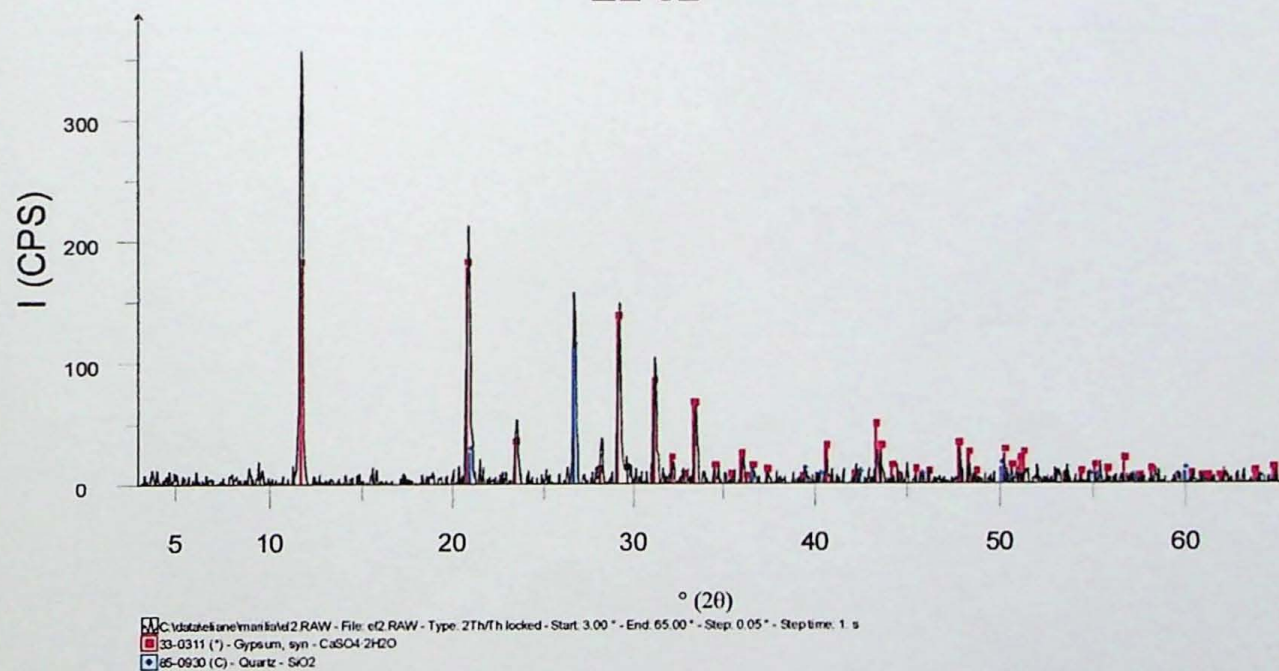
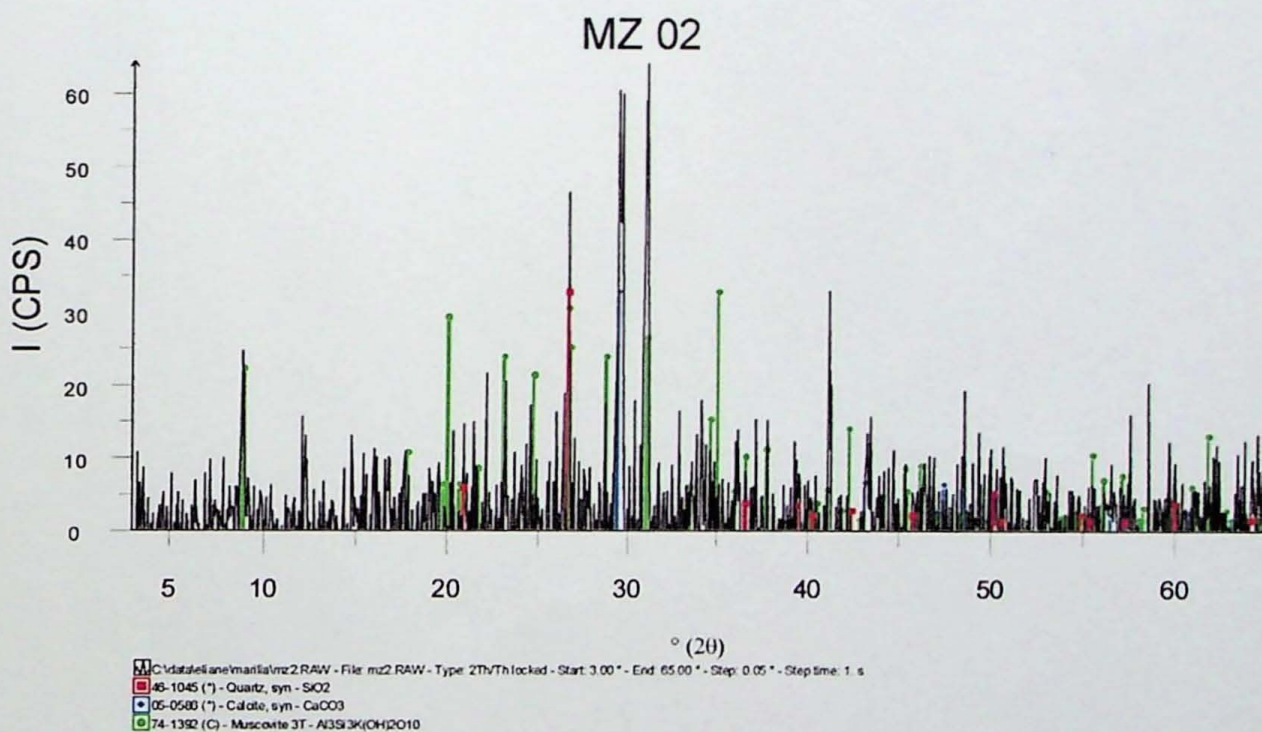
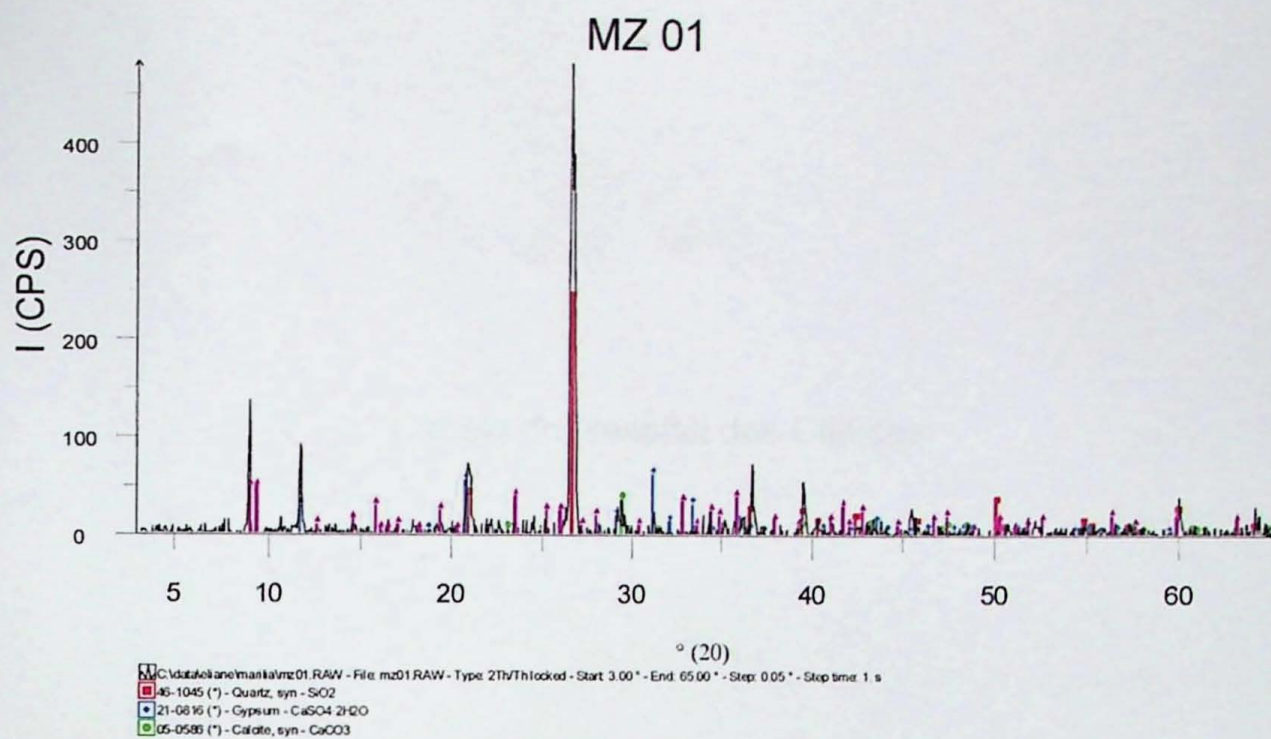
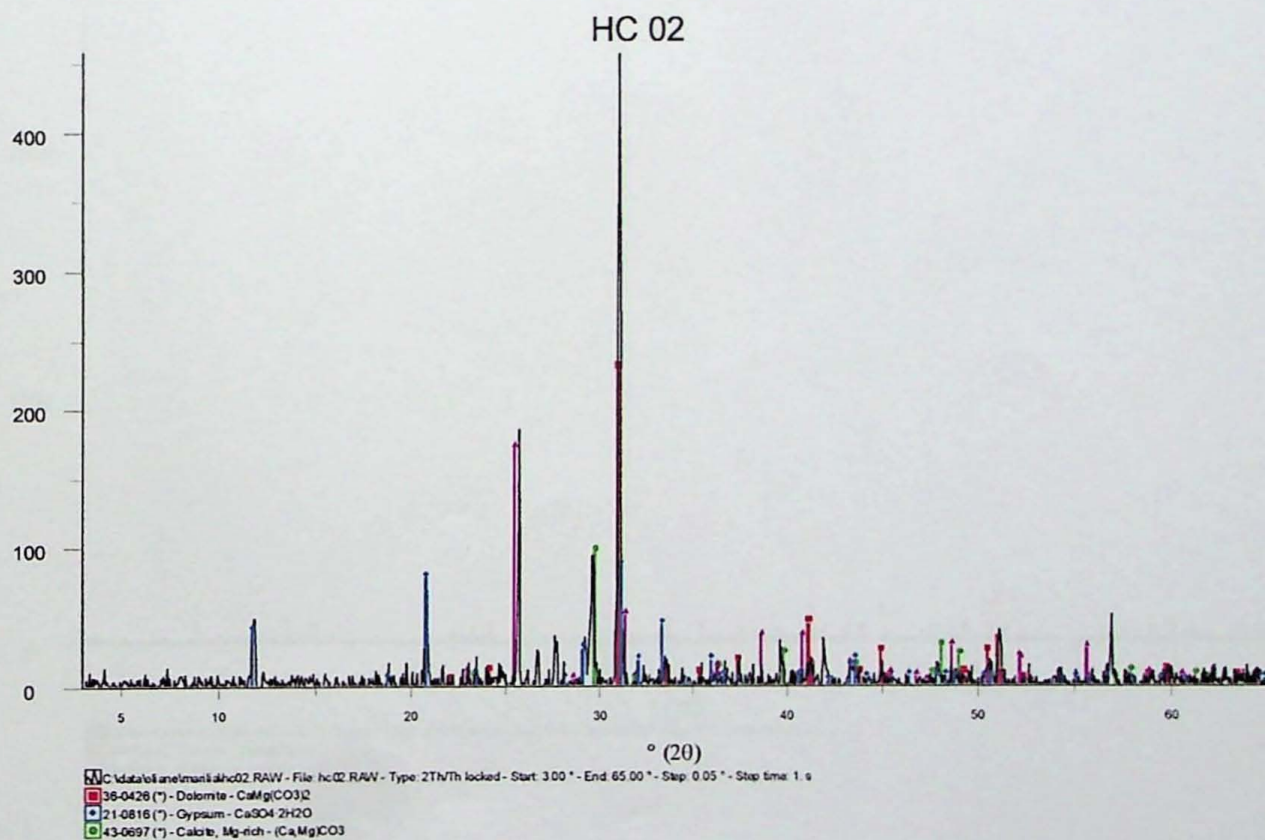
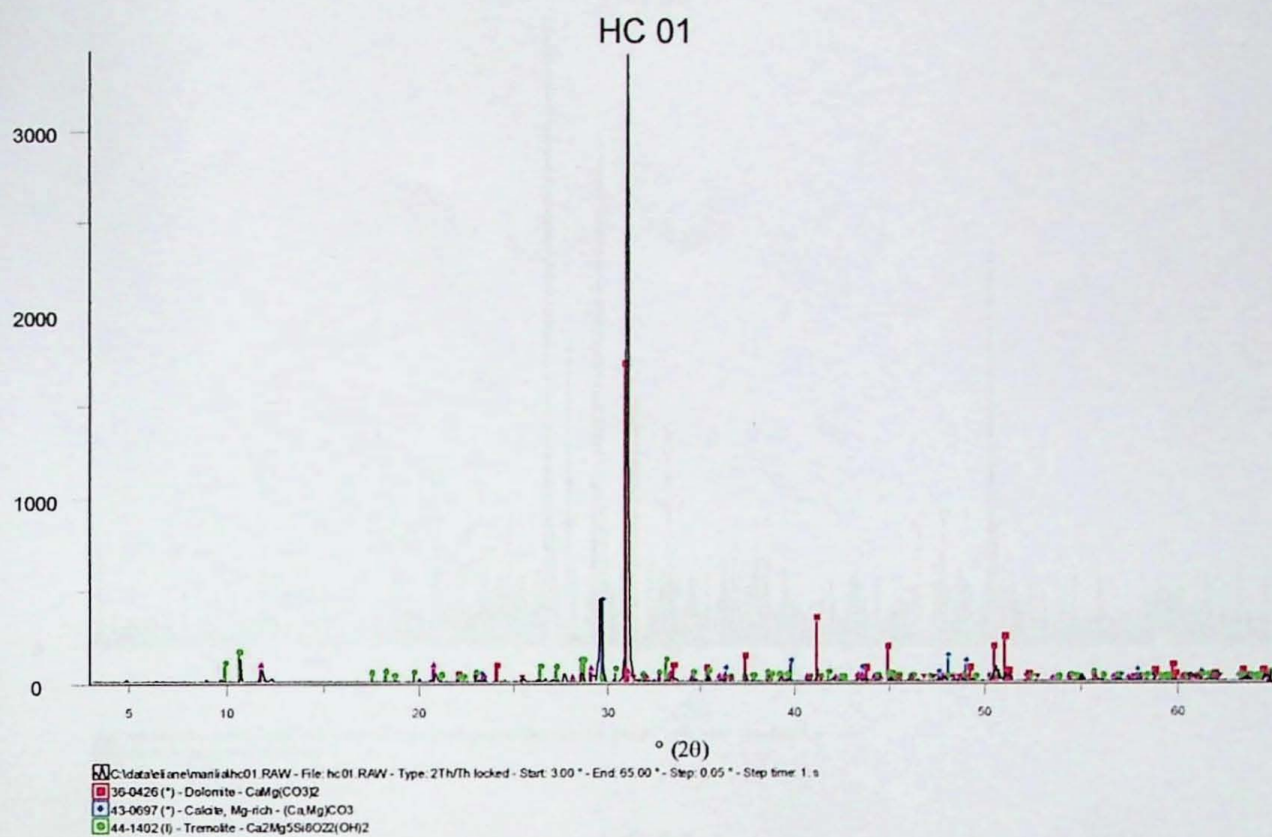


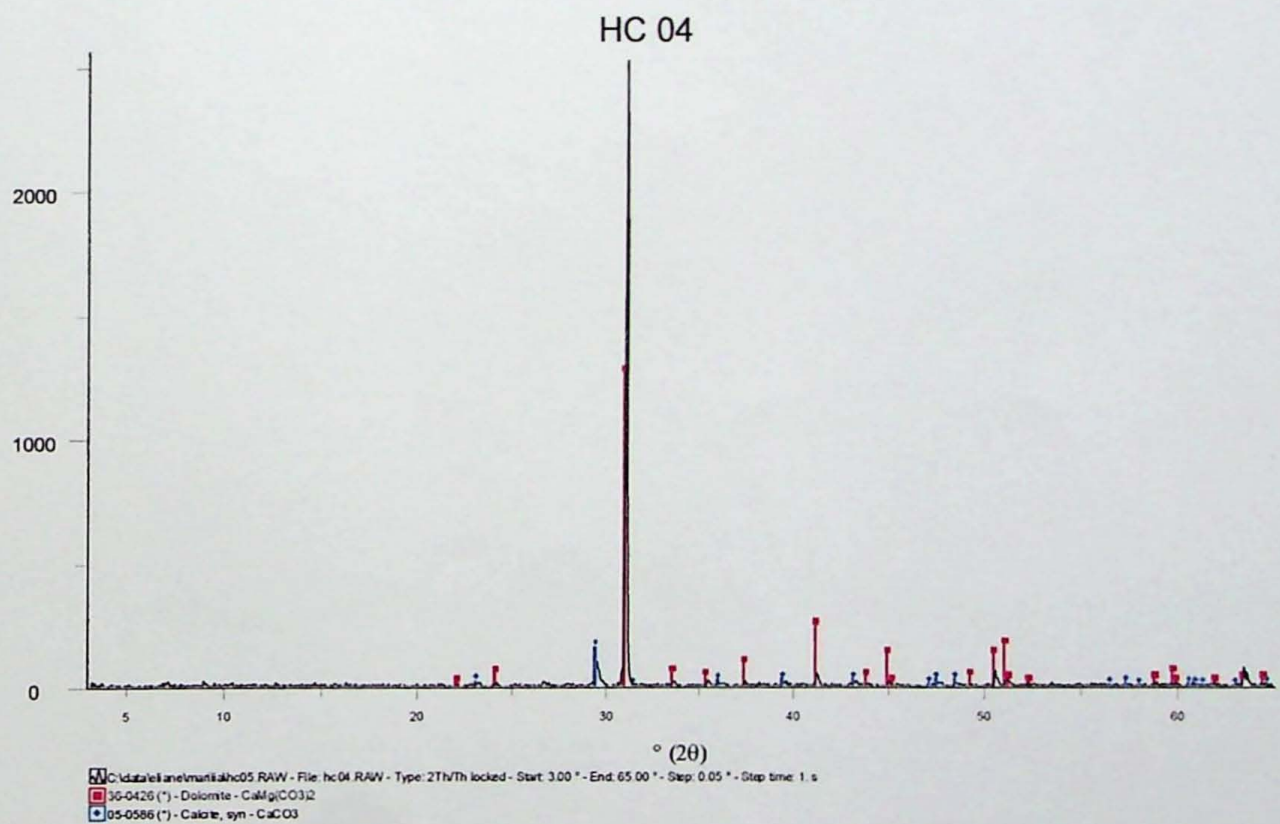
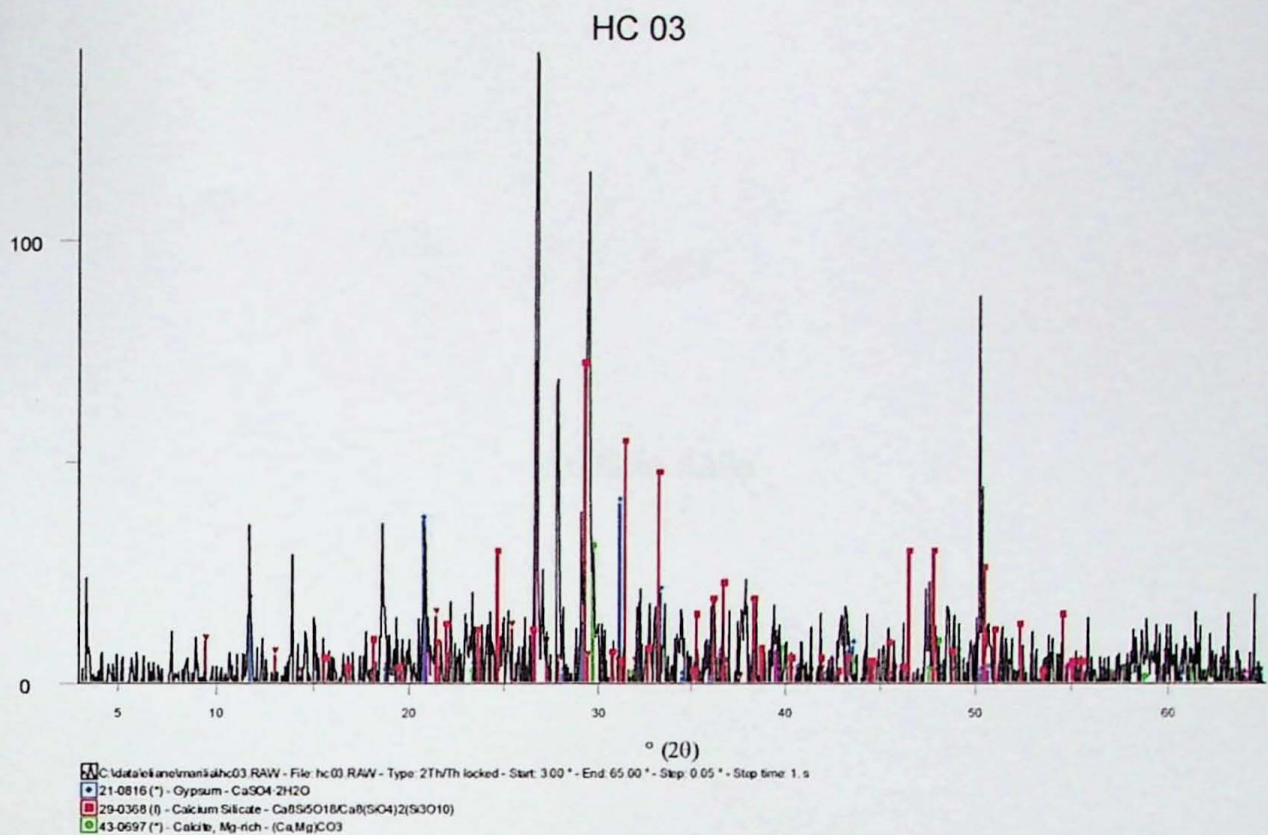
Tabela 2. Resultado da análise mineralógica por difratometria de raios X das amostras do Museu de Zoologia

Amostra	Minerais (em ordem decrescente de abundância)
MZ-A	Quartzo, aragonita, calcita, silicatos de cálcio hidratados (CSH) e silicatos de cálcio anidros (C_3S)
MZ-B	Quartzo, calcita, aragonita
MZ-B Película	Quartzo, calcita, aragonita
MZ-C	Quartzo, calcita, aragonita, silicatos de cálcio anidros (C_2S) e gipsita.
MZ-C Película	Quartzo e gipsita
MZ-D	Calcita, quartzo, silicatos de quartzo anidros, gipsita e aragonita
MZ-D Película	Quartzo, gipsita e anidrita
MZ E	Calcita, quartzo, feldspato, mica, silicatos de cálcio hidratados (CSH), aluminatos anidros (pleocroíta) e silicatos de cálcio anidros (C_3S)



Capela do Hospital das Clínicas

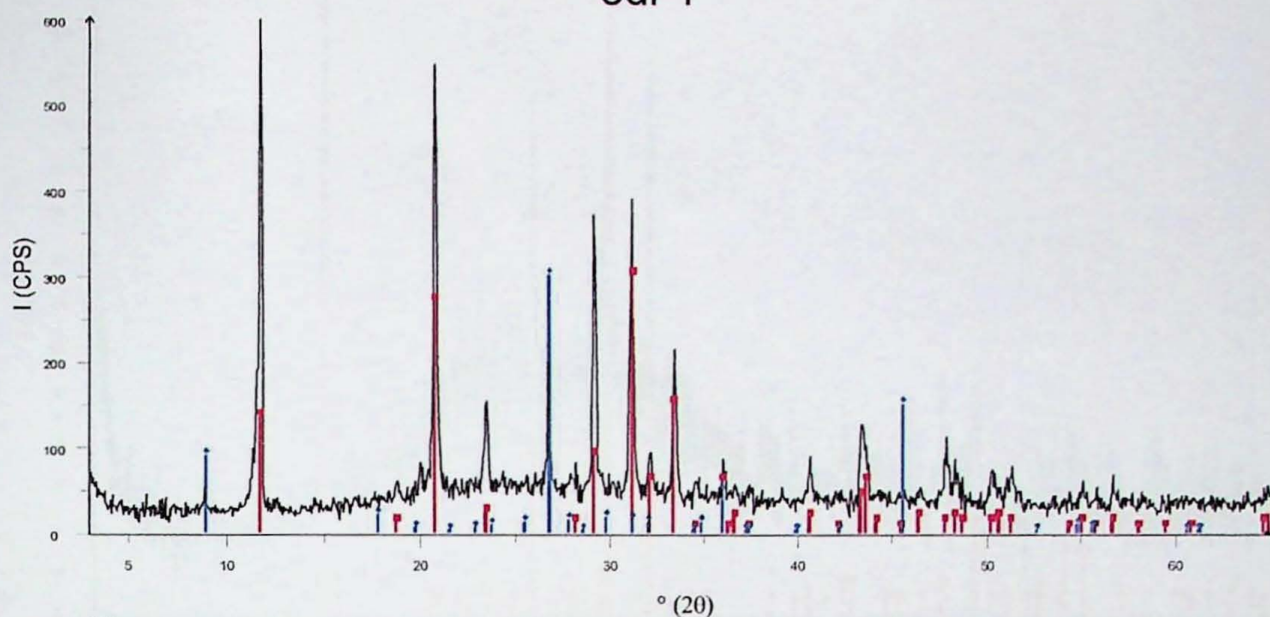




Edifício Itália

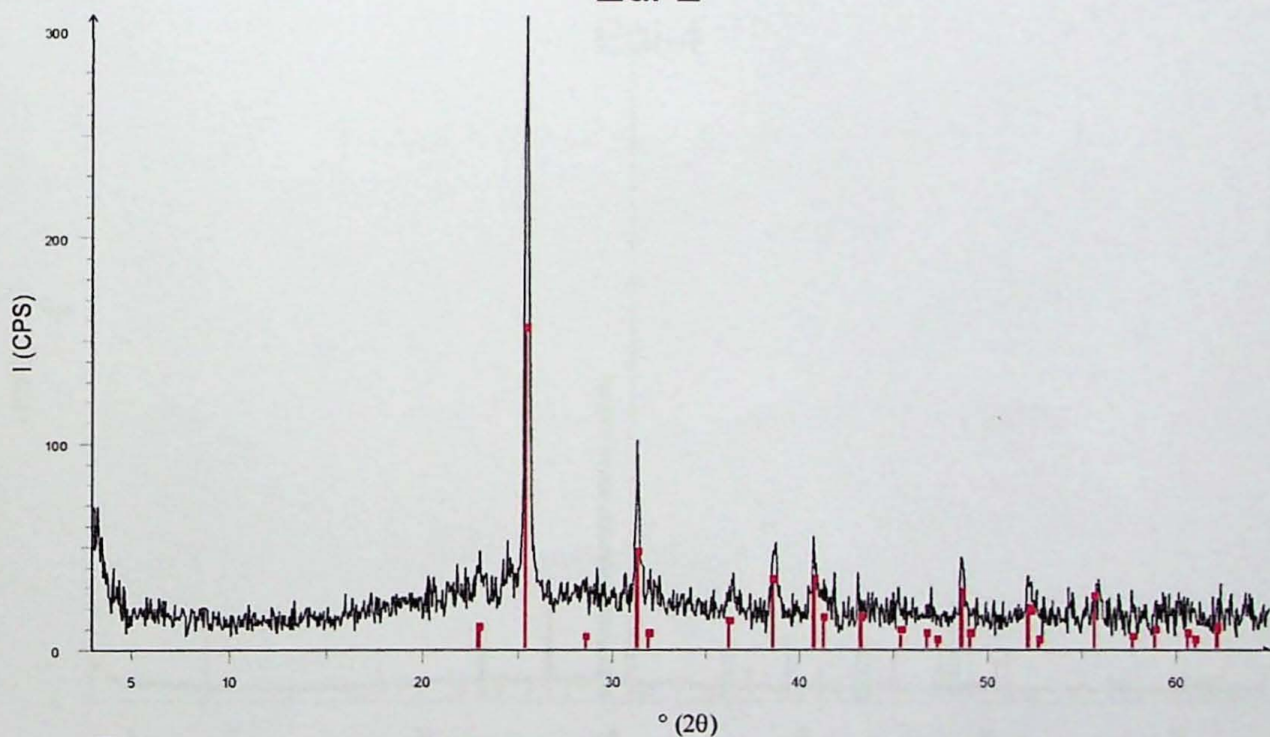


edi-1



C:\data\edi\edi01.RAW - File: edi01.RAW - Type: 2 θ /Th locked - Start: 3.00 ° - End: 65.00 ° - Step: 0.05 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 16 s - 2-Theta: 3.00 ° - Theta: 1.
 21-0816 (*) - Gypsum - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Monodinic - a 6.286 - b 15.213 - c 5.678 - alpha 90.000 - beta 114.1 - gamma 90.000 - Base-centred - C2/c (15) - 4 - 4
 46-1409 (I) - Muscovite 2M1, V-Ba-rich - $(\text{K,Ba,Na})_0.75(\text{Al,Mg,Cr,V})_2\text{Si}_4\text{Al}_2\text{V}_2\text{O}_{10}(\text{OH},\text{O})_2$ - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Monodinic - a 5.2099 - b 9.0729 - c 20.0639 - alpha 90.000 - beta

Edi-2



C:\DATA\edi\edi02.RAW - File: edi02.RAW - Type: 2 θ /Th locked - Start: 3.00 ° - End: 65.00 ° - Step: 0.05 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 16 s - 2-Theta: 3.00 ° -
 37-1496 (*) - Anhydrite, syn - CaSO_4 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - Orthorhombic - a 6.9933 - b 7.0017 - c 6.2411 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Base-centred -

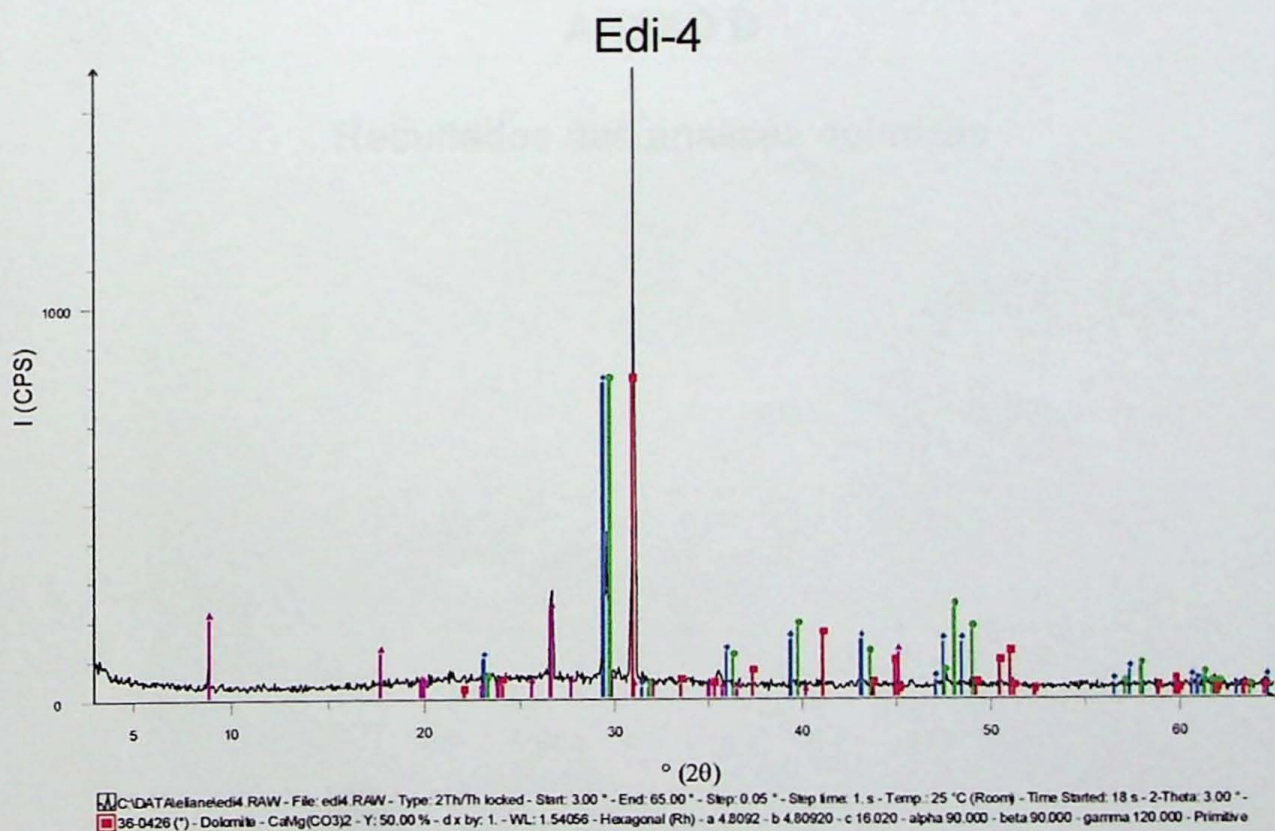
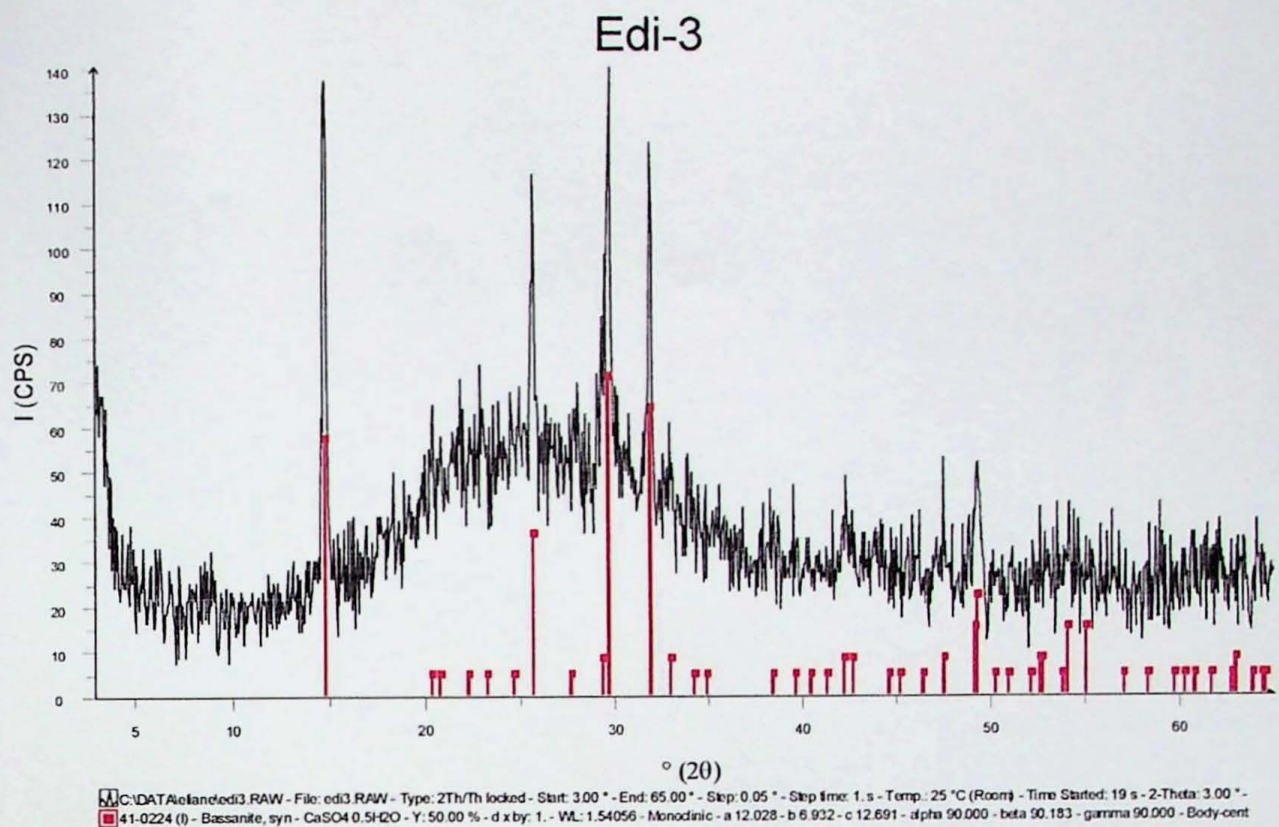


Table 1. Description of the water quality data collected in the São Paulo region

Parameter	São Paulo				Rio de Janeiro			
	Mean	Min	Max	SD	Mean	Min	Max	SD
pH	7.2	6.8	7.6	0.4	7.1	6.7	7.5	0.4
Temperature (°C)	21.5	20.5	22.5	1.0	21.2	20.2	22.2	1.0
Dissolved Oxygen (mg/L)	8.5	8.2	8.8	0.3	8.4	8.1	8.7	0.3
Electrical Conductivity (µS/cm)	150	140	160	10	145	135	155	10
Total Hardness (mg/L)	120	110	130	10	115	105	125	10
Total Solids (mg/L)	250	230	270	20	240	220	260	20
Total Suspended Solids (mg/L)	100	90	110	10	95	85	105	10
Total Dissolved Solids (mg/L)	150	140	160	10	145	135	155	10
Calcium (mg/L)	80	75	85	5	78	73	83	5
Magnesium (mg/L)	40	35	45	5	38	33	43	5
Chloride (mg/L)	100	90	110	10	95	85	105	10
Sulfate (mg/L)	50	45	55	5	48	43	53	5
Nitrate (mg/L)	10	5	15	5	8	3	13	5
Ammonia (mg/L)	0.5	0.2	0.8	0.3	0.4	0.1	0.7	0.3
Phosphate (mg/L)	0.2	0.1	0.3	0.1	0.15	0.05	0.25	0.1
Fluoride (mg/L)	0.1	0.05	0.15	0.05	0.08	0.03	0.13	0.05
Iron (mg/L)	0.1	0.05	0.15	0.05	0.08	0.03	0.13	0.05
Copper (mg/L)	0.01	0.005	0.015	0.005	0.008	0.003	0.013	0.005
Zinc (mg/L)	0.05	0.02	0.08	0.03	0.04	0.01	0.07	0.03
Lead (mg/L)	0.01	0.005	0.015	0.005	0.008	0.003	0.013	0.005
Cadmium (mg/L)	0.001	0.0005	0.0015	0.0005	0.0008	0.0003	0.0013	0.0005
Mercury (mg/L)	0.0001	0.00005	0.00015	0.00005	0.00008	0.00003	0.00013	0.00005

ANEXO D

Resultados das análises químicas

Parameter	São Paulo				Rio de Janeiro			
	Mean	Min	Max	SD	Mean	Min	Max	SD
pH	7.2	6.8	7.6	0.4	7.1	6.7	7.5	0.4
Temperature (°C)	21.5	20.5	22.5	1.0	21.2	20.2	22.2	1.0
Dissolved Oxygen (mg/L)	8.5	8.2	8.8	0.3	8.4	8.1	8.7	0.3
Electrical Conductivity (µS/cm)	150	140	160	10	145	135	155	10
Total Hardness (mg/L)	120	110	130	10	115	105	125	10
Total Solids (mg/L)	250	230	270	20	240	220	260	20
Total Suspended Solids (mg/L)	100	90	110	10	95	85	105	10
Total Dissolved Solids (mg/L)	150	140	160	10	145	135	155	10
Calcium (mg/L)	80	75	85	5	78	73	83	5
Magnesium (mg/L)	40	35	45	5	38	33	43	5
Chloride (mg/L)	100	90	110	10	95	85	105	10
Sulfate (mg/L)	50	45	55	5	48	43	53	5
Nitrate (mg/L)	10	5	15	5	8	3	13	5
Ammonia (mg/L)	0.5	0.2	0.8	0.3	0.4	0.1	0.7	0.3
Phosphate (mg/L)	0.2	0.1	0.3	0.1	0.15	0.05	0.25	0.1
Fluoride (mg/L)	0.1	0.05	0.15	0.05	0.08	0.03	0.13	0.05
Iron (mg/L)	0.1	0.05	0.15	0.05	0.08	0.03	0.13	0.05
Copper (mg/L)	0.01	0.005	0.015	0.005	0.008	0.003	0.013	0.005
Zinc (mg/L)	0.05	0.02	0.08	0.03	0.04	0.01	0.07	0.03
Lead (mg/L)	0.01	0.005	0.015	0.005	0.008	0.003	0.013	0.005
Cadmium (mg/L)	0.001	0.0005	0.0015	0.0005	0.0008	0.0003	0.0013	0.0005
Mercury (mg/L)	0.0001	0.00005	0.00015	0.00005	0.00008	0.00003	0.00013	0.00005

Table 2. Comparison of the chemical analysis results between the São Paulo region and the Rio de Janeiro region

Parameter	São Paulo	Rio de Janeiro
pH	7.2	7.1
Temperature (°C)	21.5	21.2
Dissolved Oxygen (mg/L)	8.5	8.4
Electrical Conductivity (µS/cm)	150	145
Total Hardness (mg/L)	120	115
Total Solids (mg/L)	250	240
Total Suspended Solids (mg/L)	100	95
Total Dissolved Solids (mg/L)	150	145
Calcium (mg/L)	80	78
Magnesium (mg/L)	40	38
Chloride (mg/L)	100	95
Sulfate (mg/L)	50	48
Nitrate (mg/L)	10	8
Ammonia (mg/L)	0.5	0.4
Phosphate (mg/L)	0.2	0.15
Fluoride (mg/L)	0.1	0.08
Iron (mg/L)	0.1	0.08
Copper (mg/L)	0.01	0.008
Zinc (mg/L)	0.05	0.04
Lead (mg/L)	0.01	0.008
Cadmium (mg/L)	0.001	0.0008
Mercury (mg/L)	0.0001	0.00008

Tabela 1. Resultado da análise química das amostras da Estação da Luz

Determinações	RESULTADOS (%)									
	EL-A emboço		EL-A reboco		EL-C emboço		EL-C reboco		EL-D	
	Base original	Base não volátil	Base original	Base não volátil	Base original	Base não volátil	Base original	Base não volátil	Base original	Base não volátil
Umidade	0,83	-	0,88	-	0,61	-	1,61	-	1,42	-
Perda ao fogo	12	-	15	-	9,32	-	26,4	-	18	-
Resíduo Insolúvel	74,8	85,8	53,5	63,6	77,9	86,5	18,8	26,1	37	45,9
Anidro silícico (SiO ₂)	1,29	1,48	4,68	5,56	1,76	1,95	6,61	9,18	7,66	9,51
Óxidos de ferro e alumínio	1,7	1,95	3,89	4,62	2,47	2,74	6,04	8,39	7,29	9,05
Óxido de Cálcio (CaO)	6,23	7,15	21,4	25,4	5,35	5,94	36,2	50,3	23,9	29,7
Óxido de magnésio (MgO)	4,16	4,77	0,42	0,5	3,57	3,96	1,07	1,49	2,68	3,33
Anidro sulfúrico (SO ₃)	0,27	0,31	1,44	1,71	0,19	0,21	3,62	5,03	1,44	1,79
Anidro Carbônico (CO ₂)	5,89	-	11,7	-	4,52	-	20,1	-	13,4	-

Tabela 1. Resultado da análise química das amostras da Estação da Luz (continuação)

Determinações	Resultados (%)							
	EL-E emboço		EL-E reboco		EL-F emboço		EL-F Reboco	
	Base original	Base não volátil	Base original	Base não volátil	Base original	Base não volátil	Base original	Base não volátil
Umidade	1,54	-	1,23	-	0,93	-	1,28	-
Perda ao fogo	11,1	-	14,9	-	11,5	-	20,5	-
Resíduo Insolúvel	71,1	81,4	46,7	55,7	73,1	83,5	38,4	4,1
Anidro silícico (SiO ₂)	2,8	3,21	5,65	6,74	2,41	2,75	4,41	5,64
Óxidos de ferro e alumínio	2,48	2,84	4,67	5,57	2,87	3,28	4,35	5,56
Óxido de Cálcio (CaO)	7,57	8,67	24,2	28,9	6,52	7,45	25,2	32,2
Óxido de magnésio (MgO)	4,64	5,31	0,63	0,75	4,34	4,96	2,2	2,81
Anidro sulfúrico (SO ₃)	0,19	0,22	1,81	2,16	0,08	0,09	2,92	3,73
Anidro Carbônico (CO ₂)	6,29	-	12,4	-	6,55	-	16,3	-

Tabela 2. Constituintes do cimento portland de referencia para cálculo de traço das amostras da Estação da Luz.

Tipo	Base original (%)					Base não volátil (%)			
	PF	SiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	SiO ₂	CaO	MgO	SO ₃
Cimento CPI	3,01	18,4	60,6	5,72	3,30	19,0	62,5	5,90	3,44

Tabela 3. Constituintes das cales hidratadas de referencia para cálculo de traço das amostras da Estação da Luz

Tipo	Base original (%)				Base não Volátil (%)		
	PF	CaO	MgO		CaO	MgO	
Cal hidratada magnesiana	22,5	66,8	6,4	0,38	86,2	8,26	0,49
Cal hidratada dolomítica	28,4	38,3	26,5	0,10	53,5	37,0	0,14

Tabela 4. Resultados da reconstituição de traço das argamassas de reboco das amostras da Estação da Luz

Amostra	Parâmetros calculados	Cimento	Cal hidratada magnesiana	Agregado silicoso	Relação Aglo/Agre
EL-A Reboco	Constituintes (%)	28,9	10,2	30,9	1 : 1,6
	Traço, em massa	1	0,35	2,1	
EL-C Reboco	Constituintes (%)	47,0	28,4	24,6	1 : 0,3
	Traço, em massa	1	0,6	0,5	
EL-E Reboco	Constituintes (%)	35,9	7,8	56,3	1 : 1,2
	Traço, em massa	1	0,3	1,5	
EL-F Reboco	Constituintes (%)	30,6	20,4	49,1	1 : 1,0
	Traço, em massa	1	0,7	1,6	

Tabela 5. Resultados da reconstituição de traço das argamassas de emboço das amostras da Estação da Luz

Amostra	Parâmetros calculados	Cal hidratada dolomítica	Gesso	Agregado silicoso	Relação Aglo/Agre
EL-A Emboço	Constituintes (%)	17,2	0,5	82,2	1 : 4,8
	Traço, em massa	1	-*	4,8	
EL-C Emboço	Constituintes (%)	14,6	0,4	85	1 : 5,8
	Traço, em massa	1	-*	5,8	
EL-E Emboço	Constituintes (%)	20,8	0,4	78,8	1 : 3,8
	Traço, em massa	1	-*	3,8	
EL-F Emboço	Constituintes (%)	18,3	0,2	81,5	1 : 4,4
	Traço, em massa	1	-*	4,4	

* O reduzido teor de gesso foi considerado desprezível para cálculo do traço

Tabela 6. Resultados da reconstituição de traço da argamassa da amostra EL-D

Amostra	Parâmetros calculados	Cal hidratada dolomítica	Agregado silicoso	Relação Aglo/Agre
EL-D	Constituintes (%)	43,5	56,5	1 : 1,3
	Traço, em massa	1	1,3	

Tabela 7. Resultado da análise química das amostras do Museu de Zoologia

Determinações	RESULTADOS (%)									
	MZA		MZ B		MZ C		MZ D		MZ E	
	Base original	Base não volátil	Base original	Base não volátil	Base original	Base não volátil	Base original	Base não volátil	Base original	Base não volátil
Umidade	0,74	-	0,29	-	0,33	-	0,44	-	0,42	-
Perda ao fogo	13,90	-	10,10	-	11,00	-	10,70	-	7,37	-
Resíduo Insolúvel	63,90	74,90	76,50	85,40	73,90	83,30	71,40	80,40	79,30	86,00
Anidro silícico (SiO ₂)	1,02	1,19	0,36	0,40	0,72	0,81	1,09	1,23	0,67	0,73
Óxidos de ferro e alumínio	1,68	1,97	0,50	0,56	0,61	0,69	0,63	0,71	1,25	1,36
Óxido de Cálcio (CaO)	16,10	18,90	10,80	12,00	9,76	11,00	10,30	11,60	9,91	10,80
Óxido de magnésio (MgO)	2,72	3,19	1,54	1,72	3,44	3,88	4,00	4,50	1,49	1,62
Anidro sulfúrico (SO ₃)	0,74	0,87	0,06	0,07	0,52	0,59	0,70	0,79	0,25	0,27
Anidro Carbônico (CO ₂)	11,30	-	10,80	-	7,95	-	7,68	-	5,12	-

Tabela 8. Constituintes do cimento portland de referencia para cálculo de traço das amostras do Museu de Zoologia.

Tipo	Base original (%)					Base não volátil (%)			
	PF	SiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	SiO ₂	CaO	MgO	SO ₃
Cimento CP I-S	3,01	18,4	60,6	5,72	3,30	19,0	62,5	5,90	3,44

Tabela 9. Constituintes das cales hidratadas de referencia para cálculo de traço das amostras do Museu de Zoologia.

Tipo	Base original (%)			Base não Volátil (%)	
	PF	CaO	MgO	CaO	MgO
Cal hidratada magnesiana	27,6	59,1	9,29	81,6	12,8
Cal hidratada dolomítica	27,4	39,6	27,8	54,5	38,3

Tabela 10. Resultados da reconstituição de traço das amostras do Museu de Zoologia.

Amostra	Parâmetros calculados	Cimento	Cal hidratada	Areia	Relação Aglo/Agre
MZ-A	Constituintes (%)	5,9	23,8*	70,3	01 : 02,4
	Traço, em massa	1	4*	11,9	
MZ-B	Constituintes (%)	2	17,2*	80,8	01 : 04,2
	Traço, em massa	1	8,6*	40,4	
MZ-C	Constituintes (%)	4	19,4**	76,6	01 : 03,3
	Traço, em massa	1	4,9**	19,2	
MZ-D	Constituintes (%)	6,1	17,9**	75,9	01 : 03,2
	Traço, em massa	1	2,9**	12,4	
MZ-E	Constituintes (%)	3,7	13,7*	82,7	01 : 04,8
	Traço, em massa	1	3,7*	22,4	

* Base de cálculo – cal hidratada magnesiana

** Base de cálculo – cal hidratada dolomítica

Tabela 11. Resultados da análise química da argamassa do Edifício Itália

	F _{int}	F _{ext}
SiO ₂	69,33	54,36
Al ₂ O ₃	4,15	0,96
MnO	0,02	0,03
MgO	0,99	6,41
CaO	12,06	20,02
Na ₂ O	0,08	< 0,02
K ₂ O	1,62	0,07
TiO ₂	0,15	0,04
P ₂ O ₅	0,05	0,01
Fe ₂ O ₃	0,82	0,61
Loi	10,46	17,76
Total	99,73	100,28
S	0,11	0,32

DOAÇÃO
<i>IGC-USP</i>
Data: <i>02/05/08</i>

