

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Manuella Araújo de Souza

Adição do grude da gurijuba nas argamassas de cal: investigação histórica e
científica

Salvador - Bahia

2012

Manuella Araújo de Souza

Adição do grude da gurijuba nas argamassas de cal: investigação histórica e científica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPG-AU) na área de Conservação e Restauro na Universidade Federal da Bahia (UFBA) como requisito para a obtenção do título de mestre.

Orientadora: Dra. Cybèle Celestino Santiago.

Salvador – Bahia

2012

Manuella Araújo de Souza

Adição do grude da gurijuba nas argamassas de cal: investigação histórica e científica

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de mestre ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPG-AU) na área de Conservação e Restauro na Universidade Federal da Bahia (UFBA).

Aprovado em: ____/____/____

Banca examinadora:

Prof. Dra. Cybèle Celestino Santiago (orientadora)
Professor Associado II – PPGAU
Universidade Federal da Bahia

Prof. Mário Mendonça de Oliveira
Professor Emérito – PPGAU
Universidade Federal da Bahia

Prof. Dra. Thaís Alessandra Bastos Caminha Sanjad
Professor Adjunto I - PPGAU
Universidade Federal do Pará

Dedicatória

Aos meus queridos pais, Sérgio e Rosana e minha irmã Gabriella por todo o apoio e amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Para a realização desta dissertação, obviamente foi indispensável a colaboração de diversas pessoas, laboratórios, instituições, etc. Agradeço primeiramente à Deus, aos meus pais, irmã, avô, avó, tias, tios, primas, primos e amigos (de Belém e Salvador) que me incentivaram, apoiaram e confiaram na minha capacidade para alcançar esse objetivo.

Agradeço também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa a mim concedida para a estadia na cidade de Salvador e ao Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Bahia (PPGAU / UFBA) ao qual ingressei, no ano de 2010, para realizar o Mestrado.

Meus sinceros agradecimentos à minha querida professora, Cybèle Celestino Santiago que é mais do que uma orientadora: uma amiga. Obrigada por confiar em mim, no meu comprometimento com a pesquisa, pelos conselhos e palavras de incentivo nos momentos de dúvidas.

Obrigada ao Professor Mário Mendonça de Oliveira pelos grandes ensinamentos de sala de aula e do dia-a-dia, pela paciência e por abrir as portas de sua casa pra que eu pudesse pesquisar em sua biblioteca aos sábados, domingos e feriados.

Minha gratidão ao Núcleo de Tecnologia da Preservação e da Restauração (NTPR/UFBA), laboratório no qual eu assisti aula, realizei a *maior* parte dos ensaios laboratoriais e fiz amigos. Destaco aqui Allard Amaral, nosso químico predileto e todos os bolsistas, em especial Caroliny Batista que me ajudou durante quase toda a pesquisa na moldagem dos corpos de prova e nos ensaios e meu querido amigo Elias Machado o qual não tenho palavras para agradecer a amizade, carinho e infinitos “galhos quebrados” no decorrer de todo o período do mestrado.

Não posso esquecer de agradecer também a Túlio Vasconcelos Cordeiro de Almeida, professor da Escola de Belas Artes (EBA/UFBA), pelas muitas horas dedicadas a desvendar os “mistérios” da cola de gurijuba.

Ao Professor e namorado Daniel Vêras Ribeiro pelos ensinamentos acadêmicos, puxões de orelha e ajuda com a interpretação de resultados contidos nesta pesquisa.

Ressalto a importância da prof. Dra. Thais Sanjad, da Universidade federal do Pará, por suas relevantes contribuições para esta dissertação e para a minha escolha de seguir a carreira acadêmica. Muito obrigada!

Ao professor Luiz Souza, da Escola de Belas Artes da Universidade Federal de Minas Gerais; às técnicas Selma Gonçalves e Renata Novais Silva e ao LACICOR/CECOR (UFMG) pela geração e interpretação de dados de Espectrometria de Infravermelho, expresso minha gratidão.

Ao Centro de Tecnologia da Argamassa (CETA-UFBA) por ceder seu espaço e parte do material usado nos ensaios laboratoriais da dissertação, ao técnico Paulo Sant'Anna e ao bolsista de iniciação científica Uesley Carvalho pela colaboração nos ensaios.

Por fim, quero agradecer a todos que não foram citados aqui, mas que tiveram participação nesta caminhada.

Você nunca sabe que resultados virão de sua ação,
mas se você não fizer nada, não existirão resultados.

Mahatma Gandhi (1869-1948)

RESUMO

O “grude” de gurijuba (*Arius spp.*) é um material orgânico obtido da bexiga do peixe que leva este nome, tendo sido, possivelmente, utilizado por séculos como aditivo para argamassas de cal na construção artesanal, no estado do Pará. O presente estudo visou a investigação histórica acerca do procedimento consagrado pela tradição oral para posterior análise da influência da adição deste material nas propriedades físicas e mecânicas de argamassas de cal. Assim, o grude foi adicionado às argamassas nos teores de 2% e 5% em relação à massa de cal, sendo os seus resultados comparados à amostra de referência (sem adição). Confeccionaram-se corpos-de-prova, que foram submetidos, após as idades de 150 e 300 dias, à caracterização física (massa unitária, porosidade, absorção de água por capilaridade, carbonatação e alterabilidade por sulfato de sódio), assim como ao ensaio de resistência mecânica à compressão axial e tração na flexão. Os resultados mostraram que a adição do grude da gurijuba melhorou as propriedades mecânicas e a resistência ao ataque de sais e reduziu a absorção de água total e por capilaridade nas ditas argamassas de cal. Na carbonatação, na porosidade e na massa unitária, o aditivo orgânico não influenciou significativamente.

Palavras-chave: Grude. Gurijuba. Aditivo orgânico. Argamassas de cal. Pará.

ABSTRACT

The "grude" of gurijuba (*Arius spp.*) is an organic material obtained from the bladder of this fish and was possibly used for centuries as an additive to lime mortars in state of Pará. This study aimed to do an historical research about the procedure laid down by oral tradition for subsequent analysis of the influence of the addition of this material in physical and mechanical properties of lime mortars. Thus, the glue made with the gurijuba's bladder was added to the mortar in amounts of 2% and 5% relative to the mass of lime and the results were compared to the reference sample (no addition). Specimens were prepared and tested, after the age of 150 and 300 days, to know their physical characteristics (bulk density, porosity, water absorption by capillary action, resistance to salt's attack) as well as mechanical strength by axial compression and tension in flexion. The results showed that the addition of the gurijuba's glue improved mechanical properties and resistance to salt's attack and reduced the water absorption by capillarity in lime mortars. In carbonation, porosity and unitary mass, the organic additive had no significant effect.

Keywords: *Grude. Gurijuba. Organic additive. Lime mortars. Pará.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Grude de gurijuba seco.	18
Figura 2: Forno de cal em Toano, Reggio Emilia, Itália. Autora: Larissa Acatauassú, 2010. ..	24
Figura 3: (A) Forno de cal em Toano (Reggio Emilia-Itália); (B) Local onde se colocam as pedras calcárias para calcinar. Autora: Larissa Acatauassú, 2010.	24
Figura 4: Formação de cristais de gelo. Fonte: TORRACA, 2009. p.83.	42
Figura 5: Eflorescência salina.	43
Figura 6: Estalactites. Fonte: TORRACA, 2009. p. 90.	45
Figura 7: Fachada atual do Teatro da Paz.	48
Figura 8: Mosaico no piso do <i>hall</i> de entrada do Theatro da Paz.	49
Figura 9: Ruínas no vilarejo de Joanes.	50
Figura 10: Igreja Matriz Madre de Deus. Vigia/ PA.	52
Figura 11: Varanda no pavimento superior da Igreja Matriz de Vigia. Autor: Geraldo Ramos, 2004.	53
Figura 12: Capela do Senhor dos Passos (Igreja de Pedra).	54
Figura 13: Sacristia da igreja com forro em réguas de madeira e nicho com imagem de S. Francisco.	54
Figura 14: Interior da igreja. (A) Cobertura e (B) Nave central.	55
Figura 15: Estátuas de roca no interior da igreja: (A) Nossa Senhora, (B) Senhor dos Passos.	55
Figura 16: Cola de gurijuba diluída.	59
Figura 17: Resíduo de fibras e filtrado da cola.	60
Figura 18: Folha de gelatina de gurijuba.	61
Figura 19: Extrator Soxhlet.	65
Figura 20: Incorporação de água destilada à gurijuba em pó.	66
Figura 21: (A e B) Aquecimento em banho maria, 24 horas após a hidratação da cola.	66
Figura 22: Cola pronta.	66
Figura 23: Curva de absorção capilar de água em função da raiz quadrada do tempo para determinação do coeficiente de absorção capilar ($Tg \phi$).	72
Figura 24: Distribuição granulométrica da areia utilizada na argamassa de revestimento da Igreja Matriz de Vigia, Pará.	77
Figura 25: Distribuição granulométrica da areia utilizada na argamassa de revestimento da Igreja de Pedra de Vigia, Pará.	78
Figura 26: Distribuição granulométrica da areia utilizada na argamassa de assentamento da igreja de N. Sra. do Rosário (amostra da torre) de Joanes, Pará.	78
Figura 27: Distribuição granulométrica da areia utilizada na argamassa de assentamento da igreja de N. Sra. do Rosário (amostra da parede) de Joanes, Pará.	79
Figura 28: Difratoograma das argamassas das edificações de Vigia-PA.	82
Figura 29: Difratoogramas das argamassas das edificações de Joanes – PA.	83
Figura 30: Espectros das amostras de referência contendo cola de gurijuba (amostra 2) e da amostra de argamassa de assentamento (amostra 1) da Igreja de Pedra (Vigia-PA)	84

Figura 31: Espectros das amostras de referência contendo cola de gurijuba (amostra 2) e da amostra de argamassa de assentamento da torre (amostra 3) da Igreja do Rosário (Joanes-PA).....	85
Figura 32: Espectros relativos à amostra de argamassa de assentamento da parede (amostra 4) da Igreja do Rosário (Joanes-PA).....	86
Figura 33: Distribuição granulométrica da areia utilizada e limites que a classificam como areia muito fina, segundo NBR 7211:1983.....	87
Figura 34: Porosidade aparente das argamassas de cal (aos 300 dias) em função do teor de cola adicionado.	88
Figura 35: Porosidade aparente das argamassas de cal (aos 300 dias) em função do teor de cola adicionado.	89
Figura 36: Massa unitária da argamassa no estado endurecido em função do teor de cola adicionado.....	90
Figura 37: Coeficiente de absorção capilar em função do teor de cola adicionado.	91
Figura 38: Porcentagem de absorção de água com o uso de bomba à vácuo.	92
Figura 39: Carbonatação nos CP sem aditivo.....	93
Figura 40: Carbonatação nos CP com 2% de aditivo.	93
Figura 41: Carbonatação nos CP com 5% de aditivo.....	93
Figura 42: Resistência à flexão das argamassas de cal em função do teor de cola adicionado.....	95
Figura 43: Resistência à compressão das argamassas de cal em função do teor de cola adicionado.....	96
Figura 44: Variação de massa do CP em função do número de ciclos de molhagem / secagem aos 150 dias.....	97
Figura 45: Variação de massa do CP em função do número de ciclos de molhagem / secagem aos 300 dias.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de corpos de prova moldados.....	69
Tabela 2 – Traço provável das argamassas de edificações do Pará.....	76
Tabela 3 – Classificação dos finos (argila e silte) das argamassas das edificações do Pará, segundo tabela de Munsell	80
Tabela 4 – Identificação da presença dos íons nas amostras de argamassa.....	81
Tabela 5 – Caracterização física da areia	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CP	Corpo de prova
DRX	Difração de Raios X
F_c	Carga máxima suportada pelo corpo de prova
F_f	Carga vertical aplicada para determinação de tração na flexão
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared Spectrometry</i>
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
IRUG	<i>Infrared and Raman Users Group</i>
L	Distância fixa entre os suportes para ensaio de tração na flexão
NTPR	Núcleo de Tecnologia da Preservação e da Restauração (UFBA)
R_c	Limite de resistência à compressão axial
R_f	Limite de tração na flexão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. GURIJUBA	17
2.2. MATERIAIS / COMPONENTES DE ARGAMASSAS	20
2.2.1. Cal	20
2.2.2. Areia	27
2.2.3. Água	29
2.2.4. Aditivos e adições	31
2.2.5. Colas e gelatinas proteicas	34
2.3. ARGAMASSAS DE CAL	37
2.3.1. Constituição das argamassas antigas.....	38
2.3.2. Degradação dos materiais porosos: as argamassas	39
2.4. TECNOLOGIA DA CONSERVAÇÃO E DA RESTAURAÇÃO	46
2.5. BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA	47
2.5.1. O Teatro da Paz de Belém	47
2.5.2. As ruínas da igreja de N. Senhora do Rosário em Joanes	50
2.5.3. Vigia e as igrejas barrocas	51
3. ESTRATÉGIA DE INVESTIGAÇÃO	56
4. MATERIAIS.....	57
5. MÉTODOS	61
5.1. AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS ANTIGAS.....	61
5.1.1. Ensaio simples de argamassa (determinação do traço provável)	61
5.1.2. Granulometria do agregado após ataque ácido e remoção dos finos	62
5.1.3. Cor dos finos (<i>Munsell Color Chart</i>)	62
5.1.4. Teste qualitativo de sais solúveis	62
5.1.5. Difração de raios X (DRX)	63
5.1.6. Espectrometria de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	64
5.2. ARGAMASSAS DE LABORATÓRIO	67
5.2.1. Caracterização de matérias primas.....	67
5.2.2. Moldagem	68
5.2.3. Caracterização da argamassa no estado endurecido	70
5.2.3.1. Porosidade e densidade aparentes (ensaio com água)	70

5.2.3.2.	Densidade aparente (ensaio com mercúrio).....	71
5.2.3.3.	Absorção por capilaridade (NBR 15259:2005).....	71
5.2.3.4.	Absorção total de água.....	73
5.2.3.5.	Carbonatação.....	73
5.2.3.6.	Resistência à tração na flexão e na compressão (NBR 13279:2005).....	74
5.2.3.7.	Alterabilidade por sulfato de sódio (Na_2SO_4).....	75
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
6.1.	AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS COLETADAS.....	75
6.2.	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS ARGAMASSAS MOLDADAS EM LABORATÓRIO NO ESTADO ENDURECIDO.....	86
7.	CONCLUSÕES.....	98
	REFERÊNCIAS.....	100
	APÊNDICES.....	108
	ANEXOS.....	119

1. INTRODUÇÃO

Genericamente, as argamassas são materiais de construção resultantes da adição de areia a uma pasta formada por aglomerante (cal ou cimento, por exemplo) e um veículo que desencadeie a reação de endurecimento, podendo ser a água, polímeros, etc. Nas argamassas, o aglomerante é o constituinte ativo da mistura e a areia, além de ser um material de enchimento, contribui com a estabilidade volumétrica, reduz a retração na secagem e o custo final. Sichieri et al (2008) afirma que, nas argamassas de cal, a presença da areia, além de oferecer as vantagens supracitadas, ainda facilita a passagem de anidrido carbônico do ar, que produz a carbonatação do hidróxido de cálcio. A carbonatação é fundamental para que a argamassa se torne mais rígida e durável.

De acordo com Santiago (1991), as argamassas podem diferir quanto à composição, ao traço (proporção entre constituintes) e à qualidade dos materiais empregados. As argamassas desenvolvidas há alguns séculos, em sua maioria, eram compostas por cal, areia, água e, eventualmente, solo. Com o intuito melhorar suas propriedades, algumas vezes eram incluídos aditivos, tais como óleos, gorduras, ceras, sangue animal, urina, ovos, açúcar etc. Essas propriedades são a aderência, impermeabilidade e resistência mecânica, por exemplo.

Segundo recomendações ensinadas por Vitruvius, tratadista romano do século I a.C, a argamassa deveria ser produzida na proporção de três partes de areia, para cada parte de cal (para areias de jazida) ou na proporção de duas partes de areia, para cada parte de cal (para areias de origem fluvial ou marinha) (VITRÚVIO, 2007).

O processo compreendido desde a seleção da matéria prima, a preparação do ligante e a mistura até a aplicação da argamassa de cal era feito de forma empírica, inicialmente através de tentativa e erro, na qual o conhecimento adquirido era transmitido pelos artesãos, de geração em geração. Segundo Faria et al (2008), com o passar do tempo, o uso da cal como ligante foi caindo em desuso e, conseqüentemente, o *know-how* dos artesãos foi se perdendo, especialmente nos países mais desenvolvidos.

Por outro lado, é consenso entre alguns autores como Oliveira et al (1992) e Faria et al (2008) o fato de que, nas últimas décadas, o conhecimento artesanal da elaboração de argamassas de cal ganhou importância na conservação do patrimônio arquitetônico, uma vez que se percebeu que o uso de argamassas de cimento em

construções antigas têm se revelado, muitas vezes, um grande problema em virtude da incompatibilidade dos materiais (migração de sais solúveis, por exemplo).

O estudo de argamassas antigas faz-se relevante, pois permite o entendimento das técnicas utilizadas, facilitando a recuperação de monumentos e intervenções restaurativas, além de desenvolver tecnologias de construção alternativas, evitando o uso de materiais que agriam o meio ambiente, tais como o cimento, cuja fabricação gera cerca de uma tonelada de gás carbônico (CO₂) para cada tonelada produzida, correspondendo a cerca de 5-8% de toda a emissão mundial (SCRIVENER, 2007).

Uma vez que o uso de aditivos varia de acordo com os materiais disponíveis em cada região, optou-se pelo estudo de material característico do litoral norte do Brasil e historicamente relatado como possível aditivo orgânico para argamassas: o “grude” da gurijuba (*Arius spp.*), material obtido da bexiga natatória do peixe (órgão responsável por regular seu nível de profundidade), cujos relatos informam ter sido utilizado como aditivo orgânico para argamassas no estado do Pará.

O objetivo principal desse estudo é investigar o efeito da adição de cola obtida da gurijuba no desempenho das argamassas de cal. De maneira específica, busca-se:

- Identificar as propriedades da cola proteica de gurijuba e seu desempenho como aditivo, agregando mais uma utilização do produto junto aos mercados nacional e internacional;
- Conhecer e recuperar técnicas tradicionais de construção, muitas vezes, esquecidas, que se constituem em patrimônio imaterial da história da Arquitetura;
- Obter material mais durável e compatível com os materiais de construção tradicionais, podendo ser utilizado para o preenchimento de lacunas em argamassas deterioradas de edifícios antigos.
- Incentivar o desenvolvimento de tecnologias para a construção alternativa, de modo a evitar o uso de materiais que agriam o meio ambiente.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. GURIJUBA

A gurijuba é um peixe encontrado em abundante quantidade no norte do país, principalmente na região do Salgado, nordeste paraense, da qual faz parte o município da Vigia. Possui coloração amarelada, pode medir entre 1 e 1,20 m de comprimento, assemelhando-se a um bagre e, talvez, por esse motivo seja denominada assim¹.

Pesando, em média, dez quilos, o animal atrai diversos pescadores que se arriscam a enfrentar ondas de até cinco metros para capturá-lo em alto mar usando as famosas vigilengas² (VERÍSSIMO, 1895). Esse interesse é devido, principalmente, à busca pelo “grude” (figura 1), ou seja, a bexiga natatória da Gurijuba – órgão responsável pelo controle de sua flutuação. Veríssimo (1895, p. 95) descreve a retirada do grude: “Do ventre tiram-lhe uma materia gelatinosa, compacta, amarella-esbranquiçada em forma de leque. É a preciosa <<grude>>, como eles chamam esta colla animal (...)”. Segundo Pough (1993 apud Sousa, 2008), a bexiga do peixe é uma vesícula composta por tecido conjuntivo fibroso que pode se encher de ar e tem a função de regular a densidade de flutuação dos peixes, possibilitando que estes flutuem. Muito valorizada no mercado internacional, é exportada principalmente para a China, o Japão, a Inglaterra, os Estados Unidos e a Alemanha sem nenhum tipo de beneficiamento. Apreciada como iguaria gastronômica no país mais populoso do planeta – para o estranhamento do paraense –, é usada na clarificação de bebidas na Inglaterra enquanto que nos Estados Unidos e na Alemanha é empregada na fabricação de cola de alta precisão (COUTINHO, 2002).

¹ Em Tupi, o prefixo *guri* significa bagre, enquanto *juba* quer dizer amarelo (MENDES, 1938).

² As vigilengas são embarcações típicas do município, oriundas da mistura da grande canoa indígena (*igarité*) e das embarcações portuguesas de pesca, embora de menores dimensões que estas.

² As vigilengas são embarcações típicas do município, oriundas da mistura da grande canoa indígena (*igarité*) e das embarcações portuguesas de pesca, embora de menores dimensões que estas.



Figura 1: Grude de gurijuba seco.

Sobre seu uso como filtro para clarear bebidas alcoólicas, o procedimento é basicamente o seguinte: adiciona-se o pó diretamente à bebida para agregar leveduras e outras partículas insolúveis que são sedimentadas para o fundo do recipiente ou podem ser removidas por filtração (HICKMAN et al, 2000). Pode ser inserida na composição de cosméticos, remédios, filmes fotográficos, móveis, instrumentos musicais etc. (SOUSA, 2008)

Após a pesca, ainda no barco, os pescadores retiram o grude, abrem-no e esticam-no para que receba seu único “tratamento”: secar ao sol, pois o produto fresco, além de perecível, possui baixo valor de mercado. Segundo Coutinho (2002), muitos pescadores não sabem a destinação do grude e nem sua utilização. Do pescado, não só esse órgão é aproveitado, mas sua carne também é bastante consumida, apesar de seu valor comercial baixo, se comparado à cotação do grude.

Do comércio do grude no Pará, no Álbum do governo de Paes de Carvalho (SANTA ROSA e FIDANZA, 1899), são expostos valores referentes à quantidade (em quilogramas) comercializada da bexiga, comprada dos pescadores/comerciantes pelos exportadores e enviada à Europa. Pode-se perceber

que o órgão do peixe vem sendo negociado internacionalmente pelo menos desde o final do século XIX³.

Entre os anos de 1863 e 1867, a cada ano, em média, 27 quilos (1,8 arrobas) do produto eram exportados (PARÁ, 1870). Por volta de três décadas depois, na publicação *Estado do Pará* (1895), encontra-se registrado o envio de cerca de 3,5 toneladas de grude de gurijuba e uma tonelada de grude de outras espécies para a Inglaterra. No ano de 1897, a exportação de grude de gurijuba para o país inglês cresce mais de seis vezes, passando para 23 toneladas enquanto que, aproximadamente, duas toneladas do grude de outros peixes foram enviadas à França, denunciando o aumento na demanda internacional (SANTA ROSA e FIDANZA, 1899).

O comércio do grude é referenciado também no álbum do Pará de 1908, destacando-se a cidade de Vigia como principal fornecedora (MONTENEGRO, 1908). Em 1905, a produção mais que duplica, em relação aos anos anteriores (1893-1897), chegando a quase 65 toneladas. Neste álbum está explícito que, ao menos desde os primeiros anos do século XX, a bexiga já era utilizada para a fabricação de cola.

Atualmente, o comércio desse gênero é intermediado pelos chamados “marreteiros” que, uma vez por mês, visitam as vilas de pescadores, adquirem quase toda a produção de grude e revendem para outros comerciantes que negociam a exportação para fora do país (LEITÃO, 2006).

Relatos informam que este subproduto da gurijuba, o grude, também era utilizado antigamente como aditivo para argamassas – forma de melhorar suas propriedades – em construções dos municípios paraenses de Vigia, Salvaterra (vila de Joanes) e Belém. Este fato gerou interesse pelo assunto, considerando a relevância dos edifícios históricos nas referidas cidades, sua precária manutenção e o anseio de tentar colaborar com o estudo da tecnologia dos materiais tradicionais.

³ No Álbum do Pará, de 1899, há um comparativo entre o comércio de diversos produtos. Dentre eles, o grude de peixe (não especificando se é somente de gurijuba), entre os de 1893 e 1897, chegando à média de quase 30 toneladas por ano.

2.2. MATERIAIS / COMPONENTES DE ARGAMASSAS

2.2.1. Cal

Por definição, a cal é o material construtivo obtido a partir da calcinação de rochas calcárias, conchas e corais e outros materiais de origem marinha com altos percentuais de carbonatos de cálcio, que foi largamente utilizado como ligante em argamassas. De acordo com Santiago (1991), é um material ativo, pulverulento, que tem como principal função a formação de uma pasta (de cal e água) capaz de promover a união entre os grãos do agregado. A literatura e escavações arqueológicas comprovam o uso desse material por antigas civilizações (egípcia, grega, romana etc.) há milhares de anos.

O homem conhece a cal provavelmente desde a Idade da Pedra, período Paleolítico (GUIMARÃES, 2002). Na Palestina e na Turquia foram datadas argamassas de aproximadamente 12.000 a.C. e posteriormente, em Roma e na Grécia. As argamassas de cal vêm sendo utilizadas continuamente até o século XXI (VENTOLÀ et al, 2011). Uma das primeiras referências ao uso da cal como aglomerante na construção civil data de cerca de 6000 a.C, em Çatal Hüyük, Anatólia, atual Turquia. Mezzaart (1971 apud Sánchez, 2002) comenta que:

*Cada una de las viviendas de la ciudad estaba provista de dos niveles; el más bajo de los dos estaba dotado de pilares de madera recubiertos con una mezcla de cal pintada de rojo y de igual manera se trataba el piso (...)*⁴
(SÁNCHEZ, 2002, p.10)

É incerto o início do uso da cal na história da construção. Alguns autores acreditam que tenha sido no momento em que o homem primitivo usava rochas calcárias como contenção de fogueiras e estas se calcinavam e as chuvas as extinguíam ou, ainda, quando preparavam seu alimento em locais com o dito material que se extinguíam também devido às chuvas.

Sánchez (2002) afirma que não é possível apontar com certeza o período em que a cal extinta foi usada como material de construção, mas um de seus primeiros

⁴ Cada uma das residências da cidade possuía dois níveis; o mais baixo dos dois estava dotado de pilares de madeira recobertos com uma mistura de cal pintada de vermelho e da mesma maneira se tratava o piso (...) **(tradução da autora)**.

usos provavelmente foi a pintura de túmulos, sozinha ou misturada a pigmentos naturais, como no exemplo de Çatal Hüyük, já referido.

Giorgio Torraca (2009), por sua vez, escreve que a cal como aglutinante em argamassas de revestimento teria sido empregada pelo menos desde 1700 a.C., no Palácio de Cnossos (Creta, Grécia), construído pela civilização minoica durante a idade do Bronze. A argamassa usada para unir blocos de pedras é prática mais recente. Segundo o mesmo autor, este material construtivo só passou a ter função estrutural muito depois: por volta do terceiro século a.C., em Roma – período que coincide com a introdução de pozolanas como aditivo.

Com a descoberta e grande difusão do cimento Portland, em 1824, o emprego da cal diminuiu significativamente na construção civil. Isto porque o novo material oferecia tempo de cura mais curto, maior resistência mecânica, maior coesão e menor porosidade (MARGALHA et al, 2011). Entretanto, até meados do século XIX, a cal era bastante utilizada em argamassas de assentamento e de revestimento. Atualmente, é incorporada junto com o cimento na composição de argamassas mistas (com mais de um aglomerante) para a construção civil, visando proporcionar maior fluidez e coesão, além da retenção da água de amassamento e de melhorar a aderência das argamassas mistas ao substrato. Possui função plastificante, que permite à argamassa absorver maiores deformações sem fissurar (ARAÚJO et al, 2000). É muito utilizada na estabilização de solos, correção do pH da água e na composição de tintas que, além do efeito estético, proporcionam maior assepsia em virtude de sua alcalinidade (pH alto).

Recentemente, o uso da cal tem sido requisitado nas restaurações de monumentos antigos, uma vez que se descobriu que o cimento possui algumas propriedades incompatíveis com alguns materiais antigos. Sais solúveis como o sulfato de cálcio, usualmente presentes no cimento, podem ser lixiviados e contaminar a estrutura antiga adjacente, causando eflorescências ou outras patologias (VENTOLÀ, 2011).

A cal pode apresentar diferentes características em função da qualidade da matéria prima que a originou e de seu processo de fabricação. Nas rochas calcárias, o carbonato de cálcio (CaCO_3) e/ou de cálcio e magnésio, após passar pelo processo de calcinação, transforma-se em óxido de cálcio e magnésio (CaO e MgO , quando da existência de magnésio). O óxido, também chamado de cal viva ou cal virgem, tem grande utilização e importância industrial (BAUER, 1987).

Por volta do século I a.C., Vitruvius (2007) aconselhava o uso de pedra branca ou tufo calcário para o fabrico da cal. Segundo este tratadista, as cales resultantes de rochas mais duras deveriam ser empregadas em argamassas de assentamento, enquanto que as resultantes de rochas mais porosas, em revestimentos.

Vários outros tratadistas, além de Vitruvius, fizeram considerações sobre o uso da cal e suas características. Por exemplo, J. F. Blondel (1771) opinou que a cal de melhor qualidade seria proveniente de pedras mais pesadas e de coloração branca, indicando o uso do mármore como a melhor variação. Assim como Vitruvius, Blondel acreditava que as pedras mais duras gerariam cales mais resistentes. Por sua vez, Cataneo (1964), em 1554, acreditava na melhor qualidade da cal quando esta era fruto do calcário de jazidas subterrâneas, ao invés das rochas encontradas na superfície da Terra (à céu aberto), preferencialmente em locais úmidos.

A identificação das pedras calcináveis pelos antigos era feita com base na experiência e não no conhecimento da composição mineralógica das rochas. Teofrasto menciona o uso de mármore na fabricação, genericamente, mas José Manuel de Carvalho e Negreiros (1797 apud Santiago, 2007) acreditava que não era de qualquer pedra que poderia ser feita a cal: as rígidas em excesso eram inapropriadas a esse fim, enquanto as brandas, geralmente de coloração parda, por conter argila/solo, forneceriam cal de baixa qualidade. Ressalta-se que o calcário pardo, por conter argila, apresenta propriedades hidráulicas. Ainda segundo o autor, a melhor cal do mundo seria a obtida a partir do calcário de lioz, hidratada com água doce.

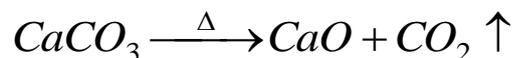
Phillibert de l'Orme (1988), no capítulo 14 (livro segundo) de seu *Traité d'architecture: premier tome de l'architecture*, em 1567, sugere o uso do mesmo tipo de pedra empregado nas construções a ser também matéria prima da cal inserida como aglomerante na argamassa de assentamento, com o objetivo de atingir sua maior força.

No período da colonização do Brasil, as jazidas de rochas carbonáticas ainda eram desconhecidas, ao passo que os calcários de origem marinha podiam ser fácil e fartamente encontrados, pelo menos nas cercanias da cidade de Salvador. Assim, devido à abundância de corais e conchas de mariscos, em geral não se fazia necessária a importação de rochas europeias para o fabrico de cal (SANTIAGO, 2007).

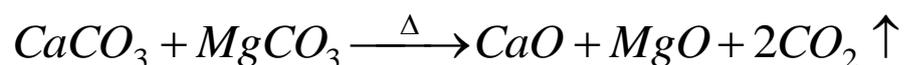
Sabe-se que em diversas partes do país a cal de conchas de mariscos foi utilizada na construção, mas Lemos (1985) acreditava que esta fosse de “má qualidade”, principalmente quando mal elaborada. A falta de cuidado com a limpeza das conchas traz cloreto de sódio (da água do mar) para a argamassa de cal, altamente higroscópico, responsável pela absorção de umidade nas paredes.

Apesar de a cal poder ser obtida de diversos materiais, não se deve misturar diferentes tipos de rochas e/ou cascas de mariscos, pois o resultado da mistura é bastante heterogêneo o que, conseqüentemente, gera cal de qualidade inferior.

Conforme citado anteriormente, a cal é um subproduto da calcinação de rochas calcárias, dentre outras matérias primas. É classificada como aérea se endurecer exclusivamente pela ação química com o gás carbônico do ar ou hidráulica quando endurece pela ação da água (SANTIAGO, 1991). Segundo Bauer (1987), o carbonato de cálcio (CaCO_3) presente no calcário, ao ser submetido à temperatura aproximada de 900°C , decompõe-se em óxido de cálcio (CaO) e libera gás carbônico, segundo reação química representada pela equação:



Os carbonatos presentes na cal, algumas vezes, contêm impurezas, como sílica e óxidos de ferro e alumínio, variando sua proporção. É comum encontrar compostos de magnésio (carbonato de magnésio) – que não são considerados impurezas – recebendo, a cal, a denominação “dolomítica”. Esta variedade, produzida a partir de calcários dolomíticos, hidrata-se com maior lentidão do que a cal cálcica em virtude da presença de óxido de magnésio livre (BAUER, 1987). A transformação dos calcários dolomíticos (ou magnesianos, dependendo da concentração de magnésio) dá-se, segundo a equação:



Como referida, a transformação do carbonato em óxido de cálcio ocorre em temperaturas entre 850°C e 1200°C , devendo ser controlada para obtenção de resultados mais satisfatórios. Abaixo de 850°C a calcinação não é completa e acima de 1200°C , a cal viva começa a se associar às impurezas, gerando material de baixa

qualidade. A queima da matéria-prima pode acontecer ao ar livre (em medas) ou fornos de cal (figuras 2 e 3) (BAUER, 1987).



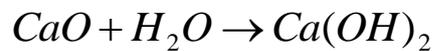
Figura 2: Forno de cal em Toano, Reggio Emilia, Itália. Autora: Larissa Acatauassú, 2010.



Figura 3: (A) Forno de cal em Toano (Reggio Emilia-Itália); (B) Local onde se colocam as pedras calcárias para calcinar. Autora: Larissa Acatauassú, 2010.

O óxido de cálcio (ou cal viva) é composto por grãos de variados tamanhos, de acordo com seu processo de fabricação, com o formato semelhante aos grãos da rocha original (BAUER, 1987). Em seguida, deve ser hidratado, provocando a reação, cujo produto é denominado cal hidratada ou extinta – Ca(OH)_2 . A cal viva é

altamente reativa, na presença de água, e não pode ser usada em argamassas antes de ser transformada em hidróxido de cálcio pela reação com aquela (FARIA et al, 2008). A reação de extinção ocorre de acordo com a equação:

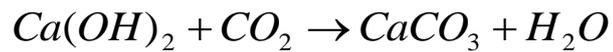


O processo de hidratação da cal é exotérmico, com grande liberação de calor (250 cal/g, podendo atingir até 400°C de temperatura a depender da quantidade de material hidratado), oferecendo riscos de acidentes que tornam o processo perigoso (GUIMARÃES, 2002). Era tradição a cal ser incorporada às argamassas após longo período de imersão em água, portanto inserida sob forma de pasta. Outras vezes, a hidratação da cal era feita junto com a areia.

A água indicada para hidratação deveria ser limpa e clara, pois a suja ou “podre” não penetraria nos poros da pedra cozida, segundo Scamozzi (1615 apud Costa, 1999) recomendava no início do século XVII.

A hidratação costumava acontecer em tanques, nos próprios canteiros de obras, mas graças à incompatibilidade das práticas antigas face às modernas (principalmente quanto a otimização do tempo de construção) e para evitar acidentes causados pela elevada liberação de calor, atualmente a cal é comercializada hidratada (FARIA et al, 2008) e seca, com aspecto pulverulento, de coloração branca e elevada finura, em sacos de 8 e de 20 Kg. É válido ressaltar que em algumas obras de restauração, o IPHAN exige que a cal seja extinta *in loco*, ou seja, no próprio canteiro.

Após a extinção, a cal pode ser combinada com areia e água para formar uma massa plástica denominada argamassa, que sofre reações químicas em contato com o ar, endurecendo e unindo os grãos do agregado. Bauer (1987) explica que isso acontece porque a hidroxila (OH⁻) da cal reage com o gás carbônico (CO₂) do ar e se carbonata (para o caso das cales aéreas que endurecem na presença de ar e umidade favorável). Esse processo é bastante lento e ocorre do exterior para o interior do material através de sua porosidade, a qual permite a entrada do gás carbônico e a evaporação da água, resultante da reação química descrita na equação:



De acordo com Margalha et al (2011), além da aplicação da argamassa de cal na alvenaria obedecendo método tradicional (cal, água e areia previamente misturadas), outra técnica empregada consistia na mistura de cal viva com areia para assentamento imediato. Registros mostram que a proporção entre os materiais era definida previamente (em volume) e a argamassa, depois de aplicada, era mantida úmida pelo maior tempo possível, continuamente. A expansão da cal entre as pedras ou tijolos melhorava a junção entre eles e, em consequência, aumentava a resistência à esforços da alvenaria.

Assim como inúmeros viajantes e tratadistas, o cronista português Gabriel Soares de Sousa (1989), no século XVI, em sua descrição deste país, mencionou o uso de cascas de ostras para a fabricação da cal usada nas construções que originavam variedade bastante alva de boa qualidade. Segundo Lemos (1985), algo semelhante ocorreu em São Paulo, pelo menos até o século XVIII, onde a cal das construções era escassa (só usada em extrema necessidade) e predominantemente produzida no litoral a partir de sambaquis: depósitos formados por conchas e restos de corpos humanos, enterrados pelos que ali habitavam, que o tempo aglutinou e transformou em blocos de carbonato de cálcio.

No Pará, tal como no estado de São Paulo, a cal usada em edificações antigas, até o século XIX, era majoritariamente obtida a partir da queima das conchas de mariscos, conforme relatos da população. Em sua viagem pela Amazônia, o viajante Alexandre Rodrigues Ferreira (1784), no final do século XVIII, dizia que as cales utilizadas na caiação das casas eram obtidas a partir da queima de cascas de ostras ou conchas do molusco denominado localmente de cernambi (“sirnambi”).

De acordo com estudos de Silveira (2011), antigos viajantes como Barbosa Rodrigues, Ferreira Penna, Hartt e outros, relataram que os sambaquis eram encontrados desde a margem do rio Trombetas (oeste do Pará) até o nordeste do Estado, também conhecido como “zona do salgado”.

Amontoados de carapaças de moluscos (especialmente a espécie *Anomalocardia brasiliiana*), restos de animais, fragmentos e objetos de pedra e cerâmica, resquícios de estruturas de habitações (estacas, por exemplo)

compunham as minas de sambaquis. Estas foram destruídas, principalmente nos séculos XVIII e XIX, para a fabricação da cal usada na construção de edifícios (SILVEIRA, 2011).

Ferreira (1784) indicou a localização dessas “minas” para extração das conchas na Vila Viçosa de Santa Cruz do Camutá (hoje, cidade de Cametá), Carutapera e nos rios Canaticú (Joanes – Marajó – Pará), Maracanã e Marapanim, abaixo do rio Curuçá.

Em decorrência da escassez de rochas calcárias ou do aparente desconhecimento de seu local de extração, no Norte do Brasil, é comum encontrar nos documentos, ao menos nos do século XVIII, solicitações a Portugal do material construtivo (cal). No ano de 1759, o soldado macapaense Antônio José Morte informava ao então presidente da Província, Manoel Bernardo de Mello de Castro, que “como esta obra hade precisar dem.^{ta} cal, o mestre Pedreiro Ignacio de Medeiros me disse que a sabia fazer, daque lhe chamão sernambim (...)”, demonstrando o conhecimento que alguns construtores tinham para fazer a cal empregada nas obras porque provavelmente não possuíam disponibilidade do aglutinante em locais próximos (APEP, 1759, cód. 71).

Em Oeiras, por exemplo, dois documentos requerem o envio de cal para as obras da igreja da cidade nos anos de 1768 (APEP, 1768, cód. 71) e 1769 (APEP, 1769, cód. 71). Para chegar até seu destino final, o transporte do aglomerante era feito através de canoas, como descrito nos documentos pelo engenheiro do Carmello (APEP, 1761, cód. 71), em 1761, e por Manoel Pereira (APEP, 1769, cód. 71), em 1769.

Na primeira metade do século XIX, Baena (1838) lista a entrada de alguns produtos importados como pedras de cal e tintas preparadas. Notícias do Jornal Treze de Maio referem-se a sessenta toneladas de pedra de cal vindas a bordo do brigue inglês *City of Perth*, dentre outros gêneros (TREZE DE MAIO, 1840). A intensa importação desses produtos, a partir da década de 40 do século XIX, refletiu o crescimento econômico da cidade de Belém.

2.2.2. Areia

De acordo com a definição de Bauer (1987), a areia é, geologicamente, um sedimento clástico inconsolidado, de grãos, em geral, quartzosos (mas não

obrigatoriamente), de diâmetros entre 0,06 e 2,0 mm. É considerada agregado miúdo; a parte inerte da argamassa, composta por grãos consistentes. Quanto à sua origem, pode ser de rio, cava, britagem, praias ou dunas. Tem diversas funções na composição das argamassas, dentre elas, baratear seu custo, conferir maior estabilidade volumétrica, facilitar a passagem do anidrido carbônico do ar, fundamental para a recarbonatação da cal e solidificação do conjunto (PETRUCCI,1993).

Diogo da Sylveyra Vellozo, tratadista do século XVIII (VELLOZO, 2005), assim como Vitruvius, classificava apenas três tipos as areias: de cava, de rio e de mar. A de jazida (cava), batizada pelos romanos de saibro⁵, seria a melhor para aplicação nas argamassas, opinião compartilhada pelo romano Vitruvius (2007) e também por Baena (1838). A areia de rio, pior que a de cava, mas melhor que a de mar, deveria ser coletada nas “correntes das ribeyras”, no centro do rio por onde passam as correntezas. Em último caso, os autores indicam o uso da areia de mar, recomendando que esta fosse lavada com água doce para remover o sal. Afinal, este favoreceria a degradação do material a longo prazo. Para se certificar da qualidade da areia, Vitruvius sugeria que um punhado dela fosse posto sobre um pano branco. A areia que, após sacudida e jogada fora, deixasse o pano limpo, seria a ideal para utilização como material construtivo. Era importante que fosse áspera e fizesse “um estridor ao ser friccionada na mão” (VITRÚVIO, 2007, p. 124) – um indicativo da ausência de quantidade elevada de terra, segundo o tratadista romano. Vellozo, mais de um milênio e meio depois, também faz menção a esta verificação. O autor recomendava:

(...) quando sobre ella não nasce erva, se apertandoa na mão ringe como sal, e não se une, e largandoa fica a mão limpa; o mesmo he pondo-a em um pano limpo de linho se depoyes se sacodido torna a ficar limpo; se botando-a em água e exaugando-a não turva a agua, porque turvando-a he indicio de ter mistura de fango, ou poeyra, que faz não endurecer a cal por cuja cauza se fendem e rachão as obras. (VELLOZO, 2005, p. 295)

A NBR 7211:1983 que trata de agregados para uso em concreto, classifica em quatro tipos a areia: muito fina, fina, média e grossa, sendo que o critério de diferenciação é a porcentagem de tamanho dos grãos. O indicado para a fabricação de argamassas é usar areia fina ou muito fina. Para o emprego desse material nas

⁵ Hoje em dia, no Brasil, saibro é a denominação para solo arenoso.

obras, comumente a areia era seca ao sol, espalhada em finas camadas e peneiradas em peneiras de aproximadamente 1 mm de abertura (BAUER, 1987).

Na dosagem das areias em argamassas, deve-se considerar suas propriedades mecânicas, tais como inchamento, higroscopia, coesão aparente, dentre outras.

2.2.3. Água

Nas argamassas, a água tem como principais funções estimular as reações químicas entre os demais componentes, promover a união entre eles (aglutinante) e dotá-las de plasticidade.

No intuito de conseguir boa trabalhabilidade e plasticidade, que vão interferir no acabamento e execução da argamassa de cal, muitas vezes os operários inserem quantidade exagerada de água que pode alterar o processo de endurecimento do material construtivo, causar retração excessiva bem como modificar sua porosidade e, por consequência, sua resistência mecânica (COSTA, 1999).

A água de amassamento indicada para execução de argamassas pode ser “qualquer das que produz a Natureza, desde que não estejam sujas nem contenham sais”, ou seja, água potável. Indica-se, preferencialmente, o uso de água de rio, mas, se “duras” (contendo íons em excesso, que prejudiquem o endurecimento do conjunto), devem passar por filtração antes de ser incorporadas (ROJAS, 2002).

No século I a.C., Vitrúvio (2007) no livro de número dois de seu Tratado de Arquitetura, dizia que o sal presente na água do mar (e nas areias de origem marinha) prejudicava a resistência final das argamassas por provocar a dissolução deste material construtivo e, com este tratadista, concordava o arquiteto Andrea Palladio (séc. XVI apud Rojas, 2002).

Rojas (2002), por sua vez, posiciona-se contrariamente à opinião daqueles dois autores ao afirmar que o uso da água salgada não tem efeito negativo sobre a resistência da argamassa, mas provoca eflorescências que contribuem com a deterioração acelerada do material construtivo. Porém, a afirmação que a primeira vista pode parecer divergente dos autores citados, indiretamente é a mesma, uma vez que a argamassa deteriorada pela ação dos sais também perde parte de sua resistência mecânica. Sobre a água do mar, Philibert de L’Orme, em 1567, comenta:

En cuanto al agua el tercer elemento de la composición del mortero (pues hay fuego para la cal, tierra para arena, agua para su aglutinación y el humo que forma un aire nebuloso que responde a los cuatro elementos del mundo). Yo digo que el agua del mar no vale en absoluto, ya que no deseca de ninguna manera, que la deja siempre húmeda y no permite que aglutine o se mezcle con las piedras. Las aguas igualmente de marismas o charcas no son buenas, por ser gruesas e inmundas. Pero aquellas de los ríos, pozos y fuentes son excelentes y limpias. (Philibert de L'Orme *apud* Rojas, 2002, p.99)⁶

Cerca de cem anos depois, na publicação Diário do Comércio, em Lisboa, Alberto Sales (1759 *apud* COSTA, 1999) possuía a mesma opinião de que o sal presente na água do mar interferia negativamente na reação de “ligação” da cal com os agregados e também por deixar as paredes úmidas com o passar do tempo em função de sua higroscopicidade. Assim também pensavam Mathias Ayres Ramos da Silva de Eça e Jozé Manuel de Carvalho e Negreiros.

Rojas (2002) afirma que as altas temperaturas (acima de 30°C) aceleram o endurecimento da cal ao passo que as baixas temperaturas (abaixo de 7°C) o retardam. Por este motivo, em épocas frias, as argamassas são preparadas com água quente e no inverno, muitas obras são paralisadas.

O uso da água nas argamassas deve ser suficiente para preencher os vazios entre seus constituintes secos, porém, quando em excesso ou em falta, a água pode provocar as piores patologias nas argamassas como mencionado na tese do pesquisador José de Aguiar Costa (1999). Um grande problema diz respeito à quantidade ideal deste reagente, por ser dificilmente mensurada e registrada pelos tratadistas, dificulta o estudo de argamassas antigas e sua reprodução para uso no restauro.

Sobre a quantidade ideal de água para a extinção completa da cal e transformação em pasta a ser incorporada à areia, Manuel Fonseca (1995 *apud* COSTA, 1999) ensina o método de extinção por fusão:

Pode saber-se a quantidade de água necessária colocando um pedaço de cal viva que previamente se pesa, dentro de um recipiente com água. Decanta-se a água sobranete e pesa-se a pasta de cal; a diferença entre o

⁶ Enquanto a água é o terceiro elemento da composição da argamassa (pois há fogo para a cal, terra para areia, água para sua aglutinação e o fumo que forma um ar nebuloso que corresponde aos quatro elementos do mundo). Eu digo que a água do mar absolutamente não é boa, já que não seca de maneira alguma, que a deixa sempre úmida e não permite que se aglutine ou se misture com as pedras. As águas de pântanos e lagos também não são boas por serem duras e imundas. Mas aquelas de rios, poços e fontes são excelentes e limpas (**tradução da autora**).

peso médio da cal viva e o peso da pasta de cal representa a água necessária para obter a hidratação pretendida (...) (COSTA, 1999, p. 280).

No método de extinção por aspersão espalha-se a cal viva por uma superfície adequada para posteriormente regá-la com água limpa na quantidade de 25 a 50% do seu volume e sobre esta mistura, acrescenta-se areia com o objetivo de bloquear a fuga dos gases e preencher as eventuais fissuras produzidas pelo apagamento da cal. Segundo aquele autor, este processo gera cal em pó, de granulometria bastante fina, mas pode ser que a cal não se hidrate completamente.

Uma variante do processo é a deposição de pedras de cal viva por baixo de uma camada de areia e posterior irrigação desses materiais construtivos com pouca quantidade de água, formando uma argamassa que deveria ser bem mexida antes de sua aplicação na alvenaria. Costa (1999) menciona que esse método de argamassa “a quente” era utilizado nas obras de execução rápida, de pouca responsabilidade ou grande volume.

Como, nos dias de hoje, o uso da cal viva nas obras não é muito comum⁷ (até por questões de segurança do trabalho), esses métodos de hidratação tornam-se cada vez menos práticos além de não serem completamente precisos quanto à quantidade de água na mistura, que vai variar de acordo com as características das matérias primas empregadas.

2.2.4. Aditivos e adições

Com o intuito de melhorar o desempenho das argamassas, muitas vezes a ela são incorporados aditivos e/ou adições. Segundo a NBR 13529 (Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas), as adições são “materiais **inorgânicos naturais** ou **industriais** finamente divididos, adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades e cuja quantidade é levada em consideração no proporcionamento”. A mesma norma define aditivo como “produto adicionado à argamassa em pequena quantidade, com a finalidade de melhorar uma ou mais propriedades, no estado fresco ou endurecido”. Portanto, é correto afirmar que toda adição é um aditivo, mas o contrário não é verdadeiro.

⁷ Exceto em algumas obras do IPHAN.

O homem primitivo valia-se dos materiais disponíveis na natureza para criar abrigos que pudessem protegê-lo das intempéries. O emprego de novos produtos na construção evoluiu junto com o homem que, nos primórdios, observava o comportamento dos materiais, testando e aprimorando seu conhecimento construtivo.

Sabe-se que as argamassas de cal são utilizadas há milênios e, muitas vezes, eram incluídos aditivos orgânicos ou inorgânicos para conferir-lhes características especiais, que variavam de acordo com a disponibilidade nas proximidades das construções (SANTIAGO, 1991). Normalmente os aditivos eram incorporados para melhorar as propriedades das argamassas em locais onde o acesso a materiais construtivos de boa qualidade era restrito.

A inserção dos aditivos, muitas vezes, era feita aleatória ou até erroneamente. Possivelmente, os antigos não sabiam o real efeito da inclusão destes aditivos no comportamento final das argamassas, mas passavam a tradição a seus descendentes oralmente.

Aditivos pouco convencionais são retratados na literatura para o aperfeiçoamento de diversas propriedades das argamassas. Fibras vegetais, ovos, leite, cerveja, suco de frutas, cera de abelha, manteiga, goma arábica, banha de porco e excremento são alguns dos registrados na história das argamassas antigas, como citado na dissertação de Cybèle Santiago (1991).

Na ilha de Thera, os gregos costumavam acrescentar à mistura de cal e areia, o pó de origem vulcânica da 'terra de Santorini,' proveniente do vulcão de mesmo nome (ROJAS, 2002). O uso conferia às argamassas propriedades hidráulicas, porém, na falta deste material pozolânico, eram inseridos pó de telha ou tijolos. Assim também faziam os romanos, ao incorporar argila cozida e, principalmente, pozolana (resíduos de rochas vulcânicas provenientes da região de Pozzuoli, Nápoles, Itália) nas argamassas de cal – prática utilizada até hoje, com seus efeitos positivos confirmados em pesquisas laboratoriais realizadas no NTPR.

Para melhorar a plasticidade e a porosidade do material, os construtores romanos buscavam retardar a evaporação de água a partir da inclusão de colas de pele animal, óleo de linhaça e azeite de oliva. Os dois últimos, além de sangue de boi, urina e cerveja também eram utilizados para acelerar o endurecimento das argamassas (VELLOZO, 2005). No entanto, a crença de adicionar substâncias oleosas com o propósito de antecipar a rigidez das argamassas, contradiz com os

experimentos realizados por Santiago (1991), nos quais observou que o uso de óleo de baleia retardou a carbonatação nas argamassas de cal e, conseqüentemente, reduziu sua resistência à compressão.

Com o objetivo de melhorar as propriedades hidrófugas das argamassas, o arquiteto italiano Palladio (séc. XVI apud Rojas, 2002) indicava a mistura de sebo à cal na execução de aquedutos e cisternas. Esse aditivo teria como objetivo principal garantir a estanqueidade dos vazios nas argamassas e reduzir a penetração de água.

Os romanos costumavam aplicar nas construções de seus aquedutos e cisternas um tipo de argamassa de cal e/ou pó cerâmico sob uma camada de *maltha*, composta dentre outros elementos, por cal extinta com vinho e, posteriormente misturada com banha de porco e figos, considerados amaciantes, segundo Plínio, O Antigo, no século I (PLINIUS, 1962).

Santiago (1991) demonstrou que o uso de sangue de boi como aglutinante nas argamassas, referido na literatura brasileira por Sylvio de Vasconcellos (1979), favorece a hidrorrepelência das argamassas, mas em compensação aquele aditivo sofre com o ataque biológico. Outro aditivo que conferiria à argamassa a hidrorrepelência é citado por Lemos (1985): o **azeite de peixe** misturado à cal e algumas vezes pó de tijolo ou telhas em substituição à areia, compôs um betume impermeabilizante e foi aplicado na alvenaria de um chafariz na cidade de São Paulo, na reforma ocorrida no ano de 1823.

Para algumas aplicações, é útil retardar o tempo de pega da cal, como é o caso da execução de mosaicos. Como aditivo, os árabes acrescentavam “água de cola” às argamassas de cal, retardando seu endurecimento, pois assim dispunham de tempo suficiente para aplicá-los. A fim de melhorar a elasticidade e a porosidade, aprimorar e homogeneizar a associação entre os pigmentos usavam-se óleos, vinagres, algumas resinas naturais, sabão e colas animais, segundo Rojas (2002).

Pesquisas desenvolvidas por Enning & Bleck (apud ROJAS, 2002) concluem que algumas crenças não têm fundamento como a que trata da adição de proteínas animais (ovo, caseína, sangue de boi etc.) em argamassas medievais. Os autores discordam de inúmeros tratadistas antigos que dissertam sobre o uso dos materiais proteicos e seus benefícios: benefícios estes evidenciados, por exemplo, nos resultados obtidos nesta pesquisa que demonstram a eficácia do aditivo estudado (cola obtida do grude de gurijuba).

No Pará, ao menos durante o século XIX, os óleos de jacaré e de peixe-boi, extraídos do tecido adiposo destes animais, foram utilizados como combustível para iluminação pública, para calafetagem de embarcações (óleo de jacaré) e como aditivo para conferir hidraulicidade às argamassas (EXPOSIÇÃO NACIONAL, 1862), apesar de se saber que substâncias oleaginosas costumam melhorar a hidrorrepelência e não a hidraulicidade naqueles materiais construtivos. Relata-se que o óleo de jacaré possuía coloração escura enquanto o de peixe-boi cor amarela-escura e ambos tinham odor muito forte capaz de provocar náuseas a quem o sentia.

O mau cheiro também era exalado do óleo de baleia. O uso deste possível aditivo orgânico para argamassas tão comentado na tradição oral, principalmente no nordeste do Brasil é, até hoje, uma incógnita. Santiago (1991) levanta a possibilidade do comércio deste produto ter financiado a construção de edifícios e, assim, ter seu uso associado e não que tenha sido misturado aos seus materiais construtivos com tanta frequência, como dito. Caso tenha sido misturado, não melhoraria a resistência mecânica do material, mas sim sua hidrorrepelência, conforme experimentos laboratoriais daquela autora e do depoimento de um pedreiro, citado em seu texto, que fez uso do óleo na construção de um cais à beira-mar tendo, segundo ele, a função de uma “Sika” (produto impermeabilizante).

Apesar de haver referências documentais na literatura brasileira e mundial sobre o uso de proteína animal em argamassas, não foram encontrados estudos recentes que comprovem essa prática e cujos aditivos sejam identificados através de métodos científicos nas argamassas de cal.

2.2.5. Colas e gelatinas proteicas

As colas proteicas são obtidas através da hidrólise de materiais albuminosos e/ou colágeno existentes nos tecidos animais. O colágeno é, basicamente, um tipo de proteína que tem como principal função formar fibras insolúveis e resistentes, sendo responsável pela modulação de forças internas e externas no interior do organismo (SOUSA, 2008). Pode ser encontrado em diversos tecidos como tendões, pele, cartilagens, músculos etc. Esse material, quando tratado com água quente ou vapor d'água, transforma-se em glutina (solúvel em água) que, por sua vez, é o

componente principal das colas de origem animal ou proteicas. Sua resistência está diretamente ligada à proporção entre cola e água (ARAÚJO, 2010).

De boi, de coelho ou de peixe, as colas animais são usadas há muitos séculos. Cennino Cennini (1947), pintor renascentista italiano, por volta do *Quattrocentto* (século XV), oferece-nos diretrizes sobre a maneira de preparar colas e explica como se emprega e dilui a cola de peixe, também chamada de ictiocola:

Há uma cola que se chama cola de peixe. Esta cola se faz de vários tipos de peixe. Esta, depois de se colocar na boca um pedaço até que se molhe um pouco, se se esfrega sobre pergaminhos ou outros tipos de folhas; gruda muito firmemente. Derretida, é muito boa para colar alaúdes e outras coisas belas de papel, madeira ou osso. Quando a puseres no fogo, adicione para cada parte meio copo de água limpa (CENNINI, 1947, p. 105).

O depoimento de Cennini sugere que a cola, em contato com a saliva, adquiria características aglutinantes que permitia a união de diferentes materiais como madeira, por exemplo. A propriedade colante, percebida por esse autor, também pode ser notada quando se ingere peixe cozido com pele ou até a bexiga natatória de espécies como a gurijuba.

O engenheiro português João Emilio dos Santos Segurado (s/d), em publicação que se acredita ser do início do século XX, dedica alguns parágrafos a colas, enfatizando que as empregadas em pintura eram sempre as de origem animal, obtidas a partir da cozedura de ossos, cartilagem, pele etc. Explica a maneira de fabricar as colas de raspa de pelica, pergaminho, cola forte ou grude (de boi ou cavalo) e de peixe, sendo a última obtida pela cozedura, em água, das peles, barbatanas, cabeça, rabo e cartilagens.

Segurado define bem a destinação desse material, afirmando o seu emprego como veículo de cores para a pintura a cola (têmpera). Curiosamente, cita a “cola líquida” como mais prática por não necessitar do uso de fornos e vasos, mas apenas aquecer em banho-maria gelatina transparente ou “grude de boa qualidade” com o seu peso em vinagre, quarta parte de álcool e um pouco de alúmen, sendo o vinagre para conservar a fluidez da cola fria. Cita também o uso de outras colas na construção civil, por exemplo, a de trigo, empregada na aplicação de papéis de parede pintados.

Medeiros (1999) relata que as colas proteicas não eram somente empregadas na técnica de pintura a têmpera, mas na marcenaria, no acabamento de pinturas

(como verniz), sobre folhas de ouro para reduzir seu brilho, como base de preparação (misturada ao gesso e ao bolo armênio⁸) e também na encolagem, que consiste na camada de tratamento de superfícies de madeira para receber tinta, evitando que a madeira absorva o adesivo das camadas posteriores.

As gelatinas são substâncias animais, sendo a mais comum obtida a partir de peixes, também chamada de goma ou cola de peixe, na reprodução de ornatos. É uma substância incolor, sólida sem gosto, sem cheiro e mais pesada que a água, sendo rígida, quando seca, e flexível quando úmida. Para dissolvê-la, Segurado (s/d) recomenda imergi-la em água fria e limpa, variando o tempo de imersão de acordo com a qualidade da gelatina empregada. Assim como as colas anteriormente descritas, deve ser aquecida em banho-maria. Indica a temperatura de fusão ideal como sendo a mais baixa possível – não ultrapassando 40 graus Celsius –, pois as altas temperaturas prejudicam a qualidade da gelatina.

Há algumas centenas de anos, o mercado internacional comercializa um subproduto da bexiga natatória de alguns peixes que consiste basicamente em colágeno – o *isinglass* – fornecido como pó fino, pasta ou líquido altamente viscoso para a indústria (HICKMAN et al, 2000).

Tanto a gurijuba (*Cynoscion spp.*) quanto o esturjão (*Acipenser spp.*) podem ser usados como matéria prima para a fabricação do *isinglass*. Segundo Chaptal (1807), os russos preparavam a cola a partir da bexiga do esturjão de maneira similar à da gurijuba (ver item 2.1 deste trabalho), com a diferença que antes de seca ao sol, mergulhavam-na em água fresca para depois amassá-la com martelo e cortar em pedaços menores com tesoura e, em seguida, dissolvê-la. O mesmo autor sugere o uso de bebidas alcóolicas em geral, especialmente vinho, em sua dissolução. Muito apreciada pelos marceneiros, a cola era utilizada na clarificação de vinhos, assim como sua similar, a de gurijuba.

No Brasil, a obtenção de proteína animal a partir do colágeno é feita em grande escala e com custo relativamente baixo, permitindo seu uso na indústria como, por exemplo, na produção de biofilmes (SOUSA, 2008).

⁸ O bolo armênio é um material argiloso, rico em óxido de ferro (FeO), utilizado como base de preparação para a aplicação de folhas metálicas (douramento à têmpera) para posterior brunimento (polimento) da folha com espátula de ágata.

2.3. ARGAMASSAS DE CAL

A datação da primeira argamassa de cal não é precisa, mas sabe-se que desde 12.000 a.C já era usada, como referido na página 20, porém é provável que os romanos tenham dado as contribuições mais significativas no sentido de aperfeiçoar o processo de fabricação da cal e as técnicas de aplicação das argamassas feitas com este material construtivo, explorando suas possibilidades, além de popularizar seu uso por todo o Império.

A qualidade da argamassa romana tornou-se uma “lenda” e chegou até os dias de hoje devido a vários fatores, dentre eles ao fato destes construtores dedicarem excepcional atenção no momento da mistura dos materiais constituintes: o cuidado com que o calcário era queimado, a cal extinta, os aditivos incorporados, e os elementos constituintes da argamassa cuidadosamente dosados. Era aplicada principalmente no revestimento de paredes nas quais se certificavam que não sobriaria nenhum interstício (ROJAS, 2002).

Sobre as argamassas de cal e seus constituintes, Vitruvius (séc. I a. C) ainda é considerado o autor mais citado, quando se busca conhecer estes materiais. Através dele, sabe-se que a melhor proporção para o fabrico de argamassas era de uma parte de cal para duas ou três de areia, dependendo da qualidade do aglomerante e do agregado (VITRÚVIO, 2007). O arquiteto romano também se refere aos aditivos já empregados pelos gregos, como o pó cerâmico e as cinzas vulcânicas posteriormente usadas pelos romanos e bizantinos.

Na tentativa de estabelecer uma evolução cronológica para as argamassas, Viollet-le-Duc (1856 apud Rojas, 2002) notou que as produzidas entre os séculos IX e XI eram de baixa qualidade e atribuiu o fato à qualidade da matéria prima, à perda do conhecimento romano de fabricar a cal e à mistura sem critério dos componentes da argamassa. Das executadas no Período Medieval, acredita-se que não tenha ocorrido nenhum avanço técnico notável. Do século XII em diante, constatou a existência de argamassas mais homogêneas e materiais constituintes de melhor qualidade.

Rojas (2002) afirma que as argamassas produzidas no século XII continham menos cal, mais areia e partes de solo, provavelmente por motivos econômicos. Assim, alguns autores julgam de pouca qualidade as argamassas de edifícios do período, quando comparadas às produzidas nos séculos seguintes (XIV ao XV) com

materiais de melhor qualidade, por exemplo, a areia fina, usualmente do litoral, aparentando ser lavada para a remoção de resquícios de argila, terra e sal.

Como dito anteriormente, as argamassas de cal foram bastante utilizadas até o surgimento do cimento Portland, que passou a oferecer ao construtor certas vantagens em relação à cal.

Apesar de se saber que o emprego do cimento Portland não é adequado para algumas situações de restauração de monumentos antigos⁹, algumas vezes, as argamassas de cal tampouco apresentam resultados satisfatórios. Isso acontece, principalmente, por serem executadas da mesma maneira que as misturas de cimento, ignorando o uso de aditivos que, até o século XIX, a ela eram acrescentados. As misturas tradicionais foram paulatinamente perdidas na “moderna descoberta das argamassas” assim que surgiram, no mercado, novas argamassas com resinas e materiais sintéticos, gerando alvoroço quanto à aplicação de materiais e técnicas antigas (VENTOLÀ et al, 2011).

2.3.1. Constituição das argamassas antigas

A evolução dos materiais construtivos relaciona-se diretamente com a história da evolução humana. Nos primórdios, o homem era nômade, ou seja, não possuía um local fixo de moradia: utilizava-se da abundância da caça e dos recursos naturais de determinado local e quando estes se tornavam escassos, mudava-se para outro que pudesse lhe oferecer melhores condições.

Sentindo a necessidade de abrigar-se das intempéries, proteger-se de feras e inimigos e com o domínio de técnicas agrícolas e de criação de animais, passou a fixar moradia, empregando nelas os materiais disponíveis na natureza da forma com que eles eram encontrados. Entretanto, em pouco tempo foi descobrindo como modelá-los para fazer o que precisava (VERÇOSA, 1987).

Segundo Teresa Cristina Oliveira (1995), nas regiões brasileiras do Nordeste e Centro-Oeste, por exemplo, era comum executar edifícios utilizando argamassas “bastardas”. No Brasil, a denominação “bastarda” refere-se à inclusão de barro à argamassa de cal e areia, sendo estas muitas vezes misturadas a aditivos tais como

⁹ O cimento possui sais solúveis que podem migrar, cristalizar e romper os poros das argamassas de cal.

estrume de gado, fibra e sangue de boi, como escreve Sylvio de Vasconcellos (1979).

Por oferecer vantagens como melhor aderência que as de cal, as argamassas “bastardas” (com solo em sua composição) também endureciam e secavam rapidamente, sendo indicadas para a aplicação como revestimento, podendo também ser empregadas no assentamento em paredes de tijolos leves ou que não estejam submetidas a esforços significativos de compressão. Estas apresentam coloração amarela ou marrom de diferentes tonalidades, em virtude da concentração de óxido de ferro existente na sua composição (OLIVEIRA, 1995).

No Pará, a maioria das argamassas de edifícios antigos produzidas também é composta por cal, areia e barro, em virtude do domínio da técnica e da disponibilidade dos materiais na região.

Sanjad (2002) realizou análises de argamassas pertencentes a edifícios antigos da cidade de Belém, verificando que a proporção (traço) das amostras divergia entre si, evidenciando a variabilidade dos traços das argamassas de cal. Apesar da diferença entre os traços, constatou a predominância da areia (agregado miúdo) em função da cal (ligante) e desta com relação à argila (finos).

2.3.2. Degradação dos materiais porosos: as argamassas

As paredes de alvenaria de edifícios históricos podem se degradar de acordo com as características de suas matérias primas, da exposição às condições ambientais específicas (chuvas, neve etc.) e de materiais construtivos utilizados em intervenções (cimento, por exemplo). Uma vez executada a argamassa, sua durabilidade está diretamente relacionada às propriedades do material (porosidade, composição e textura) e a fatores externos (condições ambientais) (VENTOLÀ et al, 2011).

A degradação das argamassas pode ocorrer em função de sua alteração física, química, mecânica e/ou biológica. Estes processos de deterioração podem acontecer simultaneamente ou até em sequência.

Nesta pesquisa, escolheu-se fazer uma breve descrição dos tipos de processo de degradação que podem acometer o material construtivo escolhido como objeto de estudo, a argamassa, segundo Giorgio Torraca (2009) e, para isso, fazem-se necessárias algumas considerações sobre as propriedades do dito material.

As argamassas são compostas por átomos interligados entre si por fortes ligações covalentes, podendo ter algumas ligações iônicas. Suas ligações são direcionais e quase não permitem a deformação dos cristais que a compõem. Assim, são consideradas rígidas e frágeis (ou pouco dúcteis). Vejamos, agora, alguns fatores que causam a degradação por fatores mecânicos deste tipo de material construtivo.

Como se sabe, as argamassas apresentam baixa resistência à flexão se comparada a sua resistência à compressão. A tensão não é distribuída igualmente ao longo da superfície do material, mas se concentra em alguns pontos específicos que, por não conseguir sofrer deformação plástica, fissuram, causando sua destruição (TORRACA, 2009).

Quando há *stress* mecânico (tensão) na argamassa, este se concentra na extremidade da fissura que existe na superfície do material. Segundo Torraca (2009, p. 73): “(...) *the stress intensity factor increases as the length of the crack increases, so once crack starts advancing it will not be stopped.*”¹⁰ O autor completa dizendo que as fissuras mais finas são as mais ativas.

Por sua vez, a resistência à compressão dos materiais porosos é comprometida quando há irregularidades em sua superfície que causam *stress* no material. A falha na resistência à compressão em construções de pedra é bastante perigosa, podendo causar o arruinamento dos edifícios. Os construtores antigos, como bons sábios que eram, buscavam a minimização destes problemas de duas maneiras diferentes: a introdução de argamassas entre blocos de pedras irregulares e o corte preciso e regular de blocos de pedra devidamente posicionados uns sobre os outros.

Dessa maneira, na Arquitetura, deve-se evitar a geração de pontos de *stress* que possam causar a deterioração dos materiais porosos, como irregularidades nas superfícies daqueles.

Outro fator desencadeador do processo mecânico de destruição de materiais porosos é a expansão térmica. Ciclos de aquecimento e resfriamento do material causados pela radiação solar durante o dia e a noite promovem dilatação e contração do material poroso, alterando suas dimensões. Quando um material construtivo dilata e não possui espaço para expandir, acontece o seu arqueamento e

¹⁰ O fator de intensidade de *stress* aumenta conforme aumenta o comprimento da fissura, então, uma vez que a fissura avance, ela não mais irá parar (**tradução da autora**).

consequente geração de fissuras onde a tensão está concentrada. A superfície danificada fica, então, sujeita a outros tipos de degradações físicas e mecânicas. Isso também acontece quando o edifício no qual o material construtivo foi aplicado é exposto ao fogo, como num incêndio.

Os materiais porosos também sofrem com a vibração causada pelo tráfego intenso. Quanto mais irregular a pavimentação das vias de tráfego e mais próximos estão os edifícios dessa via, mais facilmente são afetados por este tipo de degradação. A avaliação a frequência e amplitude de vibração podem ser feita com o auxílio de um acelerômetro posicionado na parede externa do edifício, não tão acima do nível da rua. Algumas medidas preventivas são recomendadas por Torraca (2009) para evitar os danos causados pela vibração excessiva tais como suavizar o pavimento das vias próximas ao monumento que se quer proteger, proibir o tráfego de veículos pesados nas imediações do edifício, dentre outras.

Sabe-se que a água é um dos principais agentes de degradação dos materiais de construção, participando dos processos físicos de degradação aos quais os materiais porosos estão suscetíveis, principalmente, a absorção de água por capilaridade, os ciclos de gelo e degelo e a cristalização de sais.

Segundo Torraca (2009), a maioria dos materiais construtivos empregados nas construções, seguindo as técnicas tradicionais, são porosos e hidrófilos. A água, devido à sua natureza polar é atraída pelas superfícies hidrófilas, penetrando nas fendas existentes nos materiais de construção porosos cujas paredes são hidrófilas.

As moléculas de água tendem a subir ao longo das paredes, mas são parcialmente retidas pelas ligações químicas com outras moléculas de água e também pela ação da gravidade, sendo esta última considerada fraca em comparação com as forças de atração das moléculas pelas paredes dos materiais.

Os poros variam quanto ao seu tamanho (diâmetro) e forma. Aqueles considerados grandes possuem diâmetro maior que 10 μm , enquanto os capilares possuem diâmetro entre 0,1 e 1 μm . A atração exercida pelas paredes dos poros nas moléculas de água nos capilares é muito maior do que nos poros mais largos.

A distribuição e proporção entre os diâmetros dos poros (que podem ser verificadas com o ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio ou com o auxílio de um porosímetro a gás) determinam o comportamento do material construtivo quando há a presença de água. Normalmente, quando um material poroso é imerso em água, os capilares ficam totalmente preenchidos com o líquido enquanto nos

poros mais largos a água se deposita nas paredes e seu centro é preenchido por ar (TORRACA, 2009).

Em climas temperados, quando a temperatura do meio ambiente fica abaixo de zero grau *Celsius*, a água presente nos poros das argamassas, forma cristais de gelo que podem oferecer sérios riscos à integridade destes materiais construtivos.

Nos materiais os quais a quantidade de capilares é muito maior do que os poros largos, estes não são suficientemente abastecidos pela água conduzida pelos capilares, portanto os cristais de gelo não crescem a ponto de destruir o material. A degradação ocorre quando há muitos capilares conduzindo água aos poros largos, suficientes para formar cristais grandes que pressionam e rompem os poros, causando a destruição da argamassa. Essa situação é válida, principalmente, quando os cristais se formam próximos à superfície das argamassas, causando perda de material.

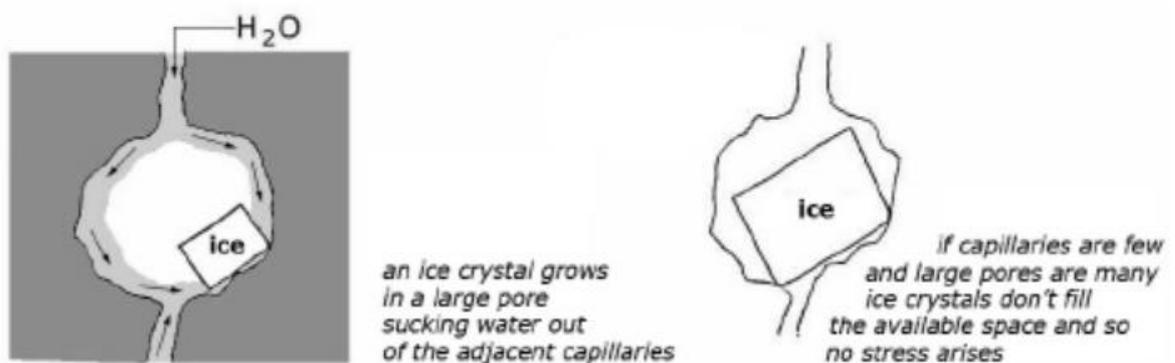


Figura 4: Formação de cristais de gelo. Fonte: TORRACA,2009. p.83.

Quando a temperatura aumenta, a água retorna ao seu estado líquido e evapora. No caso das argamassas com maior número de poros largos, não acontecem danos relativos ao ciclo gelo-degelo.

Contudo, a evaporação da água pode promover outro tipo de dano físico: a cristalização de sais solúveis. Como no ciclo de gelo-degelo, quanto maior a quantidade de poros largos, melhor.

Em contato com solução salina, os materiais porosos, tais como as argamassas, tendem a sugá-la para seu interior através dos capilares que a conduzem até os poros largos. Quando a solução salina, proveniente do solo ou do aerossol salino junto com a umidade, perde água por evaporação e chega ao ponto de se saturar, os cristais de sal se formam e causam tensões internas nos materiais

porosos. O maior problema é a evaporação da água e consequente saturação da solução salina no interior do material. De acordo com Torraca (2009), a velocidade de evaporação está diretamente relacionada ao poder de destruição do material construtivo.

Se a cristalização de sais acontece na superfície do material, a ela dá-se o nome de eflorescência salina, identificada visualmente como uma camada esbranquiçada na superfície dos materiais construtivos. Se a formação de cristais acontece no interior do material, é chamada de subeflorescência e é mais danosa.



Figura 5: Eflorescência salina.

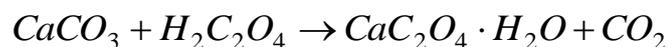
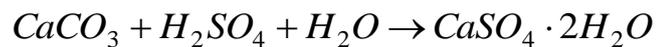
As condições ambientais que favorecem a evaporação lenta da água dos poros da estrutura como, por exemplo, as temperaturas baixas a moderadas, velocidade do ar baixa e umidade relativa média a alta, levam à eflorescência. Climas quentes e secos que possuem velocidade alta do ar favorecem a subeflorescência e a degradação acentuada.

Finalmente, os principais processos de degradação química dos materiais porosos de interesse desta pesquisa são a corrosão ácida dos materiais calcários e a formação da crosta negra (*dry deposition*). Os materiais calcários são aqueles em que seu principal componente é o carbonato de cálcio (CaCO_3) podendo conter magnésio. O carbonato de cálcio é atacado por ácidos presentes na água contaminada e na atmosfera e sua intensidade varia de acordo com o tipo de ácido e o mecanismo de deposição nos materiais calcários.

Os ácidos danosos ao carbonato de cálcio são o ácido clorídrico (HCl), o ácido carbônico (H₂CO₃), ácido sulfúrico (H₂SO₄) e o ácido oxálico (H₂C₂O₄). O ácido clorídrico (existente nos produtos de limpeza comumente usados na remoção de manchas), quando em contato com o carbonato de cálcio, o consome, resultando em cloreto de cálcio, água e gás carbônico, segundo equação abaixo:



O ácido carbônico, presente na chuva ácida, reage com o carbonato de cálcio formando o bicarbonato de cálcio, muito solúvel, assim como o sulfato de cálcio gerado pela reação do ácido sulfúrico¹¹ com o carbonato de cálcio, demonstrados nas reações a seguir:



Esses compostos solúveis podem ser transportados pela água da chuva e se depositar longe de seu local de origem, dependendo da quantidade de água envolvida no processo.

Após a evaporação da água, os compostos formados com o cálcio se solidificam e formam as incrustações ou até estalactites – que podem ser bem difíceis de remover – nos locais em que a água gotejou antes de evaporar (figura 6). Nos locais em que a chuva bate ou escorre, as incrustações não se formam, mas a superfície fica erodida, causando alterações óticas no material construtivo. Assim, este material mantém sua cor ou, na pior das hipóteses, sofre com a abrasão mecânica das águas e dissolução (CAGNANA, 2000). O ácido oxálico, existente nas plantas do gênero *Oxalis*, por exemplo, também reage com o carbonato de cálcio, mas forma compostos insolúveis.

¹¹ Este ácido é muito utilizado pela indústria. Pode ser empregado na fabricação de fertilizantes, no processamento de efluentes líquidos e no refino de petróleo, por exemplo.

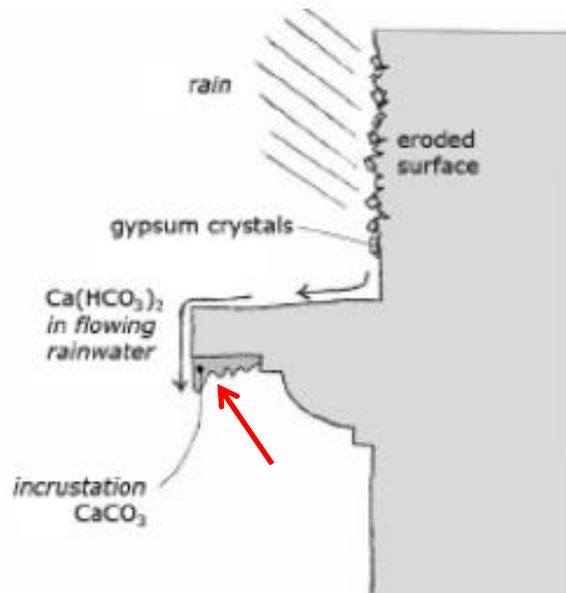


Figura 6: Estalactites. Fonte: TORRACA, 2009. p. 90.

A crosta negra (ou *dry deposition*) consiste na deposição de impurezas provenientes do meio ambiente, formando uma camada de coloração enegrecida que reage com a superfície dos materiais porosos e lhe conduz à degradação (MONUMENTA, 2000).

De acordo com Oliveira (2006), esta degradação acontece do exterior para o interior do material e se caracteriza pela presença de uma camada escura de pó ou depósitos superficiais de pós pouco coerentes, com espessura variando de 0,5 a 3mm, que tende a endurecer com o tempo, formando incrustações homogêneas e duras nos locais em que se acumula. Entretanto, não se pode identificar a crosta negra apenas visualmente: sua identificação pode ser realizada através de ensaios laboratoriais como a difratometria de raios X, microscopia e análise química. Ainda segundo o mesmo autor, os principais componentes desta camada são o gesso, a calcita, o quartzo eólico ou residual, o oxalato de cálcio (fruto do metabolismo dos líquens) – que consome o carbonato de cálcio (PINHEIRO et al, 2007) – bem como fosfato de cálcio e potássio resultantes de dejetos dos animais.

Neste tipo de degradação, a água também está indiretamente envolvida. No momento em que o vapor de água condensa na superfície dos materiais construtivos durante a noite (em função das condições de temperatura e umidade), carrega consigo impurezas (sólidas e/ou gasosas) contidas no ar: partículas suspensas de sujidades contidas na atmosfera urbana poluída, que podem ser danosas. Na

presença de fissuras, a água pode penetrá-las, levando as partículas de várias naturezas para o interior do material construtivo (TORRACA, 2009).

A coloração negra das películas formadas pelas partículas depositadas no material é, principalmente, decorrente da presença de carbono oriundo das diversas atividades humanas, como o produto liberado pelo escapamento dos carros, resíduos gerados pelo fumo (fumaças, cinzas), resíduos de indústrias etc.

Há também os gases provenientes da atmosfera como o gás carbônico (CO_2) e o dióxido de enxofre (SO_2). Estes reagem quimicamente com os constituintes dos materiais calcários, formando compostos como o sulfato de cálcio (gesso) que, como dito anteriormente, é extremamente solúvel e o resultado é o enfraquecimento e perda do material poroso, além da aparência desagradável que o monumento adquire com o passar do tempo e pela exposição aos ciclos de molhagem e secagem de sua superfície. Entretanto, nos locais em que a água das chuvas bate com frequência, leva consigo as partículas danosas e não há formação de crosta negra.

Ao fim deste item, destaca-se a importância do uso de materiais que apresentem características favoráveis (porosidade e resistência mecânica adequadas, resistência ao ataque de sais solúveis, entre outras), a conservação preventiva e a manutenção adequada dos materiais construtivos presentes nos monumentos históricos.

2.4. TECNOLOGIA DA CONSERVAÇÃO E DA RESTAURAÇÃO

Sabe-se que a restauração em estruturas antigas é prática indispensável com o passar do tempo, pois o material sofre desgastes naturais, especialmente sem a devida manutenção.

Levando-se em consideração o fato de que, através dos séculos, argamassas históricas provaram ser compatíveis com as estruturas em que foram aplicadas e permaneceram muito tempo suportando esforços mecânicos e degradação ambiental (intempéries, por exemplo), a elaboração de materiais de restauração deve tentar se aproximar e simular materiais construtivos históricos (MOROPOULOU et al, 2005).

As argamassas de restauro devem apresentar algumas características e propriedades, tais como ser duráveis e resistentes à ação de intempéries e à

agressão provocada pelo uso, ter adequada resistência mecânica, boa aderência ao substrato, distribuição de porosidade compatível, estabilidade, uniformidade visual e de textura com relação às argamassas antigas adjacentes, apresentar boa trabalhabilidade e plasticidade. É importante que em sua composição não haja impurezas (como sais e matérias orgânicas) e que não perca facilmente, enquanto fresca, sua plasticidade em função da sucção do substrato (OLIVEIRA, 2006). Com argamassa de boa qualidade, seguindo os padrões citados acima, pode-se proceder com a restauração adequada de elementos danificados em edificações antigas.

2.5. BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

Tendo em vista que a pesquisa envolve o estudo do aditivo de cola do grude de gurijuba que, segundo a tradição oral, foi utilizado nas argamassas de algumas edificações paraenses, procedeu-se com a investigação histórica e científica de alguns dos edifícios e ruínas onde essa prática teria ocorrido: o Teatro da Paz (Belém), as ruínas da Igreja do Rosário (Joanes), a Igreja Matriz Mãe de Deus (Vigia) e a capela do Senhor dos Passos, popularmente conhecida como Igreja de Pedra (Vigia).

2.5.1. O Teatro da Paz de Belém

Inspirado no teatro Scalla, de Milão, o Theatro de Nossa Senhora da Paz¹² abriu suas portas em 1878 – durante a *Belle Époque* na Amazônia (1870-1911) –, quando a noção de desenvolvimento estava diretamente ligada à construção de teatros, essenciais para a vida cultural das grandes cidades (DERENJI, 1996), numa tentativa do intendente Antônio Lemos de instaurar em Belém um código de posturas do cidadão visando a promoção da higiene, embelezamento, progresso e ordenamento da cidade (SOUZA, 2009).

Uma breve passagem pela história do teatro aponta nomes de inúmeros artistas nacionais e internacionais que por lá passaram, seja em apresentações no palco ou contribuindo com a esplendorosa arquitetura e decoração que

¹² O nome do teatro foi sugerido pelo bispo D. Antônio Macedo Costa provavelmente pelo fim recente da guerra do Paraguai. No mesmo ano, passados cerca de nove meses, o nome foi simplificado para Teatro da Paz.

conhecemos, como a dos forros do *foyer* e da sala de espetáculos, pintados pelo italiano Domenico De Angelis e a alegoria do pano de boca, do ateliê do francês Carpezat (VINAS et al, 1993).

Donato Mello (1978) discute a inclusão da polêmica sétima coluna na varanda da fachada principal, muito criticada por ir de encontro aos cânones da arquitetura clássica (apenas em números pares), chegando à conclusão que a análise das plantas, fachadas e cortes não justificam claramente a coluna “extra”. O que os críticos da época não perceberam é que a arquitetura do teatro não pretendia ser classicista e sim, eclética.

Segundo Cruz (1967), apesar das discussões e alterações iniciais, em 1863 foi autorizada a construção de um teatro na cidade. Entretanto, apenas em 1869 lançou-se a pedra fundamental da mais luxuosa e requintada casa de espetáculos do Império (VINAS et al, 1993).

O teatro passou por reforma, entre 1887 e 1890, mas as alterações mais significativas na estrutura aconteceram durante o governo de Augusto Montenegro (1901-1909), nos anos de 1904 e 1905, em que sua fachada foi completamente transformada, resultando na que permanece até hoje (SOUZA, 2009).

De acordo com Vinas et al (1993), durante essa grande reforma, sob o pretexto de eliminar uma rachadura existente no frontão, procedeu-se com algumas “correções”: a redução no número de colunas na varanda do segundo pavimento, passando de sete para seis, aproximando-as do segundo plano da fachada e transformando a varanda em terraço pela eliminação da cobertura independente do telhado (figura 7).



Figura 7: Fachada atual do Teatro da Paz.

Também, durante a grande reforma, substituíram as janelas dos mezaninos por quatro medalhões com bustos representando a Poesia, a Música, a Comédia e a Tragédia na fachada; incluíram as armas do Estado no centro; e as janelas laterais foram ornadas com pilastras e molduras; alongaram o proscênio; reformaram o sistema de iluminação passando de gás para eletricidade e novas instalações sanitárias foram executadas, dentre muitas outras modificações e repinturas. Para o vestíbulo, vieram de Paris estátuas em mármore de José de Alencar e Gonçalves Dias, além do lustre do salão de espetáculos.

Ainda na reforma de 1905, um mosaico português foi instalado (figura 8). Segundo a tradição oral e informação dos próprios funcionários do Teatro, esse mosaico – de inspiração *Art Nouveau* – teria sido executado no piso utilizando a cola de gurijuba. Apesar de se ter encontrado alguns documentos desta reforma, neles nada relativo a essa informação estava registrado.



Figura 8: Mosaico no piso do *hall* de entrada do Teatro da Paz.

A sala de espetáculos do Teatro da Paz conta com três níveis de camarotes e frisas (segundo o padrão construtivo italiano), plateia, varanda, galeria e, finalmente, o paraíso (pavimento mais alto), totalizando mil lugares. No ano de 1963, o IPHAN tomba o monumento, inscrevendo-o no Livro do Tombo Histórico com o número 359.

2.5.2. As ruínas da igreja de N. Senhora do Rosário em Joanes

Segundo Maués et al (1968), no Arquipélago do Marajó, onde antes habitavam os Nhegaibas¹³, há um importante sítio histórico localizado, mais precisamente, no vilarejo de Joanes, pertencente ao município de Salvaterra. Joanes, que também já se chamou vila de Monforte e que guarda as ruínas (figura 9) do que teria sido a primeira igreja de Nossa Senhora do Rosário do Pará, fundada na metade inicial do século XVIII (ASSUNÇÃO et al, 2009). Pouco se conhece sobre a história da igreja, inclusive de quem a construiu: missionários jesuítas ou franciscanos que chegaram à ilha entre os séculos XVII e XVIII, mas possivelmente foi a primeira missão a se instalar na ilha do Marajó (BEZERRA, 2011).



Figura 9: Ruínas no vilarejo de Joanes.

Não se sabe, ao certo, o motivo da edificação se encontrar em estado de ruína, mas existem duas versões para o fato: a de que teria sido atingida por um raio durante uma tempestade (tradição oral) e a mais plausível: de que foi abandonada com a expulsão dos missionários no Período Pombalino. Acredita-se que a perda da importância econômica de Joanes (que sobrevivia da renda da pesca) para o

¹³ Tribo de indígenas dominante na região e reconhecida por sua coragem e violência que, favorecida pela topografia local, desafiava quem se aproximasse.

desenvolvimento da economia da borracha e também o início da criação de gado em Soure, cidade vizinha, tenham contribuído para o abandono da igreja (ASSUNÇÃO et al, 2009).

Serafim Leite (1993) relaciona as construções de igrejas jesuítas no Brasil com o desenvolvimento do país, afirmando que no início eram de taipa de mão, depois de pilão, até finalmente chegar em construções de pedra e cal, como é o caso das ruínas na ilha marajoara. Apesar de notar-se a presença da pedra e da cal nesta construção, crê-se que à argamassa da igreja tenha sido adicionada a “liga” da gurijuba na construção (PARÁ ONDE, 2002).

Sabe-se que, pelo menos desde o final do século XVII, era comum a pescaria de gurijuba na Ilha Grande de Joanes (nome da ilha do Marajó em tempos coloniais) devido à sua fartura e à qualidade do grude que esta espécie produzia¹⁴. Sobre o assunto, Baena (1838) conta que, em 1691, o Governador estabelece a pescaria de tainhas e gurijubas, baseado na pescaria do ano anterior, que foi de grande proveito para a Real Fazenda em função da imensa quantidade de peixes naquelas paragens, “(...) notando-se nas gurijubas duplicada utilidade em razão da sua optima grude, que he superior a todas as ichtyocollas conhecidas” (BAENA, 1838, p.173-174).

Sem ter a comprovação documental do uso do grude em edificações, mas sabendo que, ao menos na segunda metade do século XIX, a vila de Monforte (nome, na época, de Joanes) era exportadora de grude de peixe (PARÁ, 1883), decidiu-se selecionar esta edificação para a investigação do material construtivo antigo.

2.5.3. Vigia e as igrejas barrocas

Segundo Capelossi et al (1992), a cidade de Vigia, situada na zona do Salgado, inicialmente era uma aldeia de índios da tribo dos Tupinambás denominada Uruitá¹⁵ que, posteriormente, passou a chamar-se São Jorge dos Álamos (SOBRAL, 1986), para homenagear seu primeiro colonizador. Foi elevada à categoria de Freguesia de Nossa Senhora de Nazareth da Vigia e depois passou a

¹⁴ Nota-se que no século XVII os antigos já utilizavam o grude de gurijuba para a fabricação de cola de peixe.

¹⁵ Em Tupi, Uruitá significa cesto de pedra.

ser cidade da Vigia. A denominação atual veio após a instalação, pelo governo colonial, de um posto alfandegário para fiscalizar e proteger a região de invasores estrangeiros e contrabandistas (CAPELOSSI et al, 1992).

O município é o maior centro pesqueiro do estado do Pará, abastecendo, inclusive, a capital. As embarcações à vela, com capacidade para cinco pessoas, chamadas de “vigilengas”, passam inúmeros dias em alto mar na busca por três principais espécies de peixe: pescada amarela (*Cynoscion acoupa*), “filhote” e gurijuba (*Arius spp.*).

Os jesuítas deram importante contribuição para a história da cidade. Sua presença trouxe avanços à educação do município: além da construção das igrejas, os padres fundaram um colégio que possuía curso de latim. Destacam-se, em Vigia, duas igrejas do século XVIII: a Igreja Matriz Mãe de Deus e a Igreja de Pedra.

A construção da Igreja Matriz Mãe de Deus (figura 10) começou no ano de 1702 e foi concluída na terceira década do século XVIII (LEITE, 1993), como posto avançado dos jesuítas da igreja de Santo Alexandre, em Belém, tanto que sua fachada foi inspirada naquela, de acordo com Sobral (1986). O coroamento é feito por um frontão com linhas curvas, centralizado entre duas torres de secção quadrada, possuindo, cada uma, pináculos e aberturas encimadas por arcos, separados do restante da fachada por uma cornija. Três janelas de sacada de verga reta, do coro, alinham-se às três portadas. No corpo de cada torre há uma janela levemente retangular.



Figura 10: Igreja Matriz Madre de Deus. Vigia/ PA

No andar superior, há duas varandas (uma de cada lado) amplas e ventiladas, com 22 colunas toscanas que conferem beleza e monumentalidade ao edifício (figura 11), semelhantes às da Igreja de Belém de Cachoeira, na Bahia, também jesuítica. Segundo Tocantins, os materiais utilizados em sua construção foram pedra, areia, terra e cal feita de conchas (MAIA et al, 1979).



Figura 11: Varanda no pavimento superior da Igreja Matriz de Vigia. Autor: Geraldo Ramos, 2004.

O seu interior é bastante simples. Destacam-se, na sacristia, um arcaz de jacarandá com dimensões avantajadas, um imenso painel com telas contando a história de Nossa Senhora, o teto composto de painéis pintados à óleo com símbolos da Virgem Maria, ao centro, ladeados por figuras geométricas e motivos florais. O piso permanece original (SOBRAL, 1986). No ano de 1954, mais precisamente no dia 14 de dezembro, a Igreja Mãe de Deus foi tombada pelo IPHAN, inscrita no livro do Tombo de Belas Artes, sob o número 424.

A poucos quarteirões da Igreja Matriz fica a Capela de Nosso Senhor dos Passos ou Igreja de Pedra (figura 12), que nunca chegou a ser finalizada por causa da lei Pombalina, no governo de D. José I, por volta de 1760, que expulsou os jesuítas da Amazônia (CAPELOSSI et al, 1992).



Figura 12: Capela do Senhor dos Passos (Igreja de Pedra).

O que permanece edificado é a área que seria destinada à capela-mor, o arco cruzeiro e a sacristia (figura 13). Segundo moradores, em 1930, duas das paredes laterais do que seria a nave central tiveram suas pedras removidas para utilização destas como matéria prima em outras construções da cidade.



Figura 13: Sacristia da igreja com forro em réguas de madeira e nicho com imagem de S. Francisco.

O telhado é em telha vã, do tipo colonial, nova, deixando à vista as tesouras em madeira e estrutura não originais, executadas recentemente. O altar é bastante simples, sem qualquer retábulo, contendo apenas uma imagem de Cristo crucificado (figura 14). Em seu interior ainda existem estátuas de roca (figura 15).

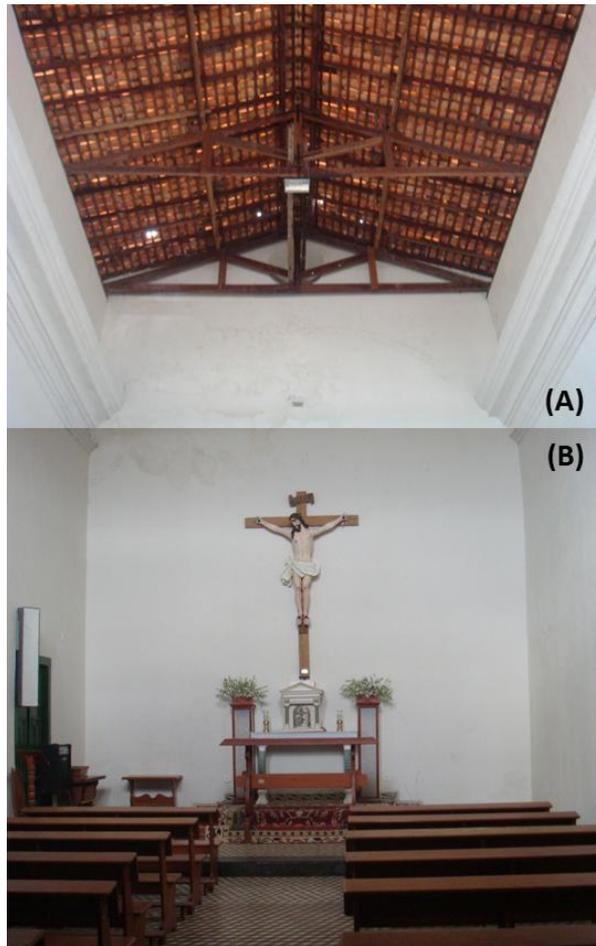


Figura 14: Interior da igreja. (A) Cobertura e (B) Nave central.



Figura 15: Estátuas de roca no interior da igreja: (A) Nossa Senhora, (B) Senhor dos Passos.

Na igreja semiconstruída, situada em frente ao rio da cidade (Guajará-Miri), notam-se sinais de degradação, especialmente em seu exterior, tais como crescimento de vegetação, sujidades e excrementos de pássaros em seus frisos, além de aves utilizarem as lacunas existentes na alvenaria como abrigo.

Segundo relatos de Raul Lobo, agente de turismo da cidade de Vigia, as argamassas das principais igrejas da cidade foram feitas com a cal obtida a partir da concha de cernambi (molusco bivalve) e usando o grude de gurijuba como aditivo (ou “a grude” – maneira como é conhecido popularmente pelos habitantes). José Ildone Soeiro, membro da Academia Paraense de Letras e estudioso da cidade de Vigia, também comenta que, possivelmente, existam edificações na cidade utilizando tal aditivo orgânico. Partindo desta suposição, decidiu-se proceder com uma investigação laboratorial.

3. ESTRATÉGIA DE INVESTIGAÇÃO

A pesquisa envolvendo o uso da cola de gurijuba nas argamassas de cal do estado do Pará, no século XVIII, foi dividida em duas partes: a investigação histórica e a laboratorial, sendo esta subdividida em investigação das argamassas antigas e das elaboradas em laboratório. A primeira possuía o objetivo de localizar documentos e/ou evidências que comprovassem esta prática para nortear a execução da segunda parte. Esta, por sua vez, visaria à investigação laboratorial em argamassas coletadas de monumentos em cidades do Pará, assim como a execução de argamassas em laboratório para a avaliação de seu comportamento com e sem aditivo (grude de gurijuba).

Primeiramente, procedeu-se com a investigação histórica acerca do fato difundido na tradição oral sobre o uso da cola de peixe nas argamassas de cal do século XVIII. Assim, iniciou-se extensa pesquisa na literatura e em documentos históricos, muitas vezes sem sucesso. Ao contrário do que se esperava, nenhum documento que confirmasse a prática deste uso de cola foi encontrado, mas sim inúmeros indícios da exportação do material para outros países, bem como a maneira de se fazer cola de peixe, além de outras informações que constam nesta dissertação.

Um questionário contendo nove perguntas acerca do Grude da gurijuba e sua relação com a construção de edifícios foi aplicado a moradores das cidades

envolvidas na pesquisa (Belém, Vigia e Joanes) com o objetivo de conseguir diretrizes para a elaboração dos corpos de prova de argamassa, similares ao que poderia ter sido executado nos séculos XVII e XVIII no estado do Pará.

A segunda etapa, por vezes, ocorreu concomitantemente com a primeira: coletou-se amostra de argamassa de assentamento de três edificações no Estado do Pará (Igreja de N. Sra. do Rosário (Joanes/PA), Igreja de Pedra e Igreja Matriz Mãe de Deus (Vigia/PA). Infelizmente, não se conseguiu amostra da argamassa de assentamento do piso de mosaico do Teatro da Paz por questões relativas à sua manutenção. Decidiu-se, também na segunda etapa, preparar corpos de prova de cal, areia, água e cola de gurijuba que, após endurecimento, foram submetidos à ensaios para testar suas propriedades físicas e mecânicas, cujos resultados estão analisados adiante.

4. MATERIAIS

Os materiais utilizados na execução da argamassa moldada em laboratório foram: a) **cal hidratada**, tipo CH-1 da marca Trevo; b) **areia** da região de Simões Filho (BA); c) **água potável** da rede de abastecimento da cidade de Salvador e d) **bexiga natatória** (grude) do peixe Gurijuba (*Arius spp.*) transformada em pó.

a) CAL HIDRATADA

Utilizou-se na confecção dos corpos de prova, como aglomerante, uma cal hidráulica da marca Trevo, tipo CH-I (alta pureza), conforme estabelece a norma brasileira NBR 7175:2003 (Cal hidratada para argamassas – requisitos).

b) AREIA

Como agregado miúdo, foi utilizada areia de jazida, proveniente da Região Metropolitana de Salvador, normalmente comercializada na cidade. Esta areia foi caracterizada quanto à sua massa unitária, massa específica e distribuição granulométrica.

c) ÁGUA

A água de amassamento empregada na confecção dos corpos de prova foi oriunda da rede de abastecimento de Salvador.

d) GRUDE DE GURIJUBA

Partindo da explicação prévia do material, no item 2.1, foi desenvolvida uma metodologia para inserção do aditivo orgânico na argamassa, na qual a bexiga natatória seca da gurijuba foi transformada em cola e incorporada à água de amassamento na execução dos corpos de prova.

Segundo estudos de Michelle Sousa (2008), o grude é composto basicamente de colágeno e, assim, pode ser dissolvido por extração ácida e posterior precipitação salina. O colágeno deve ser solubilizado com ácido acético e mantido refrigerado por 24 horas, obtendo-se assim o extrato de colágeno que deve ser precipitado com cloreto de sódio (NaCl) e centrifugado a 4°C e 5000 rpm. Importante ressaltar que a matéria prima utilizada nos estudos dessa autora foi a bexiga de pescada amarela¹⁶ (*Cynoscion acoupa*) *in natura* e não seca ao sol.

Apesar de estar ciente da metodologia de extração de colágeno relatada na pesquisa de Michelle Sousa, como a intenção nessa pesquisa é de tentar reproduzir e estudar métodos antigos, preferiu-se não seguir essa metodologia por entender que os antigos não possuíam esse tipo de conhecimento nem instrumentos similares capazes de efetivá-la. Optou-se por usar o processo indicado pelo restaurador Túlio Almeida, professor da Escola de Belas Artes da UFBA, baseado nos ensinamentos de Segurado (s/d), Cennini (séc. XV), dentre outros, que consiste na hidratação da matéria prima e posterior aquecimento em banho maria para aplicação da cola em estado líquido, melhor explicado na seção Métodos deste trabalho.

Dentre as diversas tentativas para transformar a bexiga natatória de gurijuba seca ao sol (como foi adquirida no mercado para a pesquisa) em cola/gelatina, chegou-se à conclusão de que a melhor maneira seria transformá-la em pó. Primeiro

¹⁶ A pescada amarela, assim como a gurijuba, tem sua bexiga natatória valorizada no mercado internacional para a fabricação de colas e similares. O grude de ambas as espécies é exportado da região norte do país, especialmente dos estados do Pará e Maranhão.

a bexiga foi ralada em ralador comum (com grande dificuldade, em virtude da rigidez extrema) e, posteriormente, imersa na proporção de 10% de grude em relação à massa de água. Passadas 24 horas de hidratação, o material tornou-se gelatinoso. Depois de aquecido em banho-maria, voltou ao estado líquido (figura 16), notando-se que apresentou certa aderência. Com esse resultado, julgou-se ideal a consistência da cola para ser incorporada à argamassa a ser preparada em laboratório.



Figura 16: Cola de gurijuba diluída

Como a cola de gurijuba possuía a finalidade de ser incorporada à argamassa de cal, julgou-se desnecessária sua filtração, uma vez que a inserção de material fibroso nas argamassas é favorável por melhorar suas propriedades mecânicas. Entretanto, caso o objetivo fosse incorporá-la em argamassa de cola e gesso para estucamento ou restauração deveria ser filtrada/peneirada, pelo material construtivo desejado ser mais delicado. No teste realizado notou-se que, depois de filtrada, a cola de teste perdeu cerca de 14% da sua massa original (figura 17).



Figura 17: Resíduo de fibras e filtrado da cola.

Sabe-se que as colas proteicas – e a de gurijuba não foge à regra – podem ser feitas em grandes quantidades e guardadas para posterior utilização, evitando a necessidade de repetir-se continuamente seu processo de fabrico. Caso seja necessário, recomenda-se a incorporação de conservantes, tais como o óleo de cravo ou alho, referidos na literatura, para evitar a proliferação de microrganismos. No caso da cola utilizada para confecção dos corpos de prova da argamassa de laboratório, preferiu-se fazer apenas a quantidade necessária para a moldagem de cada lote, por vez, evitando o acréscimo de outro ingrediente à mistura.

A última experiência com a cola foi sua transformação artesanal em folha de gelatina. Com o resultado da quarta tentativa (a cola diluída a 10% e filtrada), pôde-se obter uma folha de gelatina extremamente fina e transparente, de coloração levemente amarelada. Para tanto, foram pinceladas camadas de cola filtrada sobre plástico maleável (de sacola plástica) e esta ficou exposta, ao ar livre, por cerca de três dias. Ao final, o resultado foi a obtenção de uma folha de gelatina que adquiriu o formato do plástico usado como suporte, conforme demonstrado na figura 18.



Figura 18: Folha de gelatina de gurijuba.

5. MÉTODOS

5.1. AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS ANTIGAS

5.1.1. Ensaio simples de argamassa (determinação do traço provável)

O ensaio realizado para a determinação do traço provável das argamassas de assentamento foi adaptado do método prescrito por Teutonico (1988), comumente usado do Núcleo da Tecnologia da Preservação e Restauração (NTPR/UFBA) por ser adequado para analisar argamassas antigas (ver Anexo A – Procedimento 1).

Essa análise tem como objetivo a identificação das proporções entre os três componentes principais da argamassa antiga estudada: o ligante (normalmente cal) hidróxido de cálcio – Ca(OH)_2 –, que sofre processo de carbonatação quando em contato com o gás carbônico (CO_2) da atmosfera, transformando-se em carbonato de cálcio (CaCO_3); e o agregado miúdo (argila e/ ou silte e areia).

É importante conhecer o material antigo para entender como se comporta, evitando patologias e para saber proceder com sua recomposição, quando se julgar necessário.

5.1.2. Granulometria do agregado após ataque ácido e remoção dos finos

Após a realização do ensaio simples de argamassa, o agregado é submetido à análise granulométrica. Este ensaio consiste em seu peneiramento, no qual a amostra passa por uma série de peneiras de abertura de malha conhecida, para a determinação da porcentagem em massa de cada faixa de tamanhos de grãos em relação à massa total ensaiada. Com os resultados, é possível a construção de uma curva de distribuição granulométrica, relevante para a classificação da areia (consultar Anexo A – Procedimento 2).

5.1.3. Cor dos finos (*Munsell Color Chart*)

A carta de Munsell, baseada no sistema de cor criado pelo mesmo autor, Albert H. Munsell, foi desenvolvida com a finalidade de classificar a cor dos solos. É utilizada internacionalmente, em especial na Agronomia e na Pedologia, graças à sua praticidade e baixo custo, por ser um sistema de percepção visual. Cada cor possui um “código” (por exemplo: HUE 5YR 8/3 – *Pink*) que identifica o matiz, o valor (luminosidade) e o croma (pureza da cor), sendo na restauração de fundamental importância na escolha da matéria prima (neste caso, o solo), quando se pretende reconstituir argamassas para que a coloração das novas não destoe da existente.

5.1.4. Teste qualitativo de sais solúveis

Este teste propõe-se a detectar qualitativamente a existência de sais como nitratos, cloretos e sulfatos nas argamassas. Cada um destes sais pode ser um indicativo da presença de impurezas no material e, por vezes, justificar a ocorrência de danos. Nitratos costumam estar presentes em argamassas contaminadas com dejetos orgânicos (excrementos de animais domésticos ou seres humanos); cloretos, indicam a presença de sal marinho transportado pelo aerossol salino (normalmente em edifícios próximos ao mar); e sulfatos, de argamassas contendo cimento¹⁷, gesso ou originado do dióxido de enxofre existente na atmosfera. O

¹⁷ Para confirmar a presença de cimento, realizar apenas este teste não é suficiente. Outras análises deverão ser feitas a fim de certificar-se da existência deste aglomerante.

método é baseado no descrito por Teutônico (1988) e adaptado pelo NTPR (Anexo A – Procedimento 3).

5.1.5. Difração de raios X (DRX)

No intervalo entre 0,2-0,25 Å, os comprimentos de onda são de grandezas próximas às das distâncias interatômicas. Quando um feixe de raios X específico com um determinado ângulo incide neste intervalo, a estrutura cristalina das substâncias sólidas é capaz de provocar fenômenos de difração.

A difração de raios X (DRX), através dos diferentes planos cristalinos, produz uma série de reflexos que diferem quanto à sua posição e intensidade e constituem, em seu conjunto, um perfil característico do cristal que o há provocado (MATTEINI et al, 2001).

Em outras palavras, a DRX permite a identificação de fases cristalinas de um material a partir da incidência de um feixe de luz monocromático de raios X que é difratado por planos de alta concentração atômica da amostra, distribuídos de forma periódica, ocorrendo interferências construtivas ou destrutivas entre as ondas difratadas (RIBEIRO, 2010). As interferências construtivas produzem reflexões em certas direções definidas pela lei de Bragg, de acordo com a equação:

$$n\lambda = 2d\text{sen}\theta$$

onde:

n: número inteiro relativo à ordem de difração

λ : comprimento de onda característico do feixe

d: distância interplanar

θ : ângulo de incidência

Segundo Ribeiro (2010), o resultado dessa análise são informações referentes às distâncias interplanares dos planos cristalográficos e à intensidade da reflexão que permite caracterizar a fase sólida ordenada reticularmente. É válido ressaltar que este método de estudo só é aplicável a substâncias cristalinas. De acordo com Matteini et al (2001), os materiais de natureza vítrea ou resinosa não

apresentam estrutura reticular ordenada, tornando a informação sobre eles obtida com essa técnica, muito limitada.

Na DRX empregada na caracterização das argamassas antigas, utilizou-se um difratômetro Rigaku Rotaflex RU 200B, com tubo de alvo de cobre de 40 kV e 80 mA, e sistema de filtragem de monocromador secundário de grafite curvo. Os espectros de difração foram obtidos na faixa de 2θ de 10° a 80° , modo contínuo a $2^\circ/\text{min}$ e passo 0,020 segundos.

5.1.6. Espectrometria de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

O ensaio de espectrometria de infravermelho tem como objetivo identificar a existência de matéria orgânica nas amostras analisadas. Este ensaio consiste na captura de um espectro vibracional através da incidência de um feixe de infravermelho que é absorvido parcialmente pela amostra a ser analisada. A interpretação do espectro produzido permite identificar o material existente na amostra através da análise das regiões de absorção e comparação do espectro produzido com os espectros de referência.

No intuito de tentar identificar a presença da gurijuba foram coletadas amostras de argamassas de cal nas edificações de Joanes e Vigia/PA que precisaram passar por uma preparação para extração de proteínas no extrator chamado Soxhlet (figura 19). Este equipamento é comumente utilizado na extração de amostras sólidas por um solvente quente. A amostra é colocada num envelope feito de papel filtro resistente que é depositado num cilindro de vidro pertencente ao Soxhlet. Em seguida, um balão de vidro contendo o solvente – neste caso, a água destilada e deionizada – e um condensador de refluxo.



Figura 19: Extrator Soxhlet.

Depois da montagem do equipamento, o balão é aquecido e o vapor do solvente sobe pela conexão e se condensa ao entrar em contato com o cilindro de vidro resfriado por água corrente, posicionado acima do cilindro contendo a amostra. O extrato, sob forma de líquido, é depositado lentamente no cilindro no qual a amostra se encontra, até preenchê-lo. Quando está completamente cheio, o solvente é sifonado para o balão e o processo recomeça até que a extração seja completa.

O extrato foi posteriormente reduzido para concentração das proteínas e então foi submetido à espectrometria.

Como não havia o espectro do grude de gurijuba no banco de dados internacional *Infrared and Raman Users Group* (IRUG), reproduziu-se a cola de gurijuba, executada da mesma maneira que as incorporadas nas argamassas de laboratório (figura 20), que foi aquecida em banho-maria (figura 21) e resfriada para transformação em folha de gelatina (figura 22). Esta, depois de seca ao ar livre, também foi submetida à espectrometria de infravermelho para obtenção do espectro de referência.



Figura 20: Incorporação de água destilada à gurijuba em pó.



Figura 21: (A e B) Aquecimento em banho maria, 24 horas após a hidratação da cola.



Figura 22: Cola pronta.

5.2. ARGAMASSAS DE LABORATÓRIO

Com o intuito de elaborar as argamassas com aditivo de gurijuba, tornou-se necessária a seleção e caracterização das matérias-primas empregadas para posteriormente avaliar a argamassa resultante.

5.2.1. Caracterização de matérias primas

Antes da execução de argamassas de cal em laboratório, faz-se necessária a caracterização das matérias primas. Assim, a cal selecionada foi do tipo hidratada, como descrito na metodologia e caracterizada quanto à sua massa específica. Do agregado miúdo, a areia, obtiveram-se as suas massas unitária e específica, além da distribuição granulométrica, módulo de finura e dimensão máxima característica.

A massa específica (NBR NM 23:2000) é um indicativo da densidade de uma determinada matéria-prima, sem levar em conta o espaço preenchido pelo ar e, portanto, é referente ao volume real ocupado. É utilizada para cálculos de produção de argamassa ou da quantidade de agregado presente num dado volume, indicando o volume que este material ocupará no espaço determinado, quando endurecido (RIBEIRO, 2010).

A massa unitária de um material indica o volume que este ocupa sem compactação (material mais espaços vazios) e é relevante para a conversão do traço em massa para volume, o que torna mais fácil a execução das argamassas nos canteiros de obra, quando o uso de balanças não é possível. O ensaio prevê o preenchimento de um vasilhame de volume pré-determinado (e conhecido) com agregado e a aferição da massa que foi adicionada, de acordo com a NM 45:2006 (Anexo A – Procedimento 4).

Para a análise da distribuição granulométrica da areia, fez-se o uso de uma série de peneiras ABNT, segundo a norma NBR 7211. Após a realização desse ensaio, verificaram-se dois parâmetros:

a) o módulo de finura, relativo à soma das porcentagens retidas acumuladas em massa do agregado que passou por peneiras da série normal, dividida por 100. Segundo Bauer (1987), o módulo de finura é um indicador da finura do material e

corresponde à área da superfície entre a curva de distribuição granulométrica e a abscissa.

b) a dimensão máxima característica, correspondente à abertura nominal da malha das peneiras da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

5.2.2. Moldagem

O traço ou proporção estabelecido para a execução dos corpos de prova seguiu o recomendado por Vitrúvio (2007) para areia de jazida, ou seja, 1:3 (cal: areia), medidos em volume. Ao converter as medidas, considerando a massa unitária da cal e da areia disponíveis, o resultado foi 1,00: 8,40: 2,00 (cal: areia: água), em massa. A cal inserida na argamassa foi sob forma de pó, simulando a realidade dos canteiros de obra atuais e tendo em vista que o aglomerante fornecido pela indústria já vem hidratado – o que dispensaria longos ciclos de hidratação e consequente inserção deste em pasta.

Com a finalidade de testar os corpos de prova de argamassa em duas condições diferentes (relativas ao tempo de cura), as idades pré-determinadas para realização dos ensaios foram de 150 e 300 dias. Obedecendo às quantidades estabelecidas por norma para a realização dos ensaios propostos, foram necessárias 60 unidades de corpos de prova (CP) prismáticos de dois tipos: 20 sem aditivo e 40 contendo cola de gurijuba, subdivididos em dois teores – 2 e 5% – da massa da cal, ambos com a cola a 10% concentração. Assim, o traço final (considerando as concentrações de cola) foi 1,00: 8,40: 2,00: 0,02 (cal: areia: água: cola) para o teor de 2% de cola e 1,00: 8,40: 2,00: 0,05 (cal: areia: água: cola) para 5%.

Os corpos de prova possuem a dimensão 4x4x16 cm, de acordo com o que estabelece a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (NBR 13279:2005).

Os lotes foram organizados segundo a tabela a seguir:

Tabela 1 – Quantidade de corpos de prova moldados

Teor de cola	Idade		Quant. de CP / Concentração
	150 dias	300 dias	
0% de cola	10	10	20
2% de cola	10	10	20
5% de cola	10	10	20
Total			60

Etapas da moldagem:

- a) Pesagem: os materiais (cal, areia e água) foram separados e pesados, obedecendo ao traço proposto.
- b) Produção da pasta de cal: a cal foi imersa em 70% da quantidade de água total a ser utilizada na moldagem para a produção da pasta, ficando assim por 24 horas até sua incorporação na argamassa.
- c) Incorporação da areia: no dia da moldagem, a areia foi misturada à pasta de cal manualmente até a obtenção de uma massa homogênea.
- d) Mistura na argamassadeira: a argamassa foi misturada em misturador mecânico modelo C3010 da PAVITEST a fim de obter melhor homogeneidade e batida em velocidade 1, por 1 minuto, até que fossem incorporados os 30% de água restantes e, assim, tornasse a ser misturada na argamassadeira por 2 minutos, segundo procedimentos de outras pesquisas desenvolvidas com argamassa de cal no NTPR.
- e) Ensaio de consistência (NBR 13278:2005): o ensaio foi feito utilizando a mesa de consistência, conforme indicado na Norma.
- f) Preenchimento das formas: as formas foram preenchidas segundo procedimento estabelecido no Núcleo de Tecnologia da Preservação e da Restauração (NTPR), no qual metade da forma é preenchida e colocada para vibrar em mesa vibratória por 30 segundos, evitando o acúmulo de bolhas de ar na argamassa. Só então a outra metade é adicionada e vibra-se a forma por mais 30 segundos. O excesso é retirado com uma espátula que regulariza a superfície.

- g) Período de secagem: os corpos de prova permaneceram nas formas por uma semana até que puderam ser removidos e colocados para secar em local adequado. Foram ensaiados após 150 e 300 dias.

5.2.3. Caracterização da argamassa no estado endurecido

5.2.3.1. Porosidade e densidade aparentes (ensaio com água)

Para determinação da porosidade e densidade aparentes, usou-se uma técnica baseada no princípio de Arquimedes (287 – 212 a.C.), que descobriu que todo corpo mergulhado num fluido (líquido ou gás) sofre, por parte do fluido, uma força vertical para cima, cuja intensidade é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo. Partindo deste princípio, as amostras de argamassa elaboradas em laboratório foram pesadas secas (M_s) e, em seguida, imersas em água, onde ficaram em repouso por 24 horas. Após o período, aferiram-se as massas imersas (M_i) e úmida (M_u). Assim, pôde-se calcular a Porosidade Aparente (PA) e a Densidade Aparente (DA), de acordo com as seguintes equações:

$$\%PA = 100 \cdot \frac{Mu - Ms}{Mu - Mi}$$

$$\%DA = \rho_L \cdot \frac{Ms}{Mu - Mi}$$

sendo $\rho_L = 1,00 \text{ g/cm}^3$, a densidade da água.

Foram ensaiados os corpos de prova das argamassas nas duas idades pré-estabelecidas para verificar a influência da água residual nessas propriedades.

5.2.3.2. Densidade aparente (ensaio com mercúrio)

O ensaio para determinação da densidade em argamassas, comumente utilizado no NTPR, é baseado na norma italiana Normal 4/80 para rochas utilizada no *Instituto Centrale per il Restauro* (ICR). Este ensaio se diferencia do anterior por utilizar mercúrio em sua execução no lugar da água. Apesar dos dois utilizarem líquidos diferentes para determinação da mesma propriedade, decidiu-se comparar seus resultados, uma vez que se fossem os mesmos, dar-se-ia prioridade ao uso da água como líquido para determinação da densidade aparente por oferecer menos riscos à saúde de quem executa o ensaio.

No ensaio baseado na Norma italiana, uma amostra de aproximadamente 2g é seca, resfriada e pesada e então inserida no picnômetro de Hubbard preenchido totalmente com mercúrio (previamente pesado sem a amostra). Afere-se a massa do picnômetro preenchido com mercúrio e a amostra. A partir das massas, pode-se calcular o espaço ocupado pela argamassa por analogia, segundo a equação:

$$\rho_a = \frac{M_3}{M_1 - M_2 + M_3} \rho_{Hg}$$

Onde:

ρ_a = Massa volumétrica aparente da amostra (g/cm³)

ρ_{Hg} = Densidade do mercúrio (g/cm³)

M_1 = Massa do picnômetro cheio de mercúrio (g)

M_2 = Massa do picnômetro com mercúrio + amostra (g)

M_3 = Massa da amostra seca e resfriada (g)

5.2.3.3. Absorção por capilaridade (NBR 15259:2005)

Averiguar a quantidade de água absorvida por um material construtivo, nesse caso a argamassa, é muito importante por saber que a absorção de água excessiva pode comprometer a durabilidade desse material, favorecer o desenvolvimento de microrganismos prejudiciais à saúde humana e o descolamento precoce do

revestimento. A demasiada absorção capilar permite maior facilidade de transportes de diversas soluções para o interior do material.

Para a determinação da absorção de água por capilaridade, selecionaram-se três corpos de prova nos diferentes teores de cola (zero, 2 e 5%) que foram ensaiados nas idades de 150 e 300 dias. Considerou-se que, nessas idades, a carbonatação da cal estivesse razoavelmente efetivada. Os corpos de prova foram secos em estufa pelo período de 24 horas e posteriormente resfriados à temperatura ambiente, em um dessecador, tendo sua massa inicial (seca) aferida.

Posicionaram-se, então, os corpos de prova sobre suportes, preenchendo-se com água a bandeja do recipiente de ensaio, de modo que o nível de água permanecesse constante e igual a (7 ± 1) mm da base inferior do recipiente, e evitando a molhagem de outras superfícies do corpo de prova. Durante o ensaio, determinou-se a massa dos corpos de prova com intervalos de tempo normatizados pela NBR 15259/2005 (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção da água por capilaridade e do coeficiente capilar).

Calcula-se, dessa forma, o coeficiente de absorção capilar, que representa a massa de água absorvida por metro quadrado da argamassa em contato com a água, em função da raiz quadrada do tempo decorrido até atingir este ponto de saturação. Numericamente, este valor corresponde ao coeficiente angular da reta proveniente do gráfico “absorção (g/dm^2) x raiz do tempo ($\text{min}^{0,5}$)” até que seja atingido o ponto de saturação, como pode ser visto na figura 23.

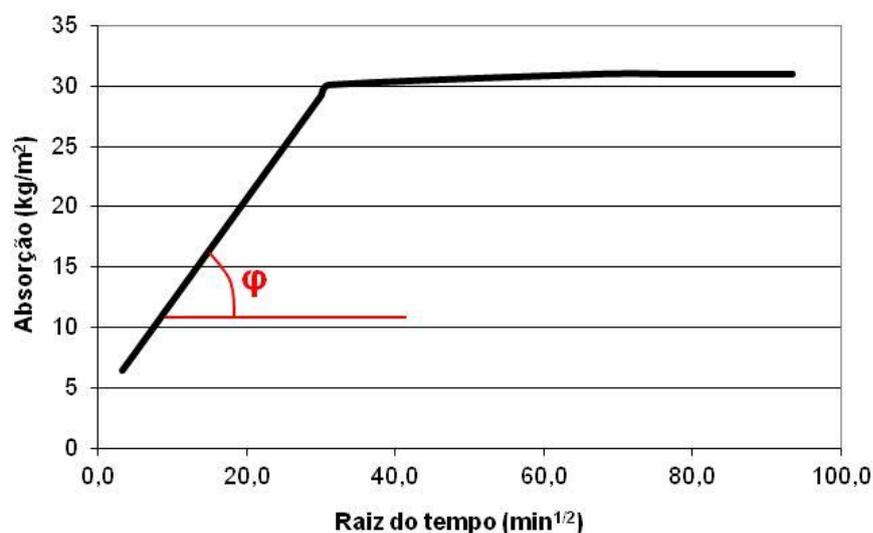


Figura 23: Curva de absorção capilar de água em função da raiz quadrada do tempo para determinação do coeficiente de absorção capilar ($T_g \phi$).

5.2.3.4. Absorção total de água

O procedimento para a determinação de absorção de água visa comparar a absorção de água pelos corpos de prova de argamassa com o auxílio de um bomba à vácuo, sendo um procedimento padrão do NTPR. Os CP são previamente secos em estufa e pesados para posteriormente serem imersos em água num recipiente hermeticamente vedado acoplado a uma bomba responsável por criar vácuo, expulsando o ar existente nos poros do material construtivo e fazendo com que seu lugar seja preenchido por água. A bomba permanece ligada por uma hora, mas o CP continua imerso até completar 24 horas neste estado e estar totalmente saturado. Posteriormente é removido e tem sua massa novamente aferida. Assim, a partir da equação a seguir, pode-se calcular a porcentagem de absorção de água:

$$\% A = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100$$

5.2.3.5. Carbonatação

Para a argamassa de cal adquirir resistência adequada e aumentar sua durabilidade faz-se necessário que aconteça sua carbonatação. Este processo depende de condições favoráveis para ocorrer, tais como umidade relativa do ar, concentração de gás carbônico (CO₂) e temperatura, envolvendo, normalmente, aumento na massa do material devido às transformações que ocorrem com a portlandita – Ca(OH)₂ (VENTOLÀ et al, 2011). Crê-se que as argamassas de cal demorem séculos até que sofram carbonatação completa.

A avaliação qualitativa da profundidade de carbonatação é feita com o uso de uma solução aquosa-alcóolica, contendo 1% do indicador fenolftaleína. Em meio fortemente alcalino, o indicador apresenta coloração avermelhada, mas se a superfície da argamassa mantiver sua cor, passados alguns minutos da aplicação, é provável que esteja carbonatada.

A fenolftaleína é um indicador de pH que apresenta coloração róseo-avermelhada para valores de pH iguais ou superiores a 9,5 (aproximadamente) e

incolor, abaixo deste valor (GENTIL, 2007). Com uma pipeta, quatro gotas da solução foram pingadas sobre a superfície dos corpos de prova (divididos ao meio de tal modo que a face interna seja a avaliada). Verificou-se a carbonatação em duas idades: 150 (lote 2) e 300 dias (lote 1), nas quais as amostras contendo cola de gurijuba foram comparadas às de referência (branco).

5.2.3.6. Resistência à tração na flexão e na compressão (NBR 13279:2005)

Um material construtivo como a argamassa deve apresentar, dentre outras características, resistência mecânica satisfatória para que possa desempenhar sua função. Tradicionalmente, sabe-se que as argamassas são pouco dúcteis, ou seja, não suportam altas cargas nos ensaios de tração e flexão. Por outro lado, apresentam valores maiores na compressão axial (cerca de dez vezes o limite de tração na flexão) (RIBEIRO, 2010).

O limite de tração na flexão (R_f), segundo a norma brasileira NBR 13279:2005 (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e compressão), é calculado segundo a equação:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot L}{40^3}$$

onde F_f é a carga vertical aplicada e L , a distância fixa entre os suportes para a realização do ensaio.

O limite de resistência à compressão axial (R_c) é dado pela divisão da carga máxima que corpo de prova suporta (F_c) pela área de sua secção quadrada (40 x 40 mm = 1600 mm²), conforme equação:

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

Os resultados obtidos foram uma média de três valores para cada idade determinada (150 e 300 dias), utilizando uma prensa hidráulica universal Contenco, modelo I-4214, com capacidade de 5.000 Kgf.

5.2.3.7. Alterabilidade por sulfato de sódio (Na_2SO_4)

Este ensaio possui o intuito de simular a ação das intempéries às quais as argamassas podem estar submetidas (ciclos seco-úmido, eflorescências salinas, gelo-degelo). Assim, os corpos de prova executados em laboratório passaram por ciclos de molhagem em solução saturada de sulfato de sódio anidro (Na_2SO_4) e secagem forçada em estufa à 70°C, permanecendo por 24 horas em cada situação, conforme a norma 88.26 (jan/1971) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

O sulfato de sódio é considerado um dos sais mais agressivos na conservação das estruturas. Quando em contato com materiais porosos, o sal presente numa solução deposita-se nos poros da estrutura de materiais como a argamassa e pode se recristalizar, causando a degradação destes (fraturas, esfarelamento etc.), devido à tensão que provoca.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. AVALIAÇÃO DAS ARGAMASSAS COLETADAS

Questionários

Os questionários aplicados aos moradores das cidades onde possivelmente foi utilizado o grude de gurijuba como aglutinante nas construções contendo argamassas de cal não ofereceram auxílio satisfatório quanto ao método de incorporação da cola nas argamassas de cal, mas possibilitaram a percepção de que pessoas com diferentes níveis de escolaridade (pescadores, professores, pesquisadores etc.) e das diferentes cidades conhecem as propriedades aglutinantes da bexiga natatória da gurijuba. Alguns dos entrevistados nunca ouviram falar desta provável prática, porém outros relacionam o uso da bexiga com a melhora da resistência mecânica dos materiais construtivos empregados nos monumentos históricos.

Salienta-se que a quantidade de entrevistas aplicadas pode não ser tão representativa do conhecimento da população acerca do assunto, mas pelo menos pôde-se perceber as similaridades entre as respostas dos entrevistados.

Ensaio simples de argamassa

As amostras de argamassas de assentamento coletadas nas três edificações do Pará apresentaram resultados semelhantes quanto à proporção de seus constituintes (tabela 2). Somente na amostra da igreja Matriz de Vigia, observa-se quantidade elevada de finos na constituição do traço. A quantidade de argila e silte nas demais amostras indica que estes componentes argilosos provavelmente não foram inseridos propositalmente. Dessa maneira, estes podem ser considerados impurezas.

Interessante notar que as amostras coletadas da mesma edificação em Joanes possuem traços bem diferentes entre si. A amostra da torre sineira contém aproximadamente duas vezes mais areia do que a coletada em uma das paredes, sendo uma argamassa mais fraca, indicando a probabilidade de não terem sido construídas simultaneamente.

Tabela 2 – Traço provável das argamassas de edificações do Pará

LOCAL	AMOSTRA	% FINOS (argila e silte)	% GROSSOS (areia)	% LIGANTE (resíduo solúvel)	TRAÇO PROVÁVEL (em massa) (ligante: argila e silte: areia)
Vigia	Igreja Matriz	13,51	66,85	19,64	1,00: 0,91: 4,56
	Igreja de Pedra	6,98	65,51	27,51	1,00: 0,34: 3,22
Joanes, Marajó	Rosário (Torre)	8,64	74,33	17,03	1,00: 0,68: 5,91
	Rosário (Parede)	9,21	61,83	28,96	1,00: 0,42: 2,89

Granulometria

A distribuição granulométrica das partículas de todas as amostras coletadas nas diferentes cidades indica que possuem granulometria similar, enquadrando-se na categoria “muito fina”, segundo os padrões de classificação da NBR 7211:1983 (figuras 24-27).

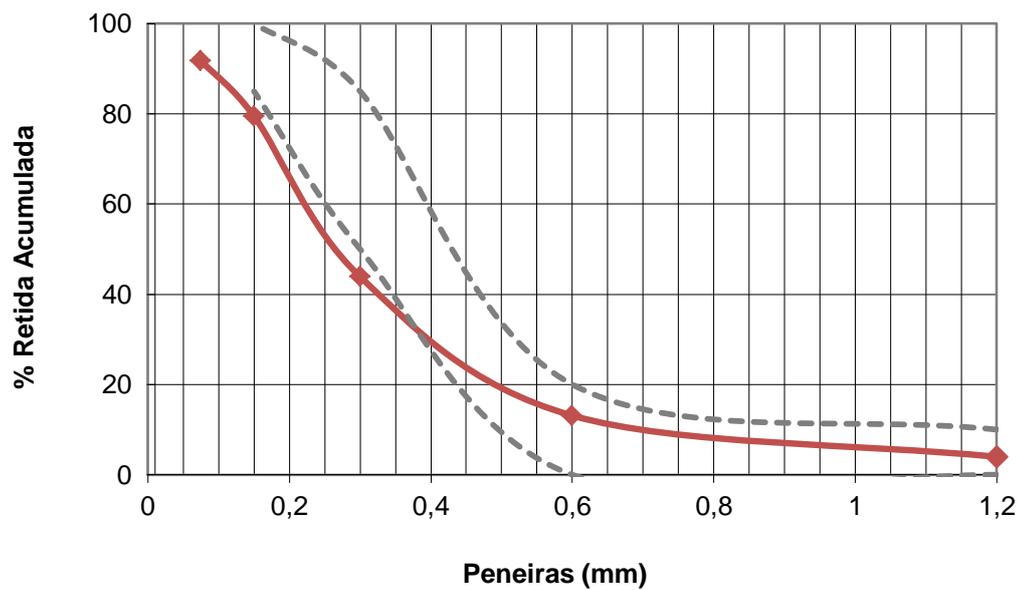


Figura 24: Distribuição granulométrica da areia utilizada na argamassa de revestimento da Igreja Matriz de Vigia, Pará.

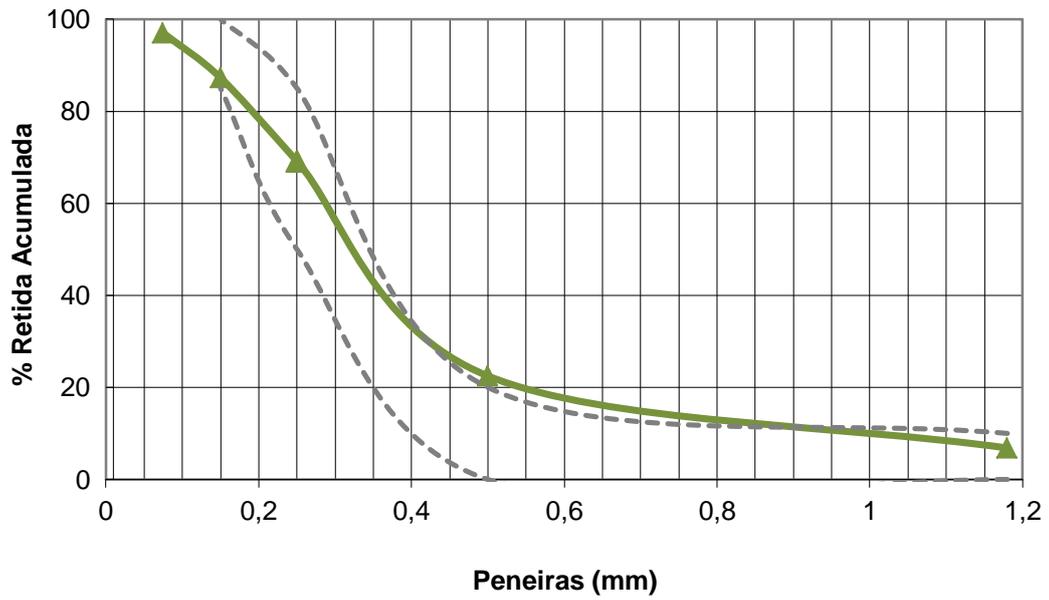


Figura 25: Distribuição granulométrica da areia utilizada na argamassa de revestimento da Igreja de Pedra de Vigia, Pará.

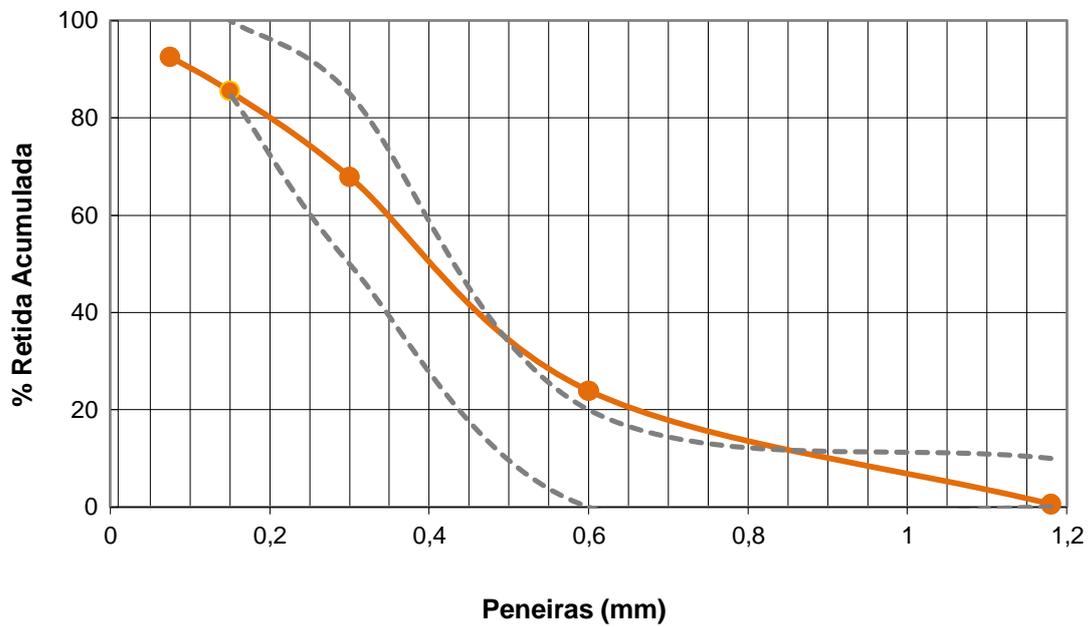


Figura 26: Distribuição granulométrica da areia utilizada na argamassa de assentamento da igreja de N. Sra. do Rosário (amostra da torre) de Joanes, Pará.

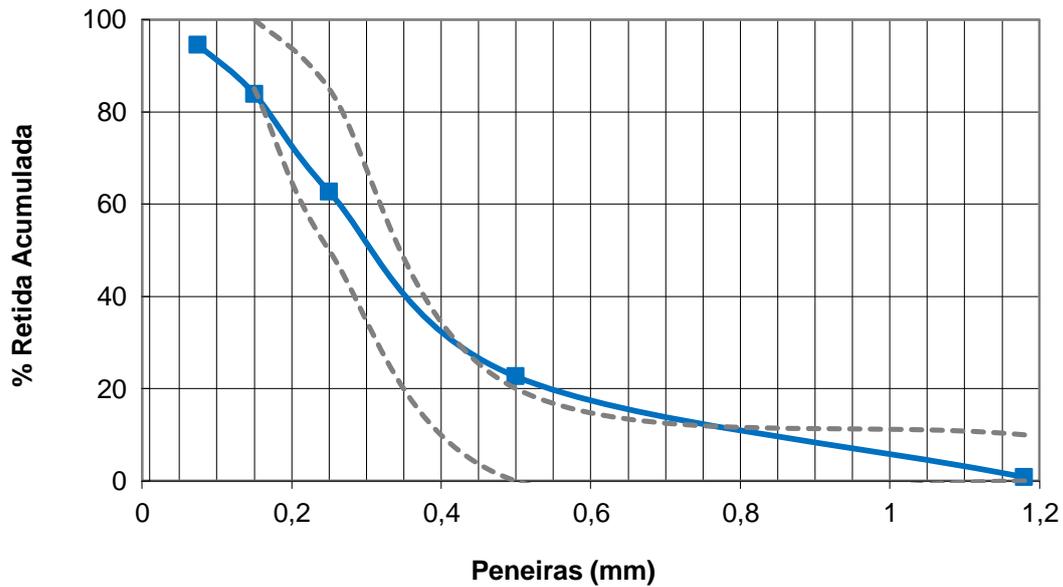


Figura 27: Distribuição granulométrica da areia utilizada na argamassa de assentamento da igreja de N. Sra. do Rosário (amostra da parede) de Joanes, Pará.

Cor dos finos (*Munsell Color System*)

A análise dos finos após ataque ácido realizada com as quatro amostras de argamassa coletadas nas três edificações permitiu a identificação da coloração através do sistema Munsell. Destaca-se o fato de que, nas ruínas da igreja do Rosário, a coloração dos finos não é a mesma entre as duas amostras, indicando provável utilização de matérias primas diferentes, evidenciada também pela composição granulométrica dessas amostras. Já nas amostras das duas diferentes igrejas de Vigia, a cor dos finos obtida na tabela de Munsell foi a mesma (tabela 3). Os resultados obtidos para cada argamassa foram:

Tabela 3 – Classificação dos finos (argila e silte) das argamassas das edificações do Pará, segundo tabela de Munsell

LOCAL	AMOSTRA	% ARGILA E SILTE	% AREIA
Vigia	Igreja Matriz	HUE 2.5Y 6/4	<i>light yellowish brown</i>
	Igreja de Pedra	HUE 2.5Y 6/4	<i>light yellowish brown</i>
Joanes, Marajó	Rosário (torre)	HUE 10 YR 7/6	<i>Yellow</i>
	Rosário (parede)	HUE 2.5Y 6/4	<i>light yellowish brown</i>

Teste qualitativo de sais solúveis

O teste qualitativo de sais solúveis resultou na tabela 4, na qual se pode notar grande concentração de nitrato nas igrejas da cidade de Vigia, que provavelmente é causada pela presença de dejetos orgânicos de animais ou material contaminado. Além deste íon, nas mesmas igrejas, nota-se presença de cloreto, possivelmente por ter sido utilizada cal feita a partir de conchas (prática comum, comprovada em vários documentos antigos) que podem ter sido sem limpeza prévia para remoção do cloreto de sódio (NaCl). Na amostra da igreja Matriz foi detectada a existência de sulfato, acreditando-se ser proveniente do dióxido de enxofre (SO₂) na atmosfera, uma vez que não há indícios sobre o uso de cimento no local onde foi coletada a amostra: face interna da parede da torre direita.

Diferentes das igrejas de Vigia, as duas amostras das ruínas da igreja do Rosário, em Joanes, apresentaram apenas cloretos que levam a suspeita do uso de material construtivo contaminado, já que as ruínas situam-se próximo, à Baía do Guajará.

Tabela 4 – Identificação da presença dos íons nas amostras de argamassa

ÍONS	IGREJA MATRIZ	IGREJA DE PEDRA	ROSÁRIO – PAREDE	ROSÁRIO - TORRE
NITRATO	+++	+++	---	---
CLORETO	++	+++	+	++
SULFATO	+++	+	---	---

Difração de Raios X (DRX)

As principais fases mineralógicas identificadas nas amostras das argamassas de assentamento são apresentadas nos difratogramas a seguir (figuras 28 e 29). Neles, os compostos encontrados já eram esperados. Em todos os difratogramas pode-se observar a presença de quartzo (SiO_2), provavelmente oriundo da areia e argila presentes na mistura, além da calcita (CaCO_3) proveniente da carbonatação da argamassa que tem como ligante a cal. Por fim, verificou-se a existência de gismondina ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), argilomineral do grupo das caulinitas, procedente da argila encontrada na argamassa.

Sabe-se que é extremamente importante a realização de análise química ou fluorescência de raios X para complementar a identificação das fases mineralógicas, porém infelizmente por questões burocráticas não foi possível realizá-las nesse estudo.

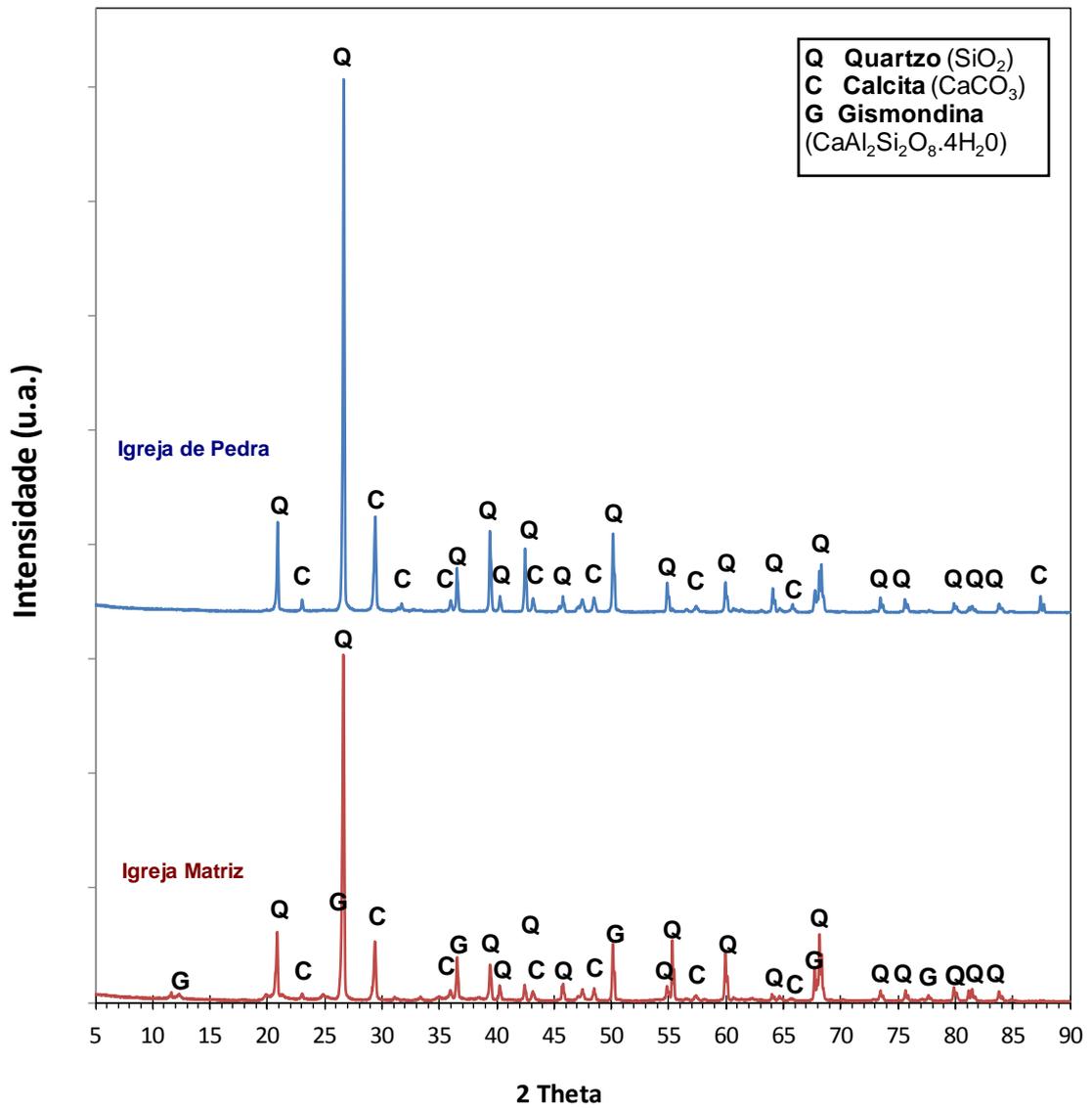


Figura 28: Difratoograma das argamassas das edificações de Vigia-PA.

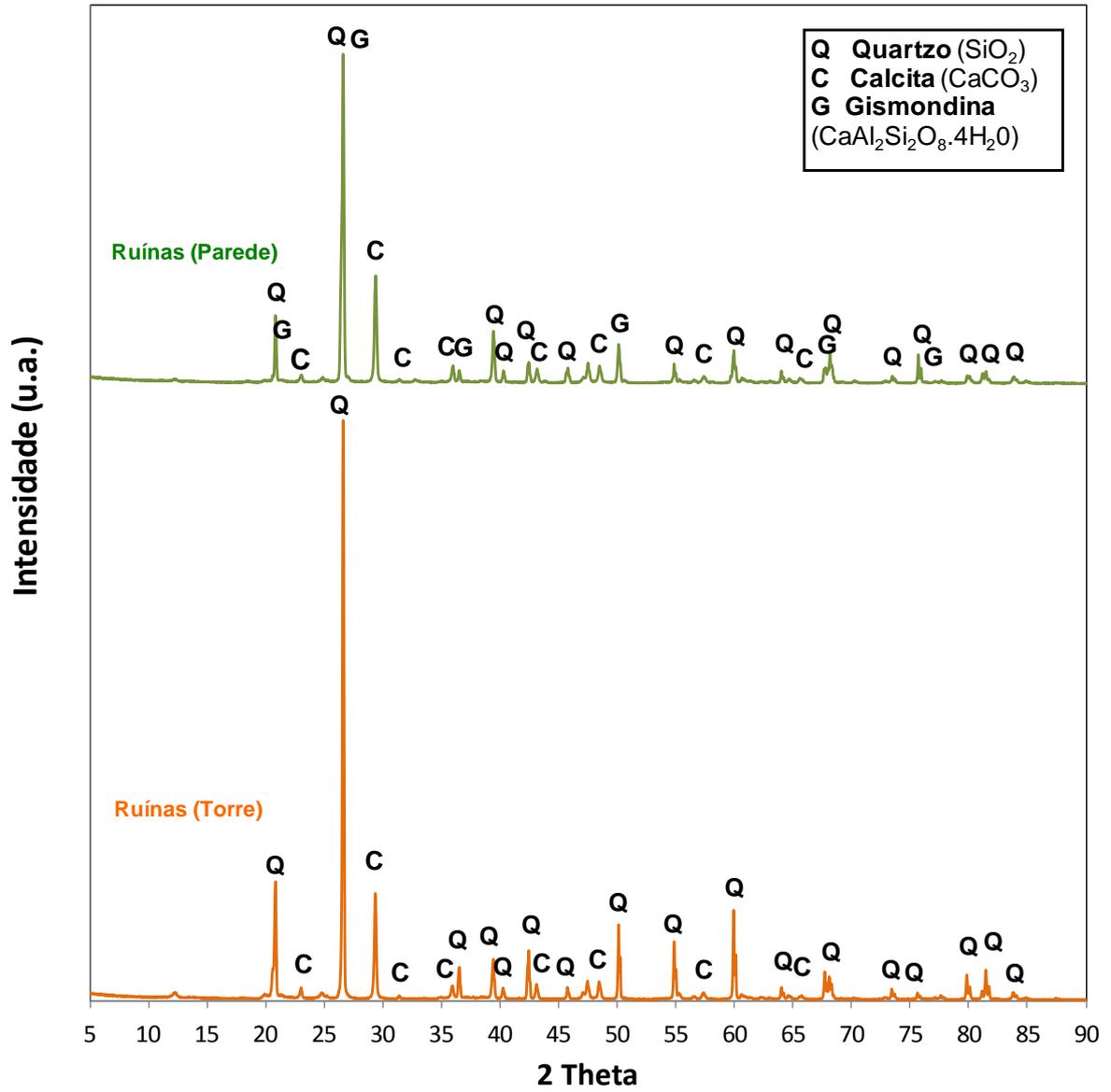


Figura 29: Difractogramas das argamassas das edificações de Joanes – PA.

Espectrometria de infravermelho por transformada de Fourier

Nas amostras da Igreja de Pedra (Vigia-PA) e das ruínas Igreja do Rosário (Joanes-PA) submetidas à espectrometria (ver figuras 30-32) foram encontradas bandas características de proteínas (bandas ~ 1640 cm^{-1} , 1580 cm^{-1} , 1400 cm^{-1} , sendo a primeira a mais importante), similares às presentes nos espectros de referência do esturjão – peixe cuja bexiga natatória também é matéria prima para cola. A amostra da Igreja Matriz não apresentou espectro definido, por ser muito higroscópica (mais do que as outras amostras), o que dificulta a captação dos dados a serem interpretados.

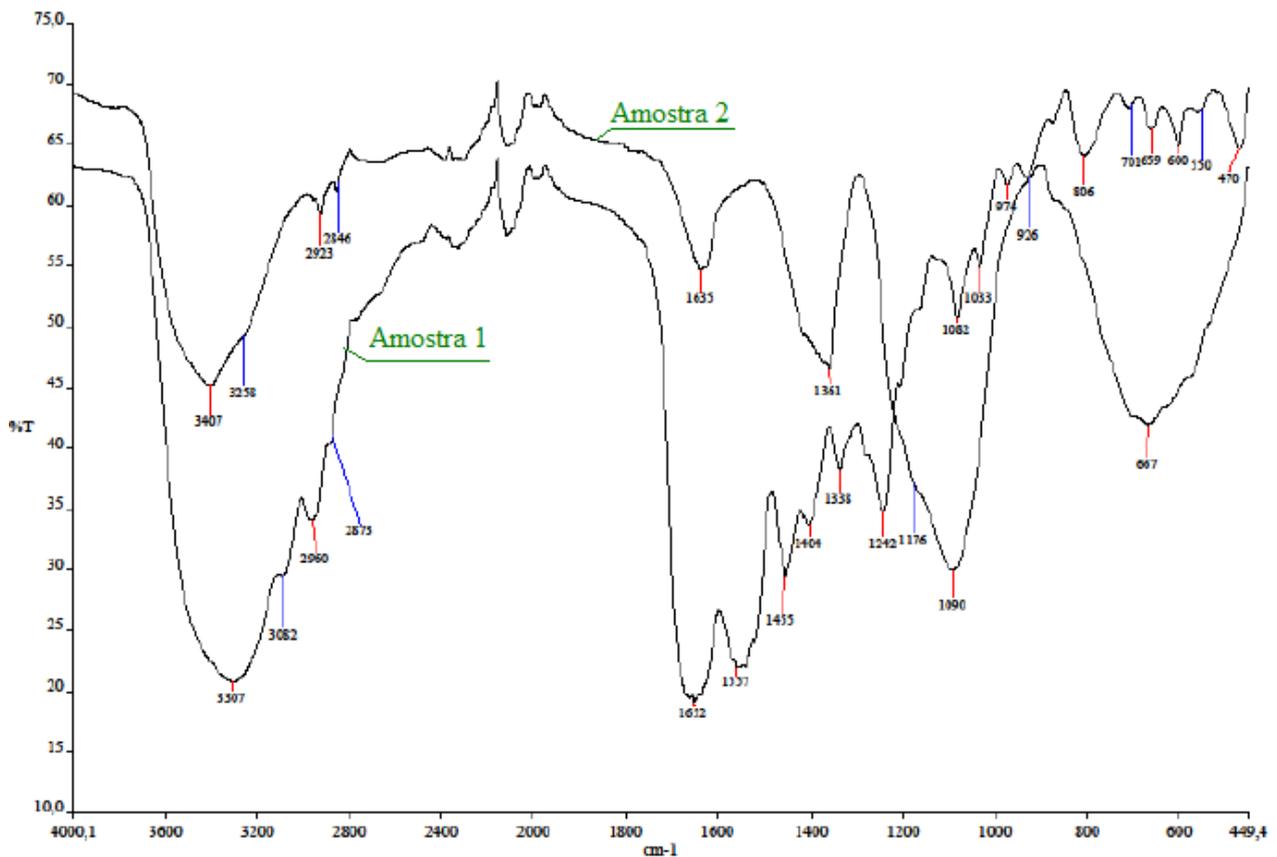


Figura 30: Espectros das amostras de referência contendo cola de gurijuba (amostra 2) e da amostra de argamassa de assentamento (amostra 1) da Igreja de Pedra (Vigia-PA)

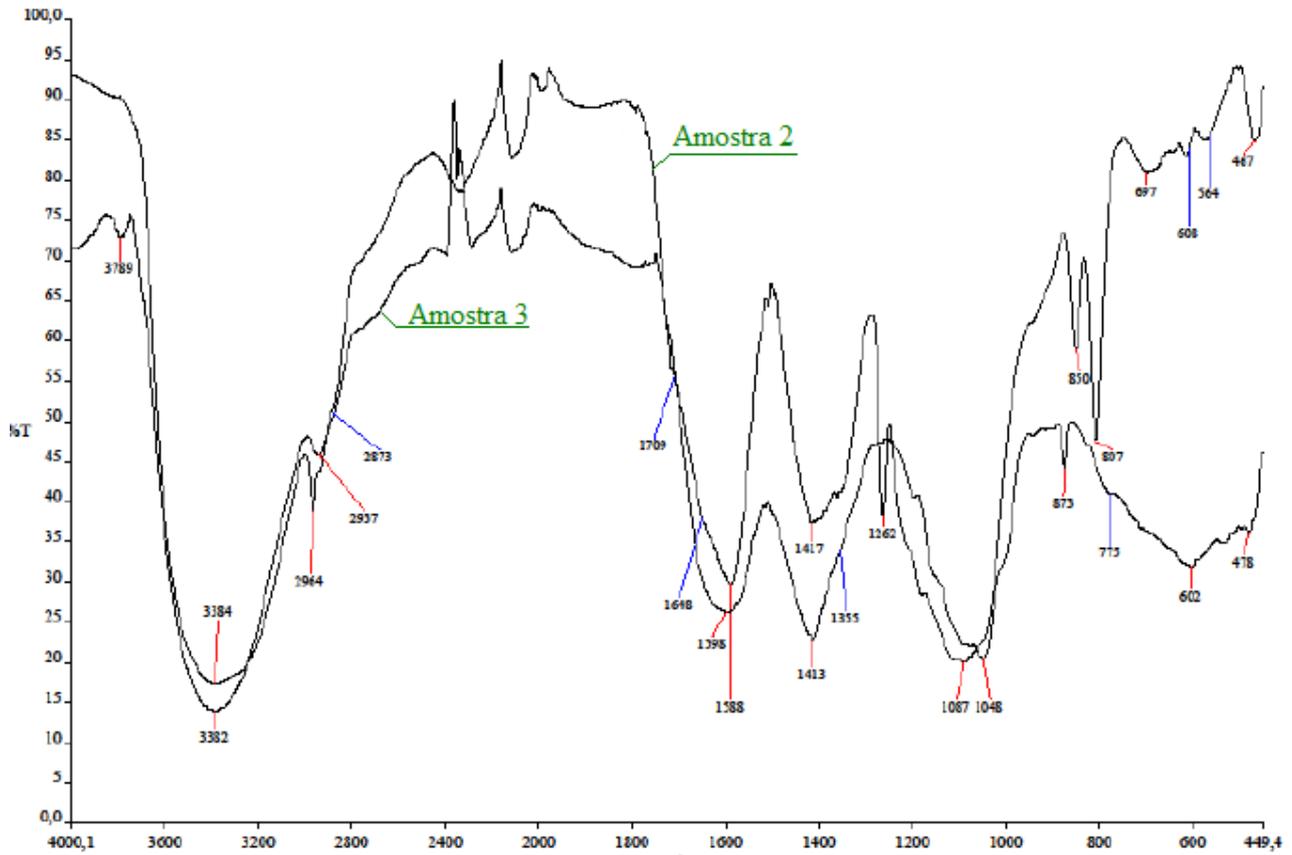


Figura 31: Espectros das amostras de referência contendo cola de gurijuba (amostra 2) e da amostra de argamassa de assentamento da torre (amostra 3) da Igreja do Rosário (Joanes-PA)

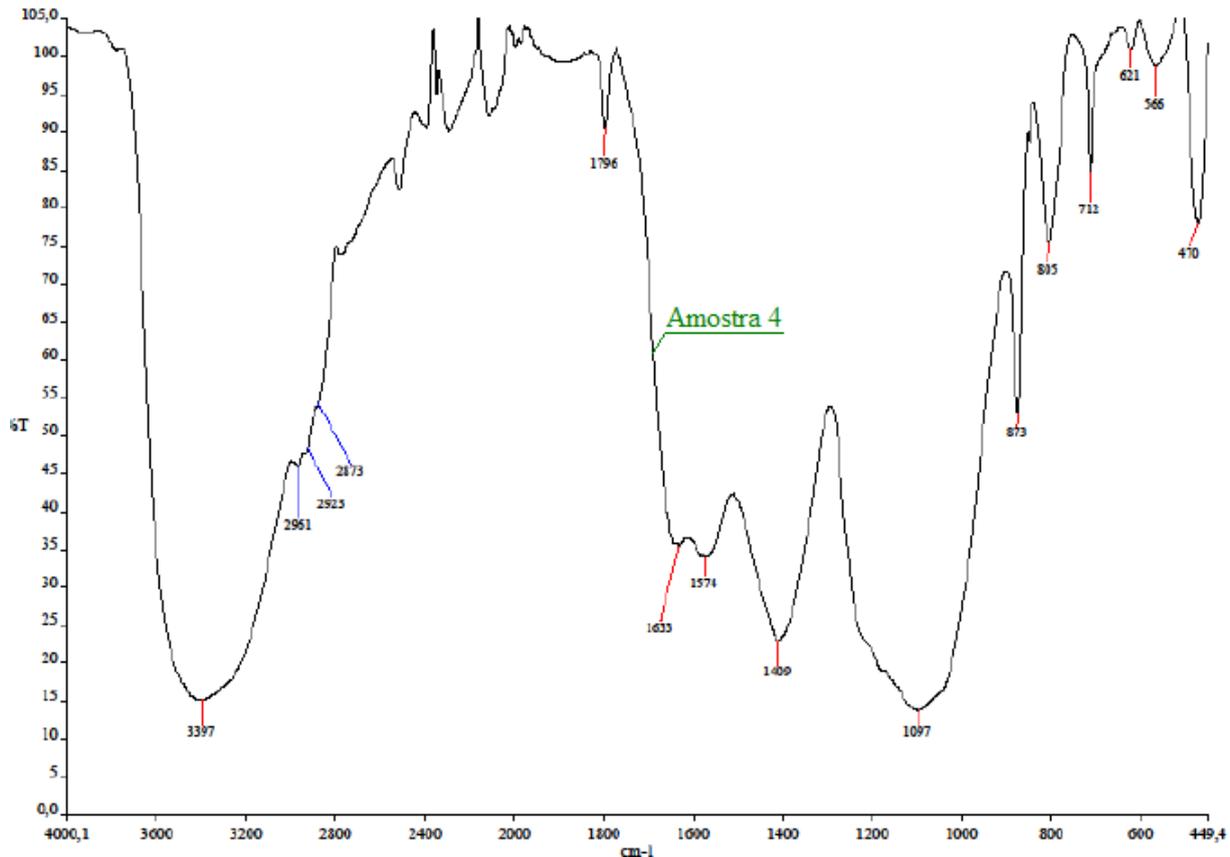


Figura 32: Espectros relativos à amostra de argamassa de assentamento da parede (amostra 4) da Igreja do Rosário (Joanes-PA)

Apesar dos resultados positivos, segundo pesquisadores do CECOR, neste caso, apenas esta análise não é suficiente para afirmar que estas proteínas encontradas são da bexiga natatória de gurijuba. Recomendam-se estudos mais aprofundados sobre as amostras, em especial as demais bandas encontradas (ver laudo emitido pelo LACICOR/CECOR em Apêndice B).

6.2. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS ARGAMASSAS MOLDADAS EM LABORATÓRIO NO ESTADO ENDURECIDO

Caracterização das matérias primas

A cal hidratada selecionada para a mistura apresentou massa específica de 2,23kg/dm³ e massa unitária 0,41kg/dm³.

Após realização do ensaio de granulometria com o agregado, os valores obtidos possibilitaram a construção da curva de distribuição granulométrica (figura

33). Segundo a NBR 7211 (Agregados para concreto – Especificação), a areia caracterizada enquadra-se na classificação “muito fina”, na versão de 1983 desta norma¹⁸.

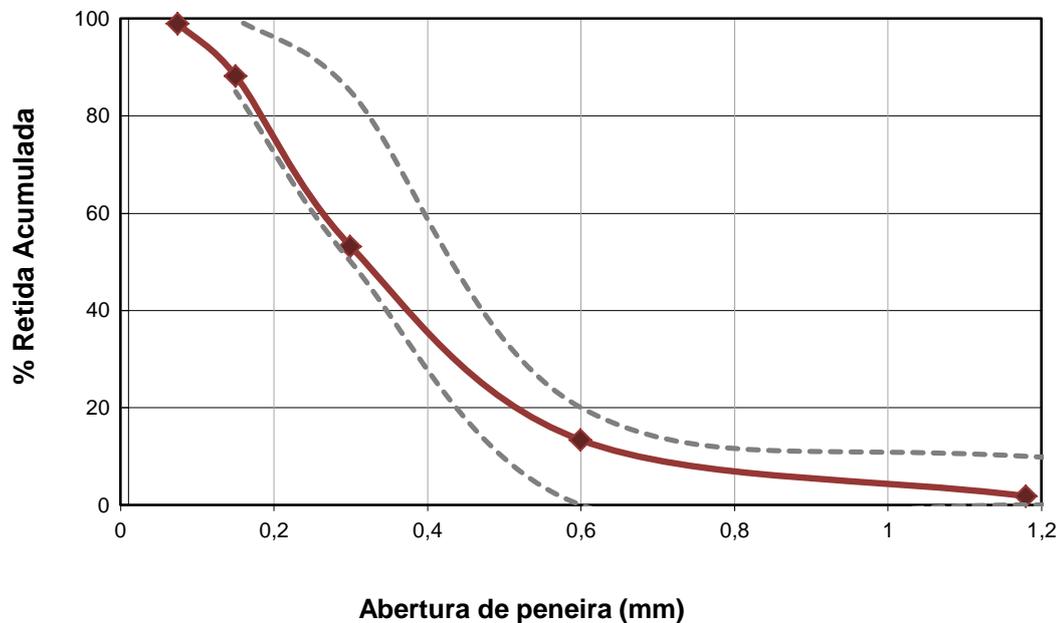


Figura 33: Distribuição granulométrica da areia utilizada e limites que a classificam como areia muito fina, segundo NBR 7211:1983.

Os valores resultantes da caracterização física da areia utilizada na execução da argamassa estão registrados na tabela 5:

Tabela 5 – Caracterização física da areia

Grandeza	Areia
Massa unitária	1,48 kg/dm ³
Massa específica	2,62 kg/dm ³
Módulo de finura	1,56
Dimensão máxima característica	1,18 mm

¹⁸ O motivo de utilizar ambas as versões desta norma (1983 e 2005) é em função da versão mais atual apresentar uma classificação menos completa dos agregados.

Na nova versão da NBR 7211, de 2005, a areia, por apresentar módulo de finura igual a 1,56, encontra-se dentro dos limites estabelecidos para a zona utilizável inferior (1,55 e 2,20).

Porosidade e densidade aparentes (ensaio com água)

Este ensaio foi realizado apenas aos 300 dias de idade¹⁹, quando duas propriedades foram avaliadas: a porosidade e a densidade aparente das argamassas de cal executadas em laboratório. Nas figuras 34 e 35, percebe-se que o aumento no teor de cola inserido na argamassa estudada não oferece contribuições significativas para a porosidade e densidade do material construtivo, pois o gráfico demonstra certa estabilidade de valores.

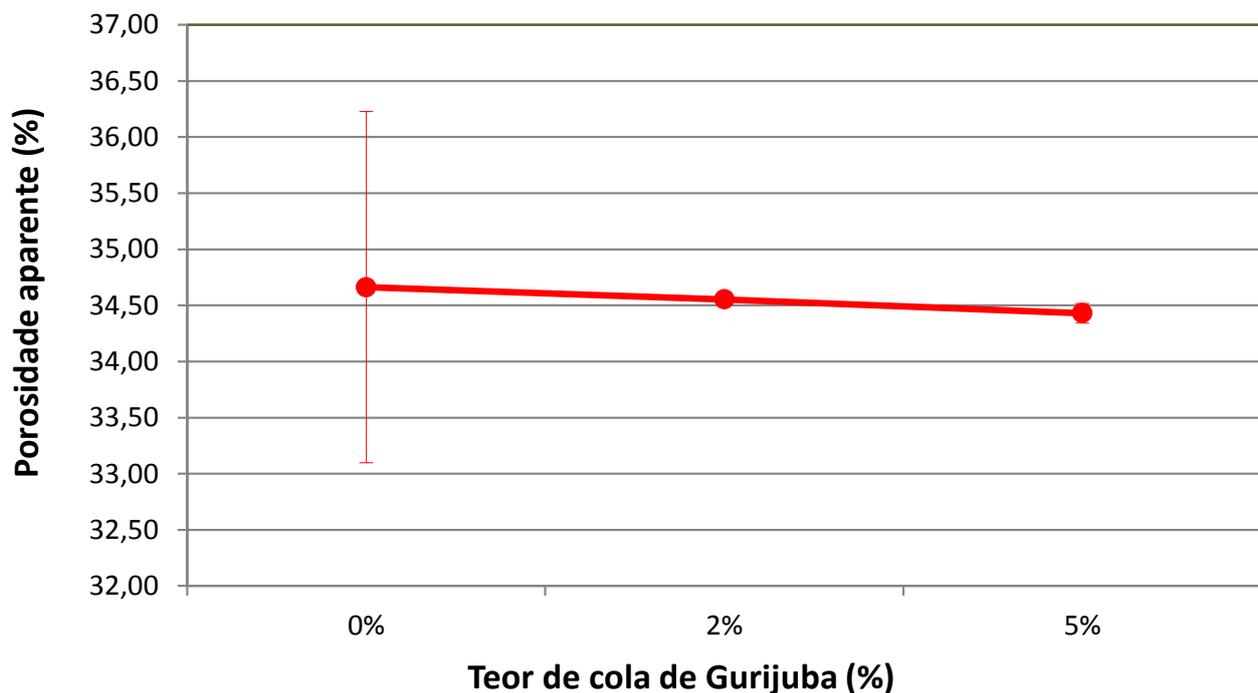


Figura 34: Porosidade aparente das argamassas de cal (aos 300 dias) em função do teor de cola adicionado.

¹⁹ O ensaio só foi realizado aos 300 dias, pois quando se decidiu que seria conveniente a execução do ensaio, os CP pertencentes ao primeiro lote já tinham sido ensaiados.

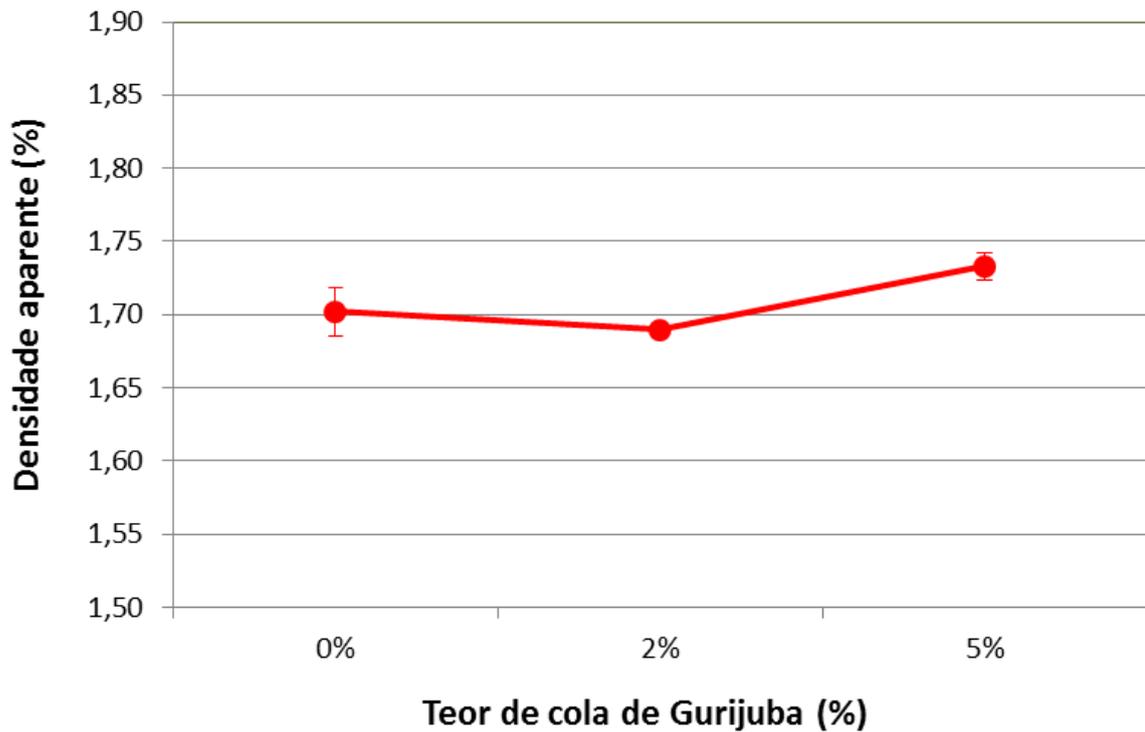


Figura 35: Porosidade aparente das argamassas de cal (aos 300 dias) em função do teor de cola adicionado.

Densidade aparente (ensaio com mercúrio)

Assim como no ensaio anterior, percebeu-se que a inclusão do aditivo nos diferentes teores estudados não exerce influência notável na massa unitária do material, evidenciada no gráfico a seguir (figura 36), no qual se percebe pequena redução nos valores ao comparar a argamassa de referência com a aditivada a 5% (cerca de 7% de redução aos 150 dias e menos de 1% aos 300 dias), demonstrando leve aumento na densidade final.

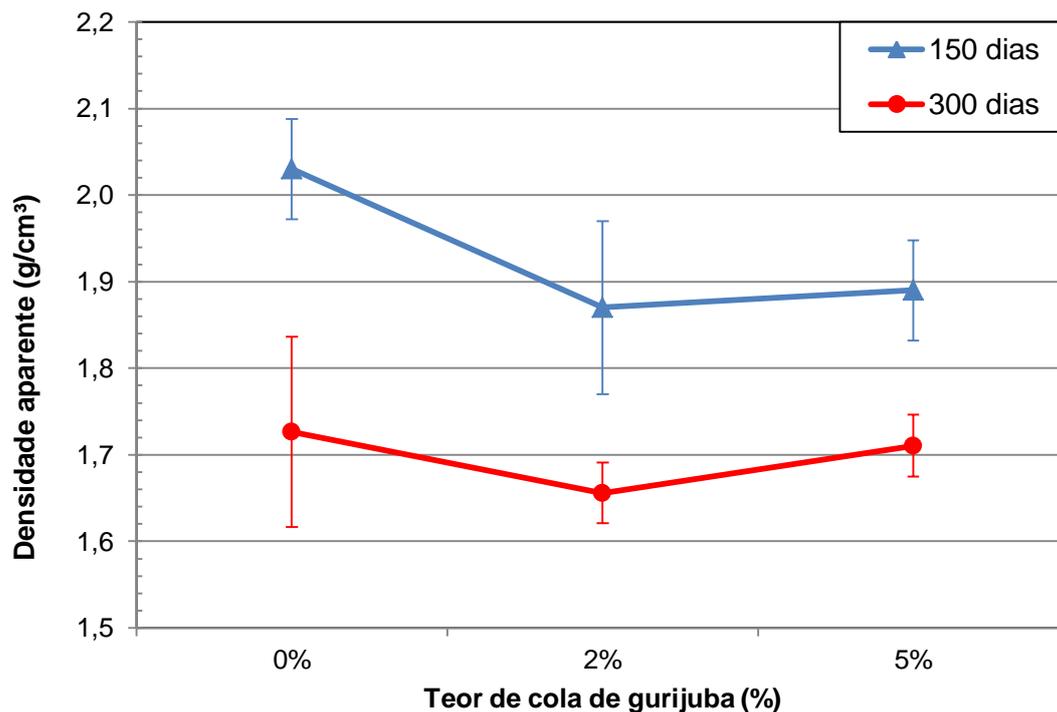


Figura 36: Massa unitária da argamassa no estado endurecido em função do teor de cola adicionado.

Verificou-se similaridade nos resultados de densidade em ambos os métodos testados (um utilizando água e o outro, mercúrio). Então, sugere-se que para a determinação da densidade, dê-se preferência ao método que usa água, pois este líquido não expõe o executor do ensaio a possíveis riscos de saúde, além dos resultados de ambos serem comprovadamente similares.

Absorção capilar

Sabe-se que, quanto menor o diâmetro do capilar, maior a pressão exercida e, em consequência, mais rapidamente ocorre a absorção de água (RIBEIRO, 2006). Assim, pode-se supor que a inserção do aditivo tende a aumentar o diâmetro dos capilares ou até obstruí-los, reduzindo a absorção capilar em função do aumento na proporção da cola na argamassa para a idade de 150 dias ($0,39 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$ para 0% contra $0,24 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$ para 5% do aditivo).

Ao analisar a idade de 300 dias, nota-se certa estabilidade de valores entre o teor de 5% de cola e a argamassa de referência (0%): por volta de $0,11 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$. Apesar disso, estranhamente, o valor encontrado para 2% de aditivo é superior aos

demais, é cerca de $(0,16 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{0,5})$, indicando aumento de 45% na absorção, conforme figura 37.

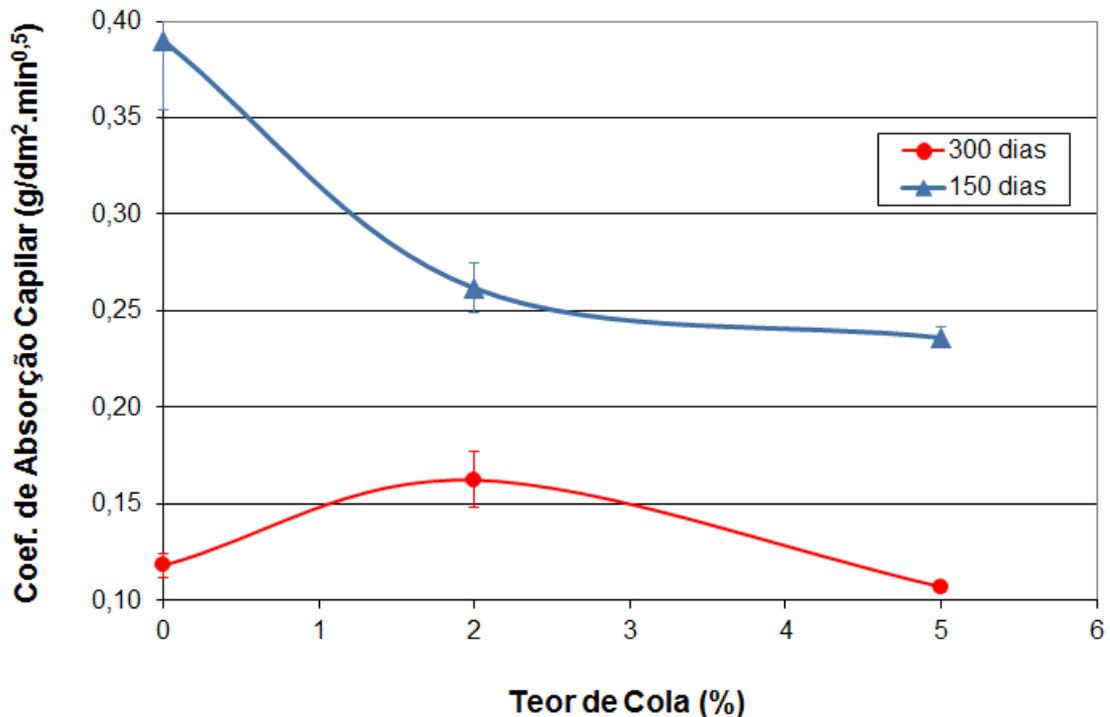


Figura 37: Coeficiente de absorção capilar em função do teor de cola adicionado.

Absorção total

A figura 38 apresenta os resultados obtidos após o procedimento com a bomba à vácuo. Nas duas idades, percebe-se ligeira queda em relação à porcentagem de absorção de água: média de 3,5% nos corpos de prova aditivados contra redução de 10% nos de referência.

Os resultados dos ensaios com os três teores de aditivo demonstram que para o teor de 5% de cola de gurijuba há menor taxa de absorção de água. Surpreendentemente, o teor de 2% apresenta porcentagem de absorção maior do que o teor de 0% aos 300 dias. Supõe-se que tenha ocorrido erro no momento da moldagem do segundo lote com este teor (2%).

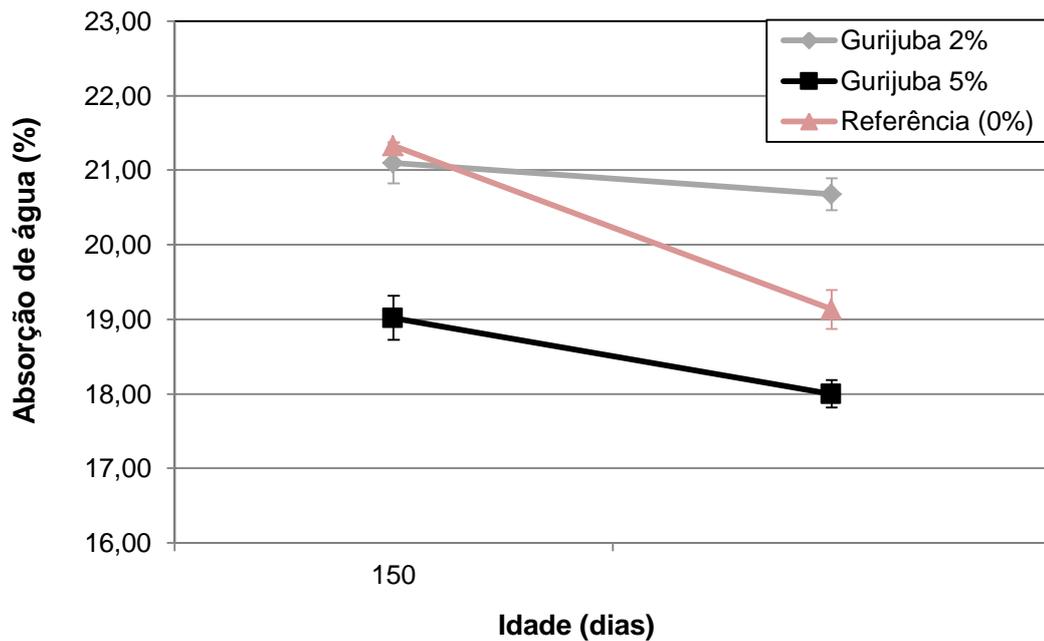


Figura 38: Porcentagem de absorção de água com o uso de bomba à vácuo.

Carbonatação

A verificação da carbonatação nos CP, conforme explicado na seção Métodos dessa dissertação, foi feita visualmente a partir da aplicação do indicador fenolftaleína. Sabe-se que em meio básico como o do hidróxido de cálcio (pH igual ou acima de 9,5), ela apresenta cor avermelhada.

Na maioria dos CP testados na idade de 300 dias (para os diferentes teores de cola), após alguns minutos da aplicação, notou-se a presença da cor róseo-avermelhada (figuras 39-41). Nas figuras, vê-se que o interior dos CP apresenta sempre a cor vermelha e, em alguns, as bordas permanecem brancas (fenolftaleína incolor). Isso ocorre porque as superfícies externas carbonatam mais rapidamente por estarem em contato direto com o oxigênio.



Figura 39: Carbonatação nos CP sem aditivo.



Figura 40: Carbonatação nos CP com 2% de aditivo.



Figura 41: Carbonatação nos CP com 5% de aditivo.

O indicador foi aplicado na face interna do corpo de prova rompido, mas somente em alguns casos isolados (CP com 5% de cola), a face permaneceu incolor

– o que indica que o pH deve estar abaixo de 9,5 (figura 42). Mesmo assim, não se pode afirmar que argamassa de cal está completamente carbonatada, afinal o valor de seu pH pode estar apenas um pouco abaixo do valor limite. Assim, conclui-se que a inserção do aditivo não influencia na aceleração do processo de carbonatação das argamassas de cal.

Resistência à tração na flexão e compressão

As figuras 42 e 43 demonstram os valores obtidos nas diferentes idades para resistência mecânica à flexão e à compressão, respectivamente. Nelas, observa-se que a inclusão do aditivo de gurijuba aumentou consideravelmente a resistência das argamassas de cal, indicando uma razoável capacidade aglomerante deste material.

Acredita-se que a cola provoque na argamassa o aumento da coesão entre as partículas, mas não alterações no seu fator de empacotamento, tendo em vista que não influenciou de maneira significativa a densidade e porosidade daquelas.

Com relação à resistência à tração na flexão (fig. 42), nota-se elevação na tensão suportada pela argamassa de cerca de 125% (0,20 MPa *versus* 0,45 MPa) para o teor de 5% de adição da cola na idade de 150 dias. Aos 300 dias, os valores encontrados foram de 0,23MPa (nos corpos de prova sem aditivo) e 0,45MPa (para 5% de cola), indicando acréscimo de aproximadamente 95% nesta propriedade.

Na ausência de normas brasileiras que indicassem os valores a serem alcançados de resistência mecânica para argamassas de cal, decidiu-se tomar como parâmetros os estudos de Veiga (2003), pesquisadora do Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Lisboa. Neles, Rosário Veiga recomenda que as argamassas de cal para substituição de rebocos devam apresentar resistência à tração na flexão entre 0,2 e 0,7 MPa, comportamento percebido tanto nas argamassas contendo cola de gurijuba como aditivo como na argamassa de referência.

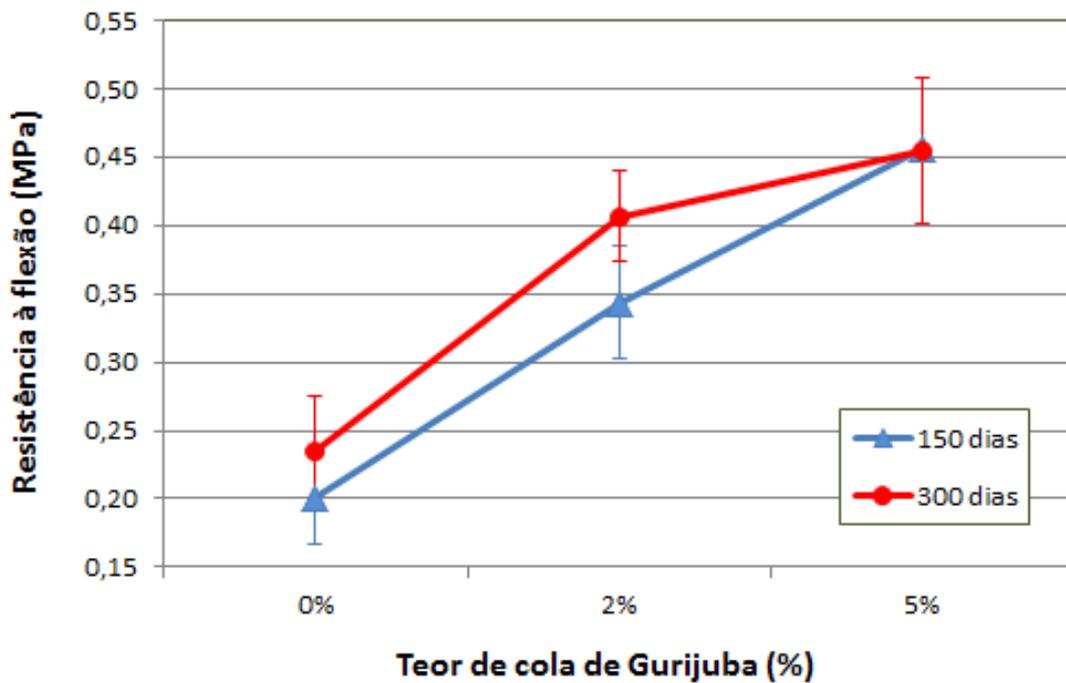


Figura 42: Resistência à flexão das argamassas de cal em função do teor de cola adicionado.

Por sua vez, a resistência à compressão simples nas idades ensaiadas (fig. 43) teve aumento considerável após a adição de 2% de cola (quase 90% em 150 dias e cerca de 60% em 300 dias), mas pouco se modificou quando foram incorporados 5% do aditivo (menos de 10% de aumento). Sugere-se a posterior realização de ensaios com corpos de prova aditivados a 1%, 1,5% e 2,5% de cola, para verificar se essa estabilidade se configura a partir da quantidade de 2% de cola ou os valores já se estabilizam a partir de 1%.

As argamassas (de cal) de substituição devem suportar entre 0,4 e 2,5 MPa quando submetidas à compressão, segundo Veiga (2003). Novamente, na figura 44 pode-se verificar que as argamassas estudadas nesta pesquisa se enquadram nos parâmetros de resistência.

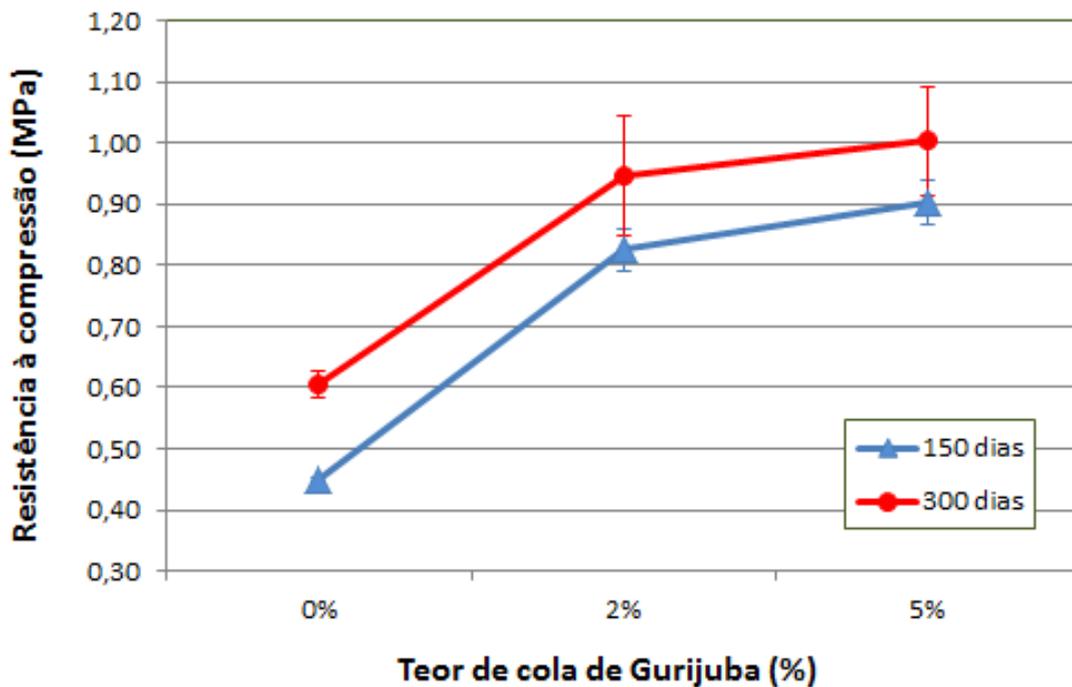


Figura 43: Resistência à compressão das argamassas de cal em função do teor de cola adicionado.

Nos estudos com adição de cola animal realizados por Ventolà et al (2011), os CP aditivados com 5% de cola (em relação à massa total) superaram a resistência à compressão dos CP de referência em 92% (3,36 *versus* 1,75 kgf/cm²) após 28 dias de idade, enquanto que nessa pesquisa os CP com cola de gurijuba a 5% (em relação à massa da cal) foram 64% mais resistentes do que os sem aditivo, passados 300 dias da moldagem.

Em comparação com outro aditivo bastante citado na tradição oral, o óleo de baleia, estudado por Santiago (1991), mostrou ser ineficiente na melhoria da resistência mecânica da cal aos 240 dias, reduzindo em cerca de 80% a carga suportada²⁰.

Com base nos resultados do estudo ora realizado, percebe-se que, ao contrário do óleo de baleia, a cola de grude da gurijuba melhora a resistência mecânica das argamassas de cal. É possível que os resultados sejam ainda mais interessantes se a porcentagem de cola inserida for maior que 5% da massa de cal. Talvez se for incorporado um percentual de grude equivalente à 5% da massa seca

²⁰ Nos experimentos dessa autora, os corpos de prova de referência suportaram, em média, 10,15kgf/cm², enquanto que o aditivado com óleo correspondendo a 5% da massa da cal resistiu apenas a 2,02 kgf/cm².

total dos componentes da argamassa, como nos estudos anteriormente citados de Ventolà et al (2011), obtenham-se ganhos de resistência maiores que os 64% demonstrados nessa pesquisa.

Alterabilidade por sulfato de sódio (Na_2SO_4)

Os resultados obtidos neste ensaio são demonstrados nas figuras 45 e 46. Tanto aos 150 como aos 300 dias, os corpos de prova aditivados com cola à 5% resistiram a maior número de ciclos de molhagem e secagem em solução saturada de sulfato de sódio.

A avaliação qualitativa deste ensaio indica que, aos 150 dias (figura 44), a argamassa a 5% de aditivo resistiu seis vezes mais que a de referência e, aproximadamente, 2 vezes mais do que a argamassa contendo 2% de cola.

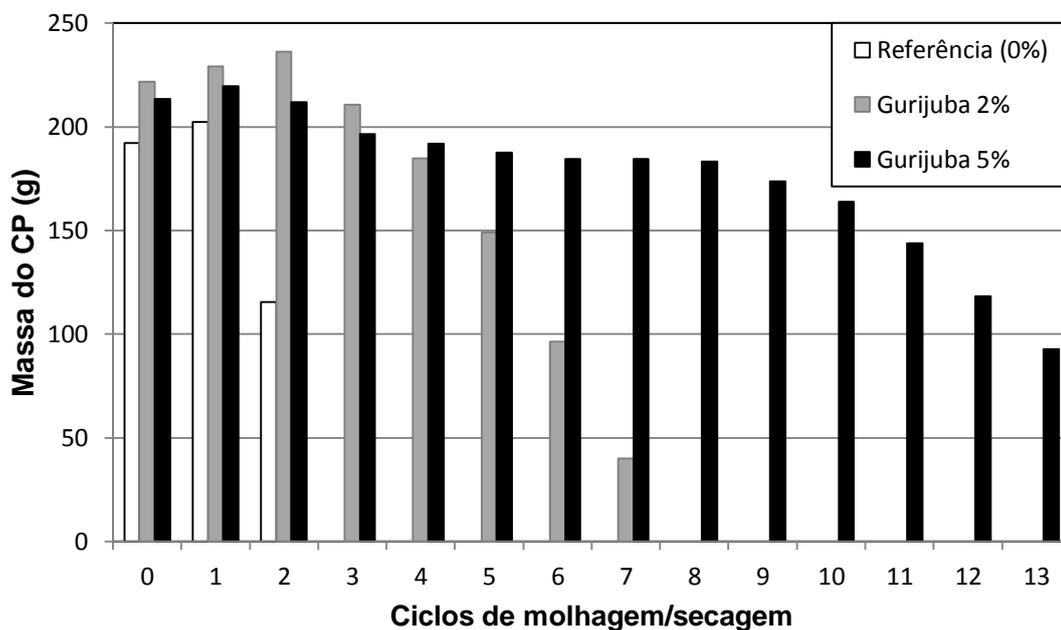


Figura 44: Variação de massa do CP em função do número de ciclos de molhagem / secagem aos 150 dias.

Aos 300 dias, as argamassas a 5% de aditivo suportaram quase o mesmo número de ciclos que as aditivadas com 2% de cola de gurijuba, superando estas

em um único ciclo (figura 45). A argamassa de referência também apresentou boa resistência ao ataque de sais, degradando-se completamente após o oitavo ciclo.

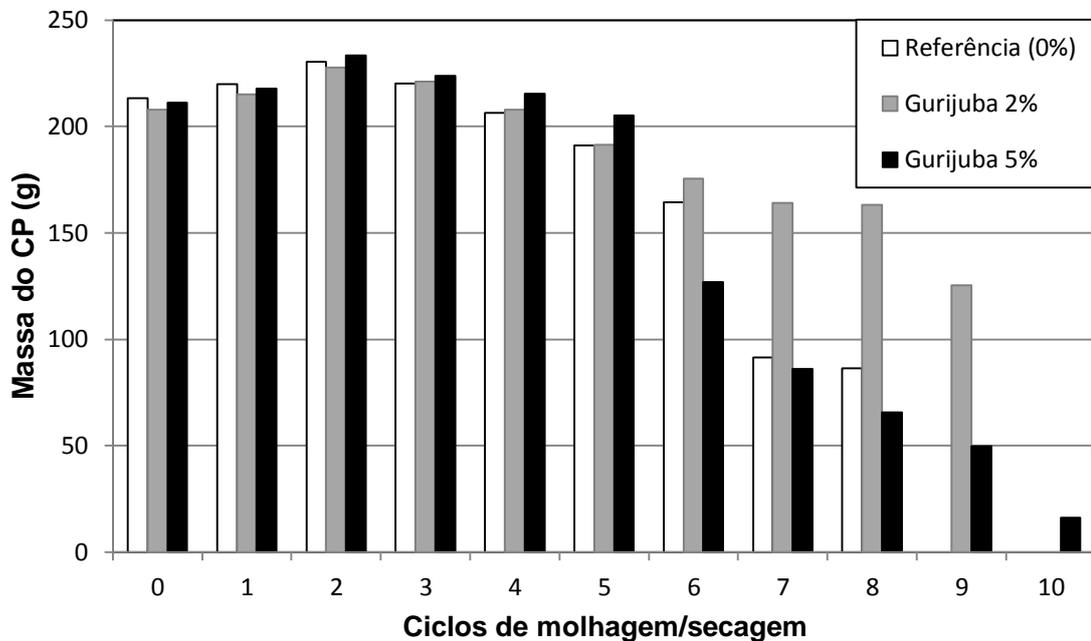


Figura 45: Variação de massa do CP em função do número de ciclos de molhagem / secagem aos 300 dias.

7. CONCLUSÕES

Apesar de não ter sido localizado documento algum que comprove a prática da inserção do aditivo nas argamassas de cal de edifícios no estado do Pará, a possibilidade disso ter acontecido não está totalmente descartada.

Sabe-se que as paredes de alvenaria contendo argamassas de cal podem levar séculos para carbonatar completamente e, por isso, julga-se possível encontrar matéria orgânica, caso ela tenha sido utilizada como aditivo, desde que as amostras coletadas sejam do interior da parede – situação diferente das amostras recolhidas nesta pesquisa, que foram capturadas da superfície daquela.

Mesmo que as argamassas coletadas para ensaios pertencentes às edificações históricas tivessem sido executadas com o grude da gurijuba – que teoricamente conferiria maior resistência mecânica às argamassas – seria muito difícil detectar a presença do composto orgânico através de análises laboratoriais

neste tipo de pesquisa por duas situações: a) o grude, por ser matéria orgânica, provavelmente se decompõe com o passar dos anos (mais de dois séculos) ou b) em função da amostra ser proveniente da parte mais superficial da parede. A dúvida permeia a mente dos pesquisadores de aditivos orgânicos quanto a esta questão.

Com base nos resultados obtidos na investigação acerca das argamassas moldadas em laboratório, conclui-se que o uso da cola de gurijuba como aditivo orgânico nas argamassas de cal favorece melhoria de algumas propriedades, como a resistência mecânica à tração na flexão e à compressão, a alterabilidade por sulfato de sódio (envelhecimento acelerado) e a absorção de água por capilaridade.

Por não influenciar, aparentemente, na porosidade, na densidade e na carbonatação, supõe-se que a cola de gurijuba provoque na argamassa aumento da coesão entre as partículas.

Enfatiza-se, nesta pesquisa, o uso de dois métodos para a verificação da densidade aparente nas argamassas de cal no estado endurecido: um usando mercúrio e o outro, água. Comparando os resultados alcançados nos dois ensaios, aconselha-se a determinação desta propriedade com base no método que faz uso da água em virtude dos resultados serem similares e deste líquido ser mais facilmente encontrado e não oferecer riscos à saúde de quem executa o ensaio.

Os resultados merecem destaque e dão indícios quanto à qualidade deste aditivo. No entanto, por se tratar de material orgânico, é válido observar seu comportamento após longos períodos, uma vez que a degradação pode ser acentuada.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. B. **GLOSSÁRIO DE RESTAURO** (ITALIANO/PORTUGUÊS). SÃO PAULO, 2009. DISPONÍVEL EM: < [HTTP://WWW.ORCAMENTOS.EU/WP-CONTENT/UPLOADS/2009/12/DICIONARIO-RESTAURO-ITALIANO-PORTUGUES.PDF](http://www.orcamentos.eu/wp-content/uploads/2009/12/DICIONARIO-RESTAURO-ITALIANO-PORTUGUES.PDF)>. ACESSO EM: 22 NOV. 2010.
- ARAÚJO, R.C.L; RODRIGUES, E. H. V; FREITAS, E. G. A. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**. V.1. RIO DE JANEIRO: EDITORA DA UNIVERSIDADE RURAL, 2000. 203 P.
- ARQUIVO PÚBLICO DO ESTADO DO PARÁ. FUNDO DIVERSOS COM O GOVERNO. CÓDICE 71 (1752-1769). ANO 1768. P. 329
- ARQUIVO PÚBLICO DO ESTADO DO PARÁ. FUNDO DIVERSOS COM O GOVERNO. CÓDICE 71 (1752-1769). ANO 1769. P. 335
- ARQUIVO PÚBLICO DO ESTADO DO PARÁ. FUNDO DIVERSOS COM O GOVERNO. CÓDICE 71 (1752-1769). ANO 1761. P. 38
- ARQUIVO PÚBLICO DO ESTADO DO PARÁ. FUNDO DIVERSOS COM O GOVERNO. CÓDICE 71 (1752-1769). ANO 1769. P. 337
- ARQUIVO PÚBLICO DO ESTADO DO PARÁ. FUNDO DIVERSOS COM O GOVERNO. CÓDICE 95. 1759. P. 198 (DOCUMENTO AVULSO)
- ASSUNÇÃO, D. MEMÓRIA E HISTÓRIA SOBRE O CHÃO DE JOANES. **MUSEU EM PAUTA**, INFORMATIVO ELETRÔNICO, N. 56. BELÉM, 23 DE JANEIRO DE 2009. DISPONÍVEL EM: < [HTTP://WWW.MUSEU-
GOELDI.BR/MUSEUEMPAUTA/NOTICIAS/AGENCIA_MUSEU_GOELDI/23012009/MANCHETE.
HTML](http://www.museu-goeldi.br/museuempauta/noticias/agencia_museu_goeldi/23012009/manchete.html)>. ACESSO EM: 30 DEZ 2011
- BAENA, A. L. M. **COMPÊNDIO DAS ERAS DA PROVÍNCIA DO PARÁ**. BELÉM: TYPOGRAPHIA DE SANTOS E SANTOS MENOR, 1838.
- BAUER, L. A. F. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**. 5. ED. V.1. RIO DE JANEIRO: LTC – LIVROS TÉCNICOS E CIENTÍFICOS, 1987.
- BEZERRA, M. **“AS MOEDAS DOS ÍNDIOS”**: UM ESTUDO DE CASO SOBRE OS SIGNIFICADOS DO PATRIMÔNIO ARQUEOLÓGICO PARA OS MORADORES DA VILA DE JOANES, ILHA DE MARAJÓ, BRASIL. BOLETIM DO MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI. CIÊNCIAS HUMANAS, V. 6, N. 1, P. 57-70, JAN.-ABR. 2011.

BLONDEL, J.F. **COURS D'ARCHITECTURE: OU TRAITÉ DE LA DÉCORATION, DITRIBUTION & CONSTRUCTION DES BÂTIMENTS**; CONTENANT LES LEÇONS DONNÉES EN 1750, & LES ANNÉES SUIVANTES, PAR J.F BLONDEL, ARCHITECTE, DANS SON ÉCOLE DES ARTS. PARIS: DESAINT, 1771-1777. 9v.

CAGNANA, AURORA. **ARCHEOLOGIA DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE**. MANTOVA: SAP, 2000. 248 P. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.BIBAR.UNISI.IT/NODE/134](http://www.bibar.unisi.it/node/134)>. ACESSO EM: 17 NOV. 2011, 16:05:00.

CAPELOSSI FILHO, S. E SEYNAEVE, R. J. M. **GUIA HISTÓRICO E TURÍSTICO DA CIDADE DE BELÉM**. BELÉM: CEJUP, 1992. 248 P.

CATANEO SENESE, P. **I QUATTRO PRIMI LIBRI DI ARCHITETTURA (1554)**. HOLANDA: THE GREGG PRESS INCORPORATED, 1964. 112P.

CENNINI, C. **EL LIBRO DEL ARTE**. 1. ED. BUENOS AIRES: ARGO EDITORIAL, 1947.

CHAPTAL, J. **CHEMISTRY APPLIED TO ARTS AND MANUFACTURES V. 2**. 4 V. TRANSLATION OF LA CHIMIE APPLIQUÉE AUX ARTS. LONDRES: T. GILLET, 1807. 448P.

COSTA, J. M. A. P. **ESTUDOS CROMÁTICOS NAS INTERVENÇÕES DE CONSERVAÇÃO EM CENTROS HISTÓRICOS**: BASES PARA A SUA APLICAÇÃO À REALIDADE PORTUGUESA. TESE DE DOUTORADO, UNIVERSIDADE DE ÉVORA, AGOSTO DE 1999.

COUTINHO, L. **GARIMPEIROS DE ALTO MAR: PESCADORES E ARRISCAM PARA BUSCAR O VALIOSO GRUDE, MAS NEM SABEM PARA QUE SERVE**. REVISTA VEJA, SÃO PAULO: N 225, P. 57-57, FEV. 2002.

CRUZ, E. **AS OBRAS PÚBLICAS DO PARÁ**. BELÉM: IMPRENSA OFICIAL DO ESTADO, 1967. 2v.

DE L'ORME, PHILIBERT. **TRAITÉ D'ARCHITECTURE: PREMIER TOME DE L'ARCHITECTURE (1567)**. PARIS: LÉONCE LAGET, 1988. 800P.

DERENJI, J. **TEATROS DA AMAZÔNIA**. BELÉM: FUNDAÇÃO CULTURAL DO MUNICÍPIO, 1996. 90 P.

ESTADO DO PARÁ, RECEBEDORIA DE RENDAS PÚBLICAS. BOLETIM MENSAL DO MOVIMENTO DE ENTRADA, EXPORTAÇÃO, RENDAS PUBLICAS ETC., DURANTE O MEZ DE JULHO DE 1895. ANO I. NÚMERO I. 14 AGO 1895. MICROFILMADO. ROLO JD 143, ARQ. 1, GAV. 5

EXPOSIÇÃO NACIONAL. **CATALOGOS DOS PRODUCTOS NATURAES E INDUSTRIAES REMETTIDOS DAS PROVINCIAS DO IMPERIO DO BRASIL QUE FIGURÁRÃO NA EXPOSIÇÃO NACIONAL.** Rio de Janeiro: Typographia Nacional, 1862.

FARIA, P.; HENRIQUES, F.; RATO, V. COMPARATIVE EVALUATION OF LIME MORTARS FOR ARCHITECTURAL CONSERVATION. **JOURNAL OF CULTURAL HERITAGE.** V. 9, N. 3, P. 338-346, 2008.

FERREIRA, A. R. **MISCELÂNEA HISTÓRICA: PARA SERVIR DE EXPLICAÇÃO AO PROSPECTO DA CIDADE DO PARÁ 1783-1784.** (TEXTO DATILOGRAFADO) FAZ PARTE DO ACERVO DE OBRAS RARAS DO CENTUR, BELÉM-PARÁ.

GENTIL, V. **CORROSÃO.** 5. ED. RIO DE JANEIRO: LTC, 2007. 353 P.

GUIMARÃES, J. E. P. **A CAL – FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES NA ENGENHARIA CIVIL.** 2ª ED. SÃO PAULO: PINI, 2002.

HICKMAN, D.; SIMS, T.J.; MILES, C.A.; BAILEY, A.J.; MARI, M. E KOOPMANS, M. ISINGLASS/COLLAGEN: DENATURATION AND FUNCTIONALITY. **JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY,** V.79, N. 3. P. 245–257, MAI 2000.

JORNAL TREZE DE MAIO, 06/1840, P.43.

LEITÃO, W. M.; SOUSA, I. S. **PESCADORES INSULARES E MERCADOS: ASPECTOS DAS RELAÇÕES DE RECIPROCIDADE NO COMÉRCIO DE PESCADO DO PARÁ.** BOLETIM DO MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI. CIÊNCIAS HUMANAS, BELÉM, V. 1, N. 2, MAIO-AGO. 2006, P. 53-64.

LEITE, S. **BREVE HISTÓRIA DA COMPANHIA DE JESUS NO BRASIL 1549-1760.** BRAGA, PORTUGAL: LIVRARIA A.I., 1993. 291 P.

LEMO, C.A.C. **ALVENARIA BURGUESA: BREVE HISTÓRIA DA ARQUITETURA RESIDENCIAL DE TIJOLOS EM SÃO PAULO A PARTIR DO CICLO ECONÔMICO LIDERADO PELO CAFÉ.** SÃO PAULO: NOBEL, 1985. 194 P

MAIA, T; TOCANTINS, L.; MAIA, T. R. **GRÃO-PARÁ.** BELÉM: SECRETARIA DE ESTADO DE CULTURA, DESPORTOS E TURISMO, 1979.

MARGALHA, G.; VEIGA, R.; SILVA, A. S.; BRITO, J. TRADITIONAL METHODS OF MORTAR PREPARATION: THE HOT LIME MIX METHOD. **CEMENT AND CONCRETE COMPOSITES.** V. 33, N. 8, P. 796-804, SET. 2011.

MATTEINI, M. E MOLES, A. **CIENCIA Y RESTAURACIÓN: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN. TRADUCCIÓN DE MARINA MARTÍNEZ DE MARAÑÓN. 3 ED. SEVILLA: EDITORIAL NEREA, 2001. 304P.**

MAUÉS, RAYMUNDO HERALDO; FAÇANHA, L. M. S.; RODRIGUES, F. M. **AÇÃO DAS ORDENS E CONGREGAÇÕES RELIGIOSAS NA AMAZÔNIA. BELÉM: IMPRENSA UNIVERSITÁRIA DO PARÁ, 1968. 151 P.**

MEDEIROS, G. F. **TECNOLOGIA DE ACABAMENTO DE DOURAMENTO EM ESCULTURAS EM MADEIRA POLICROMADA NO PERÍODO BARROCO E ROCOCÓ EM MINAS GERAIS: ESTUDO DE UM GRUPO DE TÉCNICAS. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARTES, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, 1999.**

MELLO, DONATO. TEATRO DA PAZ E A FAMOSA 7A COLUNA. **REVISTA ESPAÇO. ANO II, N.6, MAR/ABR, 1978. P.10-11**

MENDES, A. **PESCARÍAS AMAZONICAS: A PISCICULTURA NO BRASIL (NOTAS E SUGESTÕES). SÃO PAULO: LIVRARIA EDITORA RECORD, 1938. 177 P.**

MONTENEGRO, A. **ÁLBUM DO ESTADO DO PARÁ, MANDADO ORGANIZAR POR S. EX. O SNR. DR. AUGUSTO MONTENEGRO, GOVERNADOR DO ESTADO: OITO ANOS DO GOVERNO (1901 A 1909). PARIS: IMPRIMERIE CHAPONET, 1908. 350 P.**

MONUMENTA, PROGRAMA. **MANUAL DE CONSERVAÇÃO DE CANTARIAS. COLEÇÃO MANUAIS TÉCNICOS. BRASÍLIA: IPHAN, 2000.**

MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A.; MOUNDOULAS, P.; AGGELAKOPOULOU, E.; ANAGNOSTOPOULOU, S. STRENGTH DEVELOPMENT AND LIME REACTION IN MORTARS FOR REPAIRING HISTORIC MASONRIES. **CEMENT & CONCRETE COMPOSITES. V. 27, N. 2. P. 289-294, FEV. 2005.**

OLIVEIRA, M. M. **TECNOLOGIA DA CONSERVAÇÃO E DA RESTAURAÇÃO: MATERIAIS E ESTRUTURAS: UM ROTEIRO DE ESTUDOS. 3. ED. SALVADOR: EDUFBA, 2006.**

OLIVEIRA, M. M., SANTIAGO, C. **ORGANIC ADDITIVES IN BRAZILIAN LIME MORTARS. IN: NEVILLE HILL, S. HOLMES, D. MATHER, LIME AND OTHER ALTERNATIVES CEMENTS, EXETER, U.K., INTERMEDIATE TECHNOLOGY PUBLICATIONS, 1992, P. 203-210.**

OLIVEIRA, T. C. **“ARGAMASSAS BASTARDAS” E SUAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E TECNOLÓGICAS. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA, 1995.**

PARÁ, RELATÓRIO DO PRESIDENTE DA PROVÍNCIA DO PARÁ DOUTOR JOÃO ALFREDO CORRÊA DE OLIVEIRA PASSANDO A ADMINISTRAÇÃO DA MESMA AO 4º VICE-PRESIDENTE, DOUTOR ABEL GRAÇA. PARÁ: TYPOGRAPHIA DO DIARIO DO GRAM-PARÁ, 1870. 57 P.

PARÁ. INFORMAÇÕES SOBRE AS COMARCAS DA PROVÍNCIA DO PARÁ ORGANISADAS EM VIRTUDE DO AVISO CIRCULAR DO MINISTERIO DA JUSTIÇA DE 20 DE SETEMBRO DE 1883 POR MANOEL BAENA, DIRECTOR DA SEGUNDA SECÇÃO DA SECRETARIA PRESIDENCIAL DA MESMA PROVÍNCIA. BELÉM, TYPOGRAPHIA D'O FUTURO: 1883. P. 44. MICROFILMADO. ROLO 211, ARQ. 2, GAV. 5.

PETRUCCI, E. 1922-1975. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.** 9. ED. SÃO PAULO: GLOBO, 1993. 498 P.

PINHEIRO, L. M. M.; SOUZA, L. A. C.; YOSHIDA, M. I. OXALATO DE CÁLCIO EM SÍTIOS ARQUEOLÓGICOS: ESTUDO DE CASOS EM ABRIGOS NO PARQUE NACIONAL CAVERNAS DO PERUAÇU (MUNICÍPIOS DE JANUÁRIA E DE ITACARAMBI – MG). **REVISTA BRASILEIRA DE ARQUEOMETRIA, RESTAURAÇÃO E CONSERVAÇÃO.** V.1, N. 5. P. 242 – 245, 2007.

PLINIUS, C. S. **NATURAL HISTORY.** VOL. 10, LIVROS XXXVI-XXXVII. PUBLICAÇÃO BILINGUE SOB A RESPONSABILIDADE DE EICHHOLZ, D. E. LONDRES: OXFORD, 1962. 344P.

REVISTA PARÁ ONDE. 9. ED. BELÉM: RM RAPH EDITORA, 2002. TRIMESTRAL.

RIBEIRO, D.V. **INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DA LAMA VERMELHA NAS PROPRIEDADES E NA CORROSIBILIDADE DO CONCRETO ARMADO.** SÃO CARLOS: UFSCAR, 2010. 222 P.

RIBEIRO, D.V. **INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE PÓ DE RETÍFICA EM UMA MATRIZ DE CIMENTO DE FOSFATO DE MAGNÉSIO.** SÃO CARLOS: UFSCAR, 2006. 128 P.

ROJAS, I. G. **ARTES DE LA CAL.** 2. ED. MADRID: EDITORIAL MUNILLA-TERÍA, 2002.

SÁNCHEZ, F. J. A. **HISTORIA, CARACTERIZACIÓN Y RESTAURACIÓN DE MORTEROS.** SEVILLA, 2002. TESE DE DOUTORADO, INSTITUTO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN, UNIVERSIDAD DE SEVILLA.

SANJAD, T. A. B. C. **PATOLOGIAS E CONSERVAÇÃO DE AZULEJOS: UM ESTUDO TECNOLÓGICO DE CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DE AZULEJOS DOS SÉCULOS XVI, XVII E XIX, ENCONTRADOS NAS CIDADES DE BELÉM E SALVADOR.** DISSERTAÇÃO DE

MESTRADO, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA, 2002.

SANTA ROSA, H. FIDANZA, F. A. **ÁLBUM DO PARÁ EM 1899 NA ADMINISTRAÇÃO DO GOVERNO DE SUA EXCIA. O SENR. DR. JOSÉ PAES DE CARVALHO.** BERLIM: A. DAMCKE, 1899. 160 P.

SANTIAGO, C. **ARGAMASSAS TRADICIONAIS DE CAL.** SALVADOR: EDUFBA, 2007. 202 P.

SANTIAGO, C. C. **ADITIVOS ORGÂNICOS EM ARGAMASSAS ANTIGAS.** SALVADOR, 1991. 70P. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA, 1991.

SAWITZKI. R. L. **ARGAMASSAS HISTÓRICAS NO MUNICÍPIO DE PIRATINI, RIO GRANDE DO SUL: SUA COMPOSIÇÃO E A COMPROVAÇÃO DOS BENEFÍCIOS DA ADIÇÃO DA MUCILAGEM DOS CACTOS CEREUS HILMANIANUS EM SUA COMPOSIÇÃO.** 112 p. Salvador, 2002. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA, 2002.

SCRIVENER K. L. E KIRKPATRICK R. J. INNOVATION IN USE AND RESEARCH ON CEMENTITIOUS MATERIAL. IN: 12TH INTERNATIONAL CONGRESS OF CHEMISTRY OF CEMENT, MONTREAL. **ANAIS...** MONTREAL, CANADA, 2007.

SEGURADO, J. E. **ACABAMENTO NAS CONSTRUÇÕES.** 4. ED. LISBOA: BIBLIOTECA DE INSTRUÇÃO PROFISSIONAL, LIVRARIA BERTRAND, S.D.

SICHIERI, P. S.; PABLOS, J. M.; FERREIRA, O. P.; ROSSIGNOLO, J. A. E CARAM, R. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO I : AGLOMERANTES MINERAIS, AGREGADOS, ARGAMASSAS, CONCRETOS E DOSAGEM.** SÃO CARLOS: USP, 2008. P. 166-188. (COLEÇÃO ARQTEMA)

SILVEIRA, M. I.; SCHAAN, D. P.; **ONDE A AMAZÔNIA ENCONTRA O MAR: ESTUDANDO OS SAMBAQUIS DO PARÁ.** REVISTA DE ARQUEOLOGIA. V. 18, P.67-79, 2005. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.IES.UFPB.BR/OJS2/INDEX.PHP/RA/ARTICLE/VIEWFILE/1538/1193](http://WWW.IES.UFPB.BR/OJS2/INDEX.PHP/RA/ARTICLE/VIEWFILE/1538/1193)>. ACESSO EM: 03 NOV. 2011.

SOBRAL, M. L. **AS MISSÕES RELIGIOSAS E O BARROCO NO PARÁ.** BELÉM: GEU/UFPA, 1986. 124 P.

SOUSA, G. S. **NOTÍCIA DO BRASIL (1587)**. LISBOA: PUBLICAÇÕES ALFA, S. A. BIBLIOTECA DA EXPANSÃO PORTUGUESA, 1989. VOL. 11. 258 P.

SOUSA, M. A. COLÁGENOS DE CYNOSCION ACOUPA (PESCADA AMARELLA): IDENTIFICAÇÃO, PRODUÇÃO DE MEMBRANAS E ESTUDO DA ATIVIDADE BIOLÓGICA. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO. (GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA LICENCIATURA) - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO, 2008.

SOUZA, R. S. **HISTÓRIAS INVISÍVEIS DO TEATRO DA PAZ: DA CONSTRUÇÃO À PRIMEIRA REFORMA. BELÉM DO GRÃO-PARÁ (1869-1890)**. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM HISTÓRIA SOCIAL, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO, 2009.

TEUTONICO, J. M. A LABORATORY MANUAL FOR ARCHITECTURAL CONSERVATORS. ROMA: ICCROM, 1988.

TORRACA, G. **LECTURES ON MATERIALS SCIENCE FOR ARCHITECTURAL CONSERVATION**. LOS ANGELES: THE GETTY CONSERVATION INSTITUTE, 2009. 205 P.

DISPONÍVEL EM:
<[HTTP://WWW.GETTY.EDU/CONSERVATION/PUBLICATIONS_RESOURCES/PDF_PUBLICATIO
NS/TORRACA.PDF](http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/torraca.pdf)>. ACESSO EM: 02 MAI. 2012.

VASCONCELLOS, S. **ARQUITETURA NO BRASIL: SISTEMAS CONSTRUTIVOS**. 5. ED. BELO HORIZONTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, 1979. 96 P.

VEIGA, M. ROSÁRIO. **ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO DE PAREDES DE EDIFÍCIOS ANTIGOS: CARACTERÍSTICAS E CAMPO DE APLICAÇÃO DE ALGUMAS FORMULAÇÕES CORRENTES**. IN: ENCONTRO SOBRE CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2003, LISBOA. **ATAS...** LISBOA: LNEC, 2003. P. 927-934.

VELLOZO, D. S. **ARQUITETURA MILITAR OU FORTIFICAÇÃO MODERNA**. ORGANIZAÇÃO E COMENTÁRIOS: MÁRIO MENDONÇA DE OLIVEIRA. SALVADOR: EDUFBA, 2005. 370 P.

VENTOLÀ, L.; VENDRELL, M.; GIRALDEZ, P.; MERINO, L. TRADITIONAL ORGANIC ADDITIVES IMPROVE LIME MORTARS: NEW OLD MATERIALS FOR RESTORATION AND BUILDING NATURAL STONE FABRICS. **CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS**. V. 25, N. 8. P. 3313-3318, AGO. 2011

VERÍSSIMO, J. **A PESCA NA AMAZÔNIA**. RIO DE JANEIRO: TYPOGRAPHIA CONFIANÇA, 1895.

VERÇOZA, E. J. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**. 4 PORTO ALEGRE: PUC - EDITORA SAGRA, 1987. 153 P.

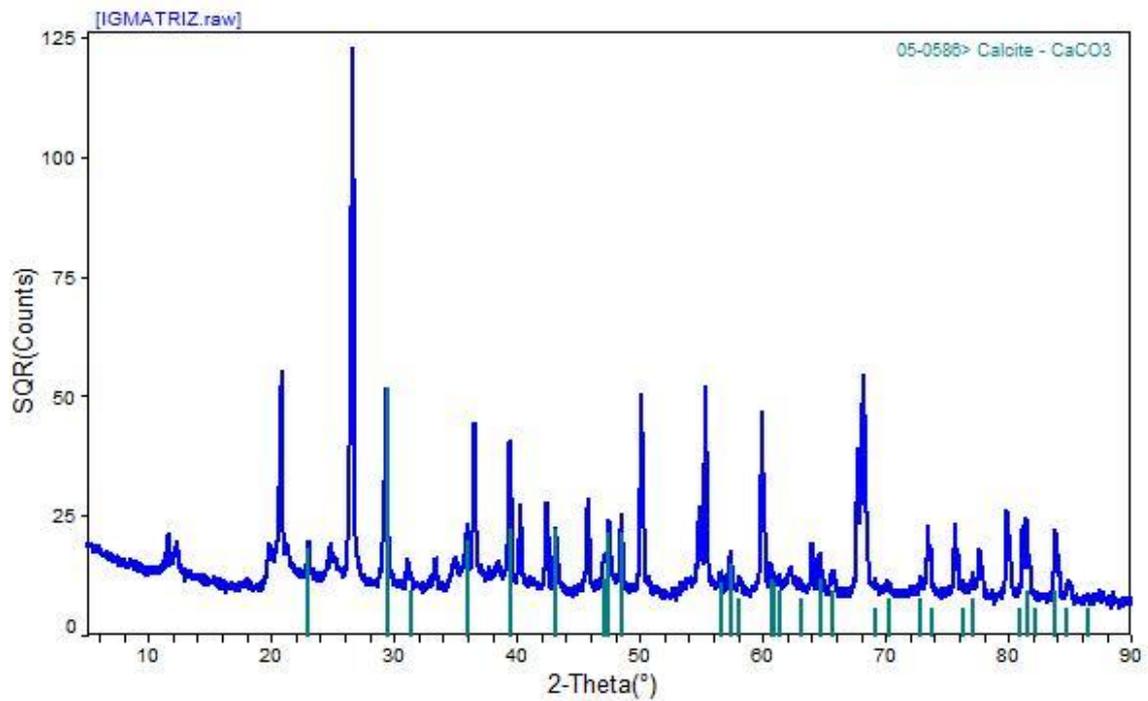
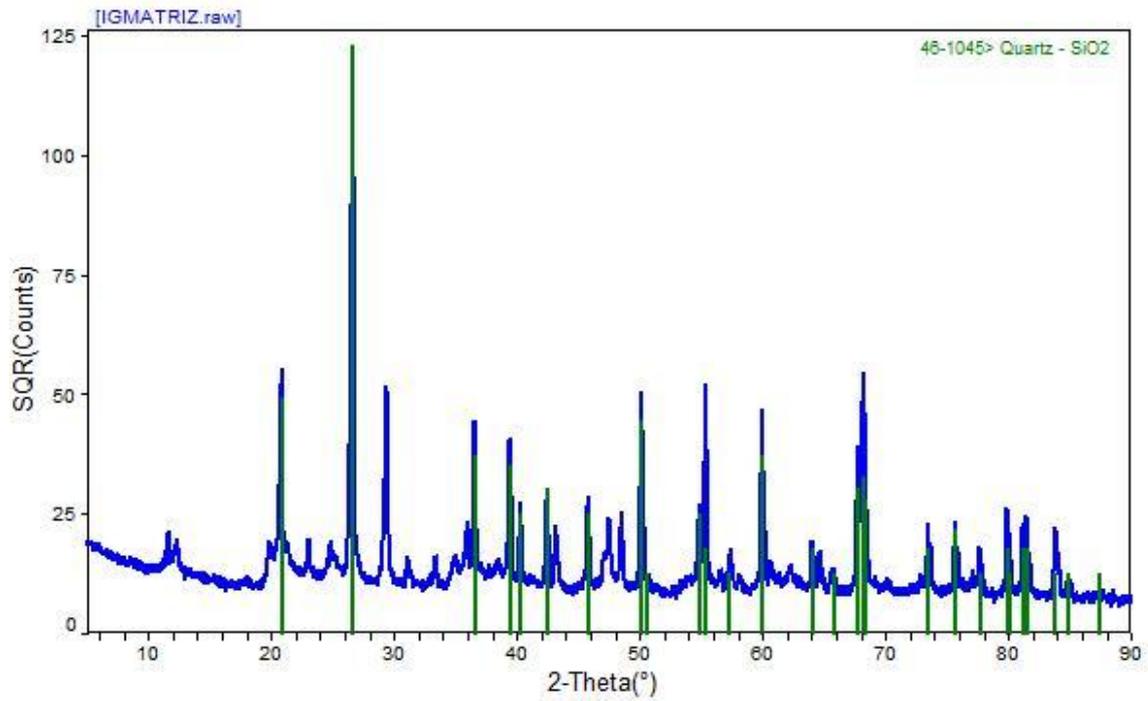
VINAS, R.; VINAS, S.; ATHIAS, G. A BELEZA SECULAR DE UM PATRIMÔNIO QUE DEVE SER PRESERVADO. **REVISTA VER-O-PARÁ**. ED. VER. 1993. ANO II, N. 2, P. 10-11

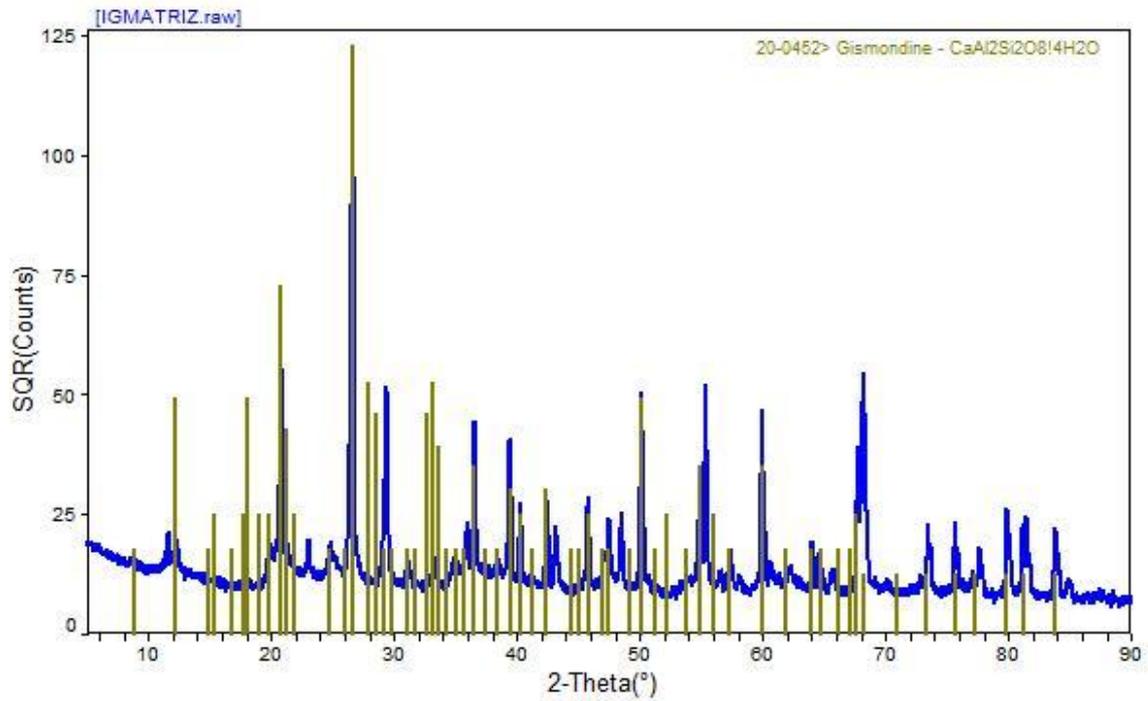
VITRÚVIO, M. L. **TRATADO DE ARQUITETURA**. TRADUÇÃO, INTRODUÇÃO E NOTAS: M. JUSTINO MACIEL. SÃO PAULO: MARTINS, 2007. (COLEÇÃO TODAS AS ARTES).

APÊNDICES

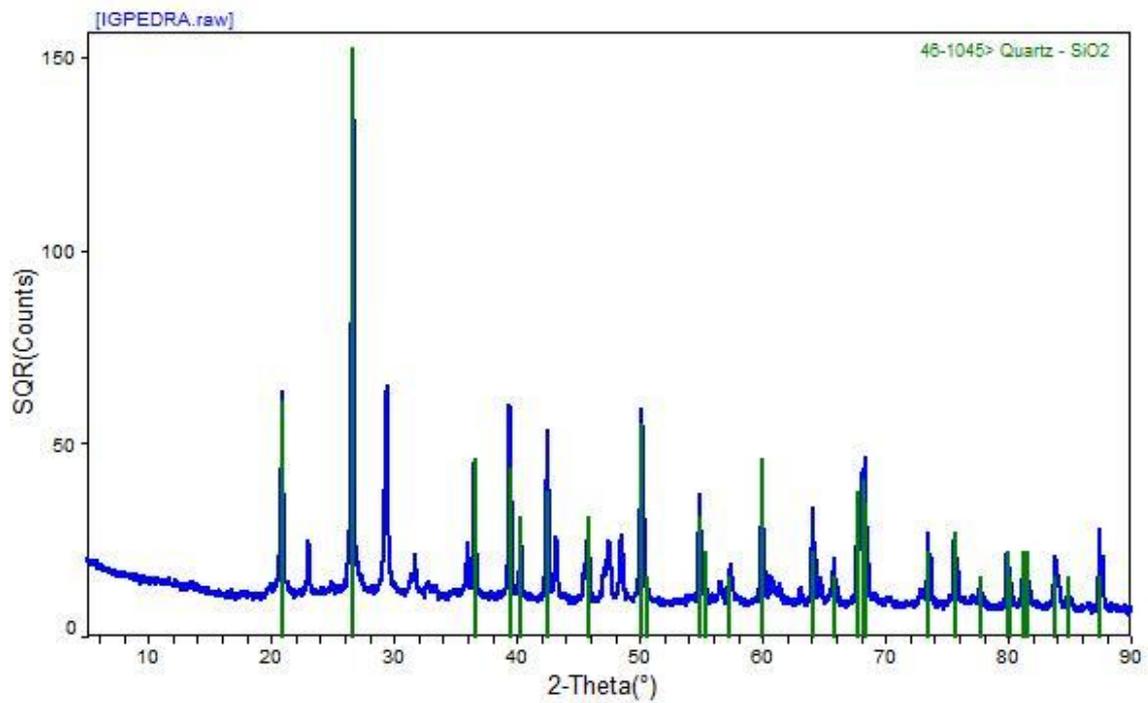
APÊNDICE A: Difratoogramas (USP)

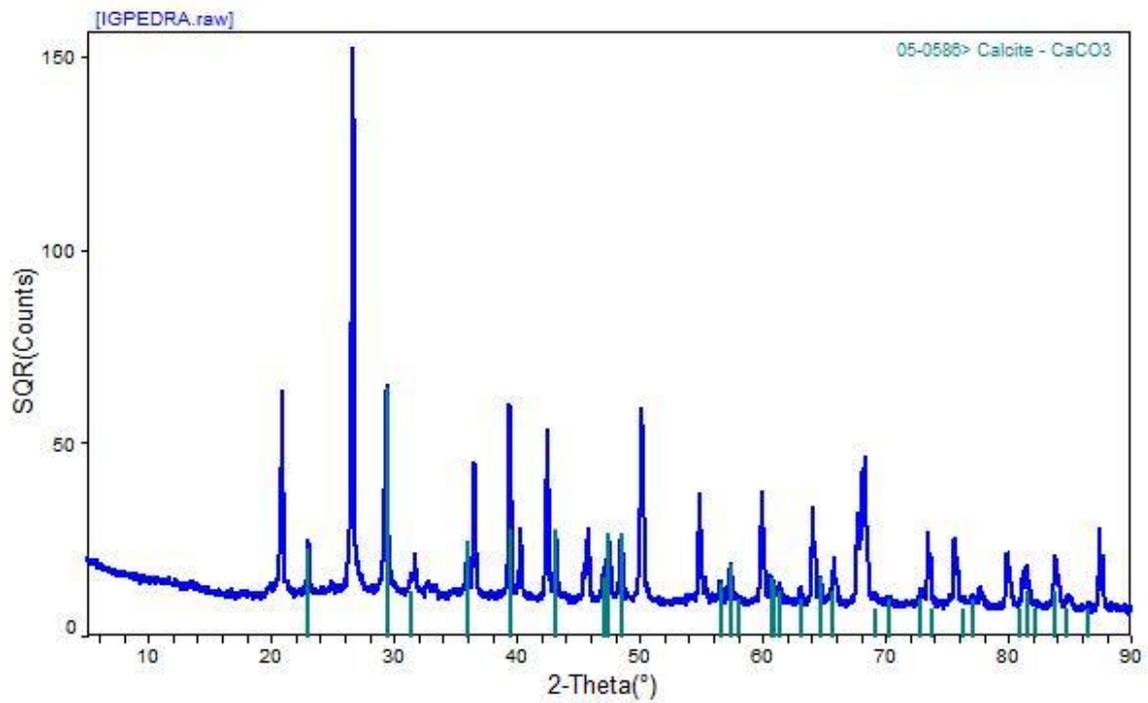
Grupo 1 → Igreja Matriz – Vigia/PA



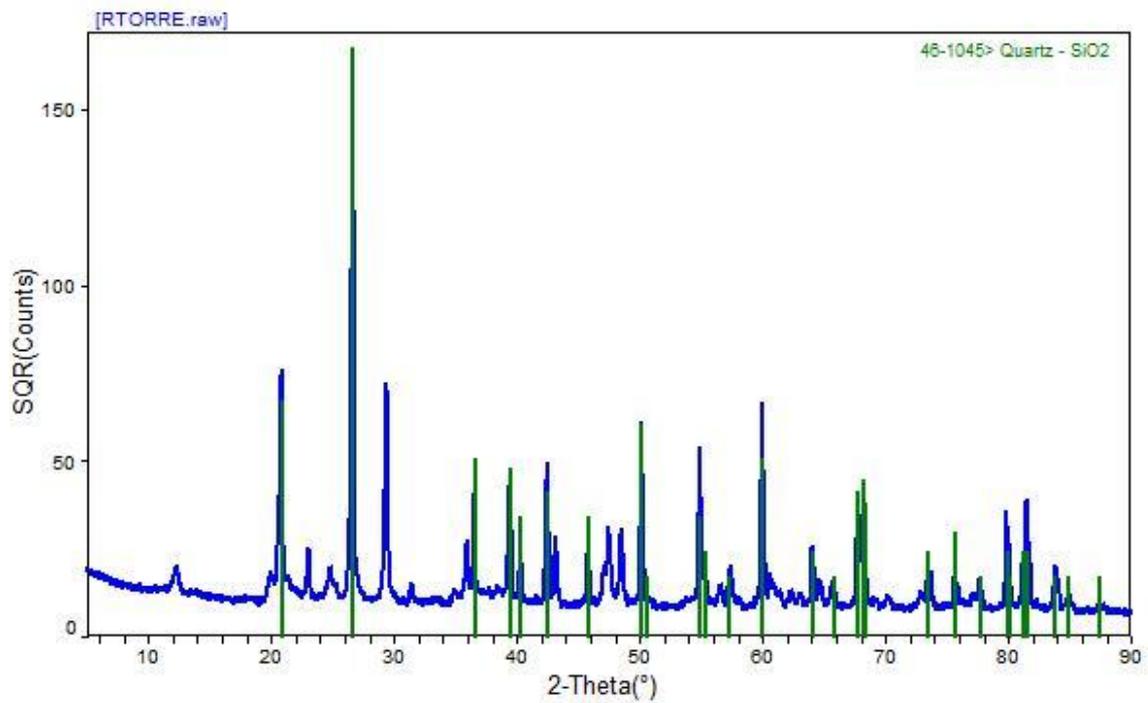


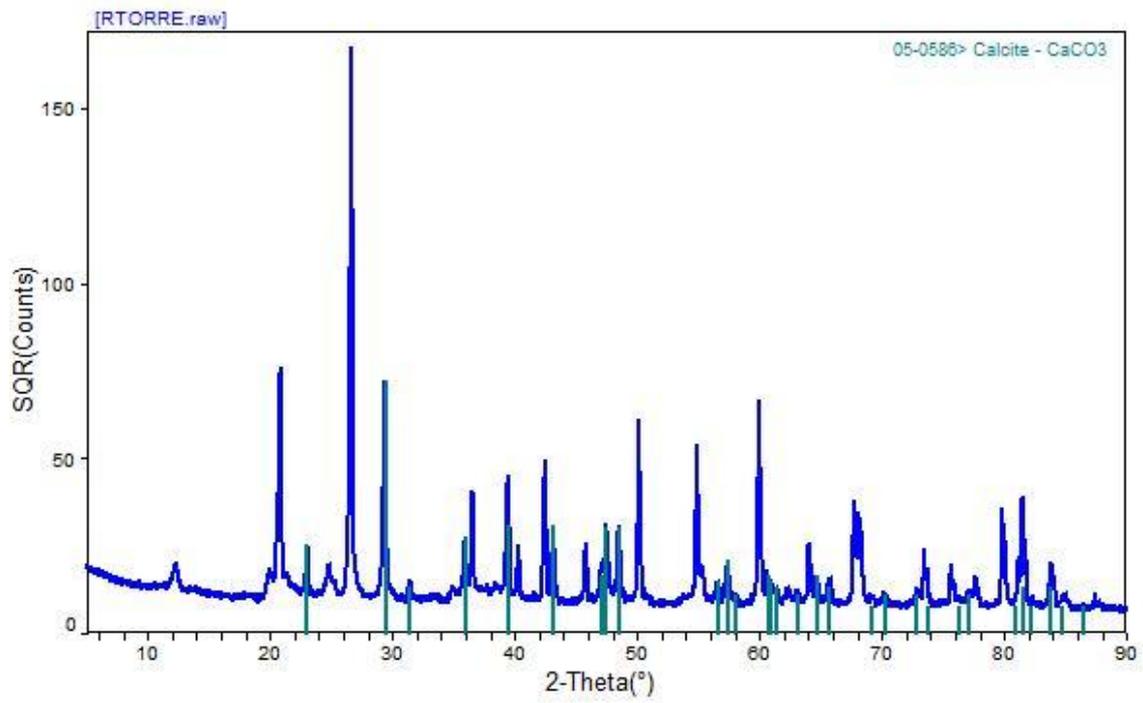
Grupo 2 → Igreja de Pedra – Vigia/PA

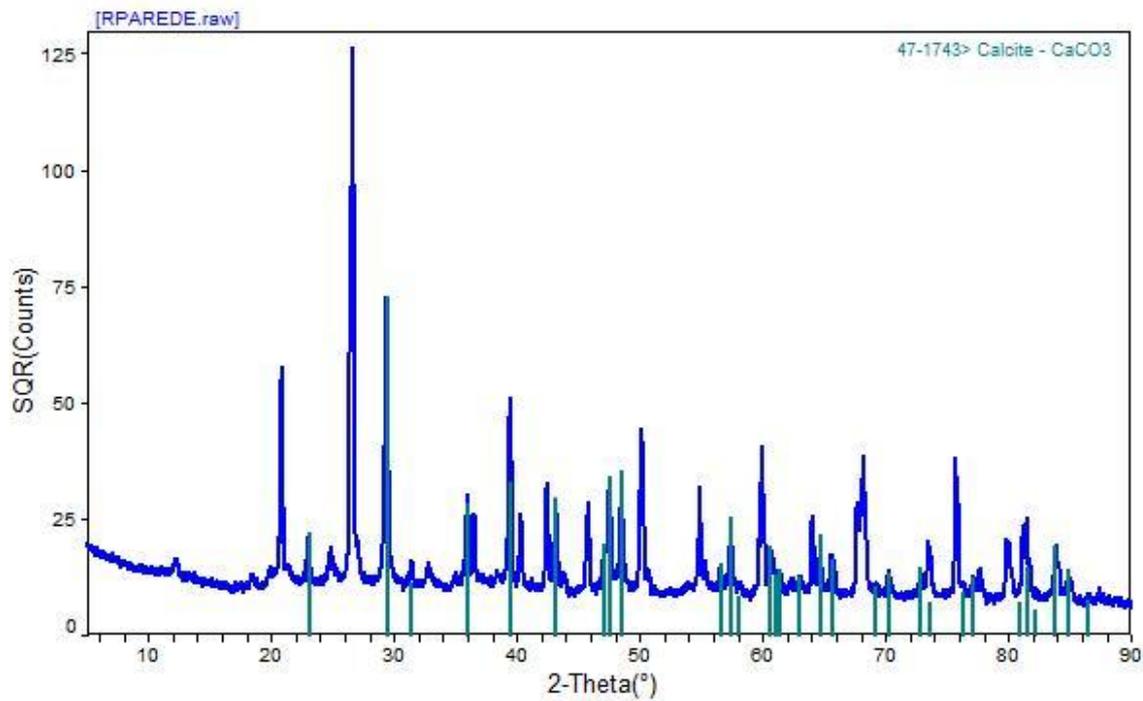
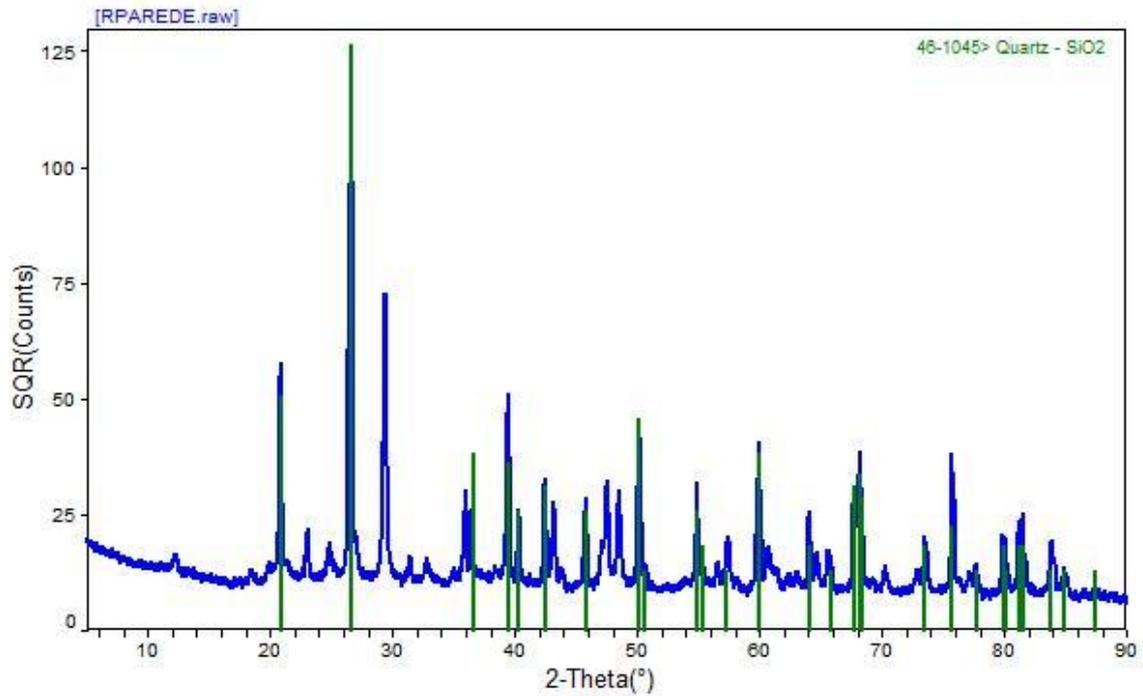


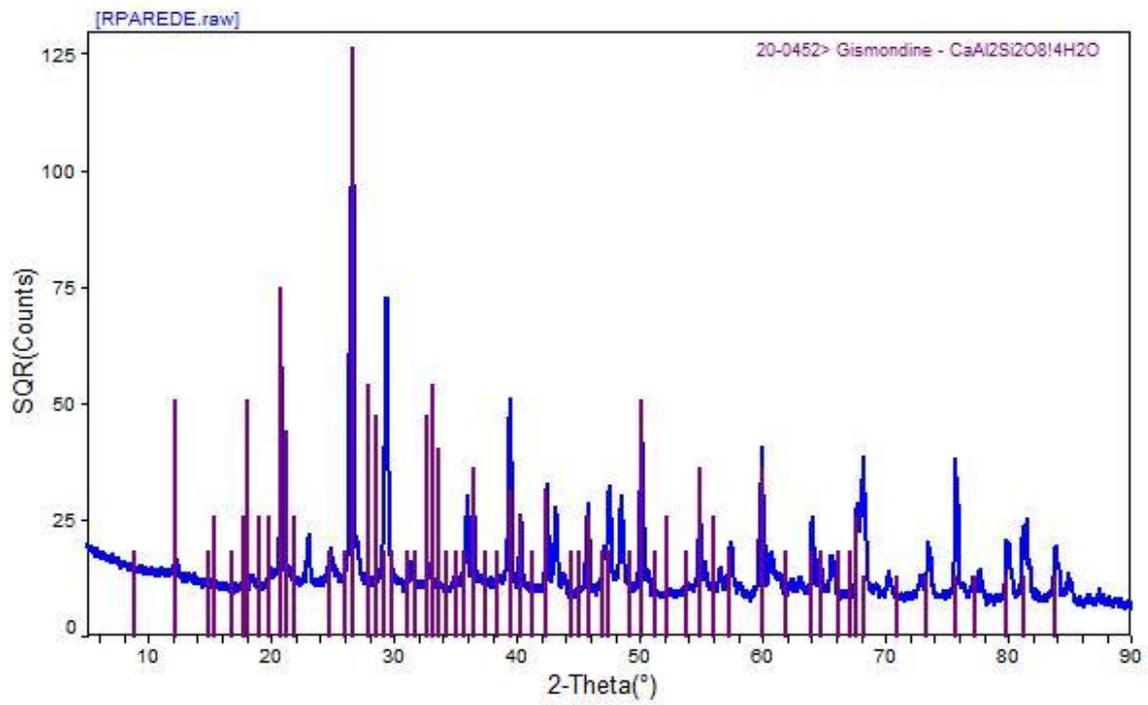


Grupo 3 → Ruínas (Torre) – Joanes/PA





Grupo 4 → Ruínas (Parede) – Joanes/PA



APÊNDICE B: Laudo infravermelho



Universidade Federal de Minas Gerais



Centro de Conservação e Restauração
de Bens Culturais Móveis

LACICOR - Laboratório de Ciência da Conservação

RELATÓRIO DE ANÁLISES

Título da Dissertação: Adição do grude da gurijuba nas argamassas de cal: investigação histórica e científica

Materiais analisados

- ✓ AM-01: Amostra de argamassa retirada da Igreja de Pedra (Vigia - PA);
- ✓ AM-02: Argamassa de referência (laboratório);
- ✓ AM-03: Amostra Ruínas - Torre (Joanes - PA);
- ✓ AM-04: Ruínas - Parede maior (Joanes - PA);
- ✓ AM-05: Amostra de argamassa retirada da Igreja Matriz (Vigia - PA)

Data da coleta:

- ✓ 17/09/2010: AM-01 (Igreja de Pedra) e AM-05 (Igreja Matriz)
- ✓ 12/02/2011: AM-03 (Torre) e AM-04 (Parede)

Local das coletas

Municípios de Vigia e Joanes – Estado do Pará.

Contatos

Manuella de Araújo Souza

Mestranda da Faculdade de Arquitetura (PPGAU)

Universidade Federal da Bahia

Rua Araújo Pinho, nº 212 – Bairro Canela – CEP:40.110-150 – Salvador/BA.

Orientador: Cybèle Celestino Santiago

Programa: Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo - PPGAU/UFBA

Responsável pela amostragem: Manuella de Araújo Souza

Solicitante: Manuella de Araújo Souza

Responsabilidade técnica:

Prof. Dr. Luiz Antonio Cruz Souza

Doutor em Ciências – Química – Professor Associado

Coordenador do LACICOR – Laboratório de Ciências da Conservação

Departamento de Artes Plásticas/CECOR, Escola de Belas Artes da

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG

Tel/Fax (31) 3409 5375

e-mail: luiz-souza@ufmg.br

Objetivos: Identificar o aglutinante presente nas amostras.

Metodologia

Coleta de amostras de pontos específicos para solução de questões referentes à mesma;

Identificação dos aglutinantes nos materiais enviados

Métodos analíticos

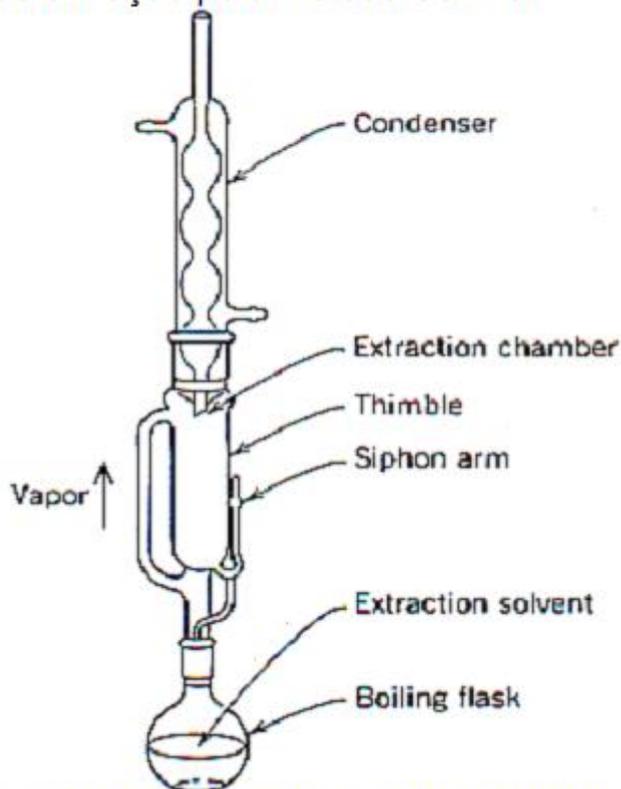
Os métodos analíticos utilizados foram:

- 1) Extração do aglutinante pelo método Soxhlet;
- 2) Espectrometria na região do Infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).

O extrator de Soxhlet é usado para extrações de amostras sólidas por um solvente quente. A amostra finamente triturada é empacotada em um papel de filtro resistente, que por sua vez é colocado no interior do aparelho de Soxhlet; logo após conecta-se um balão contendo o solvente de extração e um condensador de refluxo. Depois da montagem da aparelhagem inicia-se o aquecimento do balão com solvente de extração, cujo vapor sobe pela conexão e, ao entrar em contato com o condensador, se liquefaz caindo no cilindro, no qual a amostra se encontra, e lentamente enche-o. Ao preencher totalmente o cilindro, o solvente, já com a substância a ser extraída, é sifonado para o balão onde o solvente encontrava-se inicialmente, e o processo se reinicia até que a extração seja completa.

Após a extração, as amostras foram secas em estufa a 60°C, durante 1 hora, resfriadas em atmosfera inerte e então analisadas via espectrometria na região do infravermelho.

Figura 1 - Esquema de extração pelo método Soxhlet



Referência: <http://www.gmc.ufsc.br/organica/exp7/solido.html>

A espectrometria no infravermelho consiste em se capturar um espectro vibracional da amostra através da incidência, sobre a mesma, de um feixe de ondas na região do infravermelho médio (4000 a 400 cm^{-1}). A análise do espectro obtido permite identificar os materiais presentes na amostra pelo estudo das regiões de absorção e pela comparação com espectros padrão.

Resultados

Tabela 1 - Relação das amostras retiradas e materiais identificados

<i>Local de Amostragem</i>	<i>Amostra</i>	<i>Aglutinante</i>
Igreja de Pedra (Vigia-PA)	AM-01	
Argamassa de referência (laboratório)	AM-02	Cola de gurijuba
Ruínas - Torre (Joanes - PA)	AM-03	
Ruínas - Parede maior (Joanes - PA)	AM-04	
Igreja Matriz (Vigia-PA)	AM-05	

Conclusões

Em todos os espectros podem ser observadas bandas características de proteínas, também encontradas em espectros de referência de cola de esturção (bandas $\sim 1640\text{ cm}^{-1}$, 1580 cm^{-1} , 1400 cm^{-1} , sendo a primeira a mais importante), não podendo afirmar que seja de gurijuba. Observam-se outras bandas nos espectros que precisam de mais estudos. As amostras são muito higroscópicas, muitas vezes dificultando uma boa resolução dos espectros, sendo que a amostra 5 não apresentou um espectro definido.

Anexo: Espectros de FTIR das amostras analisadas

Prof. Luiz A. C. Souza
Dr. em Ciências – Química
Cientista da Conservação

Figura 2 - Amostra 1 + Amostra 2

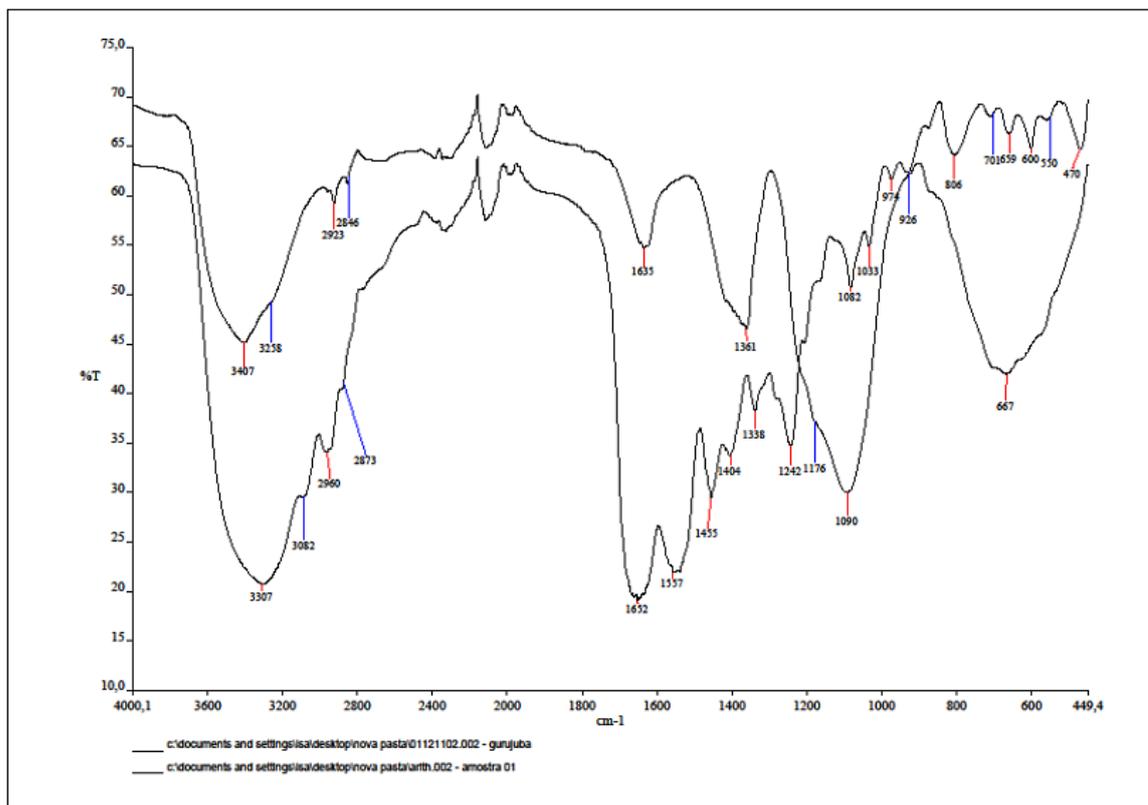


Figura 3 - Amostra 3 + Amostra 2

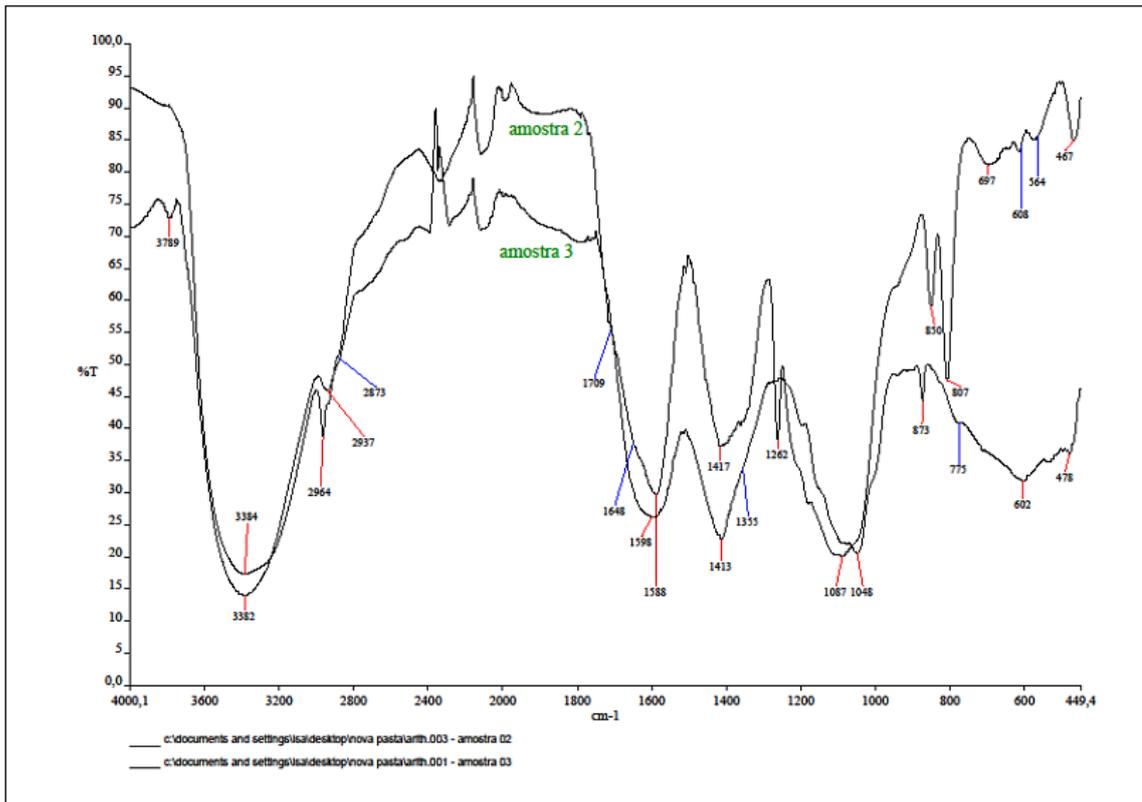
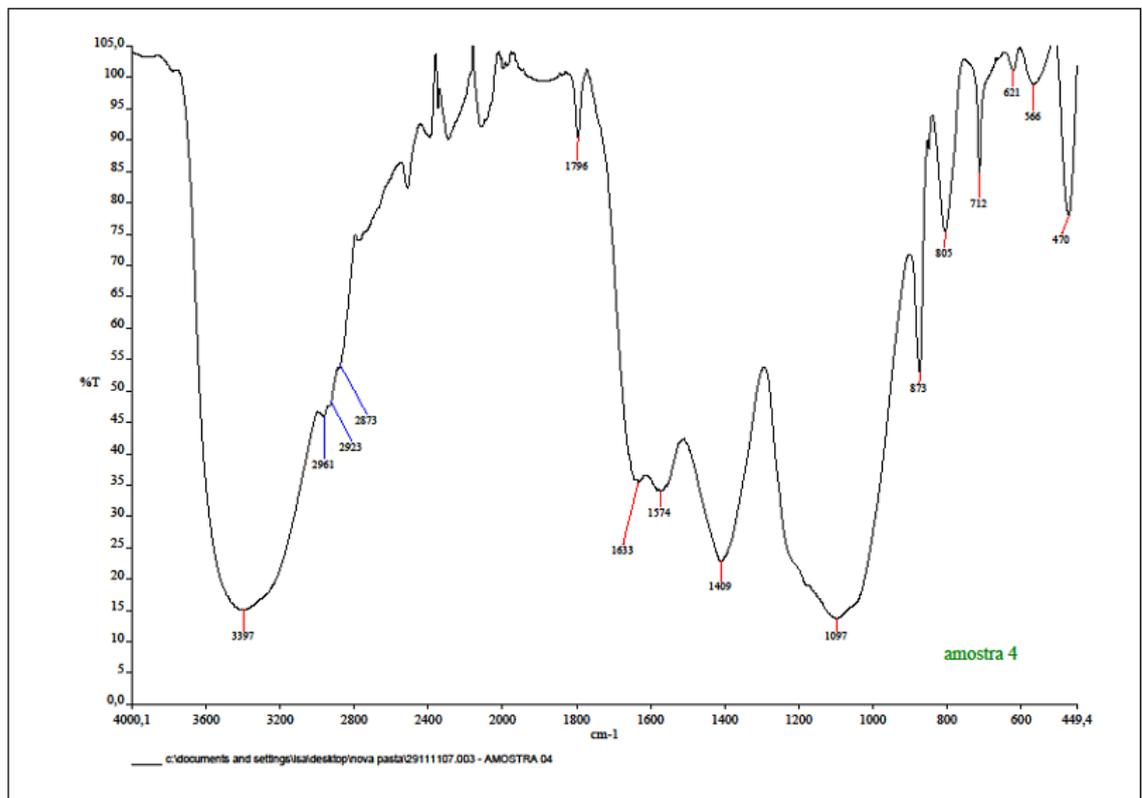


Figura 4 - Amostra 4



ANEXOS

ANEXO A: Procedimentos laboratoriais

Procedimento 1: ENSAIO SIMPLES DE ARGAMASSA - Determinação do traço provável

OBJETIVO:

Este ensaio tem como objetivo a determinação do proporção dos componentes da argamassa de cal analisada: o ligante (Ca(OH)_2 e/ou Mg(OH)_2) transformados em carbonatos), os finos (argila e/ou silte) e os grossos (areia). Determina-se também o traço provável.

REAGENTES:

- 1- Ácido Clorídrico P. A.
- 2- Solução de HCl 1:4

EQUIPAMENTOS, VIDRARIA E MATERIAIS:

- 1- Estufa regulada para $75 \pm 0,5^\circ\text{C}$
- 2- Balança analítica digital
- 3- Espátula
- 4- Bequer de 150ml
- 5- Bastão de vidro
- 6- Proveta de 100ml
- 7- Funil
- 8- Erlenmeyer de 125ml
- 9- Papel de filtro quantitativo faixa branca, ϕ 12,5 cm.
- 10- Gral de porcelana com pistilo
- 11- Dessecador

PROCEDIMENTO:

- 1- Moer a amostra de forma a não quebrar os grãos de areia, em um geral de porcelana.
- 2- Colocar para secar em estufa a temperatura de aproximadamente 75°C, por cerca de 24 horas.
- 3- Pesar com precisão aproximadamente 10g da amostra em balança analítica.
- 4- Colocar em um bequer de 150ml previamente pesado e depois umedecer com água deionizada.
- 5- Adicionar cerca de 80ml de HCl 1:4, com uma proveta.
- 6- Deixar em digestão até que todo o ligante tenha sido dissolvido. Para verificar se o ligante já foi dissolvido completamente, colocar umas gotas de HCl concentrado e observar se ainda há formação de bolhas. Em caso afirmativo, colocar mais ácido, até que isto não mais ocorra.
- 7- Adicionar cuidadosamente água deionizada sobre o material e agitar o béquer para que as partículas finas fiquem em suspensão.
- 8- Em seguida despejar cuidadosamente o líquido com o material suspenso sobre o papel de filtro, previamente pesado, tendo o cuidado para não deixar que as partículas maiores também passem.
- 9- Repetir o procedimento anterior até que a água de lavagem saia limpa.
- 10- Colocar o papel de filtro com os finos e o béquer com os grossos em estufa, a temperatura de 75°C por cerca de 24 horas.
- 11- Esfriar em dessecador e pesar em balança analítica.
- 12- Calcular a % de finos , % grossos e % ligante e o traço provável da argamassa, conforme fórmulas abaixo e folha de cálculos.

OBSERVAÇÕES:

- a) Este método é específico para argamassas de cal.
- b) Nas argamassas ditas “bastardas”, parte da areia encontrada (grossos) poderá ser oriunda do solo utilizado.
- c) Através de observações experimentais e outro teste de presença de sulfato, pode-se identificar o traço aproximado em argamassas de cimento.

FOLHA DE CÁLCULOS PARA ENSAIO DE ARGAMASSA

Amostra:

Data:

FINOS (argila e/ou silte)

- a) Peso do papel de filtro:
- b) Peso do papel de filtro + resíduo:
- c) Peso dos finos encontrados: (b - a)
- d) Percentagem sobre a massa total:

GROSSOS (areia)

- a) Peso do bequer:
- b) Peso do bequer + resíduo:
- c) Peso da areia encontrada: (b - a)
- d) Percentagem sobre a massa total:

LIGANTE (resíduo solúvel)

- a) % Ligante = $100 - (\%F + \%G)$
- b) Peso do carbonato:
- c) Peso do hidróxido:

TRAÇO PROVÁVEL DA ARGAMASSA:

Peso do hidróxido : Peso dos finos : Peso dos Grossos

Peso do hidróxido : Peso do hidróxido : Peso do hidróxido

Procedimento 2: GRANULOMETRIA DO AGREGADO APÓS ATAQUE ÁCIDO E REMOÇÃO DOS FINOS**PROCEDIMENTO:**

- 1) Pesar o conjunto de peneiras limpas e secas.
- 2) Peneiras de n. 16, 35, 60, 100 e 200; anotando o peso de cada peneira.
- 3) Pesar aproximadamente de 10 a 20g da amostra seca.
- 4) Adicionar a amostra, à peneira de menor número, com o conjunto de peneiras montado em ordem crescente.
- 5) Agitar o conjunto manualmente por 5 min.
- 6) Pesar os conjuntos: peneira + amostra.
- 7) Preencher os dados na tabela de cada amostra.
- 8) Calcular a % retida da amostra em cada peneira
- 9) Traçar a curva granulométrica.

Procedimento 3: TESTES QUALITATIVOS DE SAIS SOLÚVEIS**1 – NITRATO**

- a) Pesar cerca de 10g da amostra moída e seca, para um béquer de 150ml.
- b) Colocar aproximadamente 80 ml de água deionizada. E mais 20 ml para lavagem do bequer. Proporção 10g / 100ml.
- c) Agitar com um bastão de vidro e filtrar para um papel de filtro em um funil.
- d) Recolher o filtrado num erlenmayer.
- e) Se o filtrado estiver turvo, centrifugar por 5 min.
- f) Colocar um pouco do filtrado límpido numa placa de toque.
- g) Adicionar cinco gotas do reativo: 1% Difenilamina em H₂SO₄ conc.
- h) Verificar o aparecimento de uma coloração azul indicativa de nitrato.
- i) Fazer um teste em branco com água deionizada.

2 – CLORETO

- a) Colocar um pouco do filtrado do ítem anterior em um tubo de ensaio.
- b) Usar outro tubo para o teste em branco com água deionizada.
- c) Adicionar aos tubos cinco gotas de HNO₃ concentrado.
- d) Adicionar também cinco gotas da solução : 1% AgNO₃ em água deionizada.
- e) Verificar o aparecimento de um precipitado branco (turvação) indicativo da presença de cloreto. Precipitado de AgCl.
- f) Comparar com o ensaio em branco do outro tubo.

3 – SULFATO

- a) Colocar um pouco do filtrado do ítem 1 em um tubo de ensaio.
- b) Usar outro tubo para o teste em branco com água deionizada.
- c) Adicionar aos tubos, cinco gotas de HCl concentrado.
- d) Em seguida, adicionar cinco gotas da solução: 5% BaCl₂ em água deionizada.
- e) Verificar o aparecimento de uma turvação indicativa da presença de sulfato.
Precipitado de BaSO₄ .
- f) Comparar com o ensaio em branco.

RESULTADOS

Legenda:

- = ausência
- + = pequena quantidade
- ++ = média quantidade
- +++ = grande quantidade

Procedimento 4: MASSA UNITÁRIA*

Finalidade: Descrição de um método que permite medir a massa unitária fazendo uso de parte do equipamento empregado pela porosimetria a mercúrio.

*Adaptação da norma italiana NORMAL 4/80

- 1) Definição da propriedade medida

Relação entre a massa e o volume aparente da amostra.

Pelo volume aparente entende-se o volume limitado pela superfície externa da amostra.

2) Procedimento de medida

Com o método de medida em questão, a massa unitária é definida pela fórmula seguinte:

$$\rho_a = \frac{M_3}{M_1 - M_2 + M_3} \rho_{Hg} \quad (1)$$

Onde:

ρ_a = Massa volumétrica aparente da amostra (g/cm³)

ρ_{Hg} = Densidade do mercúrio (g/cm³)

M1 = Massa do picnômetro cheio de mercúrio (g)

M2 = Massa do picnômetro cheio de mercúrio + amostra (g)

M3 = Massa da amostra seca (g)

2.1) Procedimento da medida

A determinação da massa unitária pode ser efetuada utilizando a primeira fase da mistura da distribuição do volume do poro (v. Normal 4/80).

Após seca, resfriada e pesada, a amostra é colocada no picnômetro e conectada à bomba de vácuo. Mantém-se um vácuo constante por 15 minutos, de modo a obter uma boa retirada de ar da amostra.

Introduz-se o mercúrio no picnômetro até o seu nível coincidir com um nível de referência, previamente traçado no capilar do picnômetro. Desconecta-se a bomba, reestabelece-se a pressão atmosférica e pesa-se o picnômetro determinando desta forma M'2.

A determinação de M'1 é feita de modo análogo.

M'1 e M'2 são as massas que figuram na fórmula (1) sem a correção que é feita segundo o parágrafo sucessivo.

2.2) Correção pela determinação de M1 e M2

A fim de reduzir o erro devido à não coincidência perfeita do menisco de mercúrio com o nível de referência do capilar do picnômetro, procede-se a uma correção do seguinte modo.

O nível de mercúrio no capilar vem observado com um catetômetro. Se o menisco de mercúrio não coincide com o nível de referência do capilar, executam-se duas leituras com o catetômetro: uma do nível de referência do capilar (l_t) e uma do menisco do mercúrio (l_m).

A correção C a ser considerada será dada por:

$$\pm C = A \cdot \rho_{Hg} \cdot (\pm \Delta l) \quad (2)$$

Donde:

A = seção do capilar (cm^2)

ρ_{Hg} = densidade do mercúrio (g/cm^3)

$\pm \Delta l = l_t + l_m$ (cm).

As massas M_1 e M_2 constantes da fórmula (1) são conseqüentemente dadas por:

$$M_1 = M'_1 \pm C \quad (3)$$

$$M_2 = M'_2 \pm C$$

3) Elaboração dos resultados

3.1) Cálculo

O cálculo da massa unitária é efetuado aplicando-se a fórmula (1)

3.2) Erros

O erro relativo na medida da massa unitária é dado por:

$$\frac{\Delta\rho_a}{\rho_a} = \frac{\Delta M_3}{M_3} + \frac{\Delta M_1}{M_1 - M_2 + M_3} + \frac{\Delta M_2}{M_1 - M_2 + M_3} + \frac{\Delta M_3}{M_1 - M_2 + M_3} \quad (4)$$

e é da ordem de 1%.