



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DAS CONSTRUÇÕES E ESTRUTURAS

ANTÔNIO HELSON SILVA DE OLIVEIRA

**TIPOLOGIA DA FISSURAÇÃO EM EDIFICAÇÃO DA ARQUITETURA LUSO-
MARANHENSE: estudo de caso**

São Luís
2018

ANTÔNIO HELSON SILVA DE OLIVEIRA

**TIPOLOGIA DA FISSURAÇÃO EM EDIFICAÇÃO DA ARQUITETURA LUSO-
MARANHENSE: estudo de caso**

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Aurélio Barros Aguiar

Coorientadora: Prof. Msc. Tayana do Nascimento Santana Campos Figueiredo

São Luís

2018

Oliveira, Antônio Helson Silva de.

Tipologia da fissuração em edificação da arquitetura luso-maranhense: estudo de caso / Antônio Helson Silva de Oliveira. – São Luís, 2018.

74 f...

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Aurélio Barros Aguiar.

1. Fissuras. 2. Alvenarias. 3. Estruturas de concreto. I. Título.

CDU 624.012.4(812.1)

ANTÔNIO HELSON SILVA DE OLIVEIRA

**TIPOLOGIA DA FISSURAÇÃO EM EDIFICAÇÃO DA ARQUITETURA LUSO-
MARANHENSE: estudo de caso**

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil

Aprovada em: 26 / 06 / 2018

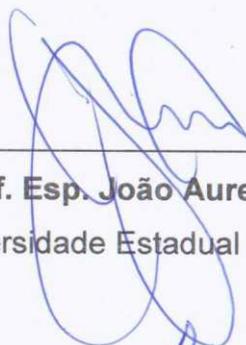
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Eduardo Aurélio Barros Aguiar
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA



Prof. Msc. Tayana do Nascimento Santana Campos Figueiredo
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA



Prof. Esp. João Aureliano de Lima Filho
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA



Prof. Esp. José Tadeu Moura Serra
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, manifesto humildemente o quanto sou grato a Deus pela infinita graça e misericórdia alcançada na minha trajetória de vida e por sua bondade divina o tempo todo na minha vida. Em segundo lugar, a minha gratidão às famílias Oliveira e Trabulsi pelo apoio, confiança, carinho, incentivo, respeito as minhas decisões e por me fazer um cidadão do bem.

A família Oliveira, minha base e origem sou imensamente grato pela educação desde da minha infância até hoje, me ensinaram a respeitar as pessoas e ser um bom rapaz. Com isso, agradeço aos meus pais biológicos: Antônio e Elizandra; aos meus irmãos: Juliana, Antônio Filho, Gerliene e Eliene; e aos meus sobrinhos: Davi Felipe e Júlia.

A família Trabulsi, sou bastante grato pelo acolhimento e por sempre me ajudar na busca constante de um grande objetivo e sonho que será a minha graduação em Engenharia Civil. Assim sendo, sou grato aos meus avós adotivos: Farid e Jandaíra; aos meus pais adotivos: Tiago e Luciana; aos meus irmãos: Victor e Maithê; e aos meus tios: Chiara, Farid Filho e Rogério.

Não poderia deixar de agradecer a minha companheira de vida: Myrela, por está sempre comigo me fazendo um homem feliz e por me ajudar nos momentos de dificuldades.

A minha gratidão ao meu orientador e mentor professor Doutor Eduardo Aurélio Barros Aguiar pela amizade, pelas dicas e conselhos a mim confiados. Meu agradecimento a minha coorientadora professora Mestre Tayana Figueiredo pelo incentivo ao trabalho e por me conceder o seu imóvel particular (casarão) para que eu realizasse o estudo de caso.

Agradeço aos meus colegas de turma e professores pelo carinho e respeito que tiveram comigo ao longo desses 5 anos de curso. Por fim, agradeço a todos que me ajudaram de forma direta e indiretamente nesta caminhada que será a minha formação em engenheiro civil.

“Eis que vem a hora, e ela já veio, em que sereis espalhados, cada um para seu lado, e me deixareis sozinho. Mas não estou só, porque o pai está comigo.”

João 16.32

RESUMO

Esta monografia propõe uma reflexão sobre as patologias em uma edificação luso-maranhense. Nesse sentido será apresentada a ocorrência de fissuras em alvenarias e estruturas de concreto em um edifício no qual será objeto de estudo desse trabalho. As causas muitas vezes são desconhecidas, devido a enorme quantidade de fatores que se relacionam com estas. Muitos autores relatam que as fissuras levam vários nomes a depender da abertura, isto é, da espessura; podendo ser chamada de fissuras, trincas e rachaduras. De acordo com a NBR 15575 a fissura no substrato pode ser classificada em estática e dinâmica cuja amplitude é variável. Com base na grande ocorrência dessas patologias em alvenarias e estruturas de concreto como em pilares e vigas e o tratamento adequado justificam um excelente tema a ser abordado. O objetivo deste trabalho será definir as causas, consequências e os tratamentos das fissuras. Assim sendo, será feito um estudo de caso em um edifício em restauro arquitetônico do Centro Histórico de São Luís.

Palavras-Chave: Fissuras. Alvenarias. Estruturas de concreto.

ABSTRACT

This monograph proposes a reflection on the pathologies in a Portuguese-Maranhense building. In this sense, it will be presented the occurrence of cracks in masonry and concrete structures in a building in which it will be object of study of this work. The causes are often unknown, due to the sheer amount of factors that relate to these. Many authors report that fissures take several names depending on the aperture, that is, the thickness; and can be called cracks, cracks and cracks. According to NBR 15575 the crack in the substrate can be classified as static and dynamic whose amplitude is variable. Based on the great occurrence of these pathologies in masonry and concrete structures such as pillars and beams and the appropriate treatment justify an excellent topic to be addressed. The objective of this work will be to define the causes, consequences and treatments of fissures. Thus, a case study will be done in a building in an architectural restoration of the Historic Center of São Luís.

Keywords: Fissures. Masonry. Concrete structures.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da área de estudo: São Luís.....	14
Figura 2 – Demonstração de alvenaria de pedra (cangicado).....	19
Figura 3 – Ciclo da Cal.....	21
Figura 4 – Amostra I: Argamassa de Revestimento da Alvenaria de Pedra e Cal....	26
Figura 5 – Amostra II: Argamassa de Revestimento da Alvenaria de Pedra e Cal..	28
Figura 6 – Amostra III: Argamassa de Revestimento de parede interna da taipa....	30
Figura 7 – Escantilhão para auxiliar a execução de alvenaria de vedação.....	32
Figura 8 – Evolução média de resistência à compressão dos distintos tipos de Cimento Portland.....	41
Figura 9 – Mapa com localização do sobrado na Rua da Estrela.....	44
Figura 10 – Fachada do Casarão 559.....	44
Figura 11 – Planta térrea após a reabilitação completa do sobrado.....	46
Figura 12 – Fatores de influência na ocorrência de fissuras.....	47
Figura 13 – Esclerômetro utilizado em ensaio de esclerometria.....	56

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Área de estudo: Fachada do Casarão.....	14
Fotografia 2 – Pedra Rachão ou Cascalho.....	18
Fotografia 3 – Ensaio de granulometria da areia: demonstração.....	23
Fotografia 4 – Argamassa em estado de desagregação.....	24
Fotografia 5 – Argamassa da fachada comprometida após ataque ácido.....	26
Fotografia 6 – Argamassa do interior do casarão comprometida após ataque Ácido.....	29
Fotografia 7 – Argamassa de alvenaria de pedra e madeira.....	31
Fotografia 8 – Pilar de concreto com armadura parcialmente exposta.....	36
Fotografia 9 – Viga de concreto com danos estruturais.....	37
Fotografia 10 – Interior do sobrado (térreo)	45
Fotografia 11 – Fissuras de 0,50 mm de abertura.....	49
Fotografia 12 – Trincas em pilar e alvenaria de pedra com abertura de 0,8 e 0,9 mm.....	49

Fotografia 13 – Rachaduras em alvenaria de pedra acima de 2 mm de abertura...	50
Fotografia 14 – Pilares e viga comprometidos pela carbonatação.....	58
Fotografia 15 – Demolição e remoção de reboco de pilar P1.....	58
Fotografia 16 – Aplicação de fenolftaleína no pilar de concreto.....	59
Fotografia 17 – Estrutura de concreto totalmente carbonatada.....	59
Fotografia 18 – Enfatização da carbonatação – toda parte cinza.....	60
Fotografia 19 – Parte de concreto em bom estado (representado pela cor rosa)	60
Fotografia 20 – Execução de ensaio esclerométrico em pilar de concreto.....	61
Fotografia 21 – Fissuras em alvenarias por conta da falta de aderência.....	64
Fotografia 22 – Fissuras e trincas por conta do apodrecimento da madeira.....	65
Fotografia 23 – Fissuração em alvenarias de pedra com travamento de madeira	66
Fotografia 24 – Alvenaria de pedra argamassada com madeira.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exigências física da cal hidratada.....	21
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Amostra I: Curva granulométrica de agregado após ataque ácido e remoção de finos.....	27
Gráfico 2 – Amostra II: Curva granulométrica de agregado após ataque ácido e remoção de finos.....	28
Gráfico 3 – Amostra III: Curva granulométrica de agregado após ataque ácido e remoção de finos.....	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exigências químicas da cal hidratada.....	20
Quadro 2 – Numerologia de peneira de acordo com diâmetro.....	23
Quadro 3 – Amostra I: Granulometria do agregado após ataque ácido e remoção de finos.....	25

Quadro 4 – Amostra II: Granulometria do agregado após ataque ácido e remoção de finos.....	27
Quadro 5 – Amostra III: Granulometria do agregado após ataque ácido e remoção de finos.....	29
Quadro 6 – Composição de cimentos Portland comuns e compostos.....	40
Quadro 7 – Composição de cimentos Portland de alto-forno e pozolânicos.....	40
Quadro 8 – Tipos de fissuras de acordo com a abertura.....	48
Quadro 9 – Valores dos índices esclerométrico individuais do Pilar 1.....	61
Quadro 10 – Valores dos índices esclerométrico individuais do Pilar 2.....	62
Quadro 11 – Valores dos índices esclerométrico individuais do Pilar 3.....	63
Quadro 12 – Valores dos índices esclerométrico individuais da viga 1.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

% – Porcentagem

ASTM – American Society for Testing and Materials

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CaCO₃ – Carbonato de Cálcio

CaO – Cal

CCA – Cromo Cobre Arsênio

CO₂ – Dióxido de Carbono ou Gás Carbônico

C₂₀H₁₄O₄ – Fenofaleína em pó

H₂CO₃ – Ácido Carbônico

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

MgO – Óxido de Magnésio

SiO₂ – Dióxido de Silício

UEMA – Universidade Estadual do Maranhão

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa	12
1.2	Estruturação do trabalho	15
1.3	Objetivos	16
1.3.1	Objetivo Geral	16
1.3.2	Objetivos específicos.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Alvenaria de Pedra Argamassada	17
2.1.1	Conceituação	17
2.1.2	Materiais Constituintes da Alvenaria	18
2.1.2.1	Pedra.....	18
2.1.2.2	Cal.....	19
2.1.2.3	Agregado Miúdo	22
2.1.2.4	Argamassa de Assentamento e Revestimento.....	24
2.1.3	Alvenaria de tijolos cerâmicos	31
2.1.3.1	Verga e Contra-verga	31
2.1.3.2	Escantilhão.....	32
2.1.3.3	Juntas de amarração.....	33
2.1.3.4	Juntas a prumo.....	33
2.1.3.5	Ligação.....	33
2.1.3.6	Execução de alvenarias	33
2.1.4	Alvenarias de pedra e madeira (cruz de Santo André ou gaiola pombalina).....	33
2.2	Estruturas de Concreto	34
2.2.1	Conceituação	34
2.2.2	Tipos de elementos de concreto	36
2.2.2.1	Pilares	36
2.2.2.2	Vigas	37
2.2.3	Materiais Constituintes	38
2.2.3.1	Cimento Portland.....	38
2.2.3.2	Agregado graúdo.....	41
2.2.3.3	Aço	42

2.3	Caracterização do Sobrado 559	43
2.4	Tipologia da fissuração em Alvenarias e Estruturas de concreto	47
2.4.1	Definição	47
2.4.2	Tipos de fissuras, trincas e rachaduras	48
2.4.3	Aparecimento de fissuras, trincas e rachaduras – Causas.....	50
2.4.4	Aparecimento de fissuras, trincas e rachaduras – Medidas Preventivas e Corretivas	52
3	MATERIAIS E MÉTODOS	55
3.1	Materiais	55
3.2	Ensaio não destrutivo	55
3.3	Execução de ensaio esclerométrico	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
	REFERÊNCIAS	69
	ANEXOS	72
	ANEXO A - RECIPIENTE COM FENOLFTALEÍNA EM PÓ	73
	ANEXO B - VERIFICAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO POR MEIO DA APLICAÇÃO DE FENOLFTALEÍNA	73
	ANEXO C – ARMADURA EM ESTADO DE CORROSÃO	74
	ANEXO D - SIMULAÇÃO DA CARBONATAÇÃO EM CORPO DE PROVA NO LABORATÓRIO DE CONCRETO DA UEMA	74

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

Esta monografia intitulada **Tipologia da fissuração em edificação da arquitetura luso-maranhense** visa o estudo da patologia de grande ocorrência em alvenarias de pedra argamassada e estruturas de concreto que são as fissuras. Serão apresentados as origens, as causas e as técnicas mais recomendadas de recuperação desses problemas.

O estudo de caso será feito em um edifício luso-maranhense, que fica localizado na Rua da Estrela, número 559, no Centro Histórico de São Luís, cidade situada na Latitude de 2° 31' 48" S e Longitude de 44° 18' 10" W, sua população de acordo com o censo 2017/IBGE é de 1.091.868 habitantes e sua área territorial é 831,7 km².

As fissuras são um tipo comum de patologia nas edificações e podem interferir na estética, na durabilidade e nas características estruturais da obra. Tanto em alvenarias quanto nas estruturas de concreto, a fissura é originada por conta da atuação de tensões nos materiais. Quando a sollicitação é maior do que a capacidade de resistência do material, a fissura tem a tendência de aliviar suas tensões. Quanto maior for a restrição imposta ao movimento dos materiais, e quanto mais frágil ele for, maiores serão a magnitude e a intensidade da fissuração (CORSINI, 2010, edição 160).

Nos últimos anos, houve uma mudança significativa na maneira de construir, pois há um certo tempo as alvenarias além de serem utilizadas como elemento resistente (bloco estrutural e alvenaria de pedra argamassada), também eram utilizadas para vedação (fechamento de um ambiente) e sua estabilidade e resistência eram definidos em função de sua geometria.

Uma forma simples de minimizar os problemas de patologias em alvenarias é a atenção a ser dada na etapa de execução da obra, por exemplo evitar que a viga transmita peso para alvenaria de vedação, visto que a função desta é somente vedar o ambiente, quando acontece, portanto o desvio de função da alvenaria, começa a se ter o comprometimento com a parede. É necessário, portanto, repensar sobre a interação estrutura – vedações, para ganhar em qualidade e produtividade.

Outra ação efetiva para evitar as fissuras em alvenarias é a utilização de vergas e contra-vergas, isto é, são peças de concreto armado em forma de pequenas vigas que trabalham com o intuito de evitar que as portas e janelas sofram deformações por conta do peso da alvenaria.

Vale salientar que quando não são implantadas vergas e contra-vergas, o peso da alvenaria descarrega diretamente sobre o caixilho de portas e janelas, sendo esta um fator que pode provocar em sentido crescente de danos: fissuras (menor grau); trincas (grau intermediário) rachaduras (grau extremo). Essas últimas com potencial para gerar empenamento nas esquadrias.

A alvenaria desempenha duas funções importantes: uma é responder aos esforços vindos dos telhados e da laje, nesse caso, são denominadas alvenarias estruturais e outro papel é o de vedar, isto é, o fechamento dos ambientes de um edifício, sendo caracterizado nesse caso de alvenaria de vedação.

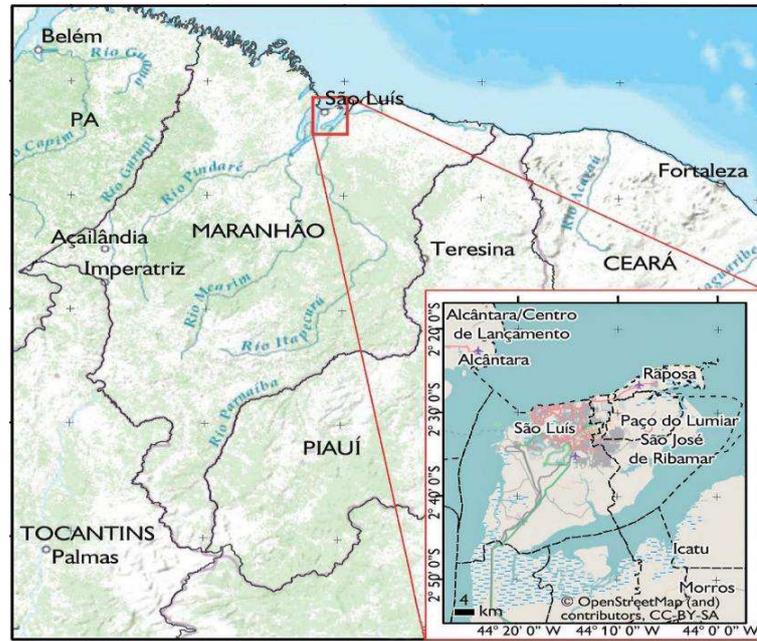
Em função da grande procura de soluções sobre o tema justifica-se estudar as patologias inerentes às alvenarias, e às formas que levam o surgimento das mesmas. Permitir a avaliação e a aplicação de medidas preventivas e corretivas, baseadas em conhecimentos científicos e ferramentas de tratamento dessas patologias

Nas alvenarias serão estudadas as patologias inerentes ao comportamento do material, fissuras oriundas da interação pedra – argamassa - madeira, com ênfase nos mecanismos que geram a fissuração. Dentre muitos mecanismos estão as variações térmicas que provocam a dilatação das paredes dos elementos construtivos e dos diversos materiais que a compõem, gerando tensões significativas, as quais desencadeiam diversas patologias.

As sobrecargas excessivas são danosas as alvenarias estruturais, o excesso destas nas estruturas provoca fissuras e deterioração da mesma. Ao longo da vida útil a estrutura com o excesso de carga pode vir ao colapso, nesse sentido as fissuras informam aos responsáveis técnicos os cuidados e tratamentos que se devem tomar para resolver os problemas inerentes a essa causa.

Tomando como base a alvenaria de pedra argamassada do casarão será feito uma avaliação das fissuras, isto é, estudo minucioso das causas, efeitos e o tratamento decorrentes da fissuração.

Figura 1 – Mapa da área de estudo: São Luís.



Fonte: BANDEIRA *et al.* (2016).

Fotografia 1 – Área de estudo: fachada do sobrado 559



Fonte: Registro fotográfico do Autor (2018).

1.2 Estruturação do trabalho

Para atingir os objetivos propostos, o tema é desenvolvido em 5 capítulos, introdução; referencial teórico; materiais e métodos; resultados e discussões e considerações finais.

No capítulo 2 apresenta-se o embasamento teórico da monografia fundamentado em pesquisas bibliográficas, conceitua-se alvenaria de pedra argamassada, os materiais que compõe a alvenaria de pedra argamassada, apresenta-se alvenaria de tijolos cerâmicos e alvenaria de pedra e madeira.

Em seguida é feito uma abordagem geral do concreto, dos materiais que estão na sua composição, aborda-se também o exemplar sobrado e finaliza com as causas, tipos, efeitos e recomendação de tratamentos das fissuras em alvenarias de pedra e estruturas de concreto.

No capítulo 3 cita-se os materiais que deram suporte para a eficácia do estudo de caso, como por exemplo: paquímetro, escada de madeira, martelo, máquina fotográfica e esclerômetro. Ainda neste capítulo trata-se dos métodos empregados desde da concepção das fissuras até a recomendação de tratamento.

No capítulo 4 são apresentados os resultados e faz-se uma discussão sobre os mesmos em busca de soluções para os problemas de fissuração em paredes de pedras argamassada com madeira e elementos estruturais de concreto como pilar e viga.

No capítulo 5 são feitas as considerações finais do trabalho, são ditas as soluções para os problemas de acordo com cada tipo de fissuração listados na monografia e presentes no objeto de estudo (Sobrado).

O estudo de caso será feito especificamente em um edifício luso-maranhense com localização no Centro Histórico da cidade São Luís que é chancelado mundialmente pela UNESCO, em nível federal tombado pelo o IPHAN desde 1974, em nível estadual é tombado desde 1986. Considerada Patrimônio Histórico da Humanidade por conta dos seus belíssimos casarões de azulejos que remete ao estilo pombalino.

1.3 Objetivos

Esta seção apresentará os objetivos deste trabalho, sendo estes apresentados de forma geral e específica.

1.3.1 Objetivo Geral

Estudar as causas, efeitos e tratamentos em um casarão do Centro Histórico que apresenta fissuras nas suas alvenarias e estruturas de concreto.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar os tipos de fissuras nas alvenarias e estruturas de concreto;
- Verificar as causas e os efeitos da fissuração em alvenarias e em pilares e vigas de concreto armado;
- Recomendar o tratamento adequado para o problema da fissuração em alvenaria de pedra e estruturas de concreto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Alvenaria de Pedra Argamassada

2.1.1 Conceituação

Define-se como uma estrutura feita com pedras duras (pedra rachão) e revestida com argamassa de cal, areia e barro. No estudo de caso, já foi verificado que as alvenarias foram confeccionadas de pedra, cal, areia, barro e madeira. Estas paredes possuem uma espessura de ordem dos 0,45 a 0,80 metro.

As construções em alvenaria da antiguidade vão desde o rudimentar empilhamento de fragmentos de rochas até as construções pesadas, espessas e rígidas dos templos e monumentos. Data de 10.000 a.C. a utilização de tijolos secos ao Sol nas construções persas e assírias (TRAMONTIN, 2005, pág. 06).

As alvenarias de pedras eram muito utilizadas em grande escala nas cidades litorâneas do Brasil, em virtude da quantidade de material presente na costa brasileira. A partir da política do café no Brasil, que passaram a surgir as primeiras alvenarias de tijolos e as primeiras olarias.

Somente nos anos 30 do século XX que surge o concreto armado que possibilitou as construções de estruturas que amarrassem as alvenarias. Nesse sentido, as alvenarias que antes tinham função estrutural, agora quem responde aos esforços solicitantes são as lajes, vigas e pilares confeccionadas de concreto armado; a alvenaria passou praticamente a ter função de proteção, isto é, vedação de um ambiente ou espaço.

A função da alvenaria é proteger o edifício e seus ambientes. Os requisitos que as alvenarias devem obedecer são a estanqueidade da água, o isolamento térmico e acústico, a resistência ao fogo, a estética, a durabilidade, a deformabilidade e a resistência mecânica.

O avanço das paredes de alvenarias acompanhou a evolução humana, diante da inteligência do homem, percebeu-se que o ser humano desde do princípio da história da humanidade sempre buscou melhores condições de vida, o acesso a moradia era então uma das preocupações do homem, assim sendo foi perceptível o

desenvolvimento das alvenarias ao longo do tempo, de pedra argamassada a tijolos cerâmicos.

Na edificação da arquitetura luso-maranhense era muito utilizado estruturas mistas alvenaria/madeira nas paredes principais. A madeira confere confinamento, resistência a flexão e garante o travamento total da alvenaria através da sua disposição na diagonal.

No sobrado em estudo, percebe-se que algumas das paredes principais sofreram um deslocamento da sua estrutura de madeira, por conta disso é perceptível o aparecimento de fissuras, trincas e rachaduras.

2.1.2 Materiais Constituintes da Alvenaria

2.1.2.1 Pedra

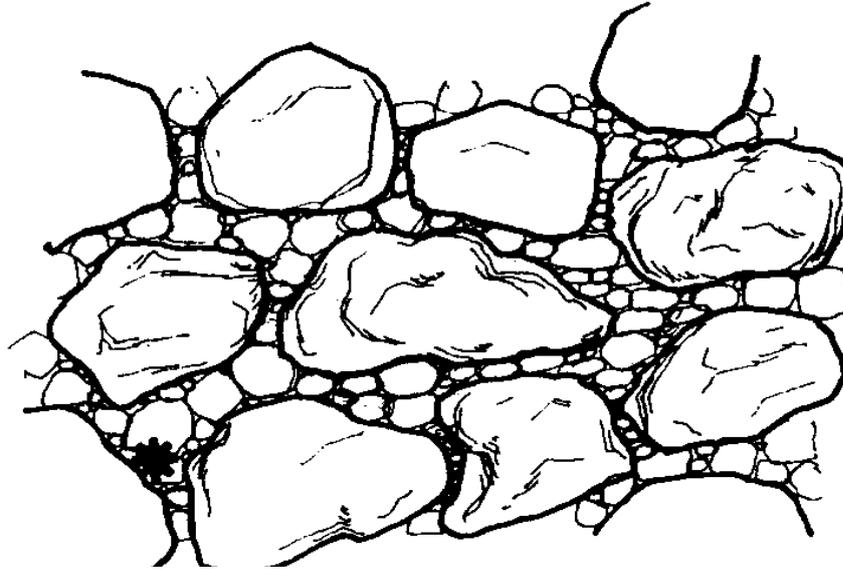
É um agregado sólido, isto é, uma rocha, é constituída por um ou mais minerais, pode ser chamado de fraga, cascalho, rochedo, penhasco. Sua principal função estrutural é a resistência a compressão. Quanto a utilização, podemos citar alvenarias de pedra argamassada, vigas baldrames, muro de arrimo por gravidade e outras aplicações.

Fotografia 2 – Pedra rachão ou Cascalho



Fonte: Registro fotográfico do autor (2018).

Figura 2 – Demonstração da alvenaria de pedra (cangicado)



Fonte: Vasconcellos, S. UFMG (1979).

Na figura acima pode-se observar que a alvenaria é confeccionada de pedras maiores e preenchidas com pedras de granulometria menor. A junção do conjunto ocorre por meio da cal que é o principal ligante dessa natureza de construção.

2.1.2.2 Cal

É um elemento muito utilizado na construção civil, consumida principalmente na fase de preparo da argamassa para assentamento ou durante o revestimento de alvenarias. A origem da Cal está nas rochas calcárias, pode ser encontrada de diversas formas como cal virgem e cal hidratada, a primeira é moída e queimada em fornos a temperatura bem elevada, isto é chamado de processo de calcinação; a segunda é obtida adicionando água na cal virgem.

Geralmente em obras é comum o uso da cal hidratada por conta de ser um produto pronto para mistura com areia, água e cimento. Sendo a cal hidratada um aglomerante na qual permite o endurecimento da argamassa no contato com a carga de ar proveniente do meio. A hidratação da cal é fundamental pois evita o desperdício, trincas e quedas da argamassa, tal fato justifica o motivo da larga escala de utilização da cal hidratada ao invés da cal virgem.

A cal hidratada é vantajosa por conta da consistência, isto é, boa trabalhabilidade e a melhor plasticidade conferida a argamassa utilizada em revestimento de paredes. Dessa forma, é visto que essas vantagens impedem que ocorra infiltração e conseqüentemente diminuem o risco de aparecimento de fissuras e trincas nas alvenarias nas quais a cal é material constituinte.

A cal é um produto utilizado na confecção de argamassa e preparo de pintura na construção civil, é produzida a partir do carbonato de cálcio (CaCO_3) por meio de um processo químico através de fornos com altas temperaturas, o CaCO_3 dá origem ao produto cal (CaO) e gás carbônico (CO_2).

Conforme os requisitos gerais presente na NBR 7175, a cal hidratada deve obedecer as exigências químicas e físicas de acordo com a quadro 1 e tabela 1 a seguir:

Quadro 1 – Exigências químicas da cal hidratada

Compostos		Limites														
		CH-I	CH-II	CH-III												
Anidrido carbônico (CO_2)	Na fábrica	$\leq 5 \%$	$\leq 5 \%$	$\leq 13 \%$												
	No depósito	$\leq 7 \%$	$\leq 7 \%$	$\leq 15 \%$												
Óxidos de cálcio e magnésio não hidratado calculado ($\text{CaO} + \text{MgO}$) ¹⁾		$\leq 10 \%$	$\leq 15 \%$	$\leq 15 \%$												
Óxidos totais na base de não-voláteis ($\text{CaO}_t + \text{MgO}_t$) ²⁾		$\geq 90 \%$	$\geq 88 \%$	$\geq 88 \%$												
<p>¹⁾ O teor de óxido de cálcio (CaO) ou óxido de magnésio (MgO) não hidratados deve ser calculado como segue:</p> <p>a) CaO combinado com CaSO_4 = $\% \text{SO}_3 \times 0,70$</p> <p>b) CaO combinado com CaCO_3 = $\% \text{CO}_2 \times 1,27$</p> <p>c) água combinada = $\% \text{perda ao fogo} - (\% \text{CO}_2 + \% \text{umidade})$</p> <p>d) CaO hidratado = $\% \text{água combinada} \times 3,11$</p> <p>e) CaO não-hidratado = $\% \text{CaO} - (a + b + d)$</p> <p>f) MgO hidratado = $e \times 0,72$</p> <p>O teor de óxidos não hidratados é expresso por:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Hipóteses</th> <th>Óxido de cálcio não hidratado calculado (CaO)</th> <th>Óxidos de cálcio e magnésio não hidratado calculado ($\text{CaO}_t + \text{MgO}_t$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$e < 0$</td> <td>0 (zero)</td> <td>$\% \text{MgO} - f$</td> </tr> <tr> <td>$e = 0$</td> <td>0 (zero)</td> <td>$\% \text{MgO}$</td> </tr> <tr> <td>$e > 0$</td> <td>e</td> <td>$e + \% \text{MgO}$</td> </tr> </tbody> </table>					Hipóteses	Óxido de cálcio não hidratado calculado (CaO)	Óxidos de cálcio e magnésio não hidratado calculado ($\text{CaO}_t + \text{MgO}_t$)	$e < 0$	0 (zero)	$\% \text{MgO} - f$	$e = 0$	0 (zero)	$\% \text{MgO}$	$e > 0$	e	$e + \% \text{MgO}$
Hipóteses	Óxido de cálcio não hidratado calculado (CaO)	Óxidos de cálcio e magnésio não hidratado calculado ($\text{CaO}_t + \text{MgO}_t$)														
$e < 0$	0 (zero)	$\% \text{MgO} - f$														
$e = 0$	0 (zero)	$\% \text{MgO}$														
$e > 0$	e	$e + \% \text{MgO}$														
<p>²⁾ O teor de óxidos totais na base de não-voláteis ($\text{CaO}_{\text{total}} + \text{MgO}_{\text{total}}$) deve ser calculado como segue:</p> $\%(\text{CaO}_{\text{total}} + \text{MgO}_{\text{total}}), \text{ base de não - voláteis} = \frac{(\% \text{CaO}_{\text{total}} + \% \text{MgO}_{\text{total}}) \times 100}{100 - \% \text{perda ao fogo}}$																

Fonte: NBR 7175: 2003.

Tabela 1 – Exigências físicas da cal hidratada.

Compostos		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Finura (% retida acumulada)	Peneira 0,600 mm	≤ 0,5 %	≤ 0,5 %	≤ 0,5 %
	Peneira 0,075 mm	≤ 10 %	≤ 15%	≤ 15 %
Retenção de água		≥ 75 %	≥ 75%	≥ 70 %
Incorporação de areia		≥ 3,0	≥ 2,5	≥ 2,2
Estabilidade		Ausência de cavidades ou protuberâncias		
Plasticidade		≥ 110	≥ 110	≥ 110

Fonte: NBR 7175: 2003.

Os materiais à base de cal são recomendados porque mantêm as características dos edifícios antigos, não alteram seu comportamento, esteticamente se harmonizam muito bem com as alvenarias tradicionais, são materiais de muita plasticidade, o que favorece seu uso em obras de restauração, além de serem primordiais na conservação e manutenção periódica das alvenarias tradicionais devido às suas propriedades e comportamento. (KANAN, 2008, página 23)

Figura 3 – Ciclo da Cal



Fonte: Kanan, M. I. (2008).

2.1.2.3 Agregado Miúdo

A areia é um conjunto de minerais em abundância normalmente encontrado em leito de rios e praias. É uma matéria prima muito utilizada na construção civil. É comum a utilização da areia para confecção de parede de pedra argamassada, reboco e concreto.

A extração da areia é uma atividade importante para o desenvolvimento social da cidade, porém sabe-se que os impactos negativos gerados por essa atividade são alarmantes, muitas vezes irreversíveis.

Os impactos gerados pela extração de areia são: aumento da concentração de partículas em suspensão (turbidez) no curso d'água, em consequência do surgimento de fenômenos erosivos, decorrentes da exposição do solo às intempéries; indução a instabilidade do solo nos ambientes ribeirinhos, pela concentração de operações para a extração de areia e estresse da fauna aquática ocasionado pela geração de turbulência no curso d'água e aumento do ruído durante a extração da areia.

A areia é um material mineral de granulometria fina, é composta praticamente de dióxido de silício (SiO_2), a classificação em areia grossa, média e fina se dá de acordo com a quantidade de material passante na peneiras de 0,063 a 2 mm. A NBR 7211/83 classifica a areia de acordo com o seu tamanho, granulometricamente: areia fina (0,06 mm a 0,2 mm); areia média (0,2 mm a 0,6mm) e areia grossa (0,6 mm a 2 mm).

Emprega-se um conjunto de peneiras cujas aberturas das malhas correspondem aos padrões de areia estabelecidos pela ASTM (American Society for Testing and Materials), também usada pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Os tamanhos das malhas das peneiras geralmente utilizadas para determinar a granulometria das areias de argamassas antigas são as seguintes:

Quadro 2 – Numerologia de peneira de acordo com diâmetro

Nº 4	4,76mm
Nº 8	2,38mm
Nº 16	1,19mm
Nº 30	0,600mm
Nº 50	0,300mm
Nº 1000	0,150mm
Nº 2000	0,075mm

Fonte: NBR 7211 (1983).

Fotografia 3 – Ensaio de granulometria da areia: demonstração



Fonte: Registro fotográfico do autor (2018).

A areia constitui um dos componentes do concreto. Nas alvenarias de pedra argamassada a utilização da areia se dá em grande parte na confecção de argamassa de assentamento e reboco juntamente com o barro.¹

¹ É importante pontuar que a designação “bastarda” é utilizada para caracterizar argamassas cuja composição possua mais que um ligante. No caso das construções tradicionais luso-brasileiras essa nomeação se refere à presença do barro para além da cal e da areia.

2.1.2.4 Argamassa de Assentamento e Revestimento

Argamassa é uma mistura de materiais inertes (areia) com materiais aglomerantes (cimento ou cal) e água. No edifício em estudo, foi verificada a presença da mistura (areia+cal+água). A argamassa de assentamento é indicada para unir pedras, blocos e tijolos. Já a de revestimento é usada para acabamento das paredes e proteção das mesmas frente às intempéries e ações atípicas do meio, tais como: salinização, erosão, lixiviação e outros problemas.

Na construção civil brasileira, o uso de alvenaria de pedra argamassada não tem mais predominância, nos dias atuais é comum o uso de alvenarias com peças cerâmicas. Neste caso, o uso da argamassa é imprescindível pois funciona como o ligante entre alvenaria e as peças cerâmicas.

A argamassa é muito importante por conta das várias funções que desempenha na construção civil. Na alvenaria de pedra é utilizada como um material colante cuja função é unir pedras, blocos e tijolos de alvenaria.

As argamassas podem ser caracterizadas em sua composição (aglomerante e agregado) através de testes laboratoriais. Dentre as características tem-se a cor, textura, resistência mecânica e presença de sais. É pele fundamental de recobrimento e proteção da estrutura.

Os danos são causados pela presença de sais, de vegetação, de material diverso como cimento e umidade ascendente e descendente. Pode-se observar na fotografia abaixo a desagregação das argamassas em paredes.

Fotografia 4 – Argamassa em estado de desagregação



Fonte: Acervo fotográfico do autor (2018).

No Sobrado verificou-se tanto argamassa de assentamento como de revestimento. Desta última serão apresentados três amostras granulométricas feitas pela Escola Politécnica da Bahia uma da fachada principal e duas do interior do sobrado (pavimento térreo e cruz de Santo André).

Quadro 3 – Amostra I: Granulometria do agregado após ataque ácido e remoção de finos

UFBA / ESCOLA POLITÉCNICA / DCTM / NTPR						
DATA: 06/11/2014						
AMOSTRAGEM: Sobrado - Fachada Principal						
Argamassa de Revestimento da Alvenaria de Pedra e						
AMOSTRA: I Cal						
PESO DO BEQUER + AMOSTRA (g) = 71,92						
PESO DO BEQUER (g) = 59,07						
PESO DA AMOSTRA (g) = 12,85						
PENEIRA Nº	D.(mm)	PESO (g)	PENEIRA + AMOSTRA (g)	AMOSTRA (g)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
16	1,18	98,41	98,47	0,06	0,47	0,47
35	0,5	88,17	88,60	0,43	3,35	3,81
60	0,25	85,96	89,02	3,06	23,81	27,63
100	0,15	83,83	87,51	3,68	28,64	56,26
200	0,075	81,45	81,63	0,18	1,40	57,67
>200		65,99	71,42	5,43	42,26	99,92

Fonte: AMARAL, A. M. (2014).

Figura 4 – Amostra I: Argamassa de Revestimento da Alvenaria de Pedra e Cal

Local: Sobrado – Fachada Principal – São Luís - MA

Data: 06/11/2014

ENSAIO 01: Ensaio Simples de Argamassa

AMOSTRA	ARGAMASSA
% FINOS (Argila e Silte)	12,12
% GROSSOS (Areia)	63,89
% LIGANTE (Resíduo Solúvel)	23,99
TRAÇO PROVÁVEL (em massa) (Ligante: Argila e Silte: Areia)	1,00: 0,68: 3,60
LIGANTE: CAL(80% Certeza)	

ENSAIO 02: Granulometria do agregado após ataque ácido e remoção dos finos

PENEIRAS N.º	16 (1,18mm)	35 (0,50mm)	60 (0,25mm)	100 (0,15mm)	200 (0,075mm)	>200 (fundo)
% RETIDA	0,47	3,35	23,81	28,64	1,40	42,26

ENSAIO 03: Determinação da cor (Tabela de Munsell)

Cor dos finos: HUE 10 YR 6/6 brownish yellow

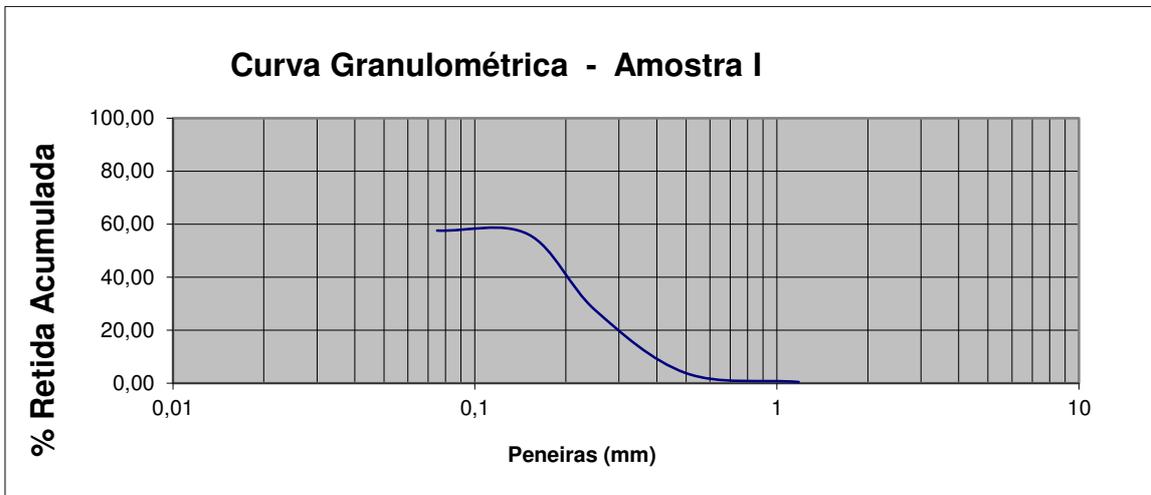
Fonte: AMARAL, A. M. (2014).

Fotografia 5 – Argamassa da fachada comprometida após ataque ácido



Fonte: Acervo fotográfico do autor (2018)

Gráfico 1 – Amostra I: Curva granulométrica de agregado após ataque ácido e remoção de finos



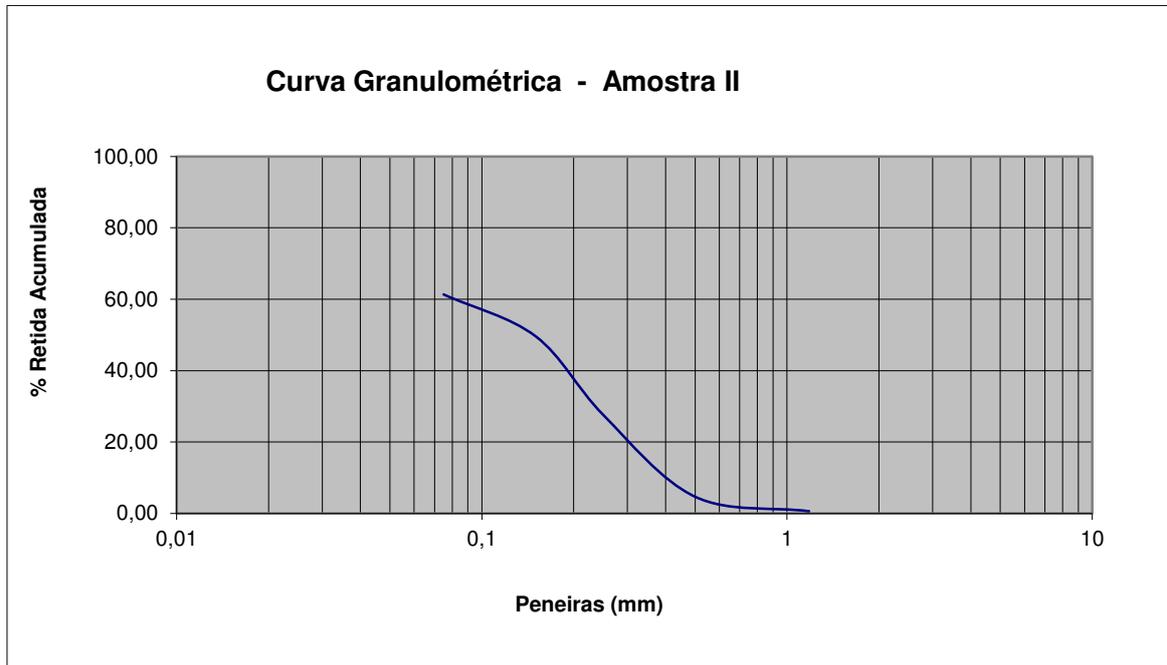
Fonte: AMARAL, A. M. (2014).

Quadro 4 – Amostra II: Granulometria do agregado após ataque ácido e remoção de finos

UFBA / ESCOLA POLITÉCNICA / DCTM / NTPR						
DATA: 06/11/2014						
AMOSTRAGEM: Interior do Sobrado - Pavto Térreo						
Argamassa de Revestimento da Alvenaria de Pedra e						
AMOSTRA: II Cal						
PESO DO BEQUER + AMOSTRA (g) = 72,88						
PESO DO BEQUER (g) = 59,05						
PESO DA AMOSTRA (g) = 13,83						
PENEIRA Nº	DIM. (mm)	PESO (g)	PENEIRA + AMOSTRA (g)	AMOSTRA (g)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
16	1,18	98,39	98,47	0,08	0,58	0,58
35	0,5	88,16	88,72	0,56	4,05	4,63
60	0,25	85,96	89,13	3,17	22,92	27,55
100	0,15	83,86	86,91	3,05	22,05	49,60
200	0,075	81,43	83,05	1,62	11,71	61,32
>200		66,00	71,36	5,36	38,68	100,00

Fonte: AMARAL, A. M. (2014).

Gráfico 2 – Amostra II: Curva granulométrica de agregado após ataque ácido e remoção de finos



Fonte: AMARAL, A. M. (2014).

Figura 5 – Amostra II: Argamassa de Revestimento da Alvenaria de Pedra e Cal

Local: Interior do Sobrado Pavto Térreo – São Luís - MA

Data: 06/11/2014

ENSAIO 01: Ensaio Simples de Argamassa

AMOSTRA	ARGAMASSA
% FINOS (Argila e Silte)	8,40
% GROSSOS (Areia)	69,11
% LIGANTE (Resíduo Solúvel)	22,49
TRAÇO PROVÁVEL (em massa) (Ligante: Argila e Silte: Areia)	1,00: 0,50: 4,16

LIGANTE: CAL(80% Certeza) – Presença de SO_4^{2-}

ENSAIO 02: Granulometria do agregado após ataque ácido e remoção dos finos

PENEIRAS N.º	16 (1,18mm)	35 (0,50mm)	60 (0,25mm)	100 (0,15mm)	200 (0,075mm)	>200 (fundo)
% RETIDA	0,58	4,05	22,92	22,05	11,71	38,76

ENSAIO 03: Determinação da cor (Tabela de Munsell)

Cor dos finos: HUE 7,5 YR 6/4 light brown

Fonte: AMARAL, A. M. (2014).

Fotografia 6 – Argamassa do interior do casarão comprometida após ataque ácido



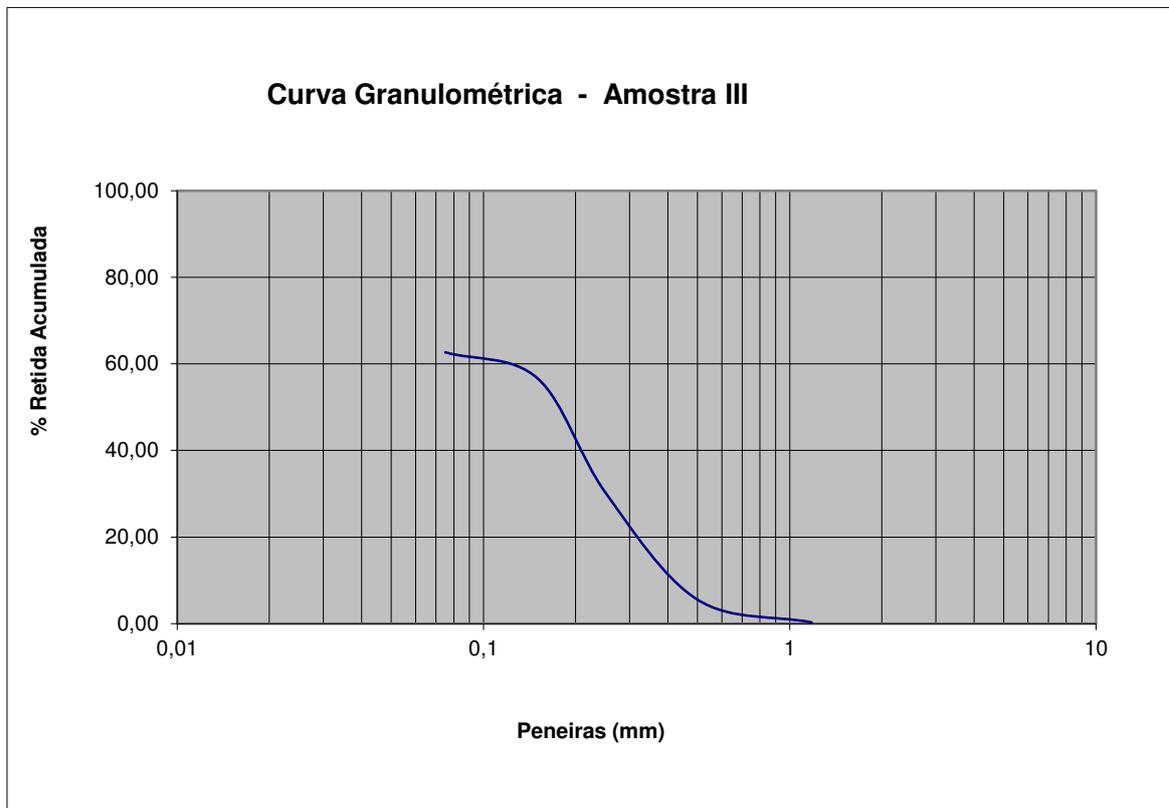
Fonte: AMARAL, A. M. (2014).

Quadro 5 – Amostra III: Granulometria do agregado após ataque ácido e remoção de finos

UFBA / ESCOLA POLITÉCNICA / DCTM / NTPR						
DATA: 06/11/2014						
AMOSTRAGEM: Cruz de Santo André						
AMOSTRA: III Argamassa de Revestimento da Parede Interna de Taipa						
PESO DO BEQUER + AMOSTRA (g) = 75,32						
PESO DO BEQUER (g) = 58,97						
PESO DA AMOSTRA (g) = 16,35						
PENEIRA Nº	DIM. (mm)	PESO (g)	PENEIRA + AMOSTRA (g)	AMOSTRA (g)	% RETIDA	% RETIDA ACUMULADA
16	1,18	98,42	98,47	0,05	0,31	0,31
35	0,5	88,15	89,01	0,86	5,26	5,57
60	0,25	85,97	90,02	4,05	24,77	30,34
100	0,15	83,87	88,18	4,31	26,36	56,70
200	0,075	81,43	82,41	0,98	5,99	62,69
>200		65,98	72,03	6,05	37,00	99,69

Fonte: AMARAL, A. M. (2014).

Gráfico 3 – Amostra III: Curva granulométrica de agregado após ataque ácido e remoção de finos



Fonte: AMARAL, A. M. (2014).

Figura 6 – Amostra III: Argamassa de Revestimento de parede interna da taipa

Local: Cruz de Santo André – São Luís - MA

Data: 06/11/2014

ENSAIO 01: Ensaio Simples de Argamassa

AMOSTRA	ARGAMASSA
% FINOS (Argila e Silte)	7,42
% GROSSOS (Areia)	81,46
% LIGANTE (Resíduo Solúvel)	11,02
TRAÇO PROVÁVEL (em massa) (Ligante: Argila e Silte: Areia)	1,00: 0,90: 9,88

LIGANTE: CAL(80% Certeza) – Presença de SO_4^{2-} - Argamassa mista

ENSAIO 02: Granulometria do agregado após ataque ácido e remoção dos finos

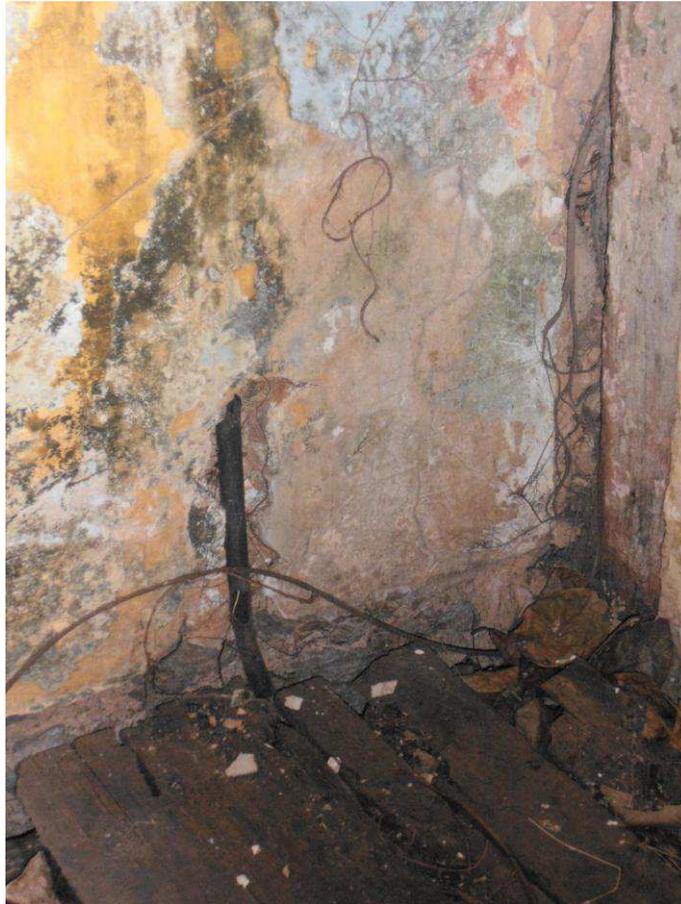
PENEIRAS N.º	16 (1,18mm)	35 (0,50mm)	60 (0,25mm)	100 (0,15mm)	200 (0,075mm)	>200 (fundo)
% RETIDA	0,31	5,26	24,77	26,36	5,99	37,00

ENSAIO 03: Determinação da cor (Tabela de Munsell)

Cor dos finos: HUE 7,5 YR 6/6 reddish yellow

Fonte: AMARAL, A. M. (2014).

Fotografia 7 – Argamassa de alvenaria de pedra e madeira



Fonte: AMARAL, A. M. (2014).

Analisando as três amostras percebe-se que a granulometria da argamassa de revestimento é praticamente única para todo o edifício. A porcentagem retida acumulada em função do diâmetro em milímetro reflete que quanto maior o diâmetro menor será a quantidade retida e vice-versa.

A conclusão que se pode ter dos ensaios das amostras de argamassa é que quanto maior a quantidade de material plástico (argila e silte) considerado de boa consistência verifica-se que a desagregação é menor embora tenha muita areia. Nos traços apresentados observou-se que a quantidade de areia cresceu significativamente enquanto que a de silte e argila teve crescimento gradativo.

2.1.3 Alvenaria de tijolos cerâmicos

2.1.3.1 Verga e Contra-verga

São componentes estruturais no formato de pequenas vigas que servem para distribuir as tensões provenientes da alvenaria. O posicionamento da verga se dá na parte de cima dos vãos de janelas e portas enquanto que a contra-verga é posicionada na parte de baixo. As vergas e contra-vergas ultrapassam o vão da janela e da porta, o comprimento de ultrapassagem é de 30 cm para cada lado.

2.1.3.2 Escantilhão

É uma ferramenta que auxilia a elevação da alvenaria, sendo chamada de régua de madeira ou metálica com comprimento do piso até o teto graduada com distâncias iguais.

Figura 7 – Escantilhão para auxiliar a execução de alvenaria de vedação



Fonte: (Scanmetal, 2004).

2.1.3.3 Juntas de amarração

É um tipo de sistema em que um tijolo amarra o outro, evitando a movimentação dos mesmos. Nesse sentido, com a fixação de tijolo a tijolo, no final tem-se uma parede amarrada, isto é, fixada; com pouco riscos de cair.

2.1.3.4 Juntas a prumo

É o sistema de colocação de tijolo lado a lado garantindo a verticalização e horizontalização da alvenaria, com isso dispensa o uso das juntas de amarração.

2.1.3.5 Ligação

Os edifícios da arquitetura tradicional luso-maranhense não utilizavam a ligação de alvenaria com estruturas (vigas e pilares) pois a alvenaria de pedra argamassada recebem as cargas e transferem diretamente para o solo. Por outro lado, hoje a construção civil utiliza muito o conjunto alvenaria ligada a pilares e vigas. Assim sendo, pode-se dizer que o pilar e a viga além de responder aos esforços vindos do telhado, tem função também de amarrar as paredes.

2.1.3.6 Execução de alvenarias

A execução da alvenaria deve obedecer ao projeto executivo nas suas posições e espessuras. A garantia da planicidade e linearidade advém principalmente do prumo utilizado por quem executa a parede. Não é recomendável executar alvenarias a grande alturas de uma só vez, de modo que, para evitar esta situação divide-se a alvenaria em partes, amarrando conforme feita a verticalização.

2.1.4 Alvenarias de pedra e madeira (cruz de Santo André ou gaiola pombalina)

Esse tipo de alvenaria é comum em edifícios tombados pelo IPHAN e em edifícios da arquitetura luso-maranhense. O sobrado 559 em estudo apresenta alvenaria de pedra com travas de madeiras embutidas nas diagonais das paredes.

2.2 Estruturas de Concreto

2.2.1 Conceituação

O concreto é um dos materiais mais empregados na construção civil, devido à sua capacidade resistente de esforços compressivos e sua capacidade de associação ao aço, formando o concreto armado e o concreto protendido, materiais, estes, mais adequados à aplicação em estruturas de edificações, pontes, contenções, entre outros.

Para os projetistas de estruturas, a característica mais importante do concreto é a resistência à compressão, já que, em peças de concreto armado, o responsável por absorver os esforços de tração que solicitam a estrutura é o aço. A resistência à tração do concreto é cerca de um décimo da sua resistência a compressão, sendo considerada desprezível no dimensionamento (ARAÚJO, 2014).

Desta forma, definir a resistência à compressão do concreto, e sobretudo, garantir que a resistência à compressão da estrutura executada esteja de acordo com o projeto estrutural é de extrema importância para garantir a correta vida útil da estrutura.

O concreto é o material estrutural de maior uso na atualidade, que é muitas vezes utilizado combinado ao aço, melhorando a capacidade resistente das peças estruturais. Segundo Mehta e Monteiro (2008, p. 8), “O concreto moderno é um material composto que consiste essencialmente de um meio contínuo aglomerante, dentro do qual estão mergulhados partículas ou fragmentos de agregados”.

De acordo com as necessidades de cada aplicação, podem ser acrescentados aditivos químicos, como retardadores ou acelerados de pega, plastificantes e superplastificantes, ou adicionar minerais que melhoram as características do concreto fresco ou endurecido, como escórias de alto-forno, pozolanas, fillers calcários (ARAÚJO, 2014).

É essencial, nos projetos de engenharia, além do refinamento dos métodos de dimensionamento, o conhecimento dos materiais que compõe o concreto, para que se possa aproveitar ao máximo as características deste material. Influem, por exemplo, nas propriedades do concreto: a granulometria e impurezas dos agregados, a qualidade e quantidade da água de amassamento, entre outros (SILVA, 1991).

O concreto é o material proveniente da mistura de aglomerante com agregados, sendo o principal aglomerante o cimento e os agregados são areia e brita, para tornar solúvel a mistura tem-se a água. Os aglomerantes (cimento Portland) tem a função de ligar, isto é, unir fragmentos de materiais presente na mistura.

Os agregados dividem em dois grupos: os agregados miúdos e os agregados graúdos. Os miúdos são as areias e os graúdos são as britas. Com isso, tem-se que o concreto simples é composto por aglomerante, agregado miúdo, agregado graúdo e água.

Já o concreto armado é a combinação do concreto simples com o aço. Por sua vez a protensão é uma tecnologia que confere ao concreto maior resistência a tração, sendo bastante relevante em estruturas onde existem esforços de flexão elevados.

O concreto tem se mostrado ser o material mais utilizado no mundo inteiro no setor da construção civil, sendo mais adequado para as estruturas das construções. Pode-se observar que esse material em larga escala supera outros materiais alternativos como o aço, a madeira e a alvenaria.

Muitos são os fenômenos patológicos que ocorrem no concreto, além da fissuração, pode-se tratar também o fenômeno da carbonatação. A carbonatação é um processo físico-químico entre o gás carbônico presente na atmosfera e os compostos da pasta de cimento. O resultado dessa reação química é a precipitação do carbonato de cálcio (CaCO_3) na região do concreto conhecida como recobrimento.

Diversos estudos comprovam que a carbonatação aumenta a resistência da estrutura de concreto, em contrapartida, ela diminui significativamente a alcalinidade do concreto e conseqüentemente a sua durabilidade fica comprometida. A carbonatação gera fissuras, trincas e rachaduras no concreto por conta da deterioração da estrutura. Em muitos casos, pode se ter as armaduras expostas a corrosão por muito tempo até o colapso final da estrutura de concreto e armadura.

O processo da carbonatação se dá nas seguintes etapas: a água entra nos poros do concreto através dos vazios, a água dissolve o elemento Cálcio (Ca) presente no hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 . Em seguida o gás carbônico entra nos poros do concreto e reage com a água formando o ácido carbônico (H_2CO_3), adiante o ácido carbônico reage o hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 formando carbonato de cálcio (CaCO_3), isto é, os cristais. A redução da alcalinidade do concreto que leva o

comprometimento da durabilidade, quando isso ocorre, é comum o aparecimento de sinais de que a estrutura pode vir ao colapso.

Sabe-se então que a profundidade de carbonatação cresce de fora para o interior da peça de concreto. Para se ter essa avaliação basta fazer o uso da fenolftaleína ($C_{20}H_{14}O_4$) presente em pó na natureza e diluí-la no álcool etílico gerando um produto que permite verificar a profundidade de carbonatação e dizer as partes do concreto que estão em bom estado e a parte ruim do concreto que precisa ser removida.

2.2.2 Tipos de elementos de concreto

2.2.2.1 Pilares

Os pilares são barras verticais, os quais recebem o peso das vigas ou lajes de coberturas e transmitem para a fundação (solo).

Fotografia 8 – Pilar de concreto com armadura parcialmente exposta



Fonte: Registro fotográfico do autor (2018).

2.2.2.2 Vigas

As vigas são barras horizontais que delimitam a laje e recebem seus esforços correspondentes ao peso próprio e às cargas sofridas pela laje; transmitem essas cargas para os pilares que por vez transmitem ao solo. Com isso, tem-se que as vigas e os pilares são elementos de concreto que respondem por esforços estruturais e pela transmissão desses esforços para o solo, sendo portanto denominado uma associação (laje – viga – pilar – fundação).

Fotografia 9 – Viga de concreto com danos estruturais



Fonte: Registro fotográfico do autor (2018).

2.2.3 Materiais Constituintes

2.2.3.1 Cimento Portland

O Cimento Portland teve origem na Inglaterra, o inglês Joseph Aspdin patenteou o cimento em 1824. A designação Portland veio por conta de que na época no sul da Inglaterra era comum o uso de pedra de Portland de ótima dureza, com isso o inglês teve a ideia de registrar o cimento assemelhando a pedra de Portland que apresentava boa dureza, assim sendo ele obteve êxito em sua patente.

No Brasil se passou muito tempo usando somente um único tipo de cimento. A evolução dos conhecimentos técnicos e de engenharia propuseram a fabricação de variados tipos de cimentos utilizados na construção civil. O uso do cimento é geral, tido hoje como um ligante muito utilizado na confecção do concreto.

O cimento é composto de clínquer e adições, sendo o clínquer o principal componente do cimento. A quantidade de clínquer é que define o tipo de cimento sendo o material que tem como matérias-primas o calcário e a argila, ambos vindos de jazidas próximo a fábrica de cimento.

O calcário é extraído de uma pedreira, em seguida ocorre o moinho na qual a matéria fica na forma de pó, somente após esse processo que ocorre a mistura com argila em proporções adequadas. Em seguida, a mistura passa pelo forno de aproximadamente 1450 °C. O resultado de todo esse processo é produto clínquer que apresenta em forma de pelotas, na saída do forno o clínquer passa por resfriamento e em seguida transformado em pó.

O clínquer vira pó, quando adicionado água a ele, é visto uma reação que o torna um material de elevada resistência e durabilidade. Assim, a propriedade mais importante do clínquer é o fato dele ser um ligante hidráulico muito resistente.

As adições são outras matérias-primas que, adicionadas ao clínquer na etapa de moagem geram os diversos tipos de cimentos comercializados até hoje. Podemos destacar as adições como sendo o gesso, escórias de alto forno, adições pozolânicas e carbonáticas.

A função dessas adições é o controle do tempo de pega e o retardamento da cura. O gesso, por exemplo, tem função de controlar o tempo de pega, isto é, quando ocorre a adição de água ao clínquer moído e começa o endurecimento da

mistura que dará resultado ao produto final cimento Portland. Em termos percentuais é uma quantidade bem pequena de adições para uma grande quantidade de clínquer.

Com relação as adições pode-se concluir que estas são necessárias ao cimento, pois evitam que o cimento ao entrar em contato com a água tenha um endurecimento instantâneo.

Um fato extremamente importante do cimento é que ele obedece normas técnicas pré-definidas. Não atende simplesmente a vontade unilateral do produtor ou do consumidor. Os diversos tipos de cimento são feitos conforme padrão de referência que garantem qualidade presente na ABNT. A qualidade é aferida pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

O selo de qualidade, isto é, o certificado de garantia, impresso em cada saco de cimento comercializado representa que o cimento obedece exigências da norma e da Associação Brasileira de Cimento Portland. É direito do consumidor verificar se o cimento cumpre as normas técnicas brasileiras, a verificação é feita com base em métodos fixados pela normas.

Existem diversos tipos de cimento Portland, serão citados os mais comuns e mais utilizados no Brasil, bem como os especiais de características diferenciadas. Os mais comuns são cimento Portland comum, composto, de alto-forno e pozolânico. Os especiais são cimento Portland de alta resistência inicial, resistente aos sulfatos, branco, de baixo calor de hidratação e cimento para poços petrolíferos.

O Quadro 6 abaixo apresenta a composição de cimentos Portland comuns e compostos e o Quadro 7 apresenta composição de cimento Portland de alto-forno e pozolânico.

Quadro 6 – Composição de cimentos Portland comuns e compostos

TIPO DE CIMENTO PORTLAND	SIGLA	COMPOSIÇÃO EM MASSA (%)				NORMA BRASILEIRA
		CLÍNQUER + GESSO	ESCÓRIA GRANULADA DE ALTO FORNO (SIGLA E)	MATERIAL POZOLÂNICO (SIGLA Z)	MATERIAL CARBONÁTICO (SIGLA F)	
COMUM	CP I	100	-			NBR 5732
	CP I - S	99-95	1 A 5			
COMPOSTO	CP II - E	94-56	6 A 34	-	0 A 10	NBR 11578
	CP II - Z	94-76	-	6 A 14	0 A 10	
	CP II - F	94-90	-	-	6 A 10	

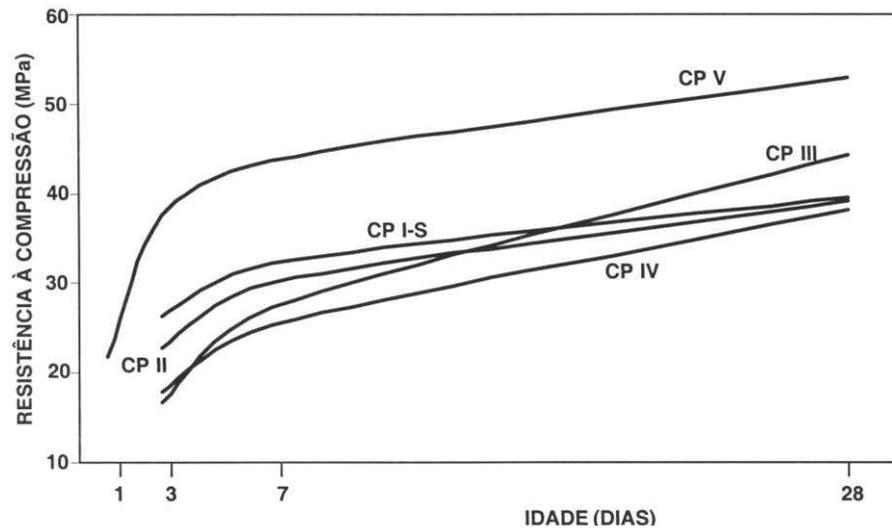
Fonte: Guia de utilização de cimento Portland (dezembro de 2002).

Quadro 7 – Composição de cimentos Portland alto-forno e pozolânicos

TIPO DE CIMENTO PORTLAND	SIGLA	COMPOSIÇÃO EM MASSA (%)				NORMA BRASILEIRA
		CLÍNQUER + GESSO	ESCÓRIA GRANULADA DE ALTO FORNO	MATERIAL POZOLÂNICO	MATERIAL CARBONÁTICO	
ALTO FORNO	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
POZOLÂNICO	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736

Fonte: Guia de utilização de cimento Portland (dezembro de 2002).

Figura 8 – Evolução média de resistência à compressão dos distintos tipos de cimento Portland



Fonte: ABCP, 1996.

2.2.3.2 Agregado graúdo

A brita é um agregado graúdo muito utilizado na construção civil, é comum o seu uso na confecção de variados tipos de concretos com vários tipos de brita. A brita apresenta-se em diversas formas como pó de brita, brita 0, brita 1, brita 2, brita 3 e brita 4. A brita é um material muito utilizado também em pavimentação, ela faz parte da composição granulométrica do CBUQ, material este bastante empregado em pavimentos de rodovias.

Uma das principais matéria-primas do concreto conhecida também por pedra britada, as britas são fragmentos de rochas extraídos de pedreira e logo após a extração, passam por um processo de britagem na qual dão origem a diversos tamanhos de brita a fim de atender diversos tipos de obras como construção civil, pavimentação e outras obras.

A NBR 7211 classifica o agregado graúdo brita de acordo com a granulometria, isto é, o tamanho dos grãos. Em pó de brita, brita 0, brita 1, brita 2, brita 3 e brita 4. Cada tipo de brita tem uma função específica, seja para fabricação de concreto, pavimentação, construção de edificações ou de grandes obras, como ferrovias, barragens e túneis.

As características mais importantes dos tipos de britas são resistência mecânica e boa aderência. A resistência mecânica é pelo fato de ser um material de dureza elevada e boa ductilidade e a boa aderência é por conta da superfície rugosa e formato cúbico que a brita apresenta.

Em relação ao tamanho do agregado usado na obra cabe ao responsável técnico definir a granulometria apropriada ao tipo de obra respeitando as normas técnicas pré-estabelecidas.

Quanto a utilização o pó de brita é muito usado nas usinas de asfalto, em concreto com textura mais fina, em argamassa; a brita 0 por conta de ter o seu tamanho reduzido é empregada na confecção de vigas, lajes pré-moldadas, bloco de concreto e acabamento em geral; a brita 1 que mede até 19 mm é frequentemente utilizada na construção civil e em pavimentação; a brita 2 é usada em concreto que requer uma grande resistência, a brita 3 é muito utilizada em aterros, lastros ferroviários e a brita 4 tem aplicação específica como fossa séptica, sumidouro, reforço de subleito e gabiões.

2.2.3.3 Aço

O aço é um material muito consumido na construção civil, quando adicionado ao concreto forma o chamado concreto armado. O concreto armado hoje está presente na maioria das estruturas, como por exemplo em vigas, pilares, lajes, fundações, cortinas de contenção de aterro e outras estruturas.

De acordo com o valor característico da resistência ao escoamento as barras de aço são classificadas nas categorias CA-25 e CA-50, e os fios de aço na categoria CA-60. No sobrado em estudo tem-se que as armações tanto da viga como dos pilares está na categoria CA-50.

Contudo, sabe-se que a função do aço combinado ao concreto é responder pela tração, visto que o concreto responde praticamente 90% a compressão, a resistência do concreto a tração é tão pequena que alguns autores desconsideram.

2.3 Caracterização do Sobrado 559

O Sobrado é um exemplar da arquitetura luso-maranhense, constituindo-se em um edifício antigo do Centro Histórico de São Luís. Fica localizado na Rua da Estrela e atualmente passa por processo de restauro e reabilitação. Adentrando ao casarão nota-se que o telhado já foi todo refeito, as portas e janelas estão sendo substituídas por novas, foi feita uma limpeza geral no casarão e a próxima etapa é a atenção a ser dada aos defeitos em paredes e nas estruturas de concreto.

Caracterizado como sobrado tradicional, sob jurisprudência federal, faz apologia ao estilo português, isto é, denominado de luso-maranhense. A área do lote é 382 m², a área do terreno edificada é 618 m² e a área livre é 72,13 m². É notável a presença de estrutura mista alvenaria de pedra e madeira. A parte mais nova observada no casarão é a estrutura de concreto que também está sendo dado foco, no âmbito deste trabalho de conclusão de curso, por conta dos defeitos apresentados.

O sobrado que antes estava em total abandono, hoje recebe manutenção de forma gradativa. Nota-se que a proprietária atual do casarão tem-se mobilizado constantemente e tem dado a atenção necessária para a sua restauração e reabilitação conforme prescreve o Instituto de Patrimônio Artístico e Urbanístico Nacional – IPHAN.

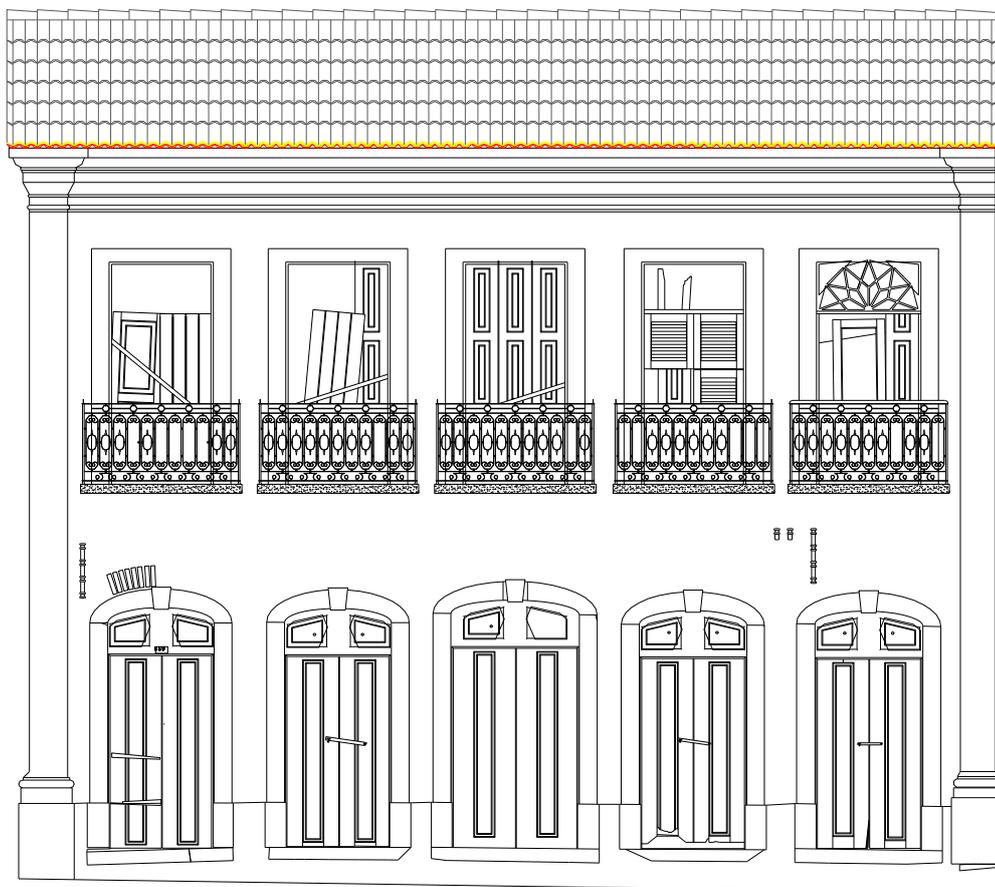
Sabe-se que nos dias atuais é bem difícil reestruturar um casarão antigo tombado pelo IPHAN em virtude de fatores como: complexidade de um projeto de restauro e o elevado custo de uma obra dessa natureza, rigidez do Instituto com relação a proposição de alterações que impliquem na utilização de soluções contemporâneas, dentre outros.

Figura 9 – Mapa com localização do sobrado na Rua da Estrela



Fonte: Google Earth (2018).

Figura 10 - Fachada do Casarão 559



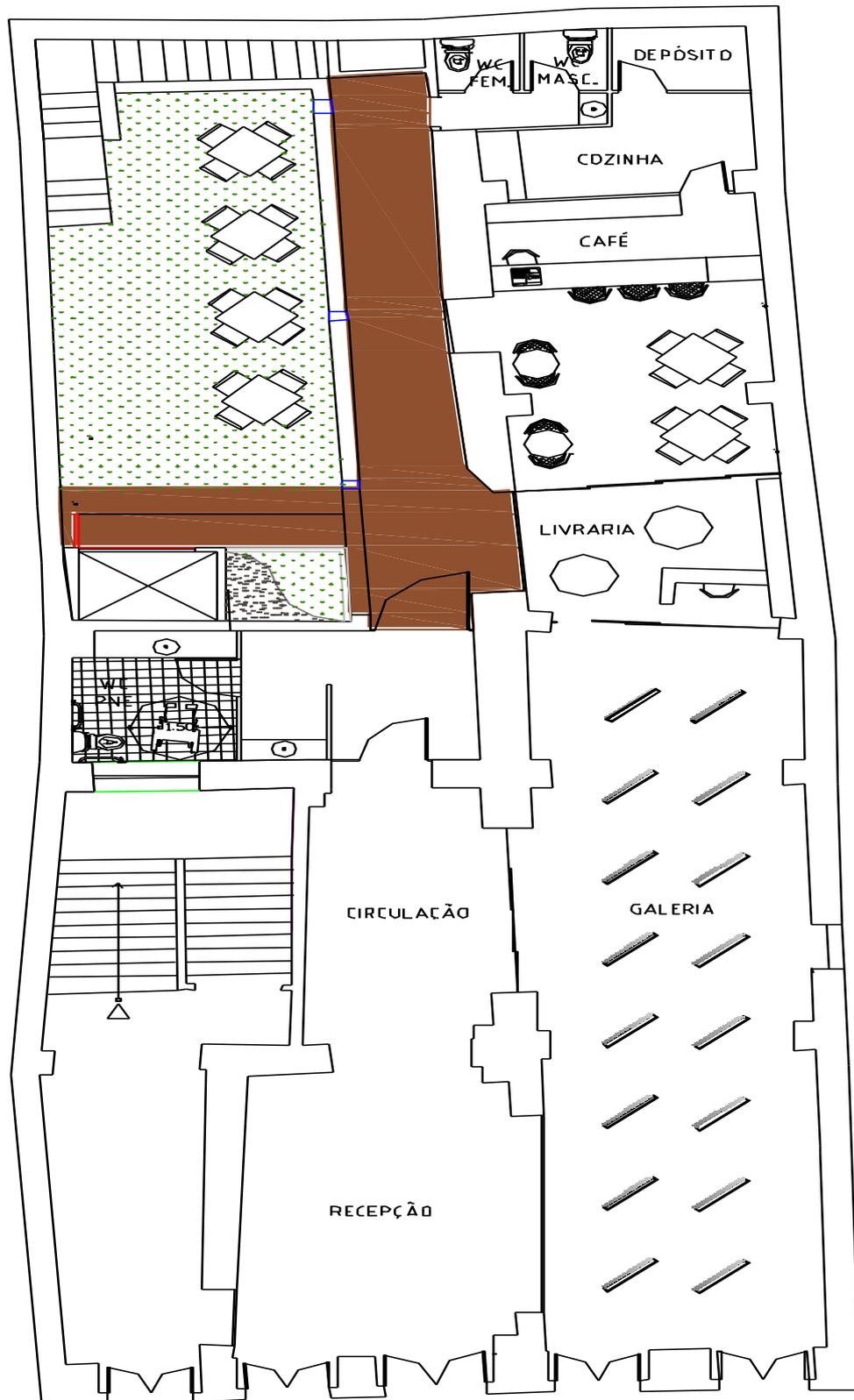
Fonte: Projeto cedido por Tayana Figueiredo (2018).

Fotografia 10 – Interior do sobrado (térreo)



Fonte: Registro fotográfico do autor (2018).

Figura 11 – Planta térrea do estudo de reabilitação completa do sobrado



Fonte: Arquivo cedido por Tayana Figueiredo (2018).

2.4 Tipologia da fissuração em Alvenarias e Estruturas de concreto

2.4.1 Definição

As fissuras em alvenarias de pedra argamassada e no concreto são um alerta de que algo de errado está acontecendo, podendo comprometer a impermeabilidade do local, isto é, a estanqueidade da água, o isolamento acústico e a estrutura propriamente dita. A estética da parede é comprometida, pois a fissuração causa um efeito negativo.

É um desafio a todos os estudiosos saber o motivo principal das possíveis causas das fissuras e as formas de tratamentos diante de um problema já instalado. Com isso, observa-se que demanda estudo para se ter a certeza da causa certa da fissuração, ou seja, o que realmente levou o aparecimento dessa patologia.

As alvenarias por sua vez sofrem interferência na sua posição, isto é, acabam sendo deslocadas por conta do movimento e acomodação do solo, em virtude disso as paredes começam a aparecer fissuras, trincas e rachaduras.

É bom salientar que o uso de materiais adequados, o emprego de boas técnicas de execução, observar rigorosamente as normas técnicas, uso de mão de obra especializada para cada serviço, feita a fiscalização frequente quando se constrói uma obra é uma forma de evitar as patologias inerentes a fissuração.

Muito se vê hoje a execução de projetos que apresentam muitos erros, nesse caso cabe ao responsável técnico estudar o projeto antes de executar e reparar todos os erros de projeto antes do início da obra, pois são os erros de projetos que muita vez, são fatores determinantes das fissuras.

Figura 12 – Fatores influentes na Ocorrência de Fissuras



Fonte: Universidade Estadual de Campinas (2005).

O concreto por sua vez, embora possa ser considerado um material praticamente eterno, desde que receba manutenção sistemática e programada, há construções que apresentam manifestações patológicas em intensidade e incidência significativas, acarretando elevados custos para a sua correção (HELENE, 2ª edição, pág. 15).

Por conta dessas manifestações de defeitos na superfície do concreto torna-se necessário fazer reparos, reforço e até mesmo a proteção completa da estrutura com a finalidade de manter as características de integridade dos elementos de concreto.

2.4.2 Tipos de fissuras, trincas e rachaduras

Os tipos de fissuras são diversos, de acordo com a Norma de Impermeabilidade as fissuras podem ser classificadas obedecendo o seguinte quadro:

Quadro 8 – Tipos de fissuras de acordo com a abertura

MICROFISSURA	menor que 0,05 mm	segundo NBR 9575: 2003 (Norma de Impermeabilização)
FISSURA	até 0,5 mm	
TRINCA	maior que 0,5 mm e menor que 1mm	
RACHADURA	maior que 1 mm	

Fonte: NBR 9575: 2003.

As trincas apresentam-se em três tipos: horizontal, vertical e inclinada a 45°. As trincas e fissuras ocupam o segundo lugar entre os defeitos mais comuns na construção civil, perde apenas para umidade. Já a rachadura é o comprometimento total da alvenaria em que já está em processo de colapso com enorme abertura.

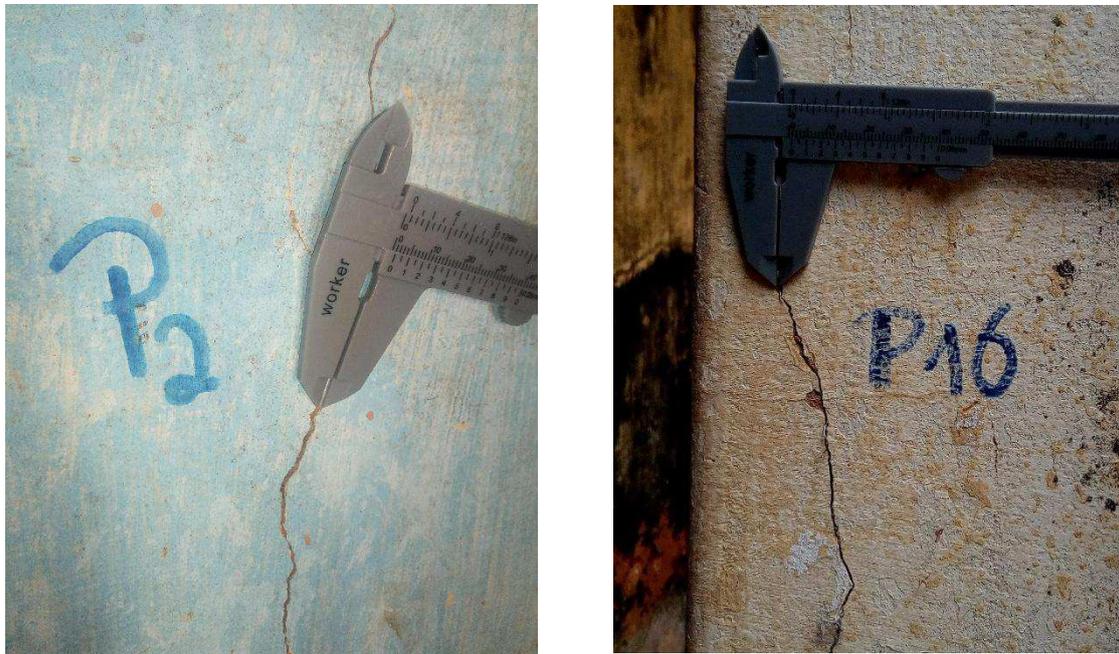
No que diz respeito ao concreto tem-se fissuras de flexão, de cisalhamento, de flexão na parte superior, de escorregamento da armadura, de esmagamento do concreto, de torção, de retração hidráulica, movimentação térmica, assentamento plástico, juntas de concretagem, compressão localizada ou flambagem das armaduras e outras.

Fotografia 11 – Fissuras de 0,50 mm de abertura



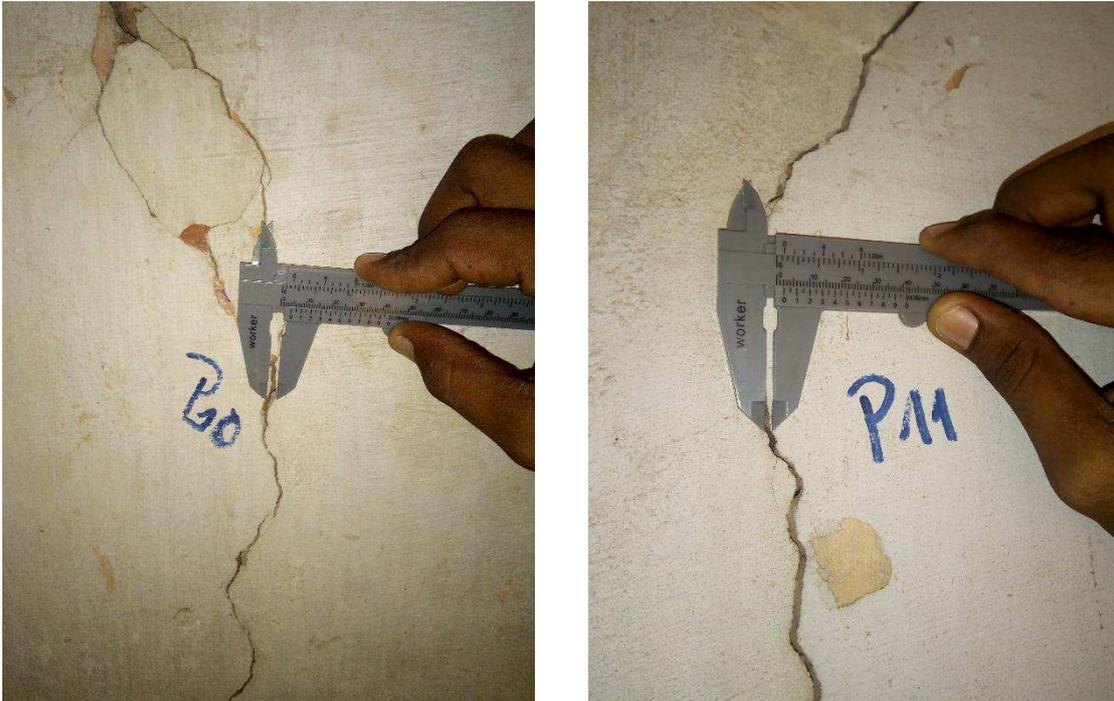
Fonte: Acervo do autor (2018).

Fotografia 12 – Trincas em pilar e alvenaria de pedra com abertura de 0,8 e 0,9 mm



Fonte: Acervo do autor (2018).

Fotografia 13 – Rachaduras em alvenaria de pedra acima de 2 mm de abertura



Fonte: Acervo do autor (2018).

2.4.3 Aparecimento de fissuras, trincas e rachaduras – Causas

De modo geral, as fissuras, trincas e rachaduras são causadas pelo movimento natural da estrutura do imóvel ou edifício. As fissuras são parecidas com “fio de cabelo” e estão ligadas a problemas de argamassa de reboco e pintura. As trincas e rachaduras são geralmente causadas por recalques de fundação, movimento do solo e deslocamento lateral de suporte de amarração.

Apesar de até o momento não se ter constatado problemas de fundação, isto é, recalques por consolidação e adensamento na edificação em que se está fazendo o levantamento do conjunto de fissuras, é comum o aparecimento de trincas e rachaduras em outros casos por conta de recalques diferenciais, nessa situação ocorre a movimentação da parede.

A variação de temperatura é um fator determinante no aparecimento de fissuras em alvenarias. Em São Luís, particularmente, observa-se que quase não tem mudança de temperatura, porém mesmo apresentando uma pequena variação de temperatura ao longo do ano percebe-se esse fenômeno causa problemas de

fissuração em paredes tanto na parte superficial no reboco e na pintura como também na parte estrutural.

As causas de problemas de fissuras são muitas, não se pode afirmar de forma alguma a causa da fissuração em alvenaria somente a “olho nu”, é preciso fazer uma perícia da situação antes mesmo de uma resposta imediata, pois existem casos em que as pessoas acabam cometendo erros e equívocos ao dizer alguma coisa antes de uma avaliação completa do caso.

É importante destacar que uma forma de evitar a fissuração em alvenarias e estruturas de concreto é fazendo a manutenção frequente das mesmas. Em muitos casos, as fissuras são praticamente inevitáveis devido uma gama de fatores como por exemplo, em alvenaria de pedra, a má dosagem da mistura cal, areia e água que constitui a argamassa permitindo a ligação entre as pedras, a vulnerabilidade aos intempéries dos elementos constituintes da parede e ademais.

Em relação as trincas, os tipos verticais podem sinalizar a falta de amarração entre a parede e os pilares e os tipos horizontais podem indicar o esmagamento da parede por conta da deformação da laje de cobertura ou da viga apoiada sobre esta. As trincas inclinadas ocorrem devido problemas de recalques nas fundações de edifícios.

Com relação ao diagnóstico e correção dos elementos de concreto. Pode-se dizer os diversos nomes de fissuras atrelado ao tipo de estrutura como pilar, viga e laje. Assim sendo, como já foi dito os tipos de fissuras, agora será desmistificado cada uma.

As fissuras de flexão ocorrem por conta das sobrecargas não previstas, armadura insuficiente, comprimento de ancoragem insuficiente, ou também pela mal posição das armaduras.

As fissuras de cisalhamento ocorrem devido a ação de sobrecargas exercendo forças cisalhantes em seções do vão. Assim como as fissuras de flexão, o cisalhamento tem contribuição da insuficiência de estribo, resistência do concreto fora da especificação de projeto e a mal posição dos estribos.

As de flexão na parte superior como no caso de marquises e balcões ocorre em virtude do comprimento de ancoragem ser insuficiente, armadura inadequada, excesso de carga na extremidade em balanço da marquise e a má execução do engastamento do pilar-viga que forma a estrutura.

O esmagamento do concreto é manifestação típica e ocorre devido a resistência inadequada, sobrecargas não previstas, a perda de características do concreto e a desintegração dos cristais que formam os elementos de concreto.

As fissuras por retração ou movimentação térmica ocorrem devido secagem prematura, por conta disso a NBR 6118 recomenda molhar o concreto durante o seu período de cura rápida, isto é, os primeiros dias. Em grandes áreas que acontecem concretagem como lajes é necessário que sejam feitas as juntas de dilatação para evitar as fissuras e trincas.

A corrosão de armaduras e a degradação do concreto acontecem por conta da resistência ser inadequada, cargas dinâmicas não consideradas como a ação do vento, gases e líquidos agressivos, má execução, manutenção insuficiente, ausência de proteção e mal dimensionamento da estrutura a agressividade do meio a qual está inserida.

Segundo o item 4.2.2 da NBR 6118, referente a estados de fissuração inaceitáveis, as estruturas devem ser dimensionadas para não gerarem aberturas de fissuras na superfície do concreto superiores a: 0,1 mm para peças não-protegidas, em meio agressivo; 0,2 mm para peças não-protegidas, em meio não-agressivo e 0,3 mm para peças protegidas.

A proteção das peças de concreto se dá mediante ao cobrimento através de reboco e revestimentos impermeáveis. A espessura de reboco serve tanto para o concreto como para a armadura a depender da agressividade do local na qual é obtido a estrutura, a espessura pode variar de 3 a 5 cm, de um local de menor agressividade ao de maior.

2.4.4 Aparecimento de fissuras, trincas e rachaduras – Medidas Preventivas e Corretivas

Comparando a alvenaria com uma pessoa, pode-se dizer que a fissuração é como uma doença em uma pessoa. São dois problemas nos quais precisam de duas ciências diferentes para serem resolvidos. Quando a pessoa está doente entra em ação a Medicina, ciência que busca o tratamento adequado da pessoa, nesse caso a medicação prescrita ao paciente seria uma medida preventiva e curativa da doença.

Já no caso da fissuração entra em jogo a Engenharia, ciência esta que vai dar o tratamento conforme a causa do problema, por exemplo, se o que está gerando a fissuração é o reboco da parede uma forma preventiva seria a retirada completa do reboco e refazê-lo obedecendo os padrões de qualidade da dosagem e especificações de norma.

Para despertar a importância da prevenção das fissuras foi feito uma análise comparativa entre uma pessoa doente e uma alvenaria com fissuras. Agora será feito uma apresentação das diversas medidas preventivas adotadas quando se tem problemas patológicos de fissuras.

Para pequenas fissuras a solução preventiva seria retocar o reboco com material novo, usando argamassa ou massa acrílica e fazer a manutenção periódica desse reboco, visto que, com o passar do tempo as fissuras podem reaparecer. Em caso de trinca existe a necessidade de quebra superficial da parede para verificação do que está levando a ocorrência da anomalia. Observado o defeito, pode-se aplicar massa acrílica, selador acrílico ou também um gradil de poliéster e argamassa.

Já em caso de rachadura, torna-se necessário a intervenção imediata do responsável técnico para evitar que a estrutura venha ao colapso. Uma solução preventiva nesta situação seria demolir a parede até um ponto de se colocar uma cortina de ferro em diagonal e cobrir com argamassa.

As fissuras podem ser corrigidas ou consertadas com massa corrida e selador acrílico sem maiores preocupações, pelo fato das fissuras serem um problema superficial.

Observa-se que o sobrado possui uma variedade de materiais presente em sua estrutura geral como alvenaria de pedra, assoalho de madeira, telhas coloniais, pilares e vigas de concreto, vigotas de madeiras e outros.

Com relação ao estudo das fissuras no sobrado, isto é, identificação e tratamento de cada uma delas será feito conforme critérios definidos pelo autor. O estudo de caso vai ter procedência da seguinte forma, primeiramente faz-se um estudo geral dos conjuntos de fissuração presente no casarão, verificou-se inicialmente com um paquímetro a presença de todos os tipos de fissuras como a fissura propriamente dita, trincas e rachaduras.

Sabendo da existência de todos os tipos de fissuras, a preocupação seguinte foi quebrar a superfície dessas paredes e do concreto para saber as causas desse problema, bem como a busca da solução adequada para cada tipo de situação.

Com relação as fissuras presentes em elementos de concreto cada uma delas podem ser corrigidas. Fissuras por flexão e cisalhamento por exemplo, a etapa de correção seria primeiramente preparar e limpar de forma criteriosa a fissura, em seguida faz-se a injeção de resina epóxi ou pode-se também reforçar o pilar ou a viga com colocação de armadura longitudinal nova e reconcretagem, colocação de novos estribos e colocação de chapas metálicas aderidas com epóxi, entretanto em caso de não ter jeito de correção, a melhor solução é demolir e reconstruir.

A medida corretiva para o esmagamento do concreto seria remover as partes soltas e fazer a limpeza criteriosa da superfície. Em seguida, pode-se pensar no aumento da rigidez da viga, com a colocação de armadura e estribos novos. Em situação de estado de ruptura o certo seria demolir e reconstruir obedecendo corretamente o projeto.

No caso da retração hidráulica ou movimento térmico existem alternativas para correção como por exemplo analisar a abertura da fissura e classifica-la em ativa (fissura que trabalha) ou passiva (fissura morta ou inerte). Em ambiente seco e sem agressividade com abertura menor ou igual a 0,3 mm é dispensado qualquer tratamento, sobretudo a abertura maior de 0,3 mm, passiva, recomenda-se injetar resina epóxi e abertura maior 0,3 mm, ativa, colmatar com selante acrílico.

Em ambientes agressivos e úmidos abertura menor ou igual a 0,1 mm dispensa qualquer tratamento, todavia abertura maior que 0,10 mm caracteriza-se em passiva, nessa situação injeta resina epóxi e abertura maior 0,1 mm ativa, é necessário colmatar com selante e uma solução seria fazer um revestimento de proteção.

A correção da corrosão da armadura e deterioração do concreto é feita conforme as seguintes etapas, primeiramente se analisa a situação e verifica o que é necessário para intervir imediatamente, em seguida restaura, repara e reforça a estrutura, adiante a atenção a ser dada na região em que a armadura apresenta-se corroída e por fim coloca-se um revestimento que protege as armaduras da ação dos intempéries e forças adversas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Os materiais utilizados na pesquisa foram paquímetro, martelo, escada, máquina fotográfica e esclerômetro de reflexão. Este último é um equipamento que é submetido a um impacto padronizado a estrutura a ser ensaiada, determinando assim o índice Esclerométrico, que se relaciona com o valor do ricochete da massa-martelo impactante.

3.2 Ensaio não destrutivo

O ensaio de resistência à compressão não-destrutivo é preferível ao destrutivo, por conta da facilidade de operação do ensaio. Após a identificação de fissuras, trincas e rachaduras nos pilares e na viga de concreto utilizou o ensaio esclerométrico que avalia a dureza superficial do concreto através de um martelo que nos dá o índice esclerométrico que é correlacionado a resistência da peça de concreto, bem como a estrutura como um todo.

A utilidade do ensaio não destrutivo é o controle tecnológico; monitoramento do desenvolvimento da resistência; localização e determinação da extensão de fissuras, vazios e falhas de concretagem; avaliação do potencial de durabilidade do concreto; e verificação de danos causados por incêndios.

O ensaio não mede diretamente a resistência à compressão do concreto, mas sim outra propriedade que pode ser correlacionada com esta resistência, que no caso deste ensaio é a dureza superficial.

A dureza superficial do elemento ensaiado é diretamente proporcional a distância que for refletido o massa-martelo após o choque. Este ensaio é normatizado pela ABNT NBR 7584:2012 (EVANGELISTA, 2012; BOTTEGA, 2010).

O aparelho baseia-se na conservação da energia do sistema para calcular a resistência à compressão do concreto ensaiado. Neste ensaio, a energia cinética da massa-martelo é crucial. No momento que a massa-martelo é lançada, ela adquire uma certa energia cinética, proporcional ao quadrado de sua velocidade inicial.

No instante do impacto com o elemento ensaiado, uma parcela da energia cinética converte-se em energia de deformação, provocando uma deformação na peça, mesmo que mínima (ACI 228, 1989 apud EVANGELISTA, 2002).

Figura 13 – Esclerômetro utilizado em ensaios de esclerometria



Fonte: Samaniego, 2014.

3.3 Execução de ensaio esclerométrico

As recomendações para eficácia do ensaio são efetuar no mínimo 9 leituras em cada área estudada; evitar impacto sobre armadura ou agregados; não realizar mais de um impacto no mesmo ponto; usar uma distância mínima de 3 cm entre impactos e fazer ensaio com peças após tempo mínimo de 28 dias de cura.

No que diz respeito ao preparo das superfícies, estas tem que ser limpas e secas e preferencialmente planas, pois superfícies irregulares não fornecem valores homogêneos; superfícies úmidas devem ser evitadas, é necessário o uso do equipamento aferido e na posição adequada no caso do pilar aplica o equipamento a 0° e viga pode ser a 0° ou 90°.

Para obter o índice esclerométrico médio é necessário pegar a média aritmética dos 9 ou 16 pontos analisados e desprezar o índice individual que afasta em mais de 10% do valor médio obtido. Por fim, o resultado final (índice esclerométrico efetivo) é dado pela constante de correção multiplicada pelo índice esclerométrico médio. Assim sendo, o índice esclerométrico efetivo é relacionado por meio uma tabela presente na Norma 7584 a resistência em kgf/cm^2 .

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo de caso feito no edifício 559 que fica localizado na Rua da Estrela, Centro Histórico de São Luís, inicialmente fez-se os reparos de fissuras, trincas e rachaduras nos pilares P1, P2 e P3 e na viga V1 por se tratar de uma estrutura recente. A estrutura de concreto existente encontra-se revestida com reboco de cal, areia e barro.

Identificado os defeitos no concreto verificou-se que o reboco foi feito de uma camada porosa, que trabalha suportando a umidade do local. No entanto, esta umidade que não causa problema na argamassa tradicional de alvenaria. No caso do concreto que a argamassa de barro funciona como recobrimento, isto é, proteção da armadura; viu-se que o tipo de argamassa é um fator contribuidor para que ocorresse o fenômeno da carbonatação.

O diagnóstico dos pilares e da viga levou o autor deste trabalho à conclusão de que a causa principal da fissuração foi o fenômeno da carbonatação reconhecida através da abertura dos pilares e das vigas e aplicação da fenolftaleína diluída em álcool etílico. A partir disso notou-se, portanto, que os pilares encontravam-se todos carbonatados e com a durabilidade visivelmente comprometida.

Nessa situação recomenda-se a retirada de todos os pilares com vista a se construir novos, pois a estrutura de concreto existente não tem mais condições de sustento das cargas, ao longo prazo, que solicitam os pilares.

No caso da viga que possui vão de 12 metros de comprimento verificou-se que a mesma está carbonatada e precisa sofrer intervenção urgente, pois enfrenta processo de degradação, o qual pode culminar no seu arruinamento. Assim sendo, discutiu-se com a proprietária do casarão a ideia de se construir uma nova viga de concreto protendido que venha vencer esse grande vão, sem a necessidade de pilares.

Com relação aos pilares de concreto, pelo fato de todos estarem comprometidos pelo o fenômeno da carbonatação, a solução seria construir uma camisa metálica que posteriormente será concretada na posição dos pilares existentes sem demoli-los. Para isso a camisa metálica teria uma seção maior em

relação a seção existente. Após a construção das camisas em cada pilar, a estrutura existente ficaria dentro do novo sem nenhuma função estrutural.

Fotografia 14 – Pilares e viga comprometidos pela carbonatação



Fonte: Registro fotográfico do autor (2018).

Fotografia 15 – Demolição e remoção de reboco de pilar P1



Fonte: Registro fotográfico do autor (2018).

Fotografia 16 – Aplicação de fenolftaleína no pilar de concreto



Fonte: Registro fotográfico do autor (2018).

Fotografia 17 – Estrutura de concreto totalmente carbonatada



Fonte: Acervo do autor (2018).

Fotografia 18 – Enfatização da carbonatação – toda parte cinza



Fonte: Acervo fotográfico do autor (2018).

Fotografia 19 – Parte de concreto em bom estado (representado pela cor rosa)



Fonte: Acervo fotográfico do autor (2018).

Mediante a comprovação da carbonatação nas estruturas de concreto, pelo fato de todo o material está comprometido é recomendável uma tomada de ação para com essa estrutura devido a sua durabilidade estar diminuída. Assim sendo, o proprietário deve urgentemente trocar as estruturas antes mesmo que elas venham ao colapso.

Após a verificação da carbonatação nas peças de concreto fez-se o ensaio não-destrutivo com uso da esclerometria para avaliar a dureza superficial do concreto conforme recomendação da NBR 7584: 2012. A seguir será mostrado como feito a execução desse ensaio “in situ”.

Fotografia 20 – Execução de ensaio esclerométrico em pilar de concreto



Fonte: Registro fotográfico do autor (2018).

No pilar 1, pegou-se uma área plana, marcou 16 pontos espaçados a cada 3 cm e aplicou o esclerometro em cada ponto obtendo o índice esclerometro individual, após isso calculou-se a média dos índices esclerométricos individuais. Conforme a tabela abaixo:

Quadro 9 – Valores dos índices esclerométrico individuais do Pilar 1

Ponto	Índice esclerometrico	Ponto	Índice esclerométrico	Ponto	Índice esclerometrico
1	34	7	38	13	48
2	42	8	32	14	45
3	43	9	45	15	38
4	48	10	33	16	40
5	45	11	38		
6	43	12	37		

Fonte: Autor (2018).

O índice esclerométrico efetivo médio obtido da média dos 16 pontos foi de 40,56. A norma NBR 7584 recomenda desprezar todo valor de índice individual que esteja afastado em mais de 10% do valor médio obtido. Com isso, fez-se o recálculo da média dos índices que estiveram no intervalo $36,5 < ID < 44,61$. Desprezando os valores da tabela que não estão nesse intervalo tem-se que a nova média será de 39,875.

Tendo o valor do índice esclerométrico efetivo entra-se na tabela de esclerometria presente em norma, assim sendo determina a resistência da peça ensaiada. Como o índice esclerométrico encontrado não é um número inteiro, o passo seguinte é fazer a interpolação entre 39 e 40. Interpolando o índice esclerométrico médio de 39,875 encontra-se a resistência de 34,9 MPa.

No pilar 2, similar ao pilar 1 pegou uma área plana, porém a quantidade de pontos foi reduzida para 9.

Quadro 10 – Valores dos índices esclerométrico individuais do Pilar 2

Ponto	Índice esclerométrico	Ponto	Índice esclerométrico
1	29	7	26
2	32	8	36
3	32	9	38
4	36		
5	30		
6	36		

Fonte: Autor (2018).

O índice esclerométrico médio é 32,77; desprezando os valores que ficam distante da média mais de 10% tem-se a nova média igual a 33,66. Na tabela de esclerometria tem-se que a média fica entre 33 e 34, interpolando 33,66 encontra-se a resistência de 25,62 MPa.

Quadro 11 – Valores dos índices esclerométrico individuais do Pilar 3

Ponto	Índice esclerometrico	Ponto	Índice esclerométrico
1	21	7	20
2	18	8	26
3	17	9	20
4	18		
5	20		
6	26		

Fonte: Autor (2018)

Da mesma forma que o pilar 1 e 2 o índice esclerométrico médio do pilar 3 foi de 20,66; desprezando os valores distante de 10% do valor médio, tem-se o índice esclerométrico médio 20,25; interpolando o valor entre 20 e 21 tem-se a resistência 8,85 MPa.

Quadro 12 – Valores dos índices esclerométrico individuais da viga 1

Ponto	Índice esclerometrico	Ponto	Índice esclerométrico
1	24	7	25
2	28	8	28
3	26	9	25
4	25		
5	24		
6	27		

Fonte: Autor (2018)

A viga 1 apresentou-se o índice esclerométrico 25,78; sabendo que os valores estão dentro do intervalo dos 10% para mais ou menos do valor médio, tem-se o índice esclerométrico médio 25,78; interpolando o valor 25 e 26 tem-se a resistência na viga de 15,04 MPa.

Agora serão apresentados os resultados obtidos em alvenaria de pedra argamassada com madeira, as causas em geral são por conta do apodrecimento e degradação da madeira. Assim sendo, foi identificado que as fissuras se deram pelo fato de ocorrer a movimentação da madeira e em caso mais grave a sua ruína.

Fotografia 21 – Fissuras em alvenarias por conta da falta de aderência



Fonte: Registro fotográfico do autor (2018).

Diante da fissura acima em alvenaria de pedra argamassada observou-se a causa principal foi a falta de aderência entre a parede existente e a nova parede feita para o fechamento do arco. O tratamento pensado pelo autor para evitar a fissuração nessa situação seria a colocação de barras de ferro sendo um elo de ligação entre as duas paredes.

Fotografia 22 – Fissuras e trincas por conta do apodrecimento da madeira



Fonte: Registro fotográfico do autor (2018).

Na fotografia acima ilustrada observa-se que o motivo principal que levou a fissuração foi o apodrecimento e desgaste da madeira. Com isso, é fácil verificar o porque da fissuração externa à parede. A madeira que antes dava o travamento na diagonal primária e secundária da parede, agora a estrutura passa a ser deslocável e acaba provocando problemas patológicos nas alvenarias.

As paredes eram feitas de uma estrutura mista alvenaria/madeira. A utilização da madeira é por conta que estas conferem confinamento e resistência à flexão a parede. Nota-se na fotografia 22 que as peças de madeiras usadas na construção de alvenarias tinham todo um travamento entre si, a disposição das mesmas em diagonal formam diversos triângulos que foram preenchidos por pedra com cal e areia.

A utilização da madeira é característica típica das construções pombalinas. Assim como o concreto tem uma vida útil e a partir desse tempo de vida útil ele começa a entrar em estado de deterioração. A madeira também é um material que com o tempo envelhece e ocorre o apodrecimento e desgaste do material, nesse caso quando utilizado como alvenaria, no decorrer do tempo a madeira em estado de degradação ocasiona o que se vê nas fotografias apresentadas – Fissuração.

Fotografia 23 – Fissuração em alvenarias de pedra com travamento de madeira



Fonte: Registro fotográfico do autor (2018).

Fotografia 24 – Alvenaria de pedra argamassada com madeira



Fonte: Registro fotográfico do autor (2018).

A madeira é um material natural com grande utilidade na construção civil e que se comporta muito bem, aplicada em edifícios, se estes forem projetados e executados de forma adequada. No entanto, existem agentes negligenciadores que afetam diretamente a madeira ao longo do tempo, por conta disso há a necessidade de precavê esses agentes inseticidas com substâncias químicas faladas mais adiante.

Como foi detectado o ataque de organismos “xilófagos” nas peças de madeiras é preciso recorrer ao tratamento com carácter curativo que geralmente consiste em introduzir produtos químicos na madeira com o intuito de eliminar os agentes degradadores e impedir que ocorra a continuação do ataque a madeira pelo “cupim”.

O tratamento da madeira de carácter curativo consiste na injeção e pulverização de produtos químicos orgânicos nas peças de madeira. No caso das alvenarias de pedra com madeira é necessário demolir superficialmente a alvenaria para poder aplicar o produto protetor de agentes degradadores.

Quando a madeira apresenta-se em zona degradada é preciso que se tire a parte comprometida, isto é, necessário a substituição das peças desgastadas por peças novas. O tratamento curativo em profundidade é feito em todas as peças de madeira atacadas, contra insetos de ciclo larvário mediante aplicação e injeção de produtos químicos protetor.

Para a madeira em estado seco o produto químico comumente utilizado é Glicol-borato; o glicol ajuda o borato a penetrar na madeira seca, eliminando a atividade de qualquer fungo. A penetração deste preservativo é limitada e a função mais relevante é prevenir fungos não identificados e evitar que aconteça o seu crescimento.

Existe uma forma de tratamento da madeira em estado aquoso, o produto químico protetor é o Cromo Cobre Arsênio (CCA). O cobre funciona como primeiro fungicida, o arsênio o segundo fungicida e inseticida e o cromo como um fixador que provê os raios ultravioleta.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As fissuras em alvenarias de pedra e concreto são responsáveis por inúmeros problemas tais como a falta de estanqueidade da água, o isolamento acústico, e em casos mais graves até o comprometimento da estrutura do edifício, além de exercer um efeito visual negativo e causar prejuízos psicológicos e financeiros aos proprietários.

Apesar da melhoria na qualidade dos materiais e evolução das técnicas de projetos e execuções, as fissuras em alvenaria e no concreto continuam desafiando os estudiosos para saber quais as suas causas, fatores de influência, soluções e tratamentos para amenizar o problema quando já instalado e evitar suas ocorrências.

As falhas no projeto, a má qualidade dos materiais, a execução inadequada, a ações dos intempéries, o envelhecimento dos materiais, a consolidação do solo, o rebaixamento do lençol freático, recalques diferenciais de fundações são fatores que estão diretamente relacionados a ocorrência de fissuras em alvenarias.

Estudar estratégias e formas de melhoria para evitar o problema da fissuração é por sinal mais complexo do que se imagina em primeira análise circunstancial. Assim sendo, esse trabalho identificou as causas e recomendou os tratamentos das fissuras presente no sobrado 559.

Em geral, foi descoberto que no casarão a causa maior da fissuração em alvenaria de pedra/madeira foi o envelhecimento e apodrecimento da madeira por conta da sua idade e também os agentes degradadores como o cupim que se alimenta da madeira. Com isso obervou-se o comprometimento das alvenarias sendo avistado por meio de fissuras, trincas e rachaduras decorrentes da movimentação da madeira.

Nas estruturas de concreto observou-se que o fator gerador de fissuras, trincas e rachaduras foi o fenômeno da carbonatação, problema este que reduz a alcalinidade da estrutura e reduz de forma brusca a durabilidade do concreto o que leva a estrutura a entrar em estado de colapso e deterioração.

Nesse sentido, ao observar que os pilares e a viga estão em estado de carbonatação significativo a recomendação é que se faça a demolição atual da estrutura e se reconstrua uma nova de concreto para atender os carregamentos solicitados pelo pavimento superior.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 15575 – **Edificações Habitacionais – Desempenho**. Julho, 2013.
- ABNT NBR 7175 – **Cal hidratada para argamassas – Requisitos**. maio, 2003.
- ABNT NBR 7211 – **Agregados para Concreto – Materiais de Construção**. Maio, 1983.
- ABNT NBR 9575 – **Projeto de Impermeabilização**. Outubro, 2003.
- ABREU, Rafael Otávio Alves. **Avaliação da resistência de estruturas de concreto com o uso da esclerometria**. Relatório final de iniciação científica - São Luís, novembro de 2015.
- AMARAL, A. M. **Amostra I, II e III: Argamassa de revestimento de alvenaria de pedra e cal**. ESCOLA POLITÉCNICA - UFBA, Novembro de 2014.
- ARAÚJO, J. M.. **Curso de concreto armado**, 4.ed. Rio Grande: Dunas, 2014.
- ARRIAGA, F.; PERAZA, F.; ESTEBAN, M.; BOBADILHA, I.; GARCÍA, F. **Intervencion en estructuras de madera**. Financiado por la orden FOM/495/2002 de 22 de febrero de 2002.
- Associação brasileira de cimento Portland. **Guia básico de utilização do Cimento Portland**, 7ª edição São Paulo: Dezembro de 2002.
- Associação brasileira de cimento Portland. NBR 11578: 1991 **Cimento Portland Composto**. Rio de Janeiro.
- Associação brasileira de cimento Portland. NBR 5732: 1991 **Cimento Portland Comum**. Rio de Janeiro.
- Associação brasileira de cimento Portland. NBR 5735: 1991 **Cimento Portland Alto-forno**. Rio de Janeiro.
- Associação brasileira de cimento Portland. NBR 5736: 1991 **Cimento Portland Pozolânico**. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7584 – Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão**. Rio de Janeiro, 1995.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118:2003 - **Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro.

Associação brasileira de Normas Técnicas. NBR 6393: 1980 – **Regulamenta procedimentos, tolerâncias e demais condições de calibração de paquímetro.** Rio de Janeiro.

Associação brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211: 2009 - **Agregado para concreto – especificação.** Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211:1982 - **Agregados para concreto.** Rio de Janeiro.

Associação brasileira de Normas Técnicas. NBR 7480: 2007 – **Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – especificação.** Rio de Janeiro.

BAIMA, Glória Maria Nina. **Manual para normalização de trabalhos acadêmicos** / Glória Maria Nina Baima, Ione Gomes Paiva, Betânia Lúcia Fontinele Lopes. - São Luís: Eduema, 2014.

BANDEIRA, et al.. **Mapa da área de estudo: São Luís**, 2016.

CÓIAS, Vítor. **Reabilitação Estrutural de edifícios antigos – Alvenaria | Madeira: Técnicas Pouco Intrusivas.** 2ª Edição Maio 2007.

CONSTRUINDODECOR. **Argamassa para assentamento, revestimento e rejunte** / Construção Industrializada – ABCI. São Paulo, 1990. p. 97-117.

CORSINI, R.. **Revista Téchne.** ed. 160 São Paulo: Pini, 2010.

EVANGELISTA, A. C, J.. **Avaliação da Resistência do Concreto Usando Diferentes Ensaio Não Destrutivos.** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.

FIGUEIREDO, Tayana do Nascimento Santana Campos. **Expressões e desafios do restauro arquitetônico em edificações da arquitetura luso-brasileira no centro antigo da cidade de São Luís (MA/Brasil).** Dissertação de Mestrado, São Paulo 2012.

HELENE, Paulo R. L. **Manual para preparo, reforço e proteção de estruturas de concreto** – 2ª edição – São Paulo : Pini, 1992.

KANAN, M. I. **Manual de Conservação e Intervenção em Argamassas e Revestimentos à Base de Cal.** Brasília, DF: Iphan / Programa Monumenta, 2008.

LELLES, L. C.; SILVA, E.; GRIFFITH, J. J.; MARTINS, S. V. **Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d' água**, Revista Árvores, v. 29, n. 3, p. 439-444, 2005.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**, 3.ed. São Paulo: Pini, 2008.

MORAIS, André. **Revista da madeira: preservantes** – Edição nº 117 – Novembro de 2008.

PAULO, Jones. **Paredes de alvenaria de pedra**. Disponível em <<http://paulojones.com/tecnicas/pedra.htm> > Acesso em: 10 de abril de 2018.

PINHEIRO, L.M. (2003). **Notas de aula da disciplina Estruturas de Concreto**. São Carlos, EESC-USP.

PINHEIRO, L.M., GIONGO, J.S. (1986). Concreto armado: **propriedades dos materiais**. São Carlos, EESC-USP, Publicação 005 / 86. 79p.

RUDLOFF, Marfrend Theodor. **Concreto protendido** – 3ª edição – 2009 revisada e ampliada

SCANMETAL. **Equipamento: escantilhão para alvenaria de vedação**. Disponível em: <<http://www.scanmetal.com.br>>. Acesso em: 17 de abril de 2018.

SILVA, J. Mendes – **Fissuração das alvenarias**. Estudo do comportamento das alvenarias sobre ações térmicas. Tese de doutoramento – Universidade de Coimbra, Coimbra, 1998.

SILVA, M. R.. **Materiais de construção**, 2.ed. São Paulo: Pini, 1991.

TECNOSIL, Sílica Ativa. **O que é e como ocorre a carbonatação do concreto?** Publicado por Administrador em 8 de março de 2018.

THOMAZ, E. **Patologia**. Manual técnico de alvenaria.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. – São Paulo: Pini : Escola Politécnica da Universidade de São Paulo : Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989.

TRAMONTIN, André Penteado. **Avaliação Experimental dos métodos de prevenção de fissuras na interface Alvenaria de Vedação e Pilar de concreto** / Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Campinas-SP, 2005.

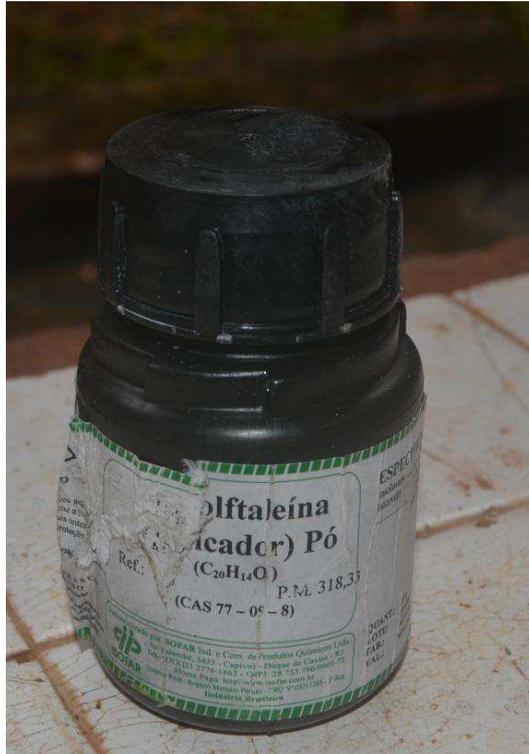
VASCONCELLOS, S. **Arquitetura no Brasil: sistemas construtivos** / Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 1979.

VOTORANTIM, Cimentos. **Tipos e usos da cal: conheça diferenças e aplicações**. Publicado em 30 de maio de 2016.

WATANABE, Roberto. **Trincas e Fissuras**. Apostila de janeiro de 2006.

ANEXOS

ANEXO A - RECIPIENTE COM FENOLFTALEÍNA EM PÓ



Fonte: Registro fotográfico do autor (2018).

ANEXO B - VERIFICAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO POR MEIO DA APLICAÇÃO DE FENOLFTALEÍNA



Fonte: Registro fotográfico do autor (2018).

ANEXO C – ARMADURA EM ESTADO DE CORROSÃO



Fonte: Registro fotográfico do autor (2018).

ANEXO D - SIMULAÇÃO DA CARBONATAÇÃO EM CORPO DE PROVA NO LABORATÓRIO DE CONCRETO DA UEMA



Fonte: Acervo fotográfico do autor (2018).