FERNANDA OLIVEIRA LINHARES

# ESTUDO DE PATOLOGIAS DE ORIGEM ESTRUTURAL DE CONSTRUÇÕES HISTÓRICAS DA ÁREA CENTRAL DO RIO DE JANEIRO COM ANÁLISE DAS TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO E REFORÇO.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Área de Concentração: Materiais, Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas.

Orientador: Prof. EMIL DE SOUZA SÁNCHEZ FILHO, D. Sc.

NITERÓI
2014

FERNANDA OLIVEIRA LINHARES

# ESTUDO DE PATOLOGIAS DE ORIGEM ESTRUTURAL DE CONSTRUÇÕES HISTÓRICAS DA ÁREA CENTRAL DO RIO DE JANEIRO COM ANÁLISE DAS TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO E REFORÇO.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Área de Concentração: Materiais, Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas.

Aprovado em outubro de 2014:

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Emil de Souza Sánchez Filho, D. Sc. – Orientador.
Universidade Federal Fluminense

_____

Prof[a] Simone Feigelson Deutsch, D. Sc.
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

_____

Prof. Iporan de Figueiredo Guerrante, D. Sc.
Universidade Federal Fluminense

Niterói

2014

Dedico esse trabalho

aos meus pais Luiz Fernando e Eloisa,

à minha avó Edith que sempre torceu pelo meu sucesso mas infelizmente nos deixou este ano assim como o meu tio Serginho que com todo o seu amor e doçura sempre foi muito especial em minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu professor orientador Emil de Souza Sánchez Filho, pelos conselhos, compreensão e broncas que me ajudaram a persistir neste desafio.

Aos meus pais e noivo, que sempre vieram com palavras de apoio e muito afeto quando eu achava que não conseguiria ir em frente.

Aos funcionários do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense pelas inúmeras ajudas e compreensão.

**SUMÁRIO**


**1 INTRODUÇÃO ..... 13**
1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA ..... 15
1.2 METODOLOGIA ..... 15
1.3 RESULTADOS ESPERADOS E DIFICULDADES DE PESQUISA ..... 17
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO ..... 18

**2 TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS PARA REPAROS E REFORÇOS ESTRUTURAIS ..... 19**
2.1 ALVENARIA EM PEDRA ARGAMASSADA ..... 19
**2.1.1 Paredes de folha simples ..... 20**
**2.1.2 Paredes de duas folhas ..... 21**
**2.1.3 Paredes de duas folhas ..... 22**
**2.1.4 Patologias em paredes de construções históricas ..... 25**
2.1.4.1 Desprendimento de partes da parede ..... 26
2.1.4.2 Esmagamento ..... 27
2.1.4.3 Fendilhamento ..... 28
2.1.4.4 Eflorescência e Criptoflorescência ..... 31
**2.1.5 Técnicas de recuperação e reforço estrutural ..... 32**
2.1.5.1 Injeção ..... 34
2.1.5.2 Reconstrução Local ..... 39
2.1.5.3 Reforço Externo ..... 41
2.1.5.4 Stitching - Costura ..... 42
2.1.5.5 Barras de Amarração ..... 43
2.1.5.6 Amarração local e global ..... 43
2.1.5.7 Refechamento e Reforço de juntas ..... 44
2.1.5.8 Substituição estrutural ..... 45
2.1.5.9 Substituição de elementos ..... 45
2.1.5.10 Encamisamento ..... 46
2.1.5.11 Confinamento em pilares ..... 47
2.1.5.12 Confinamento em paredes ..... 48
2.1.5.13 Reboco Armado ..... 49
2.1.5.14 Alargamento ..... 51
2.1.5.15 Contraforte ..... 52
2.1.5.16 Escoramento ..... 53
2.1.5.17 Protensão ..... 55
2.1.5.18 Ancoragem ..... 56
2.2 FUNDAÇÕES ..... 57
**2.2.1 Intervenções diretas em fundações ..... 58**
**2.2.2 Intervenções no solo abaixo da fundação ..... 59**

**3 MANUAL PRÁTICO – ESTUDOS DE CASOS REAIS ..... 63**
3.1 CÚPULA DO DOPS – RJ ..... 63
**3.1.1 Notas iniciais ..... 63**
**3.1.2 DOPS ..... 64**
3.2 SOBRADOS DA RUA DO SENADO, Nº 104 E Nº 106 ..... 81
**3.2.1 Notas Iniciais ..... 81**
**3.2.2 Sobrados - Patologias ..... 84**

**4 CONCLUSÕES ..... 91**

4.1 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....92
**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....93**

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1: Efeitos de intervenção em construções históricas ..... 33

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Esquema de elaboração da pesquisa bibliográfica. ..... 16
Figura 1.2: Esquema de elaboração da pesquisa de campo. ..... 16
Figura 1.3: Mapa da área de estudo ..... 17
Figura 2.1: Parede aparelhada em cantaria. ..... 21
Figura 2.2: Parede com pedras transversais funcionando como travadouro ..... 21
Figura 2.3: Parede de duas folhas separadas por junta vertical preenchida por material desagregado. ..... 22
Figura 2.4: Comportamento de uma parede de pedra de várias folhas por ação de forças externas. ..... 23
Figura 2.5: Deformação e desmoronamento de uma parede de duas folhas por ruptura frágil na sua direção lateral. ..... 24
Figura 2.6: Esquema de reforço dos cantos com cadeia de ângulo em cantaria. ..... 25
Figura 2.7: Umidade ascendendo por capilaridade. Quanto maior a altura menor a capilaridade. ..... 27
Figura 2.8: Abaulamento de parede por fendilhamento vertical. ..... 29
Figura 2.9: Tipos de assentamento de fundações: (a) uniforme; (b) diferencial com rotação; (c) diferencial com deformação. ..... 30
Figura 2.10: Solicitações laterais que provocam fendas horizontais nas paredes. ..... 30
Figura 2.11: Esquema do mecanismo de formação da eflorescência e da criptoflorescência ..... 31
Figura 2.12: Injeção de fissura; SOUZA e RIPPER (1998). ..... 35
Figura 2.13: Sequência de injeção de adesivo epóxi. ..... 37
Figura 2.14: Preenchimento de fissura com injeção através de furos com brocas. ..... 38
Figura 2.15: Injeção por gravidade. ..... 39
Figura 2.16: Injeção manual e por gravidade. ..... 39
Figura 2.17: Substituição do material degradado por um de melhor qualidade. ..... 40
Figura 2.18: Área reconstruída com os mesmos materiais. ..... 40
Figura 2.19: Área reconstruída com materiais distintos. ..... 41
Figura 2.20: Exemplo de reforço externo com tecido CFC. ..... 42
Figura 2.21: Representação da técnica de reforço estrutural conhecida como costura; ..... 42
Figura 2.22: Representação do funcionamento das barras de amarração; ..... 43
Figura 2.23: Representação do processo de reforço de juntas. ..... 45
Figura 2.24: Representação da técnica do encamisamento: parede de pedras. ..... 46
Figura 2.25: Representação da técnica do encamisamento: paredes de alvenaria cerâmica. ..... 47
Figura 2.26: Confinamento de pilares ..... 47
Figura 2.27: Confinamento de paredes, por meio de chapa de ancoragem. ..... 48
Figura 2.28: Confinamento de paredes, com tirantes. ..... 48
Figura 2.29: Detalhe da execução do reboco armado ..... 50
Figura 2.30: Detalhe da fixação da malha de aço. ..... 50
Figura 2.31: Corte longitudinal de uma parede com reboco armado. ..... 50
Figura 2.32: Detalhe da fixação da malha de reforço. ..... 51
Figura 2.33: Técnica do alargamento. ..... 51
Figura 2.34: Exemplo do contraforte. ..... 52
Figura 2.35: Exemplo do Contraforte como reforço estrutural. ..... 53
Figura 2.36: Detalhe do contraforte como técnica de reforço estrutural. ..... 53
Figura 2.37: Escoramento realizado nos sobrados da Rua do Senado. ..... 54
Figura 2.38: Escoramento realizado nos sobrados da Rua do Senado. ..... 54

Figura 2.39: Antes e após da protensão em viga simplesmente apoiada: (a) Trincas devido ao carregamento; (b) Elemento protendido; (c) Protensão mais carregamento. ..... 55
Figura 2.40: Antes e após a protensão em viga engastada: (a) Trincas devido ao carregamento; (b) Elemento protendido; (c) Protensão mais carregamento. ..... 56
Figura 2.41: Sistema de Ancoragem..... 57
Figura 2.42: Aumento da superfície de contato..... 58
Figura 2.43: Rebaixamento e aumento da superfície de contato..... 59
Figura 2.44: Consolidação da sapata e do solo com injeção de cimento e química, confinadas por caixas de concreto armado. ..... 59
Figura 2.45: Execução das micro-estacas..... 60
Figura 2.46: Sequência de execução da estaca raiz. ..... 61
Figura 2.47: Execução do jet-grouting ..... 62
Figura 3.1: Localização do edifício do DOPS..... 63
Figura 3.2: Fachada do edifício DOPS. Disponível em: www.inepac.rj.gov.br ..... 64
Figura 3.3: Fachada do edifício. ..... 65
Figura 3.4: Vista geral da cúpula do edifício..... 65
Figura 3.5: Elementos estruturais da cúpula listados no projeto de reforço..... 66
Figura 3.6: Vista superior da cúpula..... 66
Figura 3.7: Locais dos reparos executados ..... 68
Figura 3.8: Técnica de reforço estrutural utilizada: pregagem de contrafortes. ..... 69
Figura 3.9: Desenho técnico das chapas de aço utilizadas na pregagem de contrafortes..... 69
Figura 3.10: Fixação dos chumbadores às chapas de aço: (a) Furo para fixação do chumbador; (b) Fixação da chapa de aço; (c) Fixação do chumbador à chapa de aço..... 70
Figura 3.11: Lanterna da cúpula antes da injeção de argamassa polimérica..... 71
Figura 3.12: Lanterna da cúpula depois da injeção de argamassa polimérica..... 71
Figura 3.13: Detalhe das calhas obstruídas. ..... 72
Figura 3.14: Calha depois de limpa e impermeabilizada..... 72
Figura 3.15: Antes da intervenção..... 73
Figura 3.16: Após remoção do emboço..... 74
Figura 3.17: Após aplicação do tecido de CFC..... 74
Figura 3.18: Após aplicação de última camada de argamassa polimérica. ..... 74
Figura 3.19: Remoção do emboço..... 75
Figura 3.20: Colocação das placas e dos chumbadores metálicos. ..... 75
Figura 3.21: Aperto das porcas (lado externo). ..... 76
Figura 3.22: Aperto das porcas (lado interno)..... 76
Figura 3.23: Estrutura interna da cúpula antes. ..... 77
Figura 3.24: Estrutura interna da cúpula depois..... 77
Figura 3.25: Nó central antes..... 77
Figura 3.26: Nó central depois. ..... 78
Figura 3.27: Estrutura de arcos com corrosão. ..... 78
Figura 3.28: Estrutura de arcos com corrosão ..... 78
Figura 3.29: Trecho com corrosão e perda de massa de ferro..... 79
Figura 3.30: Trecho do arco metálico com reforço de CFC..... 79
Figura 3.31: Trecho do arco metálico com reforço de CFC ..... 79
Figura 3.32: Trecho do arco metálico com reforço de CFC..... 80
Figura 3.33: Forro de gesso refeito..... 81
Figura 3.34: Localização dos Sobrados..... 82
Figura 3.35. Fachada antes da intervenção..... 82
Figura 3.36: Fachada durante a intervenção..... 83
Figura 3.37: Fachadas das casas 104 e 106. ..... 83

Figura 3.38: Vista de fundos antes do início da intervenção. ..... 84
Figura 3.39: Detalhe técnico do reparo de trincas. ..... 85
Figura 3.40: Recuperação de trincas da parede da casa 104 (ao lado da Igreja). ..... 85
Figura 3.41: Recuperação de trincas da parede que divide as casas 104 e 106. ..... 85
Figura 3.42: Recuperação de trincas da parede da casa 106. ..... 86
Figura 3.43: Sobrado 104 após demolição necessária. ..... 86
Figura 3.44: Sobrado 106 após demolição necessária. ..... 87
Figura 3.45: Escoramento e remoção do emboço. ..... 87
Figura 3.46. Demolição de paredes internas e cobertura do sobrado 106. ..... 88
Figura 3.47: Início do tratamento das trincas. ..... 88
Figura 3.48: Concretagem das estacas ..... 89
Figura 3.49: Execução da estrutura metálica. ..... 89
Figura 3.50: Execução de concreto jateado em parede com tela estrutural. ..... 90

## RESUMO

A fim de expandir a vida útil de construções históricas localizadas na área central do Rio de Janeiro e construídas há aproximadamente um século, esse trabalho aborda as técnicas de reparo e reforço estrutural, mais indicadas aos imóveis em questão. Inicialmente são estudados os tipos de patologias predominantemente encontradas nas construções históricas executadas em alvenaria de pedra, visto que tal sistema construtivo era o mais adotado nas construções do início do século XX. Em seguida apresentam-se algumas técnicas de reforço estrutural indicadas para imóveis que necessitam de reabilitação. Antes da adoção de qualquer técnica de reparo e reforço estrutural, é necessário que se domine as várias patologias existentes e que se conheça as diversas técnicas disponíveis na atualidade para só então selecionar a mais adequada. Para melhor entender o método de avaliação e intervenção de uma construção antiga, dois estudos de caso são apresentados neste trabalho. Os dois imóveis estão locados na área central da cidade do Rio de Janeiro e apresentam patologias e técnicas de reparo e reforço distintas. Em ambos os casos a reabilitação dos edifícios permitiu que as construções pudessem ser utilizadas com segurança ainda que seus usos originais não tenham sido mantidos.



**Palavras-chave**: Patologias; Recuperação Estrutural; Construções Históricas.

## ABSTRACT

This thesis addresses repair and structural reinforcement techniques which are indicated to historic properties in order to expand their life cycle. This work comes from the need to rehab historic buildings located on Rio de Janeiro. Initially, types of pathologies found at the historic buildings made by stone masonry are studied. This type of build was the most used at the beginning of Century XX. Posteriorly, some techniques of structural reinforcement indicated to these types of buildings are presented. Before choosing and adopting any repair and structural reinforcement technique, the knowledge of pathologies and appropriates reinforcement techniques available nowadays is necessary. In order to better understand the methods of historic building´s evaluation and intervention, two cases are presented. Both properties are located in the center of Rio de Janeiro and have different pathologies and different structural strengthening techniques. In both cases, the rehab of buildings allows the safe use of it, even if the original use has been changed.



**Key-words**: Pathologies; Structural Strengthening; Historic Buildings

# 1 INTRODUÇÃO

A análise da história da cidade do Rio de Janeiro é de extrema importância para avaliar o desenvolvimento das construções, os sistemas e materiais construtivos adotados no final do século XIX e início do século XX. Com esses aspectos, pode-se iniciar o estudo das patologias nessas construções e avaliar a possibilidade de recuperação e reforço estrutural dos imóveis históricos.

O Rio de Janeiro adquiriu grande importância a partir do século XVIII, por sua proximidade com a província de Minas Gerais, no ciclo do ouro. Essa localização privilegiada consolidou a cidade do Rio de Janeiro em um importante centro econômico e portuário, e em consequência disso em 1763 a cidade passou a ser sede da colônia.

Com a vinda da Corte Portuguesa para o Rio de Janeiro em 1808, iniciaram-se as transformações urbanas e arquitetônicas na cidade. Como a viagem foi inesperada, algumas casas aqui existentes foram ocupadas, obrigando os seus proprietários a abandoná-las. A arquitetura local foi influenciada por arquitetos portugueses, tanto nos materiais e sistemas construtivos, como no estilo arquitetônico.

Em meados do século XIX no Rio de Janeiro parte das moradias eram em construções desordenadas e sem legislação, carentes de saneamento e planejamento, conhecidas por cortiços. Em consequência dessas moradias precárias, surgiam na cidade epidemias de doenças como a febre amarela, varíola, entre outras e fazendo dessa forma com que a cidade adquirisse fama de suja e insalubre. A fim de solucionar esse quadro, no início do século seguinte são iniciadas as reformas higienistas e urbanas, adotadas pelo então prefeito Pereira Passos, que visavam mudar a imagem da Capital da República. A Avenida Central é aberta, e para tanto, muitos sobrados precisaram ser demolidos. Importantes prédios foram construídos, como o Theatro Municipal, a atual sede da Biblioteca Nacional, além de muitos outros edifícios inspirados na arquitetura parisiense.

A fim de resguardar esses imóveis, algumas leis, programas de preservação e instituições foram concebidos. A Constituição da República Federativa do Brasil, em seu artigo 216, estabelece que o poder público deve garantir, junto com o apoio da comunidade, a proteção, preservação e gestão do patrimônio cultural brasileiro. Ainda na constituição de 30 de novembro de 1937, assinada pelo então presidente da República Getúlio Vargas, no artigo 134, também está explícito a necessidade de se proteger os conjuntos urbanos:

> "Art. 134. Os monumentos históricos, artísticos e naturais, assim como as paisagens ou os locais particularmente dotados pela natureza, gozam da proteção e dos cuidados especiais da Nação, dos Estados e dos Municípios. Os atentados contra eles cometidos serão equiparados aos cometidos contra o patrimônio nacional."

O Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) foi criado em 1937, respeitando o artigo supracitado da constituição brasileira, com a finalidade de proteger os monumentos históricos brasileiros. Já o Instituto Estadual do Patrimônio Cultural (INEPAC), funciona a 40 anos protegendo o patrimônio cultural em nível estadual.

Dentre os tipos de proteção de bens históricos os principais são o tombamento, a preservação e a tutela. No primeiro caso, por ter uma valiosa representatividade, a construção não pode ser demolida, nem ser modificada e/ou reformada sem autorização do órgão de tutela responsável pela mesma. Já na preservação a edificação também é significativa para o entorno e para a identidade do local e da população, porém seu interior pode ser modificado desde que sua fachada e telhado sejam inalterados. Os bens tutelados não possuem características muito representativas, porém estão situados no entorno de bens tombados ou preservados, estando dessa forma, sujeitos às restrições a fim de não descaracterizar o conjunto protegido.

Quando um imóvel particular está protegido por algum desses órgãos de preservação, o proprietário deste pode ficar isento do pagamento do Imposto Predial Territorial Urbano (IPTU), para ajudar na manutenção e recuperação da construção. Como os custos dessas atividades são muito superiores ao valor não pago, os imóveis em questão acabam se deteriorando ao longo dos anos, ficando na maioria das vezes abandonados.

Com a crescente valorização e especulação imobiliária nas áreas centrais urbanas, a recuperação desses imóveis têm se tornado uma alternativa interessante. A reabilitação dessas construções permitirá a manutenção da identidade urbana, possibilitando por vezes que usos distintos possam ser adotados, além de preservar a manutenção de parâmetros edilícios hoje mais restritivos.

Além da restauração e do tratamento das patologias encontradas nos edifícios do início do século XX, deve-se ainda ter bastante atenção ao funcionamento atual de suas estruturas. Boa parte desses imóveis já ultrapassou sua vida útil e, portanto, necessitam de uma avaliação para possíveis reforços estruturais, pois podem apresentar riscos de ruína.

## 1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

Muitas das construções do Centro do Rio de Janeiro datam do início do século XX, tendo por tanto em torno de um século de vida. Este trabalho aborda alguns bens históricos, que se encontram deteriorados e em risco de ruína por falta de manutenção, recuperação ou reforço estrutural.

A preocupação com a recuperação e preservação de imóveis históricos no Brasil é muito recente, principalmente se comparada à das nações europeias. A preservação de monumentos históricos e culturais é uma forma de se manter a identidade e a memória da nação.

São analisadas duas edificações do centro da cidade do Rio de Janeiro que apresentem patologias, analisando-se as prováveis causas do surgimento das mesmas, e as soluções cabíveis em cada caso. Este estudo tem a finalidade de auxiliar e fornecer subsídios técnicos para os profissionais que atuam nessa área.

## 1.2 METODOLOGIA

A pesquisa bibliográfica foi o primeiro método de pesquisa utilizado. Inicialmente buscou-se conhecer o objeto de estudo pelo viés histórico, e posteriormente pela análise de materiais e sistemas construtivos utilizados.

A etapa posterior foi à pesquisa de campo, onde foram selecionados os imóveis que serviriam de estudo de caso, obtendo-se registros fotográficos e analisando-se as patologias encontradas em cada caso, além de se estudar e apontar as possíveis causas e prescrever soluções.

Para melhor compreensão da metodologia utilizada julgou-se necessária a representação da mesma por meio do organograma (Figuras 1.1 e 1.2).

Figura 1.1: Esquema de elaboração da pesquisa bibliográfica.

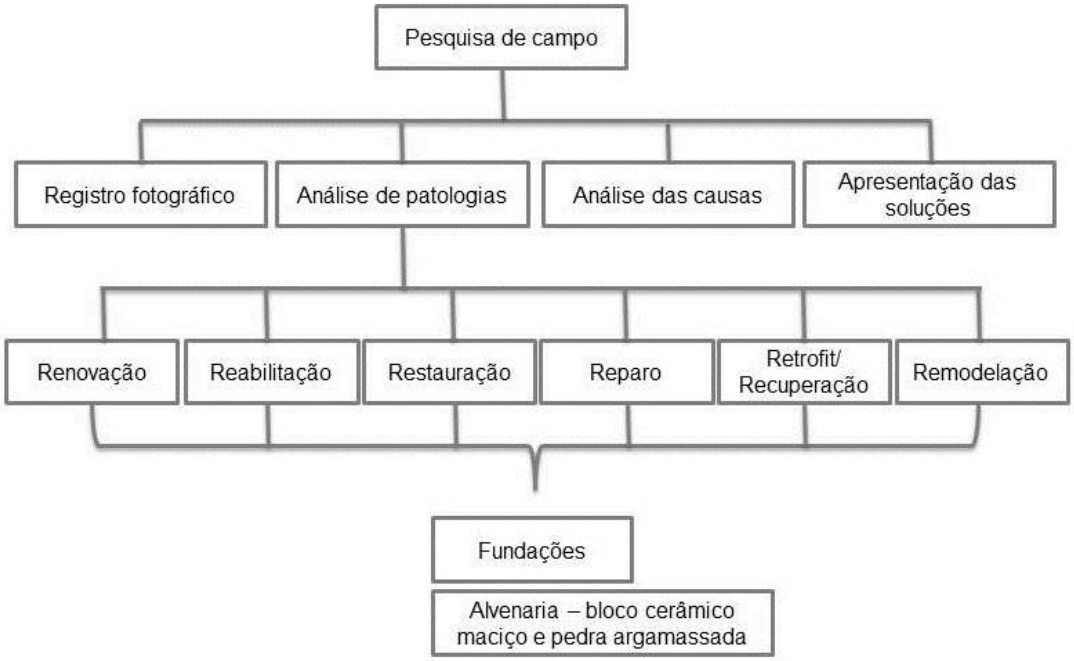



Figura 1.2: Esquema de elaboração da pesquisa de campo.

Após o estudo e a análise dos sistemas e materiais construtivos das construções históricas do Centro do Rio de Janeiro, são apresentados exemplos de patologias encontradas predominantemente nas mesmas, e suas prováveis causas e soluções.

Na Figura 1.3 apresenta-se a área de estudo onde dois casos selecionados estão localizados.

Figura 1.3: Mapa da área de estudo

Para melhor compreensão deste estudo são definidos alguns termos (NEWMAN, 2001).

**Renovação**: processo de relevante reparo ou alteração que estenda a vida útil de um edifício.

**Reabilitação**: atualização necessária para atender às novas necessidades. É necessária a sensibilidade na construção de características e correspondência simpática da construção original.

**Restauração**: resgate do edifício à sua estrutura original. Geralmente mais aplicada em edifícios históricos.

**Reparo**: processo de reconstrução e renovação de prédios existentes, parcial ou totalmente.

**Retrofit/ Recuperação**: melhoras nos sistemas prediais, como mecânicos, elétricos, estruturais com o objetivo de melhorar seu desempenho, funcionalidade e aparência.

**Remodelação**: semelhante à Renovação, comumente utilizado em edifícios residenciais.

## 1.3 RESULTADOS ESPERADOS E DIFICULDADES DE PESQUISA

O principal resultado esperado com este estudo é produzir um manual que ofereça uma didática de fácil compreensão e possa ser utilizado por profissionais que atuam na área de reparos e reforços de estruturas de construções antigas.

A maior dificuldade nesta pesquisa é a questão da acessibilidade aos objetos de estudo. Para adentrar em determinadas construções, muitas vezes demanda tempo e persuasão.

## 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O estudo em questão foi dividido em capítulos que estão definidos e descritos abaixo.

O 1º capítulo corresponde a Introdução e explica o tema a ser estudado.

O capítulo 2 apresenta as patologias, e as técnicas e procedimentos para reparos e reforços estruturais mais utilizados e eficazes nos dias de hoje.

No terceiro capítulo, alguns casos são selecionados e expostos para um estudo mais detalhado. São analisados dois tipos de construções encontradas na área de estudo, os principais usos, materiais de construção empregados e técnicas construtivas utilizadas. Cada caso será analisado separada e detalhadamente, apresentando-se as patologias encontradas, e as soluções necessárias para o bom funcionamento do bem imóvel.

O capítulo quatro conclui toda a pesquisa desta dissertação além de fornecer sugestões para trabalhos futuros.

Por último são apresentadas as referências bibliográficas e sítios visitados que serviram de pesquisa para a elaboração deste trabalho.

# 2 TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS PARA REPAROS E REFORÇOS ESTRUTURAIS

Neste capítulo são estudados os materiais e sistemas construtivos presentes nas construções que são o alvo desta dissertação. Além disso, são apresentadas as principais patologias encontradas em cada sistema e os reforços necessários para recuperar a estrutura como um todo.

Vale lembrar que uma das grandes dificuldades encontradas na adoção desses procedimentos está relacionada ao conhecimento limitado dos materiais e das técnicas disponíveis.

## 2.1 ALVENARIA EM PEDRA ARGAMASSADA

A alvenaria em pedra argamassa consiste em um sistema construtivo heterogêneo resultante da associação de elementos como pedras ligadas entre si por uma mistura aglutinante que pode ser saibro, argila, cal hidráulica, cimento, ou ainda o óleo de baleia.

Dentre as vantagens deste material de construção estão: bom comportamento ao fogo, bom comportamento térmico, bom isolamento acústico e elevada durabilidade. Já as desvantagens observadas mais comumente são: diminuição da resistência quando sujeita a cargas cíclicas, limitações em zonas sísmicas e baixa resistência à compressão quando comparada ao concreto armado.

A heterogeneidade da alvenaria de pedra é influenciada por alguns fatores como a disponibilidade e custo de materiais de cada região, despesas com transporte dos mesmos, porcentagem de vazios internos e a própria técnica construtiva utilizada pelo operário, que nem sempre teve a correta instrução. Todos os itens citados anteriormente acabam por dificultar a definição de um modelo de construção.

Uma das características desse método de construção é a irregularidade geométrica de suas paredes estruturais. Em alguns casos essas são o prolongamento das fundações, todavia as primeiras são, em geral, menos espessas.

Esse sistema é constituído por fundações, paredes resistentes externas e internas, além de tetos, escadas e coberturas geralmente em madeira. Os elementos são rígidos e com alguma resistência à compressão, fraca resistência à tração, pouco menos resistência a forças cortantes e baixa resistência à flexão.

O sistema construtivo em questão apresenta ainda outra variante, que são as paredes de múltiplas folhas, as quais são caracterizadas por terem morfologia irregular, apresentando vazios em seu núcleo central. Esse núcleo é preenchido por materiais de pouca qualidade e por isso torna-se propenso a rupturas causadas pela separação das camadas e perda de material. Essas rupturas por sua vez ocorrem devido às ações verticais e horizontais.

Além das influências citadas anteriormente deve-se analisar o impacto das características mecânicas dos materiais que compõem o sistema construtivo e do método em si. Dentre os parâmetros que devem ser estudados e analisados encontram-se as pedras, a argamassa, o assentamento e a seção.

As pedras devem ser avaliadas de acordo com sua origem, dimensões, estado de conservação, cor e morfologia. Já para a argamassa é relevante o estudo de sua composição, consistência, o desempenho, a cor, o diâmetro, a espessura de juntas, a forma e a cor dos agregados. Deve-se ainda considerar a textura, regularidade das superfícies, presença de calços e cunhas, e introdução de pedras de menores dimensões ao se avaliar o assentamento. E por último, mas não menos importante, a análise da seção deve abordar o número de paramentos e suas espessuras, o grau de sobreposição entre os mesmos, a presença de pedras transversais, cunhas ou calços de assentamento, a dimensão e distribuição de vazios, além da porcentagem de combinação de pedra, argamassa e vazios.

É importante ressaltar ainda que esses parâmetros exercem influências uns nos outros, influenciando direta ou indiretamente o comportamento mecânico das paredes.

De acordo com MORAIS (2011) a seção tem especial importância no que diz respeito ao número de paramentos e grau de sobreposição, e por isso em seu estudo são definidas três tipologias principais divididas em subcategorias, as quais serão descritas a seguir. Vale lembrar que as paredes de pedra argamassada podem estar aparelhadas ou não.

### 2.1.1 Paredes de folha simples

Constituída por perpianhos (Figura 2.1).

Constituída por perpianhos com rebocos espessos.

Grande espessura, geralmente com mais de um perpianho.

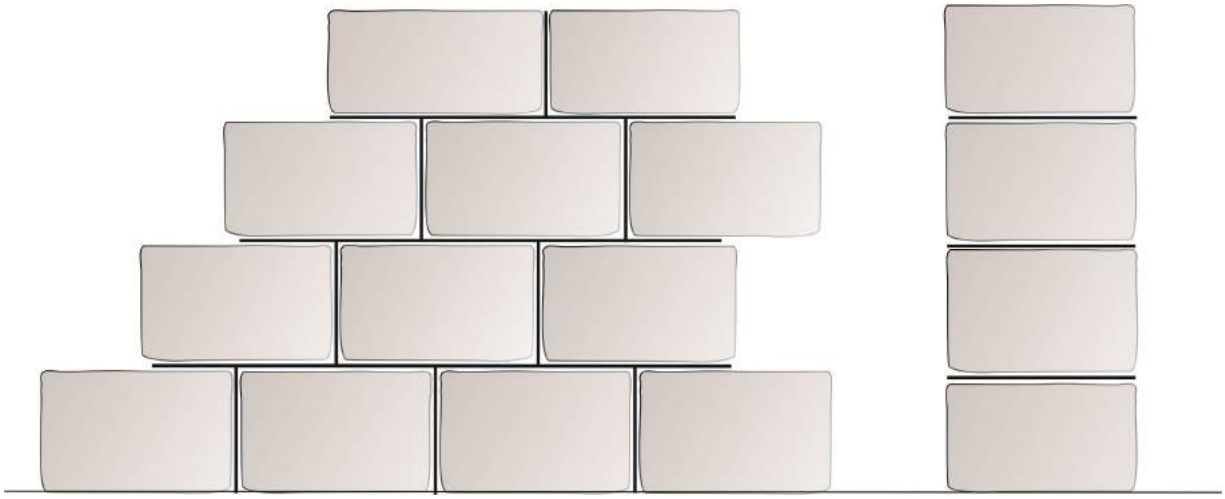


Figura 2.1: Parede aparelhada em cantaria.

### 2.1.2 Paredes de duas folhas

Paramentos ligados por simples sobreposição das pedras ou por pedras transversais por meio de perpianhos ou travadouros que atravessam toda a seção (Figura 2.2).

Paramentos sem ligação, em que as duas folhas estão completamente separadas por uma junta vertical ao longo da superfície de contato, podendo ser preenchida ou não por argamassa e material desagregado (Figura 2.3).

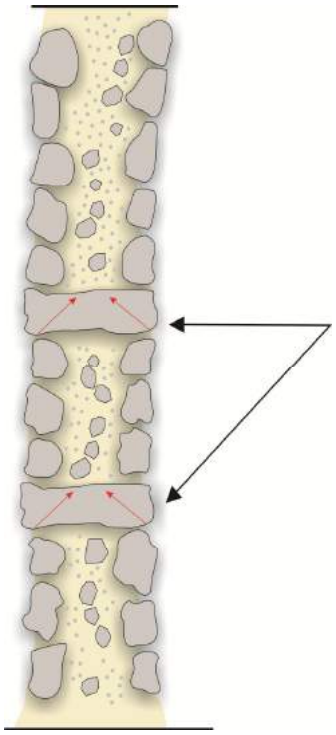



Figura 2.2: Parede com pedras transversais funcionando como travadouro

.

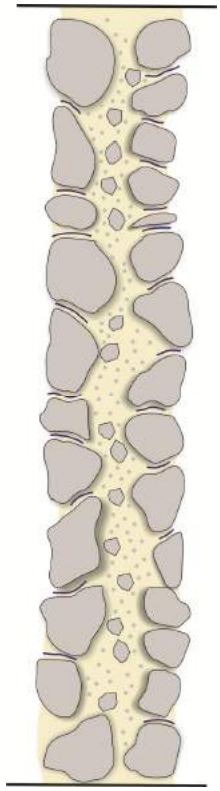


Figura 2.3: Parede de duas folhas separadas por junta vertical preenchida por material desagregado.

### 2.1.3 Paredes de duas folhas

Caracterizadas por terem uma seção resistente não homogênea, composta por duas folhas externas razoavelmente regulares, separadas por um núcleo preenchido por aglomerado de material grosseiro, restos de blocos e pedras com juntas argamassadas intercaladas ou por material parcialmente homogêneo, solto ou ligeiramente ligado. As pedras e argamassa são distribuídas aleatoriamente permitindo uma grande quantidade de vazios. Esses núcleos podem apresentar pequena ou grande espessura.

Mesmo após definir e analisar as tipologias das paredes não se deve generalizar as características mecânicas dentro de cada tipologia, pois fatores como forma e heterogeneidade do material, diferentes níveis de degradação e características materiais e construtivas distintas também exercem influência.

Quando a parede de alvenaria é monolítica na sua seção lateral, ela se torna mais frágil quando sujeita a atuação de solicitações horizontais (Figura 2.4).

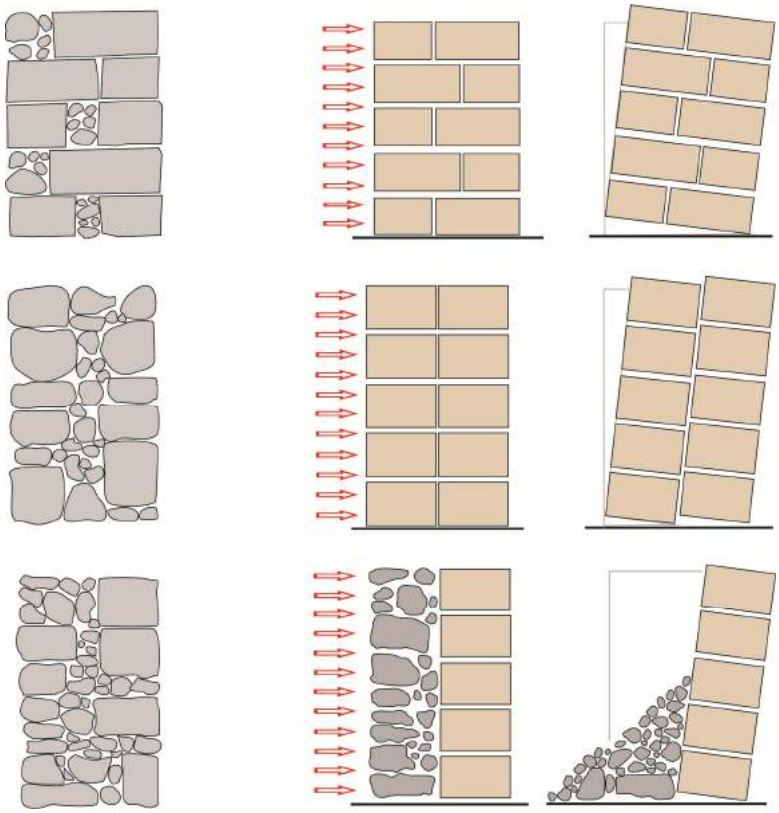


Figura 2.4: Comportamento de uma parede de pedra de várias folhas por ação de forças externas.

Quando o esforço atuante é vertical com excentricidade e a parede for constituída de seixo ou por duas folhas externas sem ligação entre ambas, apenas preenchida por material desagregado, poderá ocorrer deformação e desmoronamento (Figura 2.5).

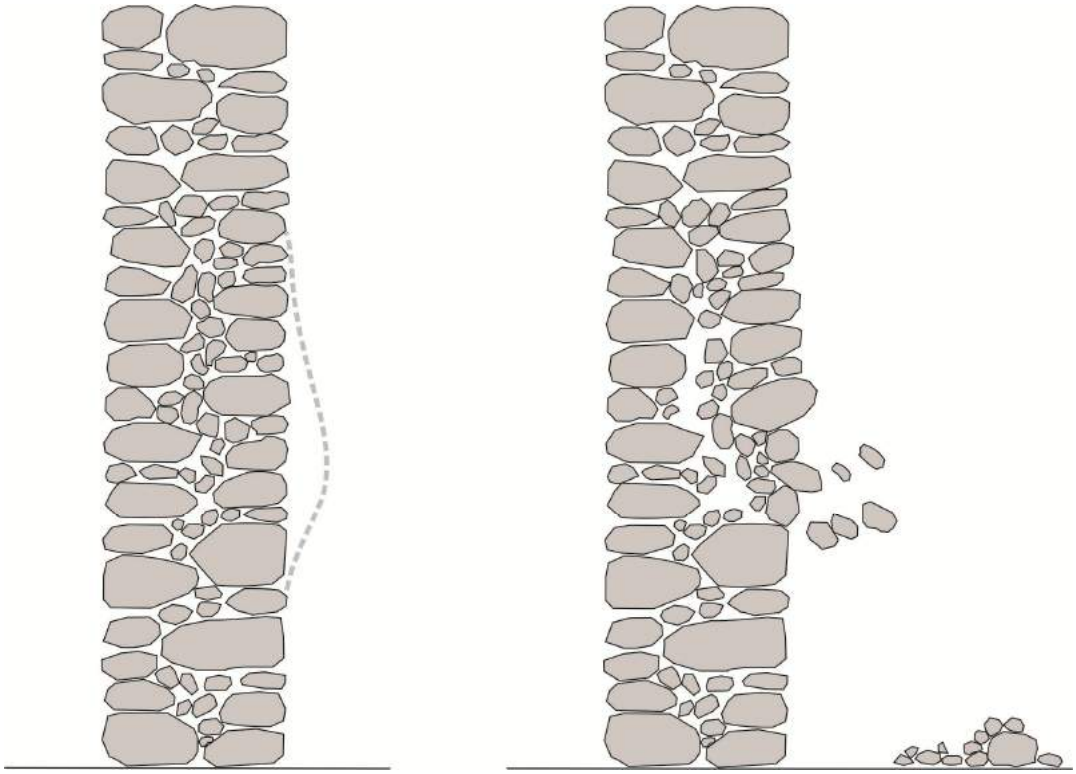


Figura 2.5: Deformação e desmoronamento de uma parede de duas folhas por ruptura frágil na sua direção lateral.

A fim de melhorar a resistência mecânica são adotados alguns aspectos construtivos que acarretam grande influência no comportamento estrutural das paredes como, por exemplo, o reforço nas ligações de canto em paredes externas por meio de cunhais, a variação em altura da espessura das paredes mestras, a ligação entre paredes, lajes e coberturas, e distribuição e guarnecimento de vãos.

O travamento nos cantos das paredes de cantarias ou mistas era melhorado quando se utilizavam pedras de comprimento mínimo igual a 60 cm, formando uma cadeia de ângulo (Figura 2.6).

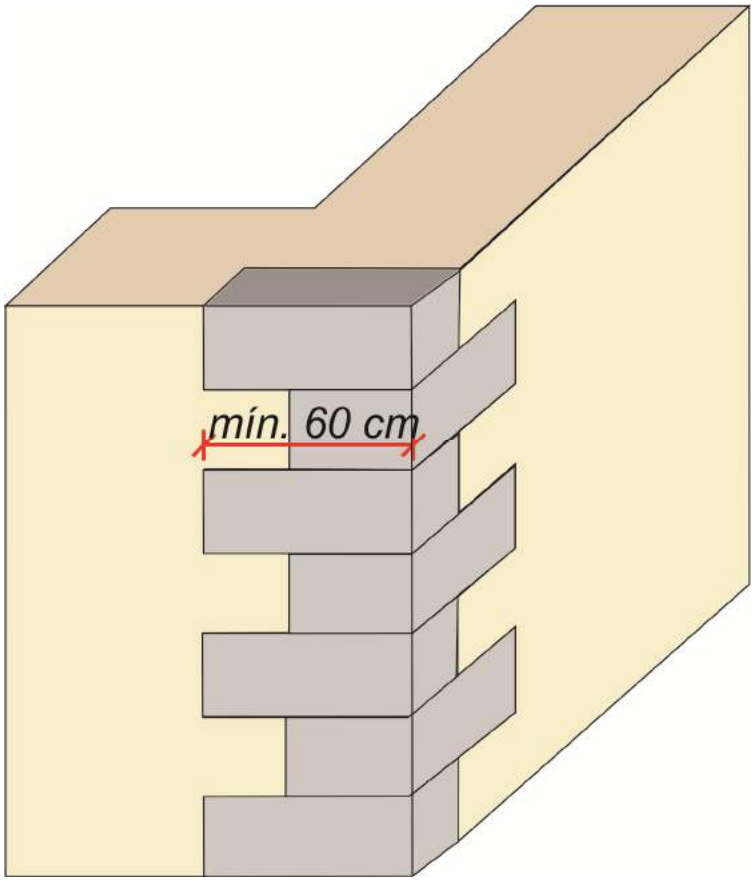



Figura 2.6: Esquema de reforço dos cantos com cadeia de ângulo em cantaria.

Vale lembrar que para casos de recuperação e reabilitação outros fatores devem ser analisados, logo cada caso deve ser avaliado individualmente. Deve-se, por exemplo, observar se a edificação faz parte de um conjunto, já que os tipos de rupturas de cada estrutura podem funcionar de forma distinta.

### 2.1.4 Patologias em paredes de construções históricas

As patologias presentes em construções históricas podem estar relacionadas ao comportamento estrutural – patologias inerentes ao processo de execução – e ao comportamento da alvenaria como material, onde as características dos materiais são os principais fatores para o desenvolvimento da patologia encontrada. Em geral o que se vê é a combinação desses dois tipos de patologias, o que dificulta a atribuição de uma origem específica.

Os principais fatores ligados ao aparecimento das patologias da alvenaria como material são: a baixa resistência à tração e à força cortante, e ainda a influência do volume de vazios e grau de confinamento das paredes na resistência à compressão. Já as patologias encontradas nas paredes como elemento estrutural estão relacionadas à instabilidade local ou

global, geralmente provocada por fraca ligação entre os elementos estruturais, excesso de esbelteza, contraventamento deficiente, e pequena ductilidade.

Dentre as patologias estruturais mais comumente encontradas em construções históricas estão o fendilhamento, o esmagamento e o desprendimento de partes da parede, normalmente relacionadas com a presença de água. O aparecimento dessas patologias é favorecido pela pouca conservação e manutenção da edificação, e pelo envelhecimento dos materiais e estrutura, limitando a segurança, durabilidade e as condições de habitabilidade.

Outra condição favorável para o aparecimento destas patologias são as alterações nas construções executadas no decorrer do tempo, como por exemplo, acréscimo de paredes, abertura de vãos, acréscimo de pavimentos entre outros, além da mudança do uso da construção que passa predominantemente de residencial à comercial, elevando assim a carga a ser suportada.

A seguir, são descritas as patologias anteriormente citadas:

#### 2.1.4.1 Desprendimento de partes da parede

A patologia denominada desprendimento de partes da parede geralmente ocorre pela alternância entre quente e frio, causando expansões e contrações sucessivas e somadas às ações eólicas que transportam ainda poeira e areias. Aliados à poluição, os fatores anteriormente citados são os maiores causadores do desgaste superficial das paredes. Outro fator é a água resultante de chuvas ou infiltrações, ou ainda a umidade que chega às paredes por capilaridade (Figura 2.7). A água transporta sais dissolvidos que se depositam na superfície das paredes, provocando a decomposição química do seu revestimento. O que acaba ocorrendo inicialmente é o descasque da pintura e do reboco da construção e posteriormente pode chegar ao desprendimento de parte da alvenaria. Além das ações químicas, tem-se ainda a degradação de origem mecânica, causada por vandalismo e má utilização.

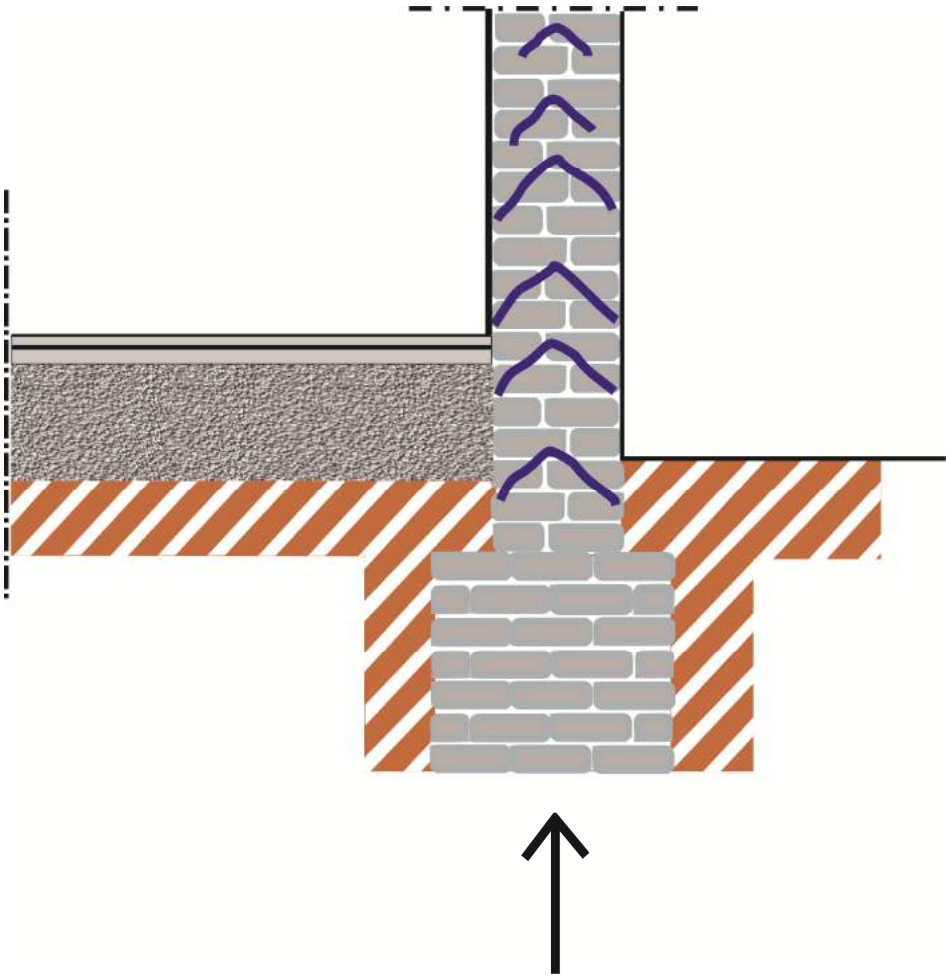


Figura 2.7: Umidade ascendendo por capilaridade. Quanto maior a altura menor a capilaridade.

Quando há a manutenção periódica esses fatores não representam grandes riscos, visto que o problema pode ser rapidamente corrigido, quando tratado no início.

### 2.1.4.2 Esmagamento

Ocorre com menos frequência que o desprendimento de partes da parede e pode ser observado em pontos localizados onde atuam cargas concentradas de grande intensidade. Um bom exemplo é o ponto de apoio de vigas nas paredes. Quando uma edificação tem alterações não executadas por um especialista, a estrutura pode ficar sujeita a esse tipo de patologia. Nos casos em que vigas metálicas são colocadas para reforçar a estrutura em que paredes foram subtraídas, pode ocorrer o esmagamento de paredes de pisos inferiores nas áreas de apoio da viga. Em construções de qualidade superior, alguns reforços com pedras de maior resistência mecânica são feitos a fim de evitar esse problema. As pedras mais resistentes são colocadas sob os pontos de aplicação das forças concentradas, redistribuindo as forças atuantes em uma área maior e permitindo a diminuição da tensão existente.

O esmagamento pode ainda ocorrer na área de contato lateral entre vigas de madeira e a alvenaria, visto que ao secar, ações de torção atuam nesta viga, levando a esforços de compressão elevados e esmagamentos em grande parte nos rebocos.

2.1.4.3 Fendilhamento

O fendilhamento em geral ocorre nos cantos de portas e janelas ou na ligação de paredes ortogonais. Isto ocorre porque em edificações antigas a resistência à tração e à flexão das paredes é muito baixa, e os cantos das aberturas são as áreas mais fracas por concentrar as tensões geradas pelas mudanças de direção das forças. Alguns cuidados podem ser tomados, como por exemplo, a utilização de pedra talhada de grandes dimensões ou ainda a adoção de arcos de tijolo maciço em torno dessas aberturas a fim de aumentar a capacidade de resistência local.

Em locais sujeitos a ações sísmicas essa patologia é comumente encontrada, devido às forças cortantes de grande intensidade produzidos pelos sismos, que levam à formação de trincas a 45º.

Alguns erros na construção de paredes resistentes também podem ocasionar o fendilhamento, principalmente em casos em que as paredes são de pedra irregular e o uso de perpianho não foi adotado. As compressões de alta intensidade podem gerar o fendilhamento vertical na parede gerando abaulamentos (Figura 2.8). Esses por sua vez intensificam-se na presença de água, a qual se infiltra e acumula nos vazios prejudicando a argamassa e diminuindo a resistência da parede.

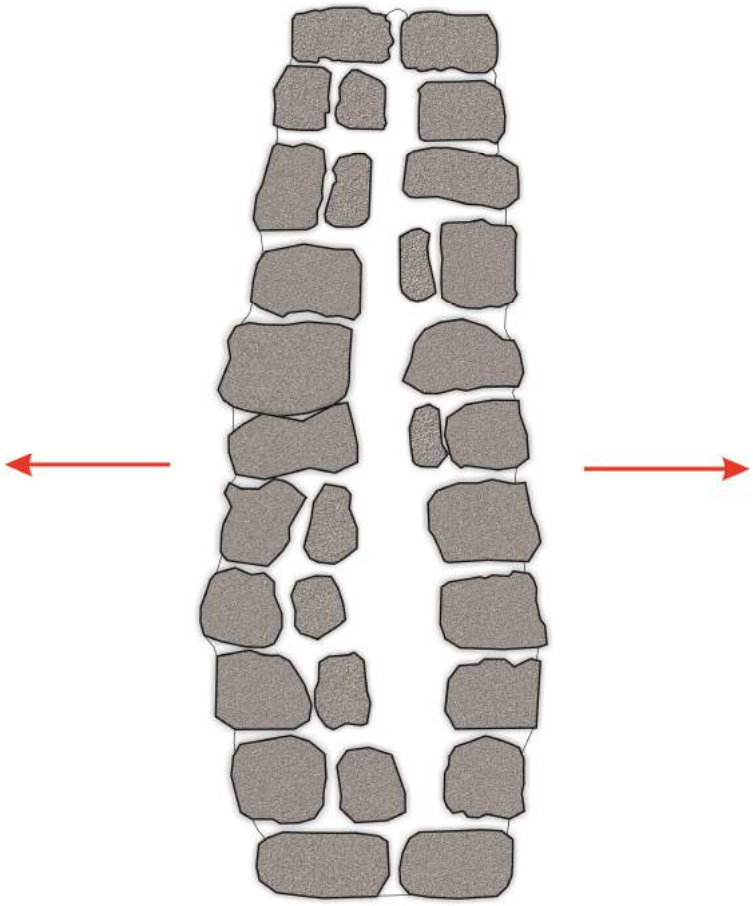


Figura 2.8: Abaulamento de parede por fendilhamento vertical.

As fendas podem atingir toda a largura da parede nos casos de recalques diferenciais, além de apresentar inclinações características que tornam as zonas críticas onde ocorreram os movimentos acentuados facilmente identificáveis. Os assentamentos diferenciais ocorrem principalmente por fundações executadas sobre aterros mal compactados, ou ainda quando há escavação em construções vizinhas, sobrecargas excessivas, entre outros.

Na Figura 2.9 são apresentadas as formas de assentamentos de fundações, sendo a terceira responsável pela ocorrência do fendilhamento.

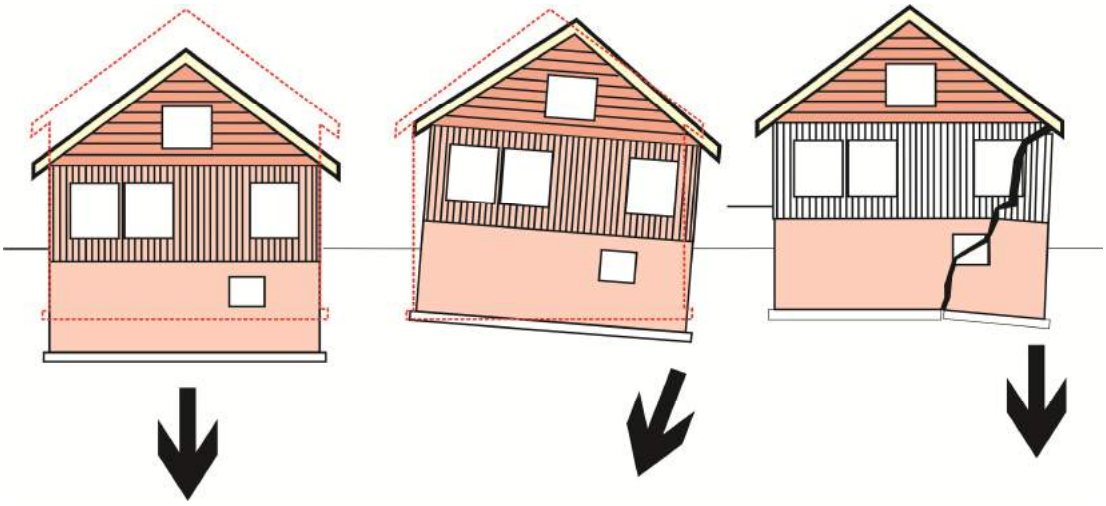



Figura 2.9: Tipos de assentamento de fundações: (a) uniforme; (b) diferencial com rotação; (c) diferencial com deformação.

O fendilhamento horizontal ocorre devido aos esforços horizontais gerados pelo abatimento de arcos ou pelo mau funcionamento das tesouras. Aliado às forças cortantes, pode haver rotação no topo da parede, dando origem a dois tipos de fendas, uma superior externa e outra inferior interna como pode ser observado na Figura 2.10. Essas fendas ocorrem nas áreas onde as solicitações de tração ultrapassam a capacidade resistente da parede.

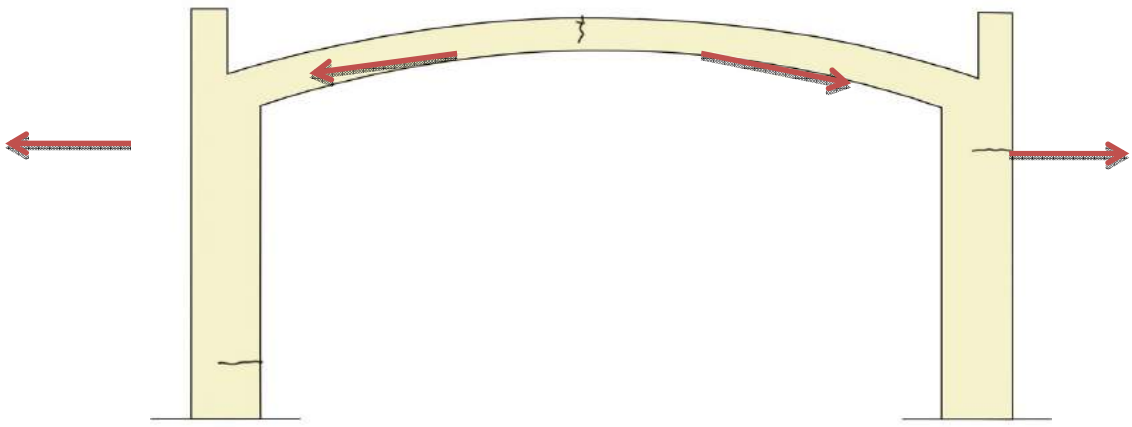


Figura 2.10: Solicitações laterais que provocam fendas horizontais nas paredes.

### 2.1.4.4 Eflorescência e Criptoflorescência

As patologias resultantes a partir da ação da água ocorrem principalmente através da penetração da umidade que através de fendas e vazios, percorre por juntas de argamassa de assentamento de pedras ou tijolos e causa a desagregação das paredes.

A estrutura das paredes é modificada devido ao depósito de sais dissolvidos na parede ocasionado após a ascendência da água por capilaridade e sua posterior evaporação, isso ocorre na superfície da parede entre os revestimentos levando a um aspecto esbranquiçado, é denominado eflorescência. Quando a cristalização desses sais causa um aumento de volume, criando tensões abaixo da superfície da parede, tem-se a criptoflorescência (Figura 2.11).

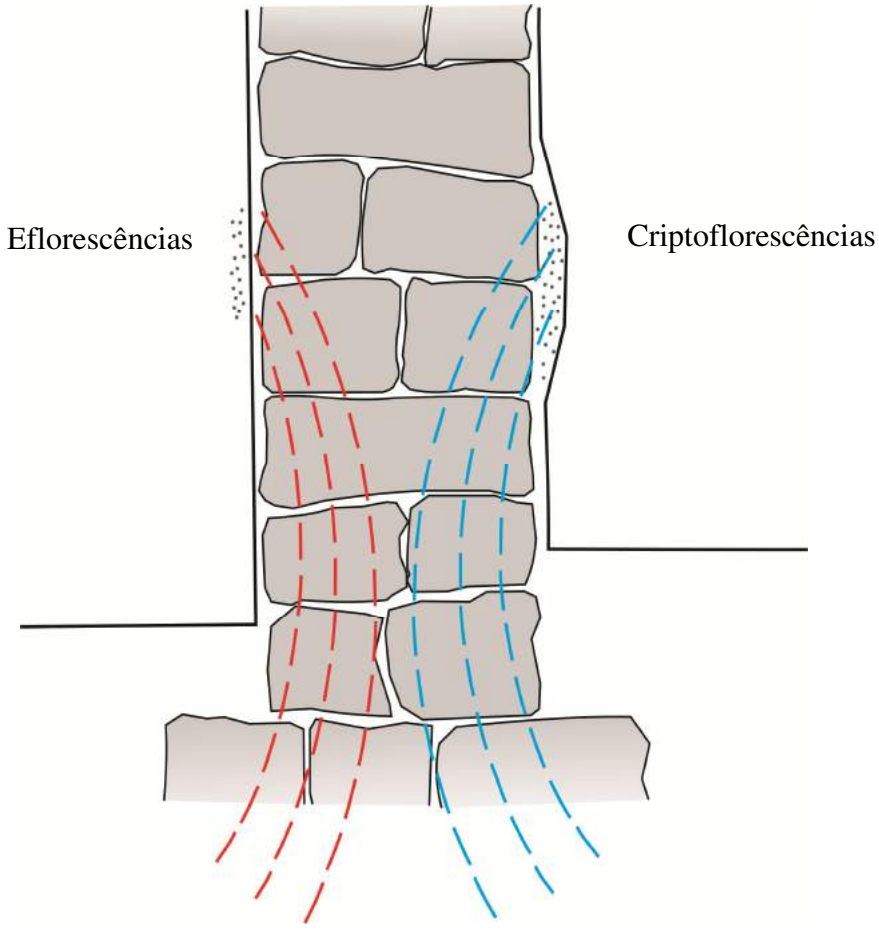



Figura 2.11: Esquema do mecanismo de formação da eflorescência e da criptoflorescência

Um aspecto semelhante ao da criptoflorescência ocorre em casos que intervenções inadequadas foram realizadas. Quando se aplica o reboco com teor de cimento elevado ou pouco permeável ao vapor de água, este aumento de volume pode se formar entre o reboco e a

pintura. Em consequência a degradação da parede acaba por diminuir a capacidade de resistência à compressão às forças cortantes.

### 2.1.5 Técnicas de recuperação e reforço estrutural

Antes de iniciar qualquer intervenção estrutural em construções antigas, deve-se ter em mente que a identidade cultural das mesmas deve ser sempre respeitada.

Um exemplo de metodologia foi apresentado pelo ICOMOS (International Scientific Committee for Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage) em 2001, onde as construções são avaliadas por etapas similarmente à medicina.

- Anamnese: a primeira etapa consiste no estudo da história da edificação, unindo-se a isso, dados e informações importantes.
- Diagnóstico: nesse segundo momento o imóvel é avaliado no que diz respeito à sua segurança estrutural, e são identificadas as causas das patologias e da degradação apresentadas.
- Tratamento: nessa etapa são definidas as técnicas que são utilizadas na intervenção.
- Controle: a eficiência da intervenção é acompanhada e controlada.

Atualmente a maioria dos materiais que são utilizados nas intervenções é diferente dos utilizados na construção da edificação a ser recuperada, e por isso a compatibilidade, a durabilidade e reversibilidade dos materiais devem ser cuidadosamente estudadas.

Os materiais e as técnicas utilizadas na recuperação estrutural devem alterar o mínimo possível o funcionamento estrutural e as características de rigidez da construção original. Além disso, não devem facilitar o aparecimento de novas patologias causadas pela diferença de comportamentos físicos e químicos. É necessário ainda que os materiais empregados na intervenção tenham longa vida útil – para que se evite uma próxima atuação em um curto período de tempo – e permitam ser removidos sem provocar danos aos materiais originais.

Há diversas técnicas (modernas e tradicionais) disponíveis para reforço e reparo de estruturas de alvenaria que foram danificadas ou enfraquecidas por diversos fatores, dentre eles: excesso de carregamento, agentes naturais (ventos, chuvas, raios, *etc*), desgaste natural dos materiais, vandalismo, mudança de temperatura entre outros.

Nas técnicas tradicionais são usados os materiais originais e as técnicas construtivas correspondentes à época em que a edificação foi construída.

Com as técnicas modernas disponíveis no mercado atual é possível encontrar uma solução mais eficiente, com o uso de materiais mais leves, ou flexíveis.

Quando uma intervenção é realizada em uma edificação histórica alguns efeitos podem ser observados, os quais estão apresentados no Quadro 1.1.

| | |
|---|---|
| Alargamento | Aumento da seção resistente. Os materiais devem ter propriedades mecânicas similares aos materiais originais. As tensões são distribuídas em uma seção maior. |
| Amarração | União de diferentes materiais e elementos, ou diferentes partes de um elemento. Em geral utiliza-se barras de aço. |
| Ancoragem | Fixação de um elemento em uma estrutura fixa. |
| Confinamento | Quando o confinamento é local, há o impedimento da deformação lateral. No confinamento global, avalia-se toda a estrutura, limitando, por exemplo, deformações no térreo ou subsolo. |
| Estabilização do solo | Intervenção no solo em que a estrutura está implantada, aumentando a capacidade de resistir às cargas. |
| Isolamento | Absorção de vibrações através de elementos externos localizados entre a fundação e a estrutura de alvenaria. |
| Melhoria | Melhorias nas características da seção resistente. |
| Protensão | Melhora no sistema de tensões de uma estrutura utilizando cargas externas ou sistema de pré-compressão. |
| Reforço | Adição de material de melhor propriedade mecânica à seção resistente, aumentando a resistência e a rigidez. |
| Substituição de material | Remoção ou substituição de peças danificadas. Devem ser similares aos materiais originais ou possuir melhor propriedade mecânica. |
| Substituição estrutural | Adição de nova estrutura de suporte de carga sem destruir a original. |

Quadro 1.1: Efeitos de intervenção em construções históricas

Dentre as técnicas de recuperação e reforço estrutural de alvenarias, são explicadas neste estudo as descritas a seguir.

- Injeção.

- Reconstrução local.
- Reforço externo.
- Costura.
- Barras de amarração.
- Amarração local e global.
- Refechamento e reforço de juntas.
- Substituição estrutural.
- Substituição de elementos.
- Encamisamento.
- Confinamento em pilares.
- Confinamento em paredes.
- Reboco Armado.
- Alargamento.
- Contraforte.
- Escoramento.
- Pré-compressão ou pré-solicitação.
- Ancoragem.

#### 2.1.5.1 Injeção

Melhoria geralmente aplicada em paredes de alvenaria de pedra que apresentam espaços vazios em sua parte interna, fendas visíveis na parte externa da parede ou material de enchimento desagregado. A técnica consiste na injeção de resina argamassada ou fluida em furos feitos na parte externa da parede objetivando: melhor conexão entre a alvenaria que precisa ser reforçada e a argamassa, preenchimento dos vazios presentes no interior das paredes e o preenchimento dos vazios entre os paramentos mal conectados (Figura 2.12).. A argamassa ao endurecer permite ainda que a construção obtenha uma significativa melhora na capacidade de carga.

Figura 2.12: Injeção de fissura; SOUZA e RIPPER (1998).

A utilização de injeções deve ser executada em paredes degradadas que, todavia sejam capazes de resistir a uma pressão baixa de injeção. É uma solução passiva e irreversível, mas preserva o aspecto original exterior das paredes. A injeção pode ser efetuada sob baixa pressão (≤ 0,1 MPa) ou por gravidade. Em fissuras com aberturas superiores a 0,1 mm deve ser realizada a injeção sob baixa pressão, quando forem maiores que 3,0 mm e pequena profundidade é permitida a utilização da injeção por gravidade.

Antes de iniciar a injeção em uma estrutura devem-se remover rebocos e revestimentos existentes, fechar as juntas e selar as trincas com argamassas compatíveis com a alvenaria de pedra, além de fazer uma limpeza cuidadosa e adequada ao estado em que a parede degradada se encontra.

De acordo com LUSO (2012) essa técnica é mais eficaz em paredes de três folhas devido à fraca ligação entre os paramentos e o núcleo central da parede. Ainda assim a autora analisa as dificuldades encontradas na utilização da injeção, dentre elas: dificuldade de penetração da calda em aberturas inferiores a 3 mm, ausência de conhecimento dos vazios internos e necessidade de se injetar a uma baixa pressão a fim de evitar a ruptura da parede ou presença de ar nos vazios. A fim de garantir a eficácia na execução da técnica em questão, deve-se atentar não só para a compatibiliadade das caldas bem como para a disposição dos furos e da pressão utilizada na injeção.

Segundo SOUZA e RIPPER (1998) as etapas que devem ser seguidos nessa técnica de reforço são:

1) abertura dos furos com diâmetro de aproximadamente 10 mm e profundidade máxima de 30 mm. O espaçamento deve variar entre 50 e 300 mm. Quanto maior a abertura da fissura maior o espaçamento, sendo respeitado um máximo de 1,5 vezes a profundidade da fissura;

2) limpeza cuidadosa das fissuras e dos orifícios com ar comprimido e aspiração a fim de remover partículas soltas e poeira;

3) fixação de tubos plásticos nos orifícios, tendo os primeiros o diâmetro de um ponto a menos que os furos. A fixação será executada com o mesmo produto adesivo utilizado para selar o intervalo da fissura entre os furos;

4) a selagem é geralmente feita com cola epoxídica bicomponente aplicada à uma espátula. Para garantir uma fixação eficiente dos tubos plásticos, deve-se aplicar ao redor dos mesmos uma quantidade generosa da cola;

5) é necessário que um teste com ar comprimido seja realizado antes de iniciar a injeção. Em caso de obstrução é indicado que se diminua os intervalos entre os furos, aumentando a quantidade dos mesmos;

6) depois do sistema testado e funcionando, e o material escolhido, dá-se o início da injeção, tubo a tubo. Inicia-se pelos tubos localizados nas cotas inferiores e com pressão crescente;

Na Figura 2.13 pode-se observar a sequência da técnica de injeção de resina epóxi. Na fissura I são demonstrados os furos feitos para receber os tubos plásticos ou mangueiras. Na fissura II as mangueiras ou tubos já foram inseridos nos orifícios e a resina é aplicada. Na terceira fissura é apresentado o resultado final.

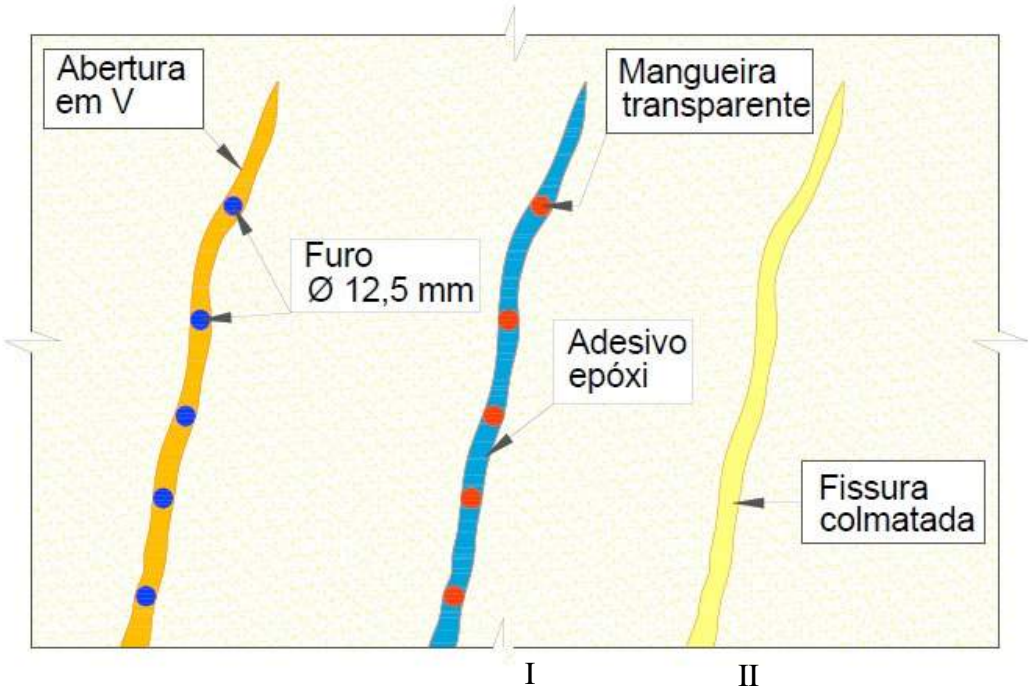



Figura 2.13: Sequência de injeção de adesivo epóxi.

Para que a injeção seja executada, os furos devem ser ligeiramente inclinados para baixo localizados na parte inferior da parede. Na parte superior, entretanto, também haverá furos que permitam a saída de ar, garantindo a injeção ascendente. Em casos onde a espessura da parede é muito grande, deve-se pensar na intervenção em ambos os lados, alternando os furos.

A Figura 2.14 representa um detalhe de preenchimento de fissuras com injeção através de furos feitos com brocas, e as Figuras 2.15 e 2.16 apresentam a técnica de injeção por gravidade.

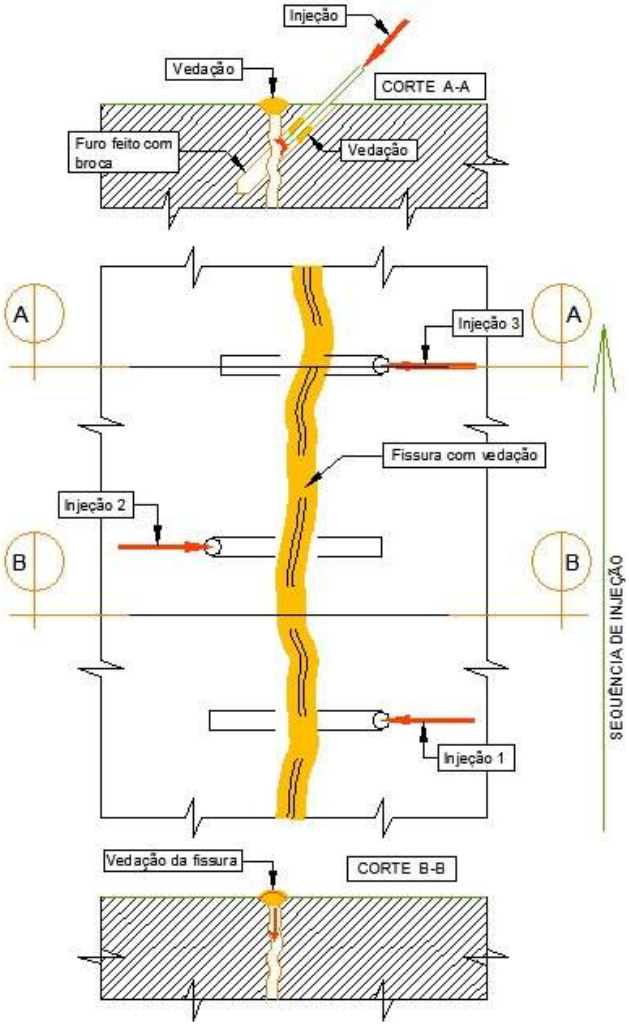



Figura 2.14: Preenchimento de fissura com injeção através de furos com brocas.

A injeção por gravidade é um processo mais simples e mais barato que o processo apresentado acima. A limpeza prévia também se faz extremamente necessária seja por ar comprimido ou jato de água, bem como a colocação das mangueiras que funcionarão como suspiros.

Para facilitar a penetração da resina e evitar perdas, utiliza-se canaleta provisória em volta de toda a fissura como a representada na Figura 2.15. A utilização de furos nesse método é opicional, visto que a fissura é mais aberta, todavía os furos auxiliam ainda mais na penetração da resina.

Na medida em que a resina fluir por um suspiro, ele deverá ser vedado. Quando o endurecimento da mesma estiver concluído, a canaleta poderá ser removida permitindo que se faça o acabamento da superfície posteriormente.

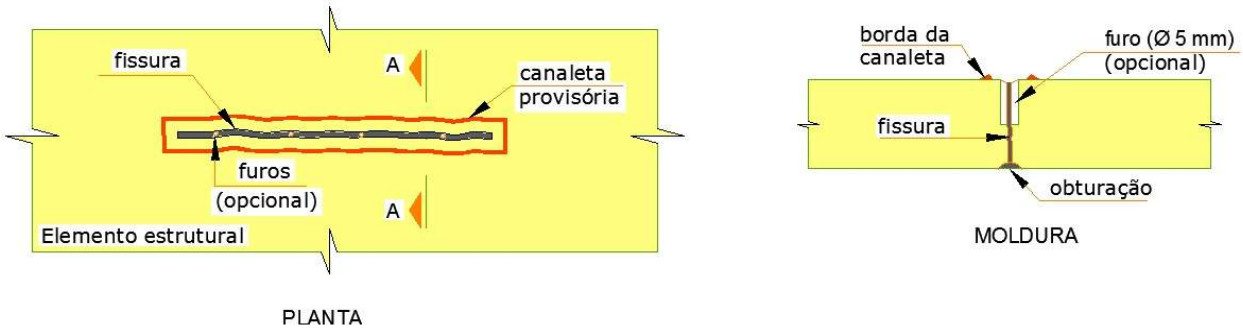



Figura 2.15: Injeção por gravidade.

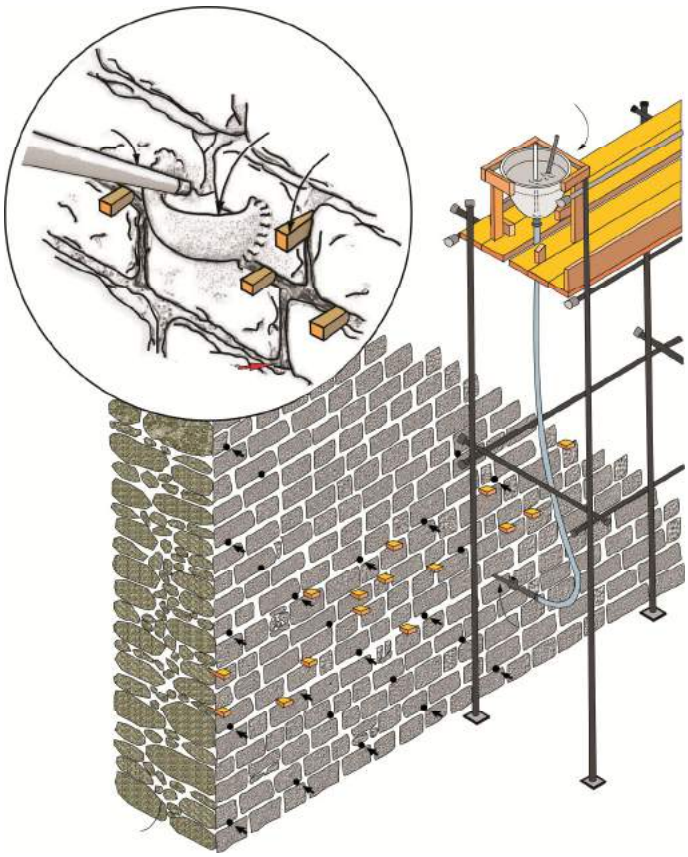


Figura 2.16: Injeção manual e por gravidade.

### 2.1.5.2 Reconstrução Local

A reconstrução local é uma das primeiras técnicas desenvolvidas e aplicadas no processo de recuperação e restauração. Consiste na substituição do material deteriorado em determinado ponto da alvenaria por um material novo com propriedades mecânicas similares à originalmente adotada.

O principal objetivo desta técnica é preservar a eficiência mecânica e aumentar a vida útil da construção.

Para executar a substituição do material deteriorado deve-se realizar o escoramento da área que está sendo suportada pelo elemento ou material que será substituído até que o mesmo possa novamente suportar o carregamento. Quando a alvenaria é de boa qualidade em geral só se faz necessário o refechamento das juntas ou colocação de pedras menores, não necessitando desmontar e reconstruir com novos materiais. Para facilitar a execução os elementos podem ser numerados (Figuras 2.17, 2.18 e 2.19).

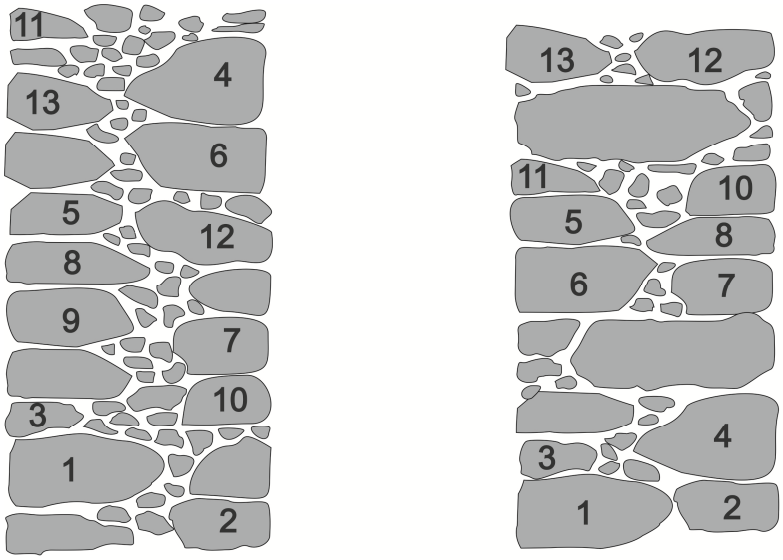



Figura 2.17: Substituição do material degradado por um de melhor qualidade.

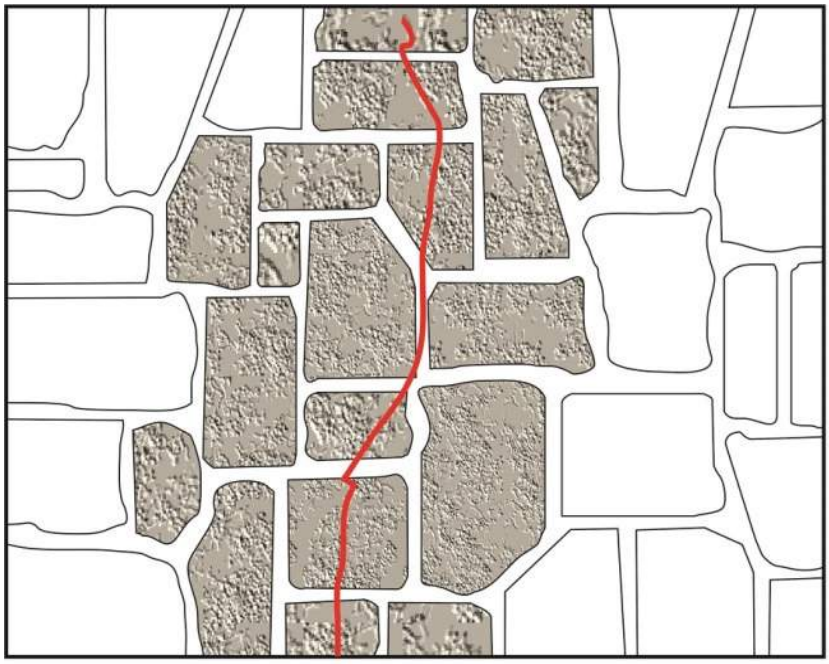


Figura 2.18: Área reconstruída com os mesmos materiais.

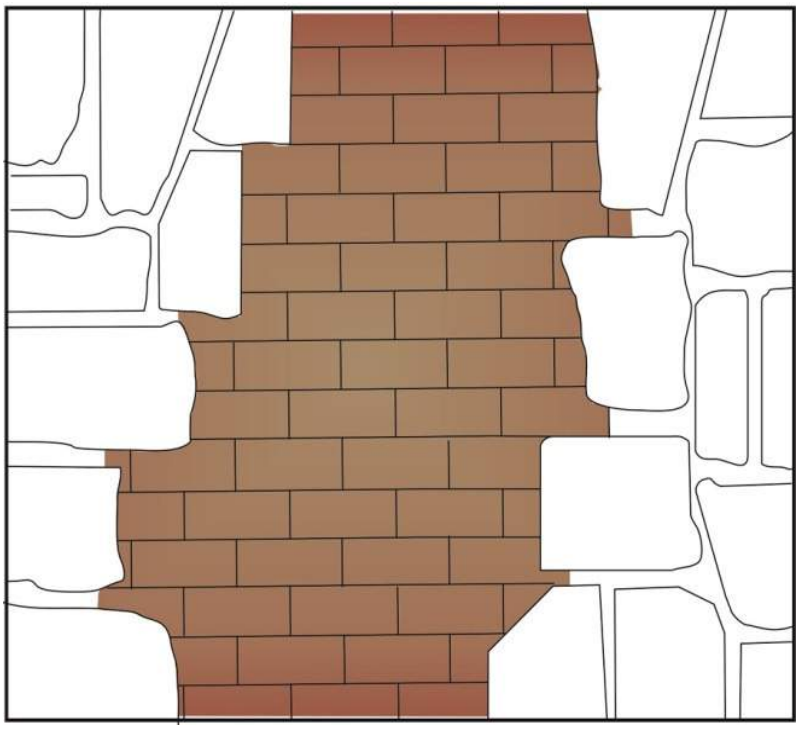


Figura 2.19: Área reconstruída com materiais distintos.

### 2.1.5.3 Reforço Externo

Utilizado em estruturas de alvenaria, sendo elas novas ou antigas, ou em abóbodas e arcos sujeitos à esforços excessivos de compressão, visando aumentar a ductilidade e a resistência da estrutura através da adição de materiais que resistam melhor às tensões sofridas.

Consiste na utilização de materiais de alto desempenho - como a fibra de polímero reforçado, aço, madeira, etc. - na face externa da parede (quando o problema é local) ou em toda a superfície da estrutura. A ligação com a alvenaria pode ser obtida através da utilização de resina epóxi ou argamassa.

A Figura 2.20 apresenta o reforço externo estrutural adotado nos arcos sobre a janela do edifício da Polícia Civil do Rio de Janeiro, que será estudado no capítulo 3. Nesta imagem pode-se observar o reforço com fibra de carbono.

Figura 2.20: Exemplo de reforço externo com tecido CFC.

### 2.1.5.4 Stitching - Costura

Aplicada em elementos de alevanaria que necessitem aumento na coesão e nas características mecânicas, sem que seu aspecto inicial seja alterado. A costura é similar às injeções, porém com o reforço de barras metálicas.

Nesta técnica são executados furos onde serão introduzidas as barras metálicas e a argamassa. A técnica em questão está representada pela Figura 2.21.

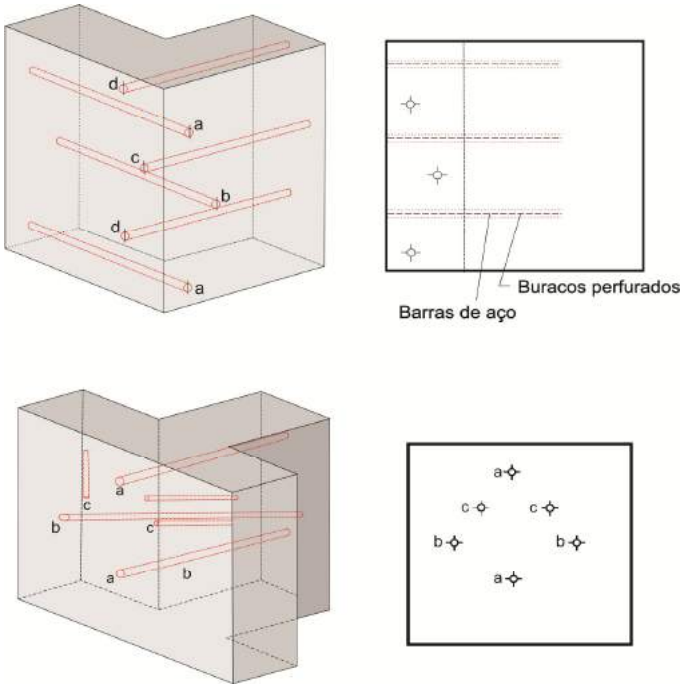



Figura 2.21: Representação da técnica de reforço estrutural conhecida como costura;

Fonte: figura baseada em EU-India cross program (2006).

### 2.1.5.5 Barras de Amarração

Utilizadas em paredes transversais de alvenaria - cujas ligações não mais se encontram em bom funcionamento- abóbodas ou arcos, que apresentem danos devido à ductilidade ineficiente.

Nessa situação, barras de aço são ancoradas na estrutura juntamente com placas metálicas ou outro tipo de elemento, trabalhando em tração.

A Figura 2.22 apresenta de forma esquemática o funcionamento das barras de amarração.

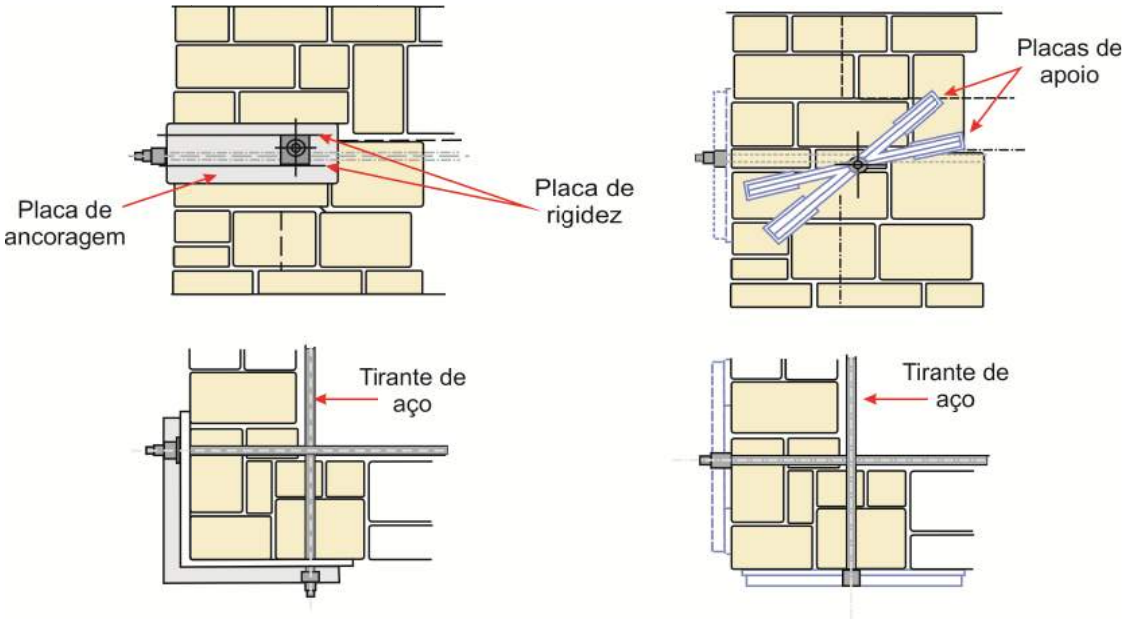



Figura 2.22: Representação do funcionamento das barras de amarração;

Fonte: figura baseada em EU-India cross program (2006).

### 2.1.5.6 Amarração local e global

A amarração local é aplicada em partes da estrutura que apresente riscos de falhas parciais ou conexões ineficazes. A técnica consiste em confinar as partes frágeis com o auxílio de pinos, e abraçadeiras.

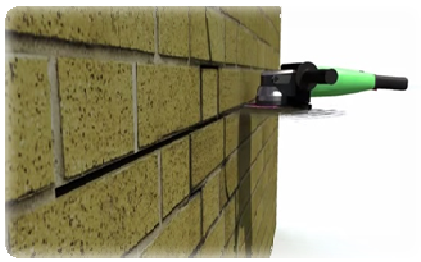
Já na amarração global são colocadas barras metálicas ligando os apoios de arcos por exemplo. A amarração reduz o risco de tombamento lateral por parte dos pilares.

2.1.5.7 Refechamento e Reforço de juntas

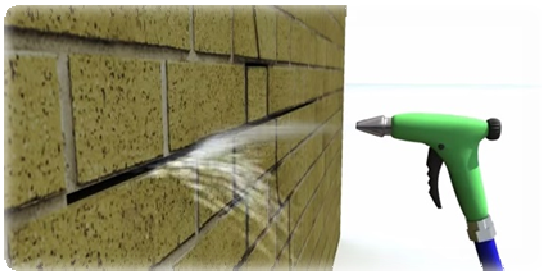
Técnica utilizada em paredes com juntas deterioradas ou com argamassa de rejunte em condições ineficazes. Funciona melhor em paredes de alvenaria em que as juntas são horizontais. Nessa técnica, o rejunte deteriorado é substituído por outro novo de melhor propriedade mecânica e durabilidade, pode-se ainda adicionar uma barra de aço. Muitas das vezes esse tipo de reforço é utilizado em conjunto com outras técnicas.

O principal objetivo desse procedimento é aumentar a resistência à compressão e cisalhamento em paredes de pequena espessura. Além disso, funciona reduzindo a deformação e transmitindo as tensões da alvenaria para o aço. A sequência de imagens da Figura 2.23 ilustra esse processo.

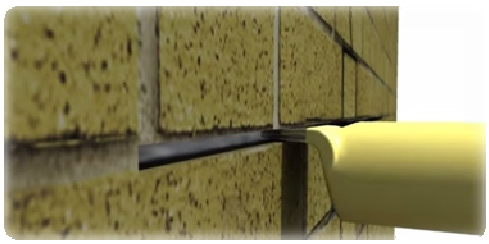
(a)



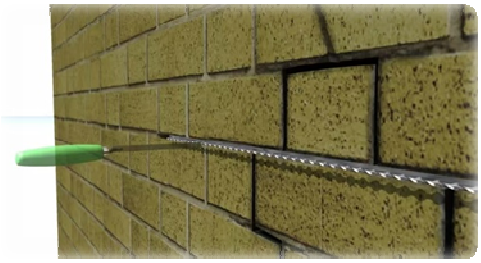
(b)



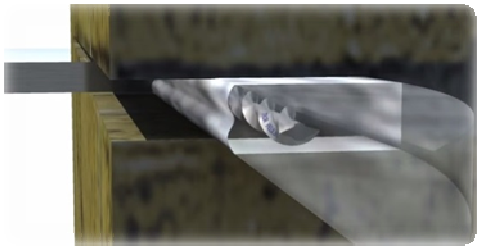
(c)



(d)



(e)



(f)

(g)

Figura 2.23: Representação do processo de reforço de juntas.

Retirado do site: http://www.twistfix.co.uk/crack-stitching

O que se pode observar na sequência mostrada é uma parede com rachaduras aparentes. Na etapa número 2 inicia-se o processo de remoção do rejunte em uma das juntas horizontais selecionadas, que será posteriormente limpa com água (etapa 3). A próxima etapa é a aplicação de argamassa e a colocação de barra helicoidal de aço inoxidável, que deverá ultrapassar no mínimo 50 cm de cada lado da trinca (etapas 4, 5 e 6). Na 7ª etapa é refeito o rejunte e selamento a fim de evitar a penetração de água.

É uma técnica rápida e de fácil execução, além de apresentar preços acessíveis.

2.1.5.8 Substituição estrutural

Geralmente aplicada em estruturas ou elementos de alvenaria que se encontram em boas condições, porém não adequados para suportar às cargas impostas. Uma nova estrutura é executada para substituir a antiga, a qual não será destruída, continuando apenas com sua função estética.

Dessa forma, é possível recuperar a estrutura de uma construção histórica sem descaracterizá-la.

2.1.5.9 Substituição de elementos

A substituição de elementos é realizada quando um elemento estrutural está danificado ou inadequado ao carregamento a ser suportado, visando-se recuperar a função original do mesmo ou ainda corrigir possíveis falhas de projeto.

Para isso, é necessária a substituição total do elemento estrutural por materiais e tecnologias semelhantes às originais, ou podem ser usados novos métodos que visem melhorar seu comportamento e propriedades mecânicas.

Tal técnica pode ser visualizada no capítulo 3 desta dissertação, no estudo dos sobrados da Rua do Senado. Nas construções em questão uma nova estrutura metálica foi adotada, preservando-se toda a parte externa, porém, demolindo-se as paredes internas e lajes.

#### 2.1.5.10 Encamisamento

Quando uma viga ou pilar apresentam grandes deformações laterais devido a altos esforços de compressão, sugere-se que se aumente a seção transversal dos mesmos com a colocação de uma armadura suplementar e de uma camada de concreto na qual é inserida uma nova armadura (Figuras 2.24 e 2.25).

Inicialmente deve ser retirado o reboco até as juntas de argamassas, retirando assim partículas soltas e pedaços desprendidos, de modo que esses elementos retirados não atrapalhem a ligação do novo reboco à parede. Deve-se ainda eliminar os vazios e selar as trincas através da injeção de resina e efetuar os furos onde serão fixadas as pregagens. Posteriormente deve ser executada a limpeza da parede em questão com jato de água de baixa pressão, fixar a malha de reforço e aplicar o concreto.

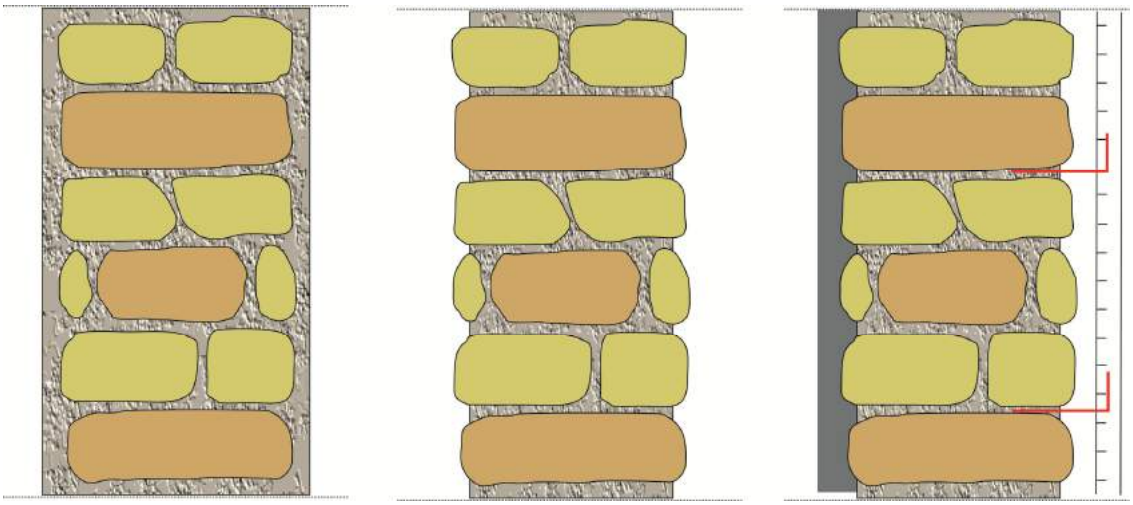


Figura 2.24: Representação da técnica do encamisamento: parede de pedras.

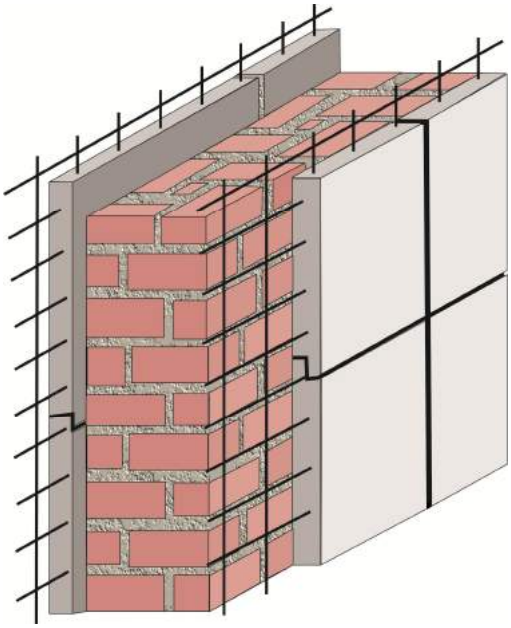


Figura 2.25: Representação da técnica do encamisamento: paredes de alvenaria cerâmica.

### 2.1.5.11 Confinamento em pilares

Em pilares sob a ação de solicitações de compressão de grande magnitude, é recomendável que se utilize anéis de aço nas seções menos resistentes. Com isso aumenta-se a resistência à compressão do pilar.

Os anéis funcionarão como cintos que manterão a seção frágil mais resistente. A Figura 2.26 apresenta as seções frágeis dos pilares sendo reforçadas por confinamento através de anéis de aço. Essa técnica também é executada com tecidos de compósitos de fibras de carbono.

Figura 2.26: Confinamento de pilares

### 2.1.5.12 Confinamento em paredes

O confinamento é geralmente utilizado em paredes com mais de uma folha e mal conectadas entre si. Para impedir que as camadas se dispersem são adotados procedimentos como: colocação de barras de aço no sentido transversal da parede ancoradas em ambos os lados por chapas metálicas, ou injeção de concreto armado em furos ao longo da parede (Figuras 2.27 e 2.28).

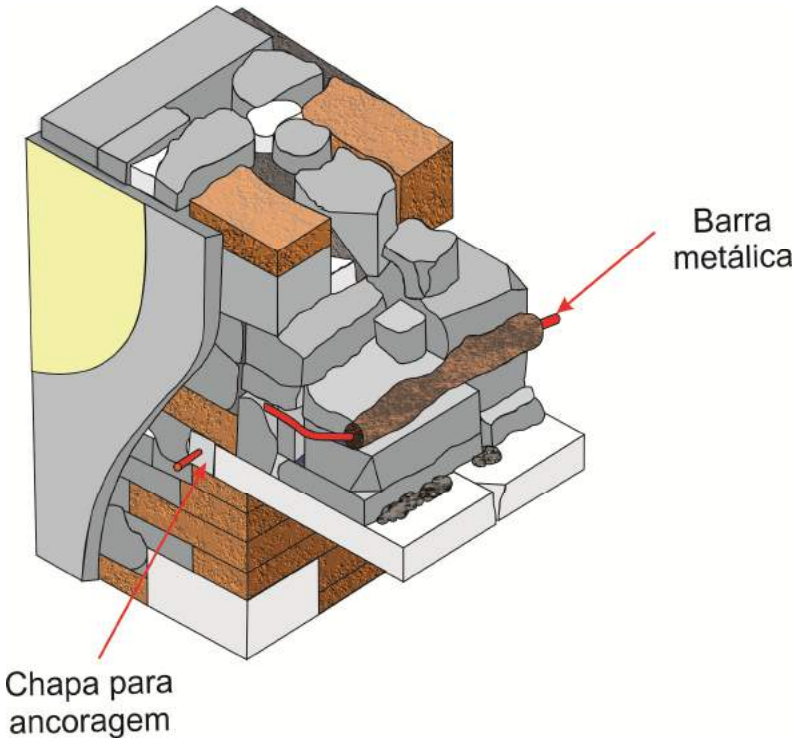



Figura 2.27: Confinamento de paredes, por meio de chapa de ancoragem.

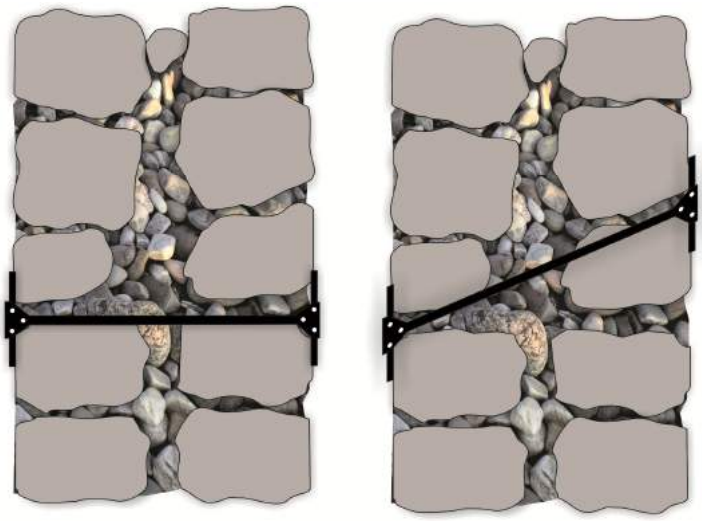


Figura 2.28: Confinamento de paredes, com tirantes.

### 2.1.5.13 Reboco Armado

Nessa técnica o procedimento a ser seguido é a fixação de uma malha de reforço à parede, para posteriormente projetar ou aplicar manualmente argamassa de revestimento sobre a mesma. É utilizada em casos onde as paredes estão danificadas por ações como: variações de temperatura, movimentações, ou ainda acentuada degradação da superfície. Em situações onde a parede está muito comprometida, a técnica é utilizada em combinação com outras como a injeção por exemplo.

As ações supracitadas podem gerar um fendilhamento e o tratamento adequado não pode ser simplesmente o refechamento de juntas pelo fato de os fatores serem contínuos, o que resultaria no retorno da patologia.

Antes de iniciar a aplicação da argamassa deve-se remover o reboco antigo, lavar a superfície com água sob-baixa pressão e colocar as malhas de reforço fixando-as nos conectores transversais.

O reboco armado em alguns casos deve ser utilizado em ambos os lados da parede, podendo a armadura estar ou não ligada transversalmente. Nesse caso, os conectores transversais devem ter o comprimento de no mínimo 50% da espessura da parede.

Vale lembrar que esteticamente essa solução apresenta desvantagens devido ao aumento considerável da espessura da parede, que quando externa pode danificar o aspecto geral da fachada.

Atualmente, algumas das armaduras disponíveis no mercado são: malhas de aço eletro soldadas (mais utilizadas), malhas de metal distendido ou ainda malhas sintéticas como a de fibras de vidro ou de poliéster.

As Figuras 2.29, 2.30, 2.31 e 2.32 apresentam a técnica em questão.

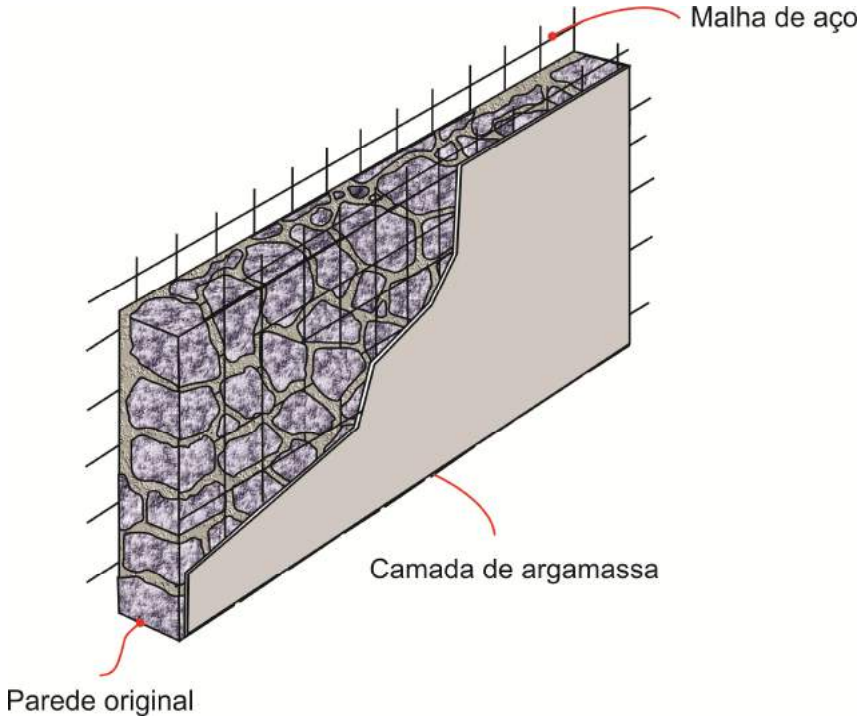



Figura 2.29: Detalhe da execução do reboco armado

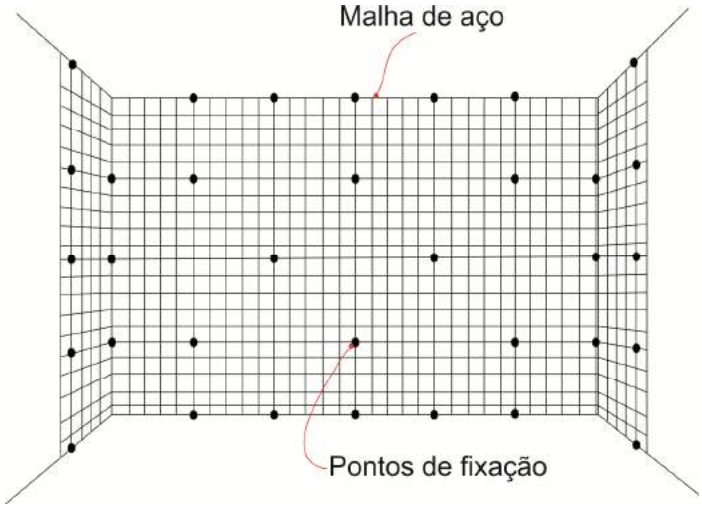



Figura 2.30: Detalhe da fixação da malha de aço.

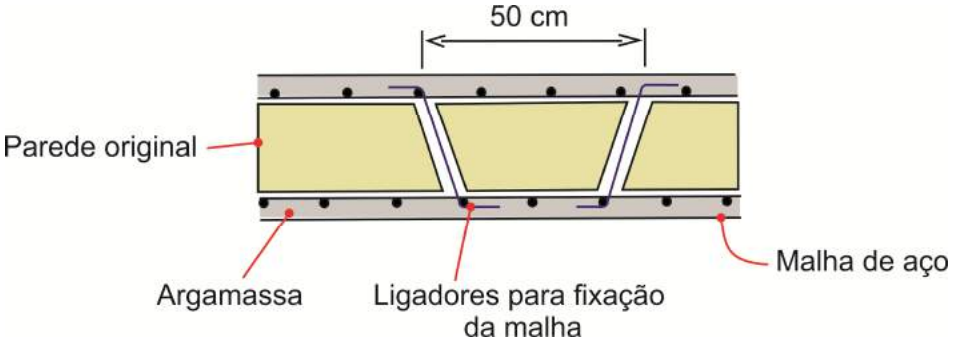



Figura 2.31: Corte longitudinal de uma parede com reboco armado.

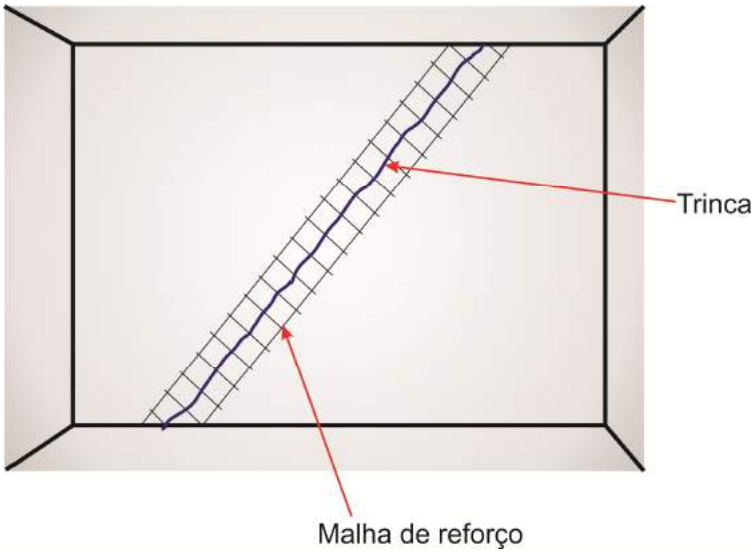



Figura 2.32: Detalhe da fixação da malha de reforço.

### 2.1.5.14 Alargamento

O alargamento é usado nos casos em que elementos de alvenaria estão em condições seguras, porém, sob altas tensões. Nessa técnica de reforço às seções desses elementos estruturais são adicionados novos materiais, compatíveis com os originais, de forma a alargá-las, distribuindo-se assim essas tensões em uma área maior (Figura 2.33).

Vale lembrar que antes da intervenção iniciar é necessário que se limpe a alvenaria antiga e que se substitua as partes mais frágeis.

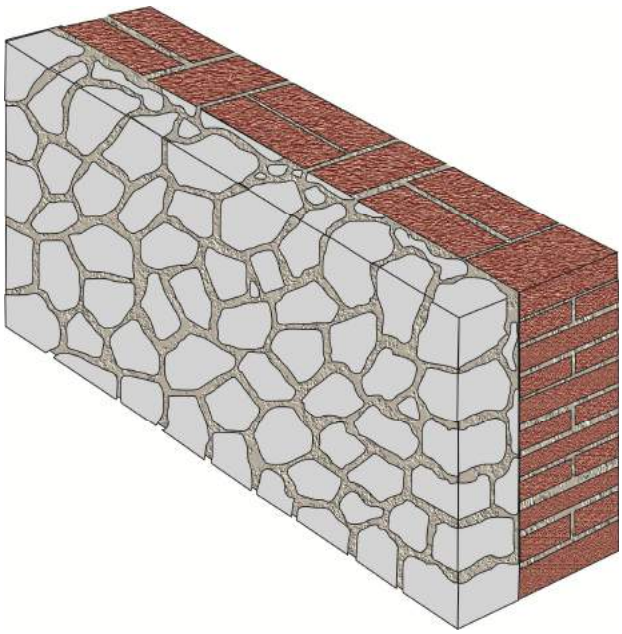


Figura 2.33: Técnica do alargamento.

### 2.1.5.15 Contraforte

Os contrafortes são elementos maciços, executados com concreto ou alvenaria, que resistem bem às solicitações laterais e às consequentes deformações, devido ao seu peso. Foi uma solução muito utilizada na sustentação de arcos e abóbodas em construções góticas, como se pode observar na Figura 2.34.

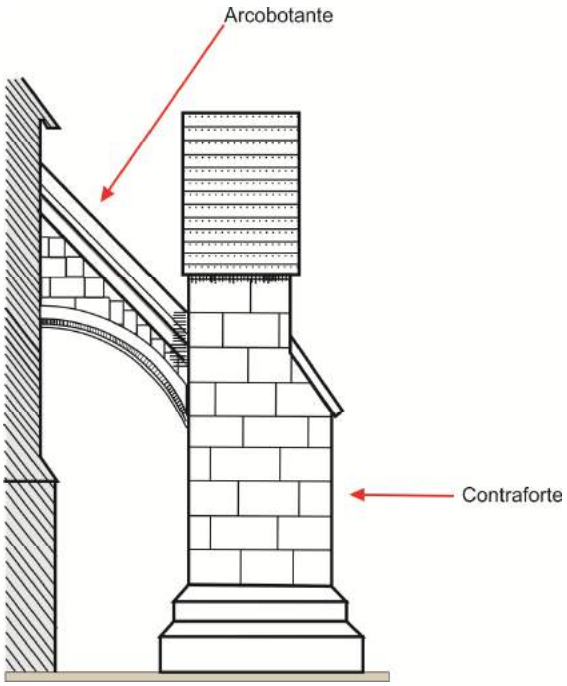



Figura 2.34: Exemplo do contraforte.

Já quando utilizado no reforço de estruturas apresenta a desvantagem de só poder ser implementado em construções que possuem espaçamentos laterais consideráveis. Além disso, não é uma solução esteticamente agradável.

As Figuras 2.35 e 2.36 apresentam o contraforte como solução de reforço estrutural para uma construção já existente. O peso da cobertura é transferido para os contrafortes, auxiliando os pilares no suporte da carga.

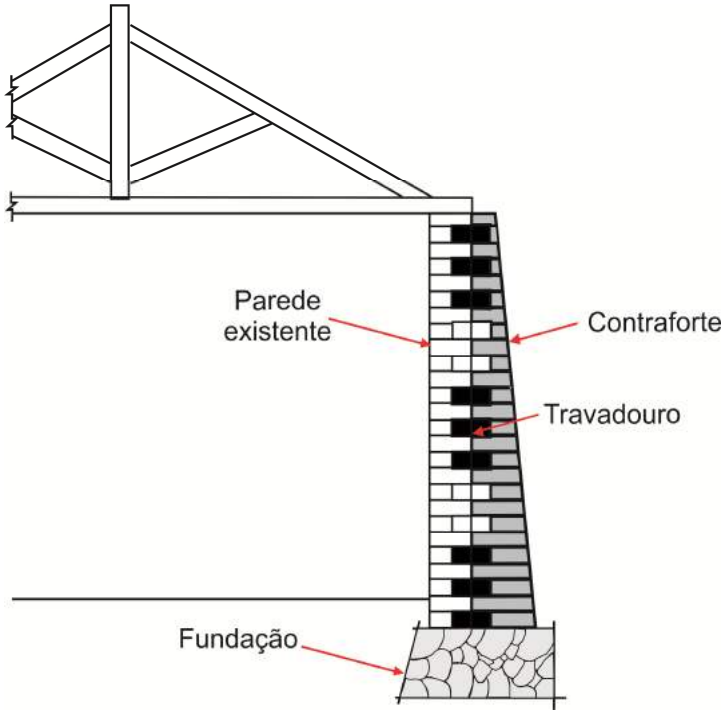



Figura 2.35: Exemplo do Contraforte como reforço estrutural.

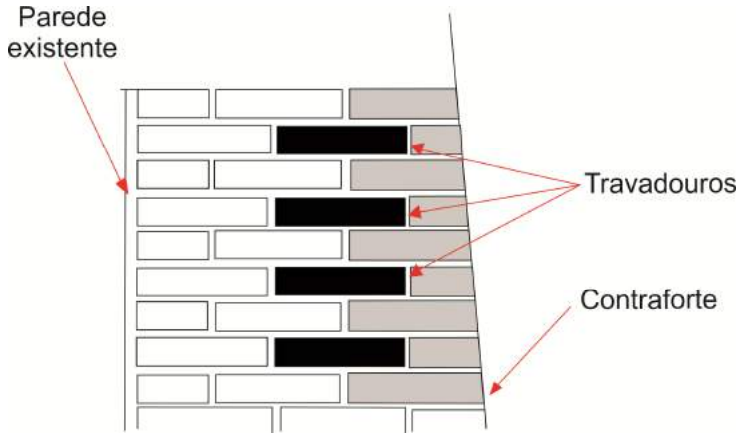



Figura 2.36: Detalhe do contraforte como técnica de reforço estrutural.

### 2.1.5.16 Escoramento

O escoramento é apropriado para casos em que a estrutura esteja apresentando risco de colapso ou incapacitada de suportar o carregamento solicitado.

As escoras podem ser inclinadas aumentando a resistência lateral da estrutura, ou verticais, suportando os carregamentos verticais e com isso reduzindo o carregamento a ser suportado pela estrutura original.

É uma solução provisória que garante a integridade da estrutura até que outra técnica de reforço estrutural permanente seja realizada.

Nas Figuras 2.37 e 2.38 é apresentado o escoramento realizado nos sobrados da Rua do Senado, localizado na área central do Rio de Janeiro, que serão estudados no capítulo 3.

Figura 2.37: Escoramento realizado nos sobrados da Rua do Senado.

Figura 2.38: Escoramento realizado nos sobrados da Rua do Senado.

### 2.1.5.17 Protensão

A protensão é usada principalmente em elementos que são danificados quando submetidos às solicitações de tração. Tem por finalidade evitar ou reduzir as trincas, além de aumentar a rigidez da estrutura com o esticamento de cabos de aço de alta resistência (Figuras 2.39 e 2.40).

Quando utilizado para melhorar o comportamento de paredes que são submetidas a ações de seu próprio plano, tem a finalidade de aumentar a capacidade de resistência quanto à tração e quanto à força cortante, já quando as ações atuam fora do plano da parede, a protensão aumenta a resistência à flexão.

A técnica em questão é eficaz para melhorar o controle de deformações e fendilhamentos, permitindo dessa forma, um aumento na durabilidade da construção. A tração que é causada pela carga acaba sendo anulada pela compressão do pré-esforço evitando dessa forma o fendilhamento.

A protensão é uma técnica reversível que não representa um aumento significativo no carregamento a ser suportado pela edificação, todavia são necessários alguns cuidados como a intensidade da força axial a ser aplicada a fim de não causar ruptura, deve-se executar uma proteção dos cabos externos contra corrosão, vandalismo, fogo, *etc*.

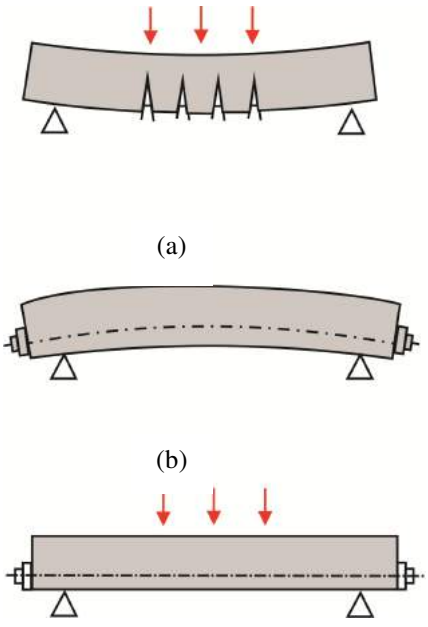
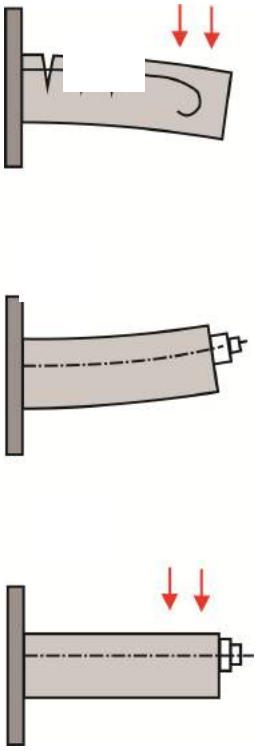



Figura 2.39: Antes e após da protensão em viga simplesmente apoiada: (a) Trincas devido ao carregamento; (b) Elemento protendido; (c) Protensão mais carregamento.



(c)

Figura 2.40: Antes e após a protensão em viga engastada: (a) Trincas devido ao carregamento; (b) Elemento protendido; (c) Protensão mais carregamento.

É importante apresentar os dois tipos de protensão existentes: a pré-tensão e a pós-tensão. Assim como as denominações sugerem, no primeiro o tensionamento ocorre antes da concretagem, e o segundo após a mesma.

### 2.1.5.18 Ancoragem

A fim de melhorar a estabilidade da estrutura e limitar deformações, os elementos estruturais são ancorados com barras metálicas, em alguma outra estrutura fixa ou em solos e rochas. A ancoragem é sugerida para casos em que sejam necessárias forças muito elevadas (Figura 2.41).

Na técnica em questão são feitos furos que receberão a bainha metálica, em seguida a argamassa é injetada no bulbo e são introduzidos cabos pré-tracionados. Diferentemente da ancoragem provisória, na definitiva a selagem abrange a totalidade dos cabos.

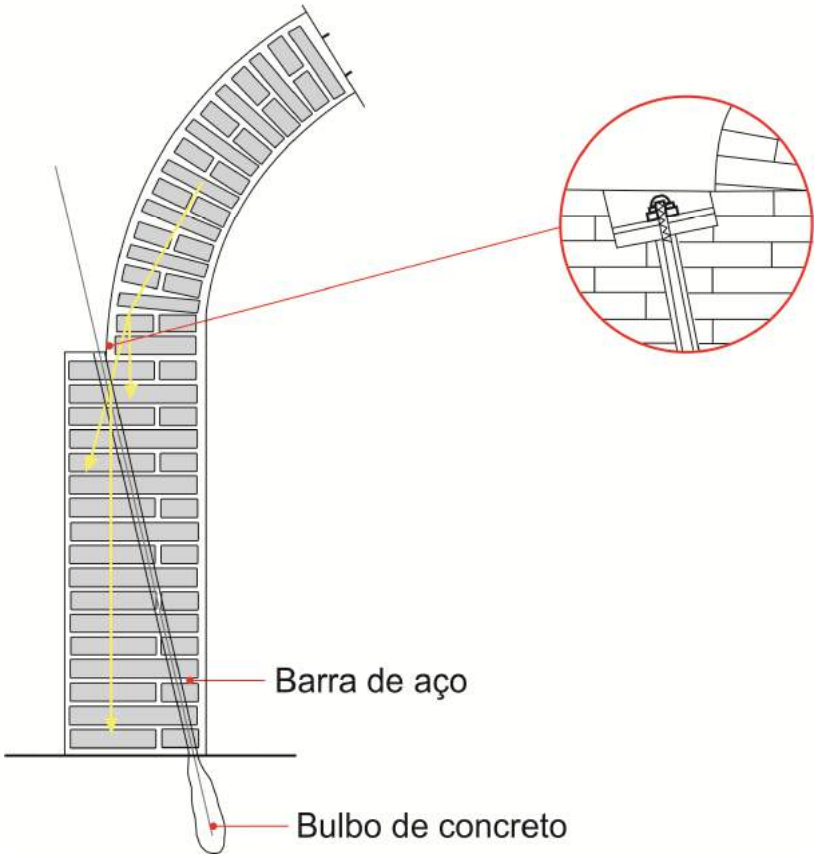



Figura 2.41: Sistema de Ancoragem

## 2.2 FUNDAÇÕES

As fundações são as partes mais delicadas e importantes de uma estrutura, pois ainda que todos os demais elementos estruturais estejam bem projetados e funcionando perfeitamente, se a fundação apresentar qualquer problema, todo o resto estará comprometido.

Podem ser rasas e superficiais – sendo estas denominadas como diretas – ou profundas, denominadas indiretas. O tipo de fundação a ser utilizada vai depender de fatores como: tipo e resistência do solo, distância da construção em questão de outras já existentes, recurso disponível, logística, etc.

Sendo em geral a primeira parte da construção a ser executada, tem por função receber o peso da edificação e transferi-lo ao solo de maneira que o peso suportado não cause danos ao solo sobre qual está atuando.

Como este trabalho disserta sobre reforço estrutural de fundações em edificações antigas, serão apresentadas apenas as fundações que se aplicam às mesmas, determinando os tipos de intervenções que podem ser adotadas.

### 2.2.1 Intervenções diretas em fundações

Aplicadas geralmente em fundações danificadas ou mal dimensionadas, tem por objetivo melhorar a distribuição do carregamento e melhorar as propriedades mecânicas da fundação.

As intervenções diretas podem ampliar, reparar ou reforçar a fundação a partir das técnicas já vistas e utilizadas nas demais estruturas.

Esse tipo de intervenção pode aumentar as qualidades geotécnicas do terreno ou ainda diminuir a tensão de contato com o solo, conseguida através do aumento da área de contato entre fundação e solo.

Na Figura 2.42 se pode perceber diferentes técnicas vistas anteriormente sendo aplicadas diretamente nas fundações danificadas. Na primeira imagem foram executadas pregagens de barras pré-tracionadas entre a fundação original e a nova estrutura de recalçameto em concreto, permitindo o aumento da superfície de contato. A Figura 2.43 apresenta o escoramento da área que foi escavada e a adoção de uma sapata de concreto armado sob uma nova estrutura de recalçamento em alvenaria. A Figura 2.44 apresenta a consolidação da fundação original com injeção química e de cimento confinadas por caixas de concreto armado.

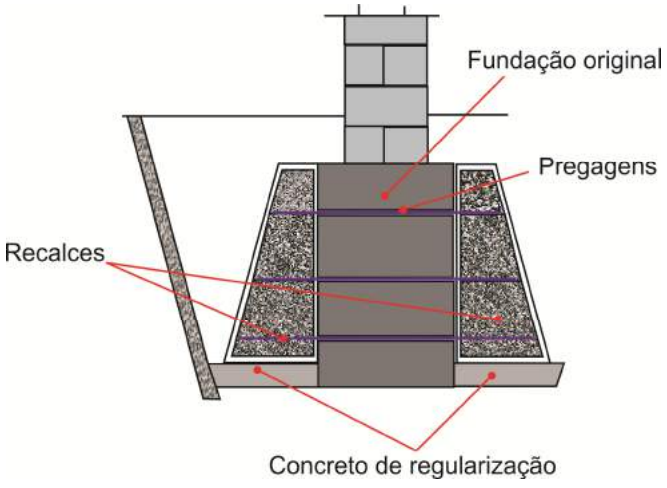



Figura 2.42: Aumento da superfície de contato.

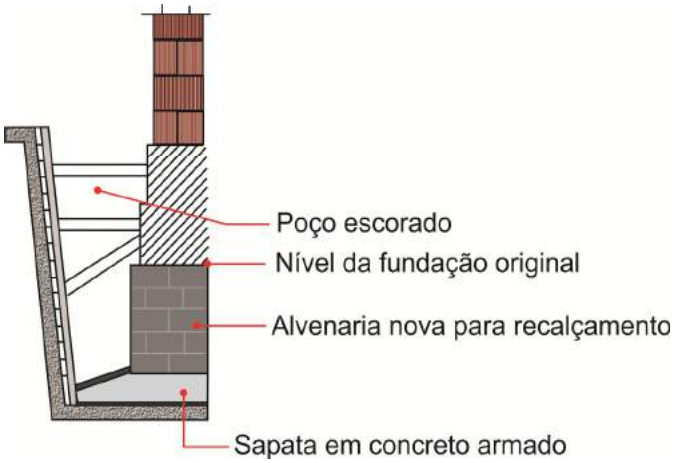



Figura 2.43: Rebaixamento e aumento da superfície de contato.

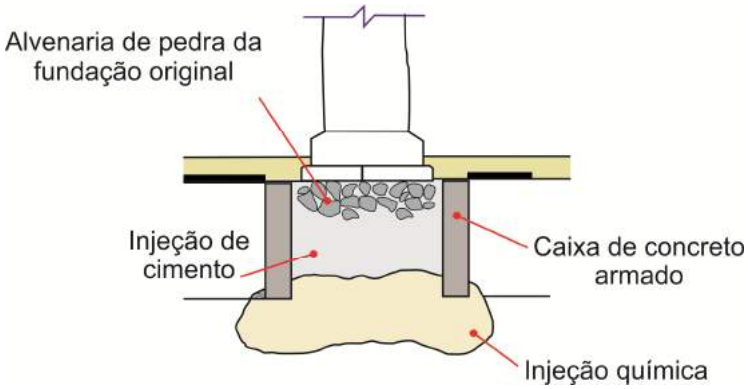



Figura 2.44: Consolidação da sapata e do solo com injeção de cimento e química, confinadas por caixas de concreto armado.

### 2.2.2 Intervenções no solo abaixo da fundação

Técnica realizada quando as fundações estão localizadas sobre um solo que ofereça risco de afundamento da estrutura, transferindo dessa forma, as cargas suportadas pela fundação original para um solo mais resistente.

Como se trata de uma intervenção em fundações de edificações antigas deve-se levar em consideração a intensidade de vibrações causadas, as quais devem ser as mínimas possíveis.

Para solucionar o problema do solo não consolidado pode-se utilizar sistemas como as micro-estacas, estacas-raiz ou jet-grouting, que serão explicadas a seguir.

- Micro-estacas: nas micro-estacas o terreno é perfurado com o auxílio de circulação de água ou lama. O próximo passo é a inserção de tubos de pvc ou aço – revestidos com armadura para atingir a resistência necessária – com uma válvula "manchete" por metro. O procedimento posterior é a injeção de nata de cimento, que primeiramente preencherá o espaço entre as paredes do furo e o tubo de injeção formando a "bainha", a qual impedirá que a calda de cimento que será injetada sob pressão chegue à superfície. Vale lembrar que a pressão da injeção de cada válvula é de até 20 Mpa.. Essa injeção é feita pelas válvulas "manchete" para que se controle a quantidade de calda consumida e a pressão utilizada. A última etapa consiste na vedação do tubo com argamassa ou nata de cimento, que se expande em relação à perfuração, funcionando de forma semelhante a um tirante. A diferença entre as micro-estacas e a estaca raiz, é que a primeira é armada com um tubo de aço, enquanto a outra utiliza barras metálicas (Figura 2.45).

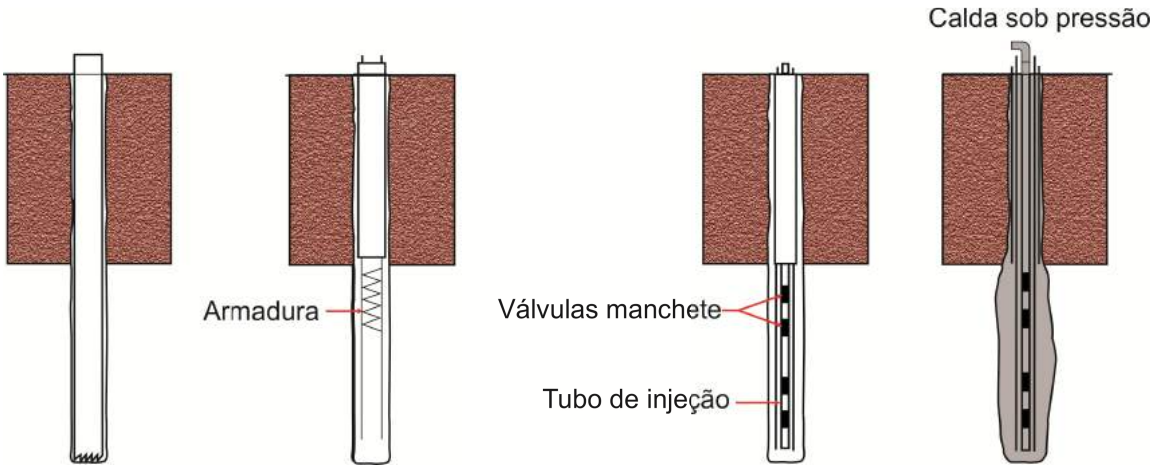



Figura 2.45: Execução das micro-estacas.

- Estacas-raiz: nesse tipo de fundação o solo é perfurado com tubos rosqueáveis metálicos recuperáveis – de revestimentos – e com o auxílio de circulação de água, lama ou ar comprimido. Em seguida limpa-se o furo com a circulação de água. Na etapa seguinte a armadura é montada: barras de aço em gaiolas ou barras simples e centralizadas no furo. A etapa posterior é o preenchimento do furo – de baixo para cima – com argamassa e extravasamento da lama ou água. Com o auxílio de macacos hidráulicos o tubo é retirado conforme a argamassa vai subindo. Após a conclusão da fase anterior, dá-se início ao acoplamento do tampão para a injeção de ar comprimido – com até 0,5 MPa – adensando a

argamassa e aumentando o atrito lateral. Em termos de intervenção em construções já existentes, oferece vantagens como: baixo ruído, pequeno impacto por vibrações, seu porte é menor que outras técnicas permitindo seu uso internamente, é possível ser utilizado em inclinações diferentes de 90°, ou ainda quando há a necessidade de penetração de locais de difícil penetrabilidade (Figura 2.46).

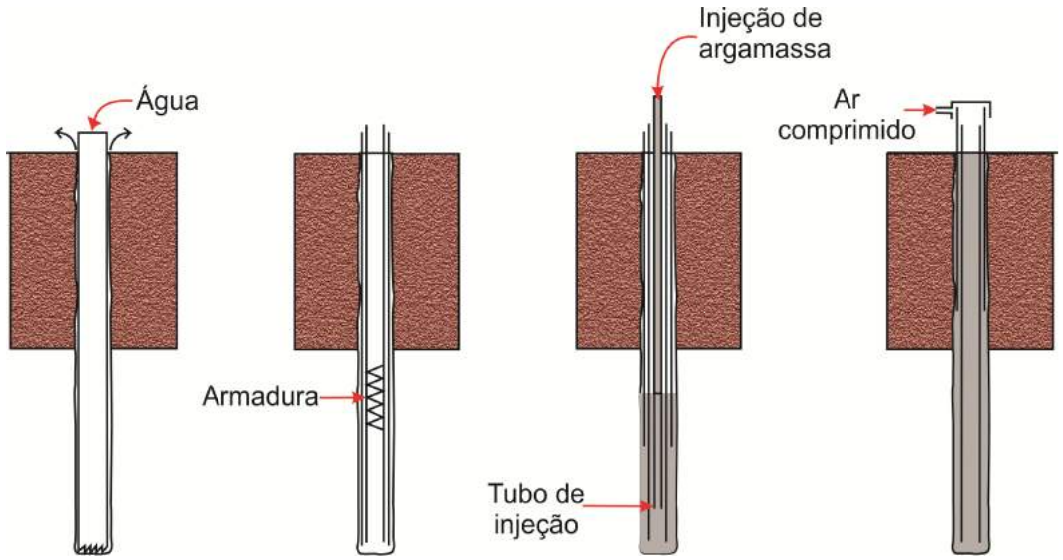



Figura 2.46: Sequência de execução da estaca raiz.

- Jet-grouting: nessa técnica é realizada a injeção de calda de cimento no solo através de bicos injetores, em alta pressão (entre 30 e 50 MPa) e velocidade (em torno de 250 m/s). No procedimento em questão não é necessário que se faça escavação. A calda de cimento é misturada às partículas desagregadas do solo, tornando o mesmo menos permeável e com melhores propriedades mecânicas. O procedimento inicia-se com a quebra da estrutura inicial do solo e a dispersão das partículas do mesmo devido aos jatos horizontais de alta velocidade. Em seguida, parte dos fragmentos do solo é substituída por uma mistura de partículas do terreno com a calda injetada. Por último é realizada a cimentação. Vale lembrar que o *jet-grouting* apresenta vantagens como vibrações de pequena intensidade, possibilidade de realizar colunas em diferentes inclinações e possibilidade de inserção de elementos metálicos em seu interior. Esse sistema é utilizado quando os sistemas tradicionais de perfuração e injeção não são viáveis (Figura 2.47).

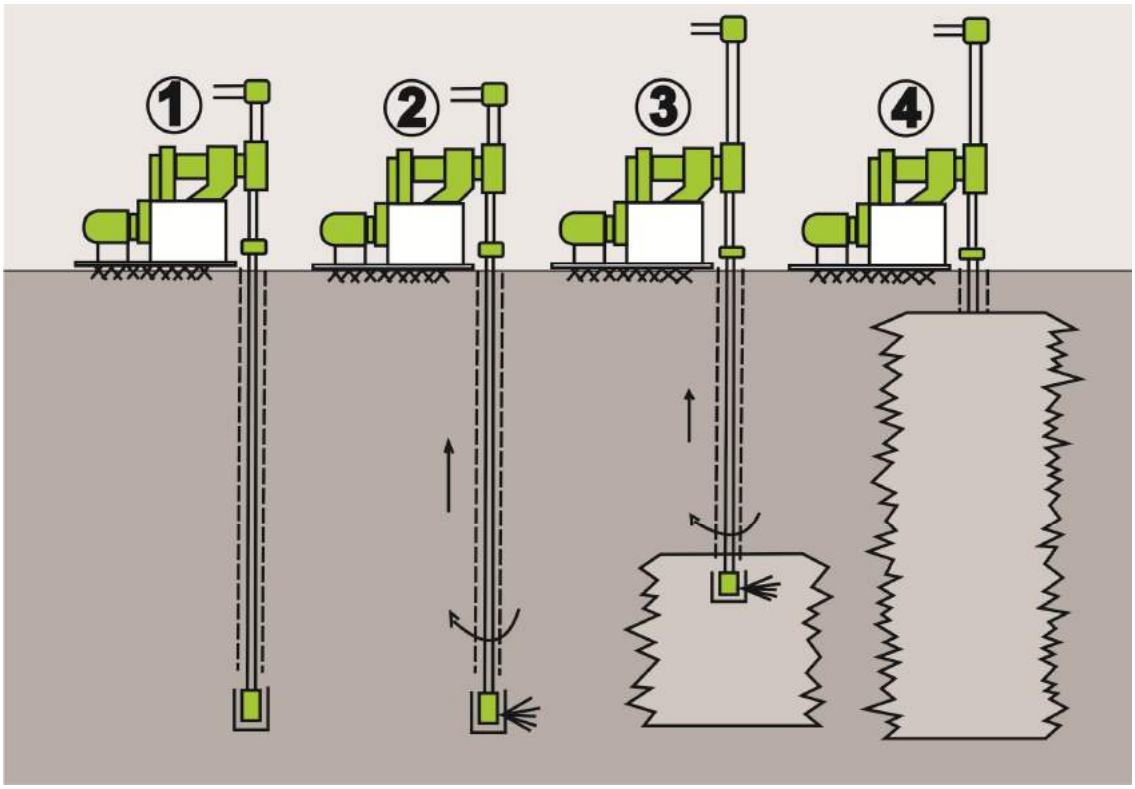



Figura 2.47: Execução do jet-grouting

# 3 MANUAL PRÁTICO – ESTUDOS DE CASOS REAIS

Neste capítulo serão apresentados alguns casos reais de edificações do início do século XX, que apresentavam algumas das patologias apresentadas no capítulo 2. Além disso, serão apresentadas as técnicas de recuperação e reforço estrutural adotadas em cada caso separadamente.

## 3.1 CÚPULA DO DOPS – RJ

### 3.1.1 Notas iniciais

Neste estudo de caso será analisado o reforço estrutural da cúpula do prédio do Departamento de Ordem Política e Social (DOPS) do Rio de Janeiro.

O edifício está localizado no número 40 da Rua da Relação na esquina com a Rua dos Inválidos, no Centro da cidade do Rio de Janeiro, tendo sido construído em 1910 para sediar a Repartição Central de Polícia.

O projeto é do arquiteto Heitor de Mello e inicialmente só era composto de uma ala em L que ocupava as fachadas da esquina. Em 1922, outra ala no mesmo formato foi construída completando a volumetria que hoje se apresenta. O edifício de arquitetura eclética é tombado pelo INEPAC.

Na Figura 3.1 a construção em questão está representada pela cor vermelha, e a Figura 3.2 apresenta sua fachada.

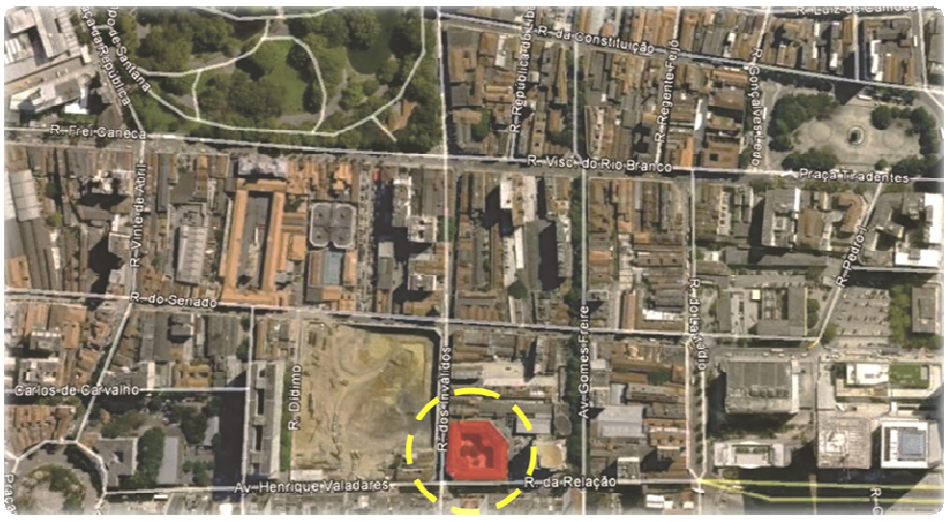



Figura 3.1: Localização do edifício do DOPS.

Figura 3.2: Fachada do edifício DOPS. Disponível em: www.inepac.rj.gov.br

### 3.1.2 DOPS

No estudo de caso em questão, o que se pode observar é que a cúpula do edifício do DOPS necessitava de reparo e reforço estrutural devido ao aparecimento de fissuras geradas por recalques diferenciais. Além disso, verificou-se que algumas intervenções foram feitas na cúpula, como a construção de um telhado de fibrocimento após a detecção de infiltrações. Percebeu-se ainda que os arcos da janela trabalharam, dando a impressão que a parte inferior da cúpula em questão estava abrindo.

A fim de solucionar os problemas encontrados foram executadas injeções de resina epóxi nas fissuras visando manter a integridade do material e travamentos, além do reforço estrutural com compósito de fibra de carbono.

Para que melhor se entenda as técnicas de reforço estrutural e de reparo utilizadas, são representados os desenhos técnicos das mesmas nas Figuras 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6.

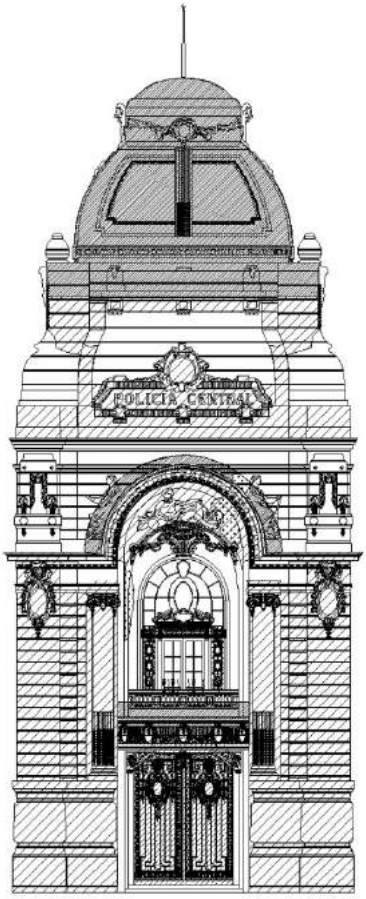



Figura 3.3: Fachada do edifício.

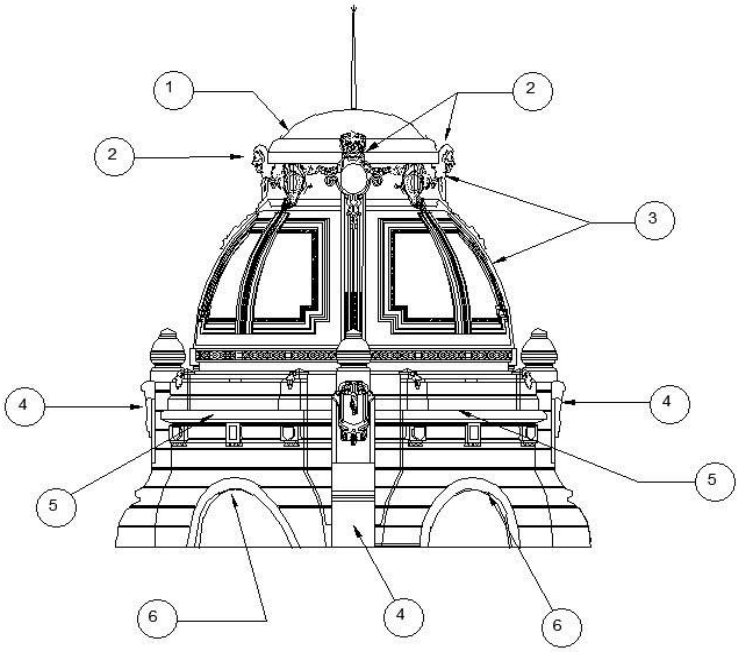



Figura 3.4: Vista geral da cúpula do edifício.

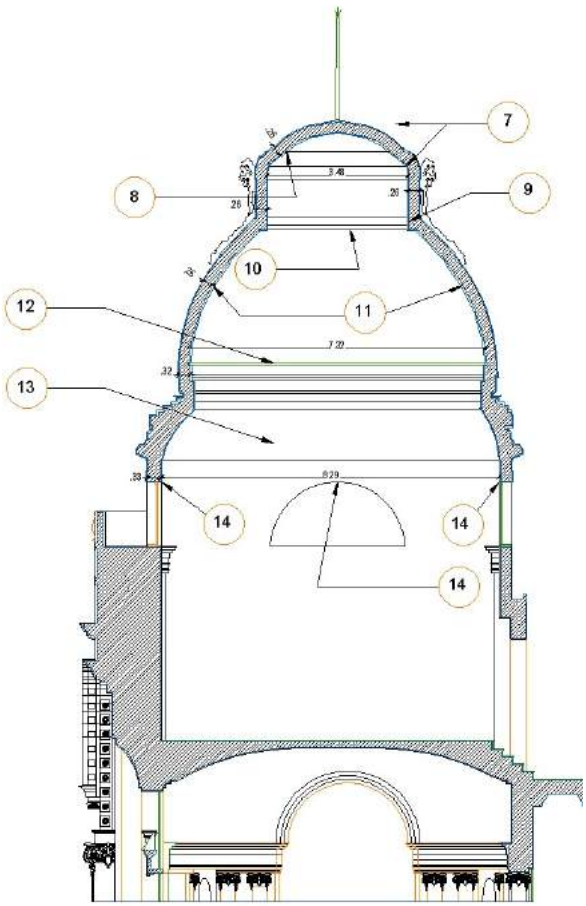



Figura 3.5: Elementos estruturais da cúpula listados no projeto de reforço.

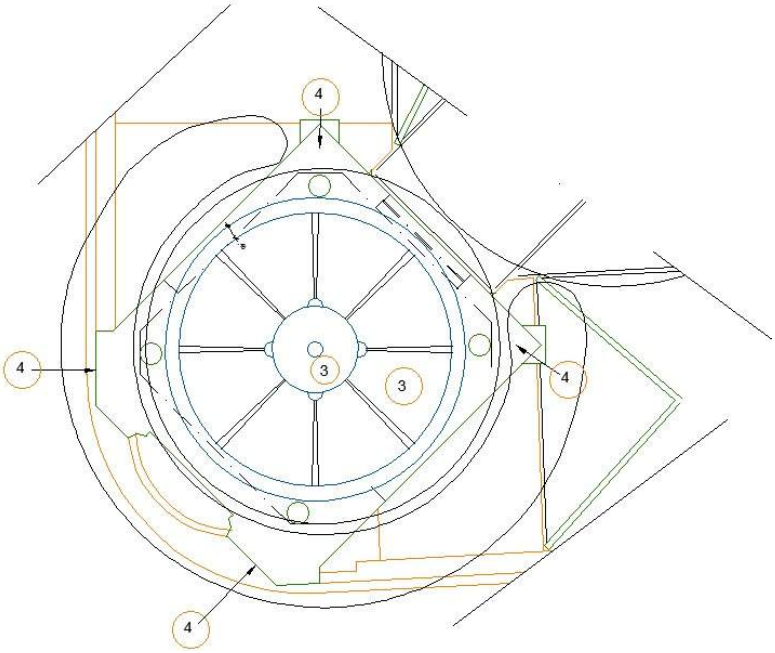



Figura 3.6: Vista superior da cúpula.

Nas figuras 3.4, 3.5 e 3.6, os elementos estruturais da cúpula são identificados através de números entre 1 e 14, os quais têm seus significados listados a seguir.

1 – Lanterna em tijolos cerâmicos, revestida em argamassa.

2 – Contraforte em tijolos cerâmicos.

3 – Superfície curva em tijolos cerâmicos, revestida em argamassa.

4 – Contraforte em tijolos cerâmicos.

5 – Anéis de tijolos cerâmicos e concreto.

6 – Arcos em tijolo cerâmicos.

7 – Aro metálico (ferro).

8 – Arcos metálicos (ferro).

9 – Anéis em tijolos cerâmicos maciços.

10 – Aro metálico (ferro).

11 – Arcos metálicos (ferro).

12 – Aro metálico (ferro).

13 – Anéis em tijolos cerâmicos maciços.

14 – Parte superior dos arcos em tijolo cerâmico (serão reforçados).

Na Figura 3.7 são apresentados os reparos nos anéis de tijolos cerâmicos. Inicialmente realizou-se a injeção de resina epóxi nas fissuras e nas descontinuidades das juntas de assentamento, onde a argamassa estava danificada, presentes nos anéis de tijolos cerâmicos, tanto no inferior quanto no superior.

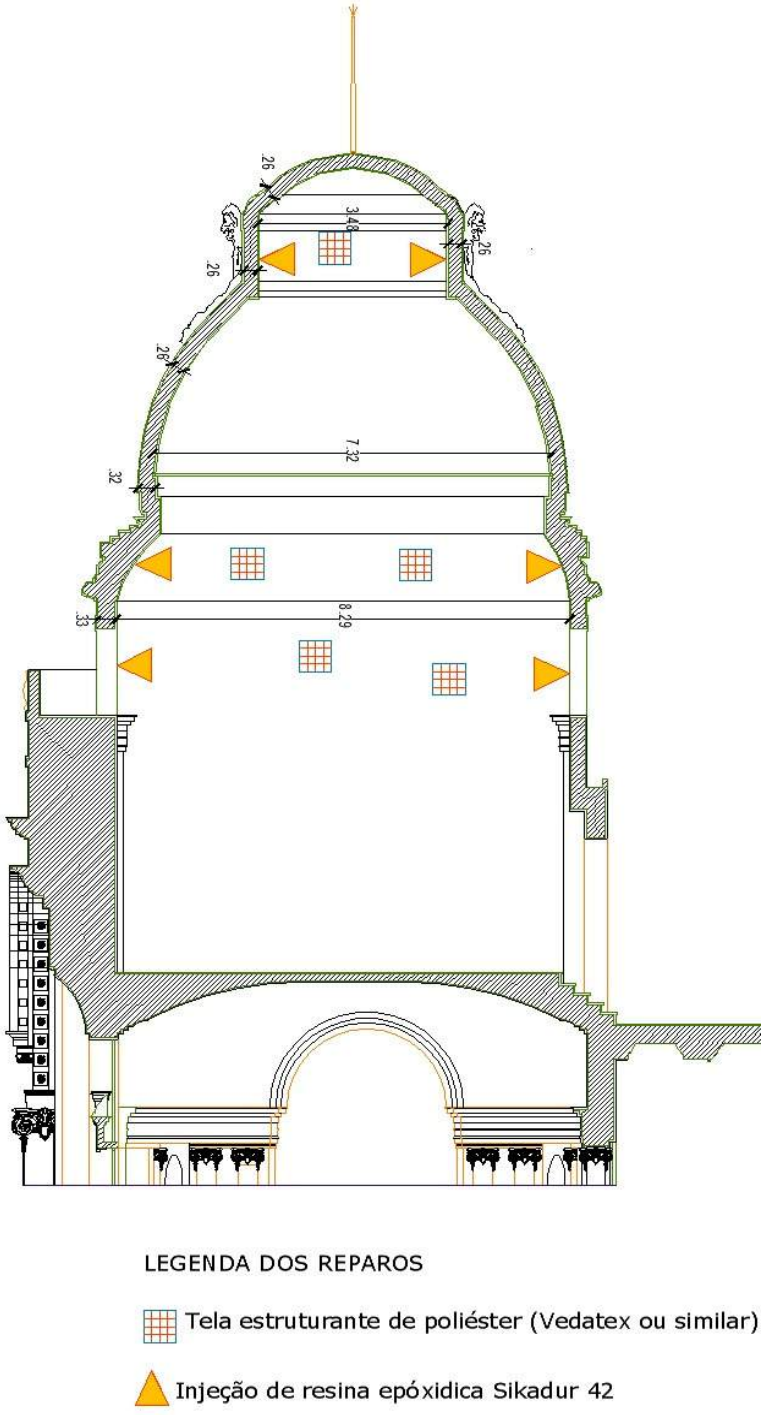



Figura 3.7: Locais dos reparos executados

Na Figura 3.8 são identificadas através de números de 1 a 3, as chapas de aço utilizadas nas pregagens dos contrafortes. Os detalhes técnicos das mesmas estão apresentados na Figura 3.9.

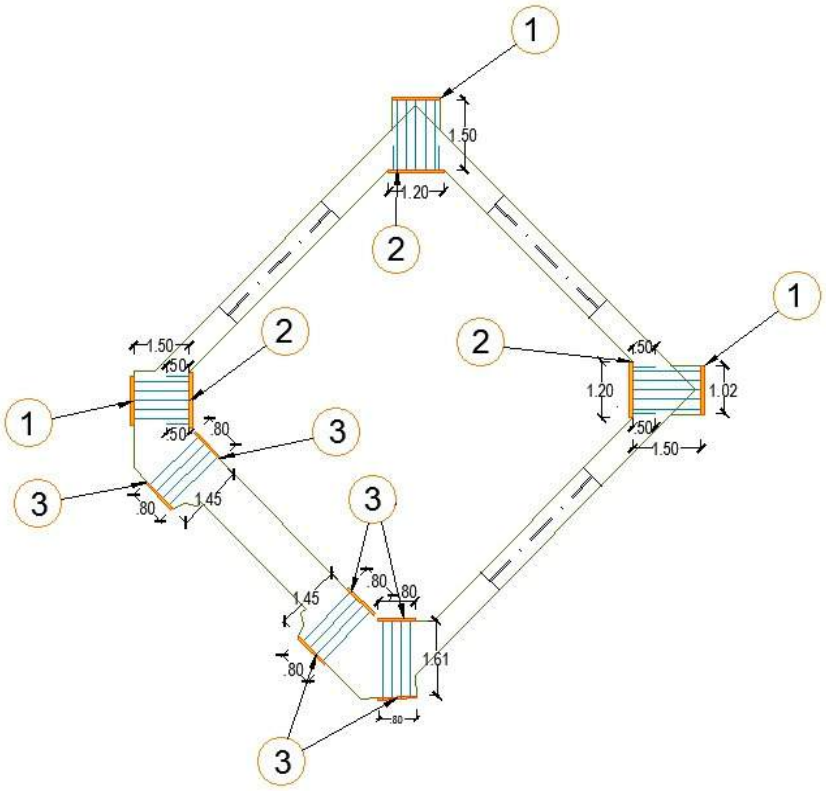



Figura 3.8: Técnica de reforço estrutural utilizada: pregagem de contrafortes.

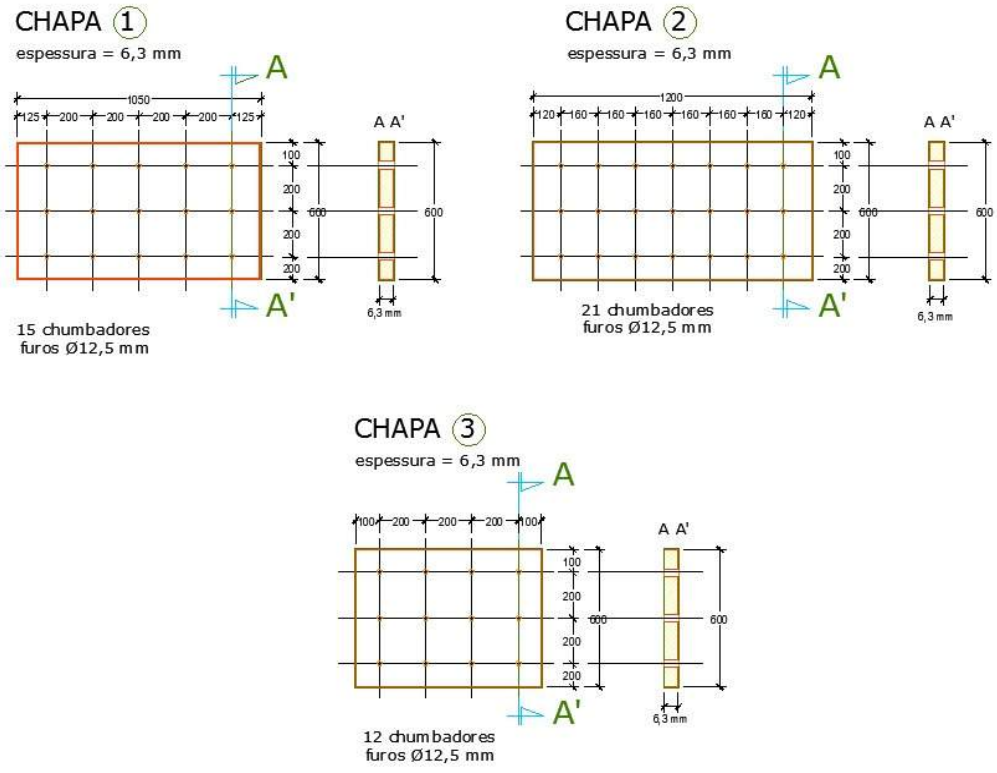



Figura 3.9: Desenho técnico das chapas de aço utilizadas na pregagem de contrafortes.

A Figura 3.10 detalha a fixação dos chumbadores nas chapas de aço. Após a fixação das chapas de aço, foi injetada resina epoxídica Sikadur 43 (Figura 3.10).

Antes da colocação das chapas metálicas, as superfícies dos contrafortes de tijolo cerâmicos foram aplainadas com argamassa tixotrópica Sikatop 122. Vale lembrar ainda que na área de contato entre a chapa de aço e o tijolo maciço foi aplicada uma camada de Sikadur 32.

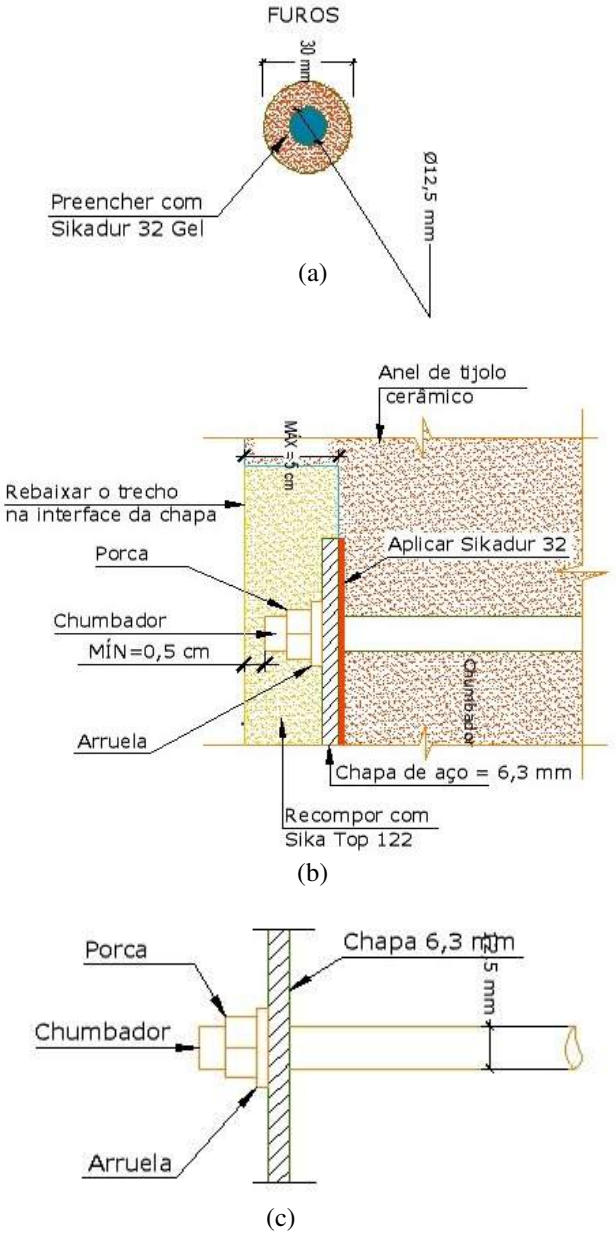



Figura 3.10: Fixação dos chumbadores às chapas de aço: (a) Furo para fixação do chumbador; (b) Fixação da chapa de aço; (c) Fixação do chumbador à chapa de aço.

Após a apresentação do projeto de reparo e reforço estrutural para a cúpula do edifício do DOPS, apresentam-se as imagens do antes e depois da execução desses procedimentos.

As Figuras 3.11 e 3.12 representam o antes e o depois da lanterna da cúpula. Anteriormente havia muitas falhas e trincas no emboço, além de áreas esburacadas causadas por intempéries. Esta provavelmente foi a causa da infiltração encontrada no local. A fim de tratar estas patologias, utilizou-se da injeção por gravidade de argamassa polimérica Sika Monotop 622 BR, colmatando assim os espaços existentes e garantindo a integridade do material e sua capacidade estrutural.

Figura 3.11: Lanterna da cúpula antes da injeção de argamassa polimérica.

Figura 3.12: Lanterna da cúpula depois da injeção de argamassa polimérica.

As Figuras 3.13 e 3.14 mostram o antes e depois das calhas externas de captação de água de chuva. Como se pode observar na Figura 3.13, as calhas se encontravam obstruídas assim como as tubulações de descida, que ainda apresentavam corrosão.

Para solucionar esse problema, além da desobstrução e limpeza das calhas foi executada a impermeabilização das mesmas com duas demãos do produto Viaplus 1000 e mais duas demãos do produto Viaplus 5000 estruturados com tela de poliéster.

A tubulação antiga de descida pluvial que ainda era de cobre foi substituída por uma nova de PVC.

Figura 3.13: Detalhe das calhas obstruídas.

Figura 3.14: Calha depois de limpa e impermeabilizada.

As Figuras 3.15 a 3.18 apresentam o reforço estrutural dos arcos sobre a janela. O primeiro passo para reforçar os arcos da janela foi remover com cautela o emboço interno e externo para que posteriormente pudesse ser aplicado o tecido de fibra de carbono (CFC).

Em seguida aplicou-se adesivo epóxi nas trincas e fissuras encontradas na estrutura de tijolos maciços que compunham o arco.

A próxima etapa foi a aplicação da argamassa polimérica monocomponente (com fibras) para regularizar a superfície garantindo uma melhor aderência do tecido de CFC. Aplicou-se então uma demão de adesivo epóxi Sikadur 330C para servir de base para a aplicação do tecido de fibra de carbono.

O tecido de CFC foi aplicado em duas camadas, tendo sido usado o Sika-wrap 300C (com resistência à tração superior a 3900 MPa e com 0,167 mm de espessura). Foi aplicada em seguida mais uma camada de adesivo epóxi Sikadur 330C.

Por fim, executou-se mais uma camada de argamassa polimérica (Sika Monotop 622 BR) para acabamento e base para receber um novo emboço.

Figura 3.15: Antes da intervenção.

Figura 3.16: Após remoção do emboço.

Figura 3.17: Após aplicação do tecido de CFC.

Figura 3.18: Após aplicação de última camada de argamassa polimérica.

As Figuras 3.19 a 3.22 apresentam as etapas da pregagem dos tijolos maciços da cúpula do edifício em questão. Assim como no reforço dos arcos da janela, a primeira etapa dessa técnica foi a remoção do emboço externo e interno. Tais áreas onde o emboço foi

removido tiveram ainda os tijolos limítrofes escarificados, de forma que ao fim da pregagem as chapas metálicas e os parafusos não ficassem expostos.

Após a remoção do emboço foi executada a regularização das superfícies que receberam posteriormente as placas com argamassa polimérica Sika Monotop 622 BR.

A etapa seguinte foi a execução de furos de 12,5 mm de bitola para colocação dos chumbadores metálicos. Só então, após o encaixe das placas metálicas de 6,3 mm de espessura cada, foi executada a introdução dos chumbadores e a colocação e aperto das porcas (pregagem).

Figura 3.19: Remoção do emboço.

Figura 3.20: Colocação das placas e dos chumbadores metálicos.

Figura 3.21: Aperto das porcas (lado externo).

Figura 3.22: Aperto das porcas (lado interno).

Na recuperação estrutural dos arcos e aros metálicos, mostrada nas Figuras 3.23 à 3.32, pode-se perceber a presença de corrosão em alguns dos perfis. Foi realizado o lixamento com lixadeiras elétricas e escovas de aço para retirar todo material ferruginoso e outras impurezas presentes nos perfis de sustentação interna da cúpula.

Após o lixamento executou-se o tratamento anticorrosivo com pintura especial para peças metálicas, utilizando o produto Ferrolack (esmalte sintético que tem dupla ação, usado como fundo e acabamento sobre superfícies de materiais ferrosos).

Onde houve perda de material devido ao processo de corrosão, foi executado o reforço estrutural com a utilização de lâminas de CFC coladas à estrutura usando adesivo epóxi.

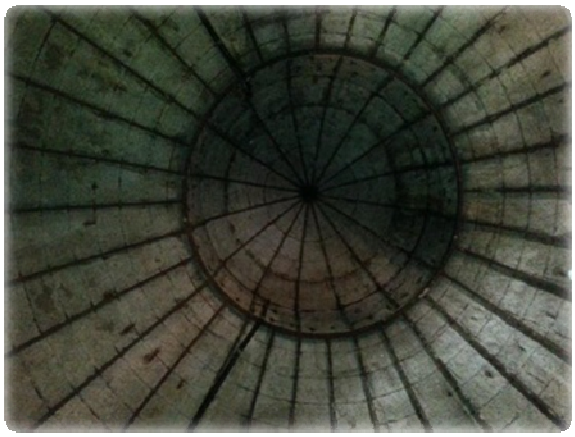


Figura 3.23: Estrutura interna da cúpula antes.

Figura 3.24: Estrutura interna da cúpula depois.

Figura 3.25: Nó central antes.

Figura 3.26: Nó central depois.

Figura 3.27: Estrutura de arcos com corrosão.

.

Figura 3.28: Estrutura de arcos com corrosão

Figura 3.29: Trecho com corrosão e perda de massa de ferro.

Figura 3.30: Trecho do arco metálico com reforço de CFC.

Figura 3.31: Trecho do arco metálico com reforço de CFC

Figura 3.32: Trecho do arco metálico com reforço de CFC.

As alvenarias de tijolos cerâmicos internas encontravam-se, em sua maioria, em bom estado de conservação. Algumas exceções foram encontradas nos locais onde havia infiltração e percolação das águas de chuva que caíam sobre a cúpula.

Os tijolos danificados foram trocados por outros semelhantes, com mesmas características e dimensões dos encontrados na alvenaria em questão.

Os vãos que foram abertos para as visitas técnicas e para a passagem das tubulações de drenagem, foram devidamente fechados e preenchidos com grout.

Por último, toda a alvenaria recebeu uma camada de chapisco, cimento e areia, a fim de proteger os tijolos e garantir grande durabilidade para as peças e para o sistema estrutural como um todo. Em seguida o forro foi refeito com placas de gesso e massa PVA, preparado para posteriormente receber o acabamento final de pintura (Figura 3.33).

Figura 3.33: Forro de gesso refeito.

## 3.2 SOBRADOS DA RUA DO SENADO, Nº 104 E Nº 106

### 3.2.1 Notas Iniciais

Nesse estudo de caso serão analisadas as técnicas de reforço estrutural e de reparo utilizadas nos sobrados nº 104 e nº 106 localizados na Rua do Senado, na Lapa. Os sobrados estão exatamente ao lado da Igreja Nossa Senhora dos Inválidos.

Na Figura 3.34 as construções em questão estão representadas pela cor vermelha, e as Figuras 3.35, 3.36 e 3.37 apresentam as fachadas dos sobrados.

Figura 3.34: Localização dos Sobrados.

Figura 3.35. Fachada antes da intervenção.

Figura 3.36: Fachada durante a intervenção.

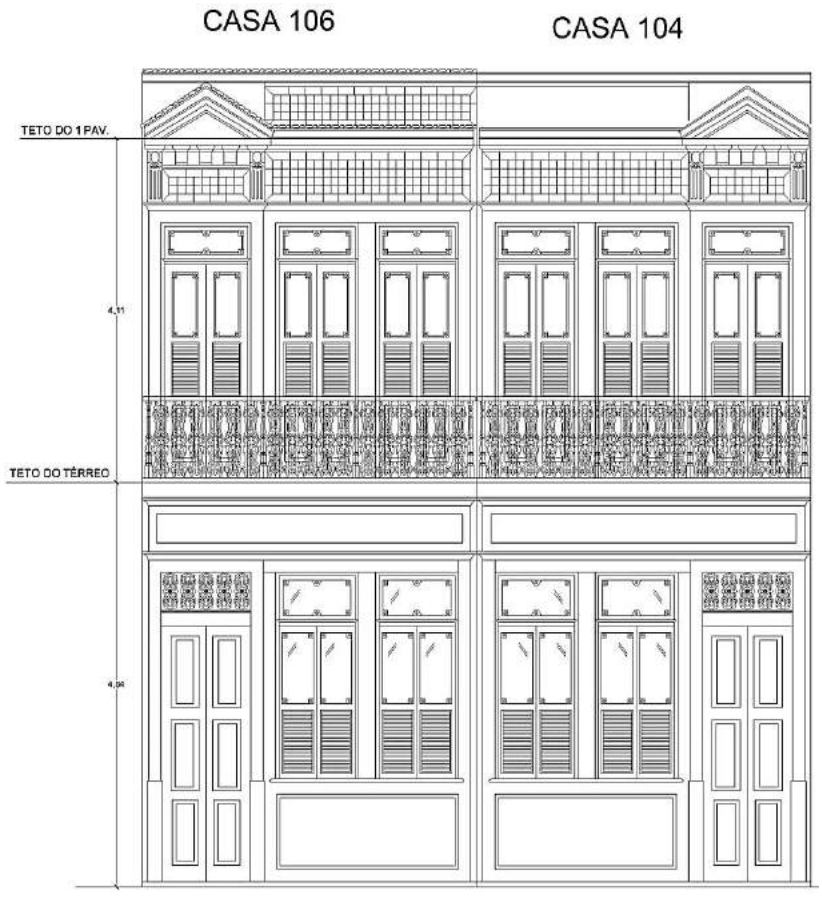



Figura 3.37: Fachadas das casas 104 e 106.

### 3.2.2 Sobrados - Patologias

Os sobrados nº 104 e nº 106 localizados na Rua do Senado apresentavam muitas trincas em suas paredes. Além disso, em ambas as construções observou-se grandes modificações de planta, como acréscimos de pavimentos e de espaço físico, bem como demolições. A Figura 3.38 apresenta os sobrados antes do início da intervenção.

Figura 3.38: Vista de fundos antes do início da intervenção.

Neste caso o objetivo era manter as fachadas e paredes de perímetro originais, modificando todo o interior das edificações. Para isso, uma nova estrutura independente foi criada, e as paredes originais que apresentavam grandes fissuras foram recuperadas através de injeção de resina por gravidade. Vale lembrar que em fissuras superiores a 3cm utilizou-se a injeção de calda de cimento. A Figura 3.39 detalha o reparo das trincas encontradas nas paredes dos sobrados, apresentando as dimensões da tela estruturante de poliéster e os locais onde as injeções foram aplicadas.

O projeto de recuperação de fissura das paredes em questão está representado pelas Figuras 3.40, 3.41 e 3.42.

A legenda adotada no projeto elaborado para execução dos serviços foi:

Tela estruturante de poliéster

Injeção de calda de cimento

Injeção de epóxi

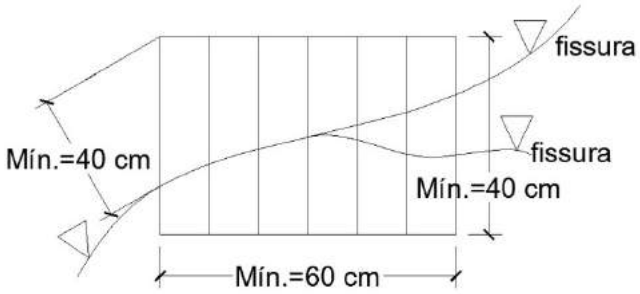



Figura 3.39: Detalhe técnico do reparo de trincas.

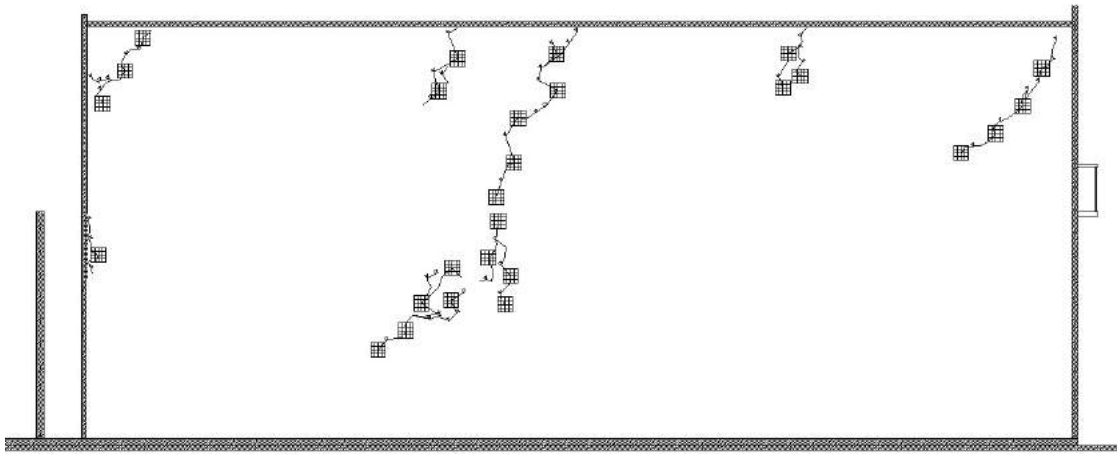


Figura 3.40: Recuperação de trincas da parede da casa 104 (ao lado da Igreja).

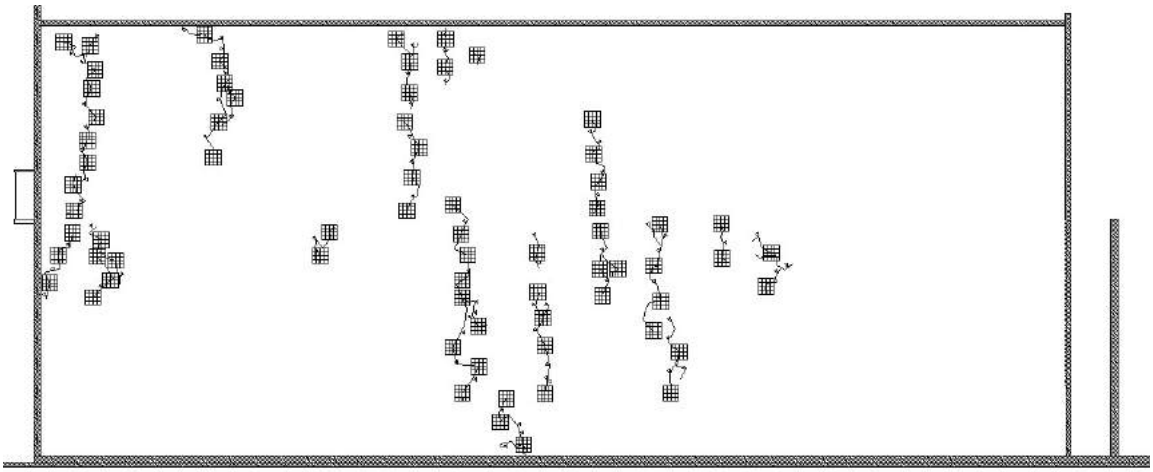


Figura 3.41: Recuperação de trincas da parede que divide as casas 104 e 106.

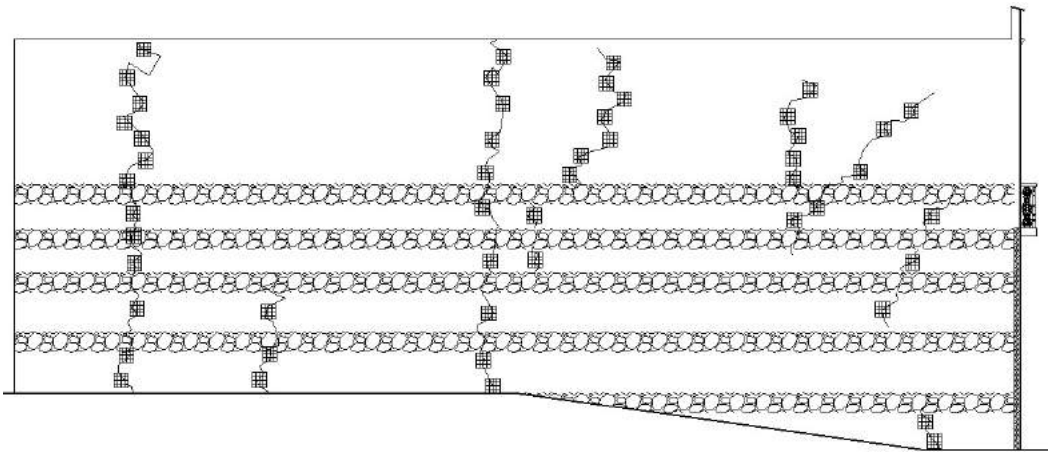


Figura 3.42: Recuperação de trincas da parede da casa 106.

Além do reparo das trincas foi necessária a construção de uma nova estrutura independente, e capaz de suportar os novos pavimentos que seriam construídos posteriormente. É importante frisar que esta nova estrutura não poderia causar grandes impactos nas fundações vizinhas, visto que todas as construções vizinhas são antigas.

Inicialmente o sobrado de número 104 teve 90% de sua estrutura demolida, mantendo-se apenas as paredes laterais e a fachada, enquanto no sobrado de número 106 apenas 30% foi demolida, tendo o seu interior demolido nas etapas posteriores (Figuras 3.43 e 3.44 respectivamente).

Figura 3.43: Sobrado 104 após demolição necessária.

Figura 3.44: Sobrado 106 após demolição necessária.

Em seguida, executou-se o escoramento e a remoção do emboço das paredes até a parede estrutural original de tijolos maciços (Figura 3.45).

Figura 3.45: Escoramento e remoção do emboço.

Na oitava semana de obra, as paredes internas e a cobertura do sobrado 106 foram demolidas (Figura 3.46). Foi também nesse período que se iniciou a recuperação das trincas, o que pode ser visualizado na Figura 3.47.

Figura 3.46. Demolição de paredes internas e cobertura do sobrado 106.

Figura 3.47: Início do tratamento das trincas.

A etapa posterior foi a preparação da fundação com estacas raiz, responsáveis por suportar a estrutura metálica independente que foi construída em seguida (Figuras 3.48 e 3.49).

Figura 3.48: Concretagem das estacas

Figura 3.49: Execução da estrutura metálica.

A fim de reforçar as paredes limítrofes colocou-se uma tela estrutural com posterior jateamento de concreto, além da execução de uma nova parede de alvenaria que visa proteger a parede original (Figura 3.50).

Figura 3.50: Execução de concreto jateado em parede com tela estrutural.

# 4 CONCLUSÕES

As primeiras grandes transformações arquitetônicas e urbanas na área central da cidade do Rio de Janeiro datam do início do século XIX com a chegada da corte portuguesa no ano de 1808. Vale lembrar que a influência portuguesa nas construções da época em questão vai desde os materiais utilizados às técnicas construtivas, além do estilo arquitetônico.

Já em meados do mesmo século o Centro da cidade foi acometido por uma série de doenças além de uma desorganização urbana e habitacional. Para solucionar os problemas então existentes e modernizar a cidade, no início do século XX novas grandes transformações ocorreram. Houve a abertura de vias mais largas e a demolição de muitos casarios antigos seguidos da construção de novos, com as técnicas de construção e materiais disponíveis na época.

Grande parte dessas últimas edificações são objetos importantes para a manutenção da memória histórica do país, e, portanto, foram tombadas ou preservadas permitindo que a cultura e identidade da época fossem mantidas.

As construções supracitadas foram construídas na primeira metade do século XX, já apresentando sinais de que necessitam com urgência de intervenções com o intuito de aumentar suas vidas úteis e torná-las seguras para utilização.

Inicialmente avalia-se a condição em que a edificação se apresenta, mapeando suas patologias e analisando seu sistema estrutural. A etapa seguinte é estudar qual o tipo de intervenção a ser utilizada em cada caso, levando em conta os materiais originais, a vizinhança e a condição de sua estrutura.

As etapas anteriores foram adotados nos dois estudos de casos encontrados no capítulo três dessa dissertação, sendo os mesmos: dois sobrados localizados na Rua do Senado, e o edifício do Departamento de Ordem Política e Social.

O que se observou foi que com o domínio das técnicas de reforço estrutural e recuperação existentes na atualidade unidas à capacidade de identificação das patologias e suas origens, as edificações conseguem obter um uso seguro por mais um longo período de tempo.

As intervenções em ambos os casos foram bem sucedidas permitindo que as edificações mantivessem a aparência original e pudessem ter seu uso assegurado. Vale

lembrar que os sobrados analisados puderam ter seus usos modificados, não mais funcionando como habitação e sim para fins comerciais.

Os imóveis passaram por todas as etapas descritas nesta dissertação e apresentaram resultados satisfatórios como era o esperado inicialmente.

## 4.1 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A necessidade de recuperação e reforço estrutural de construções históricas é um consenso, visto que grande parte das edificações da área central dos grandes centros urbanos data do início do século XX além de fazerem parte da memória local.

Para melhor desenvolver e auxiliar as intervenções realizadas em tais edificações seria necessário uma complementação aos assuntos não abordados nesta dissertação, como por exemplo, as estruturas de cobertura dos imóveis que em sua maioria são de madeira.

Além das coberturas, deveria ainda receber uma maior ênfase: as cúpulas e abóbodas, as quais tiveram uma abordagem superficial neste estudo, sendo apresentadas apenas no estudo de caso do edifício do DOPS.

Outro ponto importante que seria de grande acréscimo ao tema em questão seria o estudo de mais casos reais, apresentando suas patologias, causas das mesmas, além das sugestões de técnicas indicadas para solucioná-las.

E por último, mas não menos importante, o desenvolvimento e estudo aprofundado de novas técnicas e usos nos sistemas de reforço estrutural como, por exemplo, o reforço com polímeros e fibras, como a de carbono que já é utilizada com frequência em diversos casos.

Faz-se necessária a elaboração de um manual ilustrativo contendo as diversas técnicas a serem utilizadas no reforço de obras históricas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 14.653 – parte 7 – Avaliação de Bens Históricos. São Paulo, 2008.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 12.721 – Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro, 1996.

AVELLAN, K. – "Limit state design for strengthening foundations of historic buildings using pretested drilled spiral piles with special reference to St. Jhon`s church in Tartu" – Faculty of Technology – University of Oulu, 2011.

AZEVEDO, H. D. S. – "Reforço de Estruturas de Alvenaria de Pedra, Taipa e Adobe com Elementos de Madeira Maciça" – Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto, 2010.

BARREIROS, E. C. "Atlas da Evolução da Cidade do Rio de Janeiro: ensaio 1565 a 1965". Rio de Janeiro, Instituto Histórico e Geográfico Brasileiro, 1965.

BAUER, L.A. F. – "Materiais de Construção" – Rio de Janeiro, LTC Livros Técnicos e Científicos, 1979.

BERKOWSKI, P.; DMOCHOWSKI, G. – " Examples of strengthening of main walls in old buildings" – Artigo Científico – Department of Civil Engineering – Wroclaw University of Technology, 2001.

CARDOSO, V. S. V. – "Sistematização das causas das Patologias em Edificações Antigas em Pau-a-Pique e Pedra" – Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – UFF, 2003.

CARVALHO, A. F. B; CARLINI, A. M.; DA CRUZ, M. C. D. – "O Rio de Janeiro do Bota Abaixo" – 4ª Edição – Rio de Janeiro, GMT Editores Ltda, 1997.

Código de Obras do Município do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Auriverde, 1985.

COHEN, A. A.; FRIDMAN, S. A. – "Rio de Janeiro, ontem e hoje" – Rio de Janeiro, Editora Amazon – 1998.

Constituição Federativa do Brasil, 1988.

Corredor Cultural – Instituto Pereira Passos – Secretaria de Urbanismo – 4ª Edição, 2002.

D`AYALA, D. – "Unreinforced brick masonry construction" – Artigo Científico – University of Bath.

EU-India economic cross cultural programme, ''Identification of strengthening strategies''– Universidade do Minho, Portugal, 2006.

EUROCODE 6 – "Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for buildings - Rules for reinforced and unreinforced masonry", 1996.

EUROCODE 6 – "Design of masonry structures - Part 1-2: Structural fire design", 1996.

ERNST, M.; KÖNIG, G. – "Shear strength and compressive strength of reinforced perforated clay block masonry"– Artigo Científico – Institut für Massivbau und Baustofftechnologie – Universität Leipzig.

FEITOSA, M. J. G. – "Novas Técnicas de Restauração em Adobe" – Salvador, 1986 – Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – UFBA.

GOMES, A.; APPLETON, J. – "Reforço de Estruturas de Betão Armado por Encamisamento das Secções" – Artigo Científico – Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas (RPEE), nº 42.

GOMIDE, T. L. F.; PUJADAS, F. Z. A.; FAGUNDES NETO, J. C. P. – "Técnicas de Inspeção e Manutenção Predial" – PINI – 2006.

GRILLO, V. E. – "Frp/Steel Strenghtening of unreinforced concrete masonry piers" – Dissertação de Mestrado – University of Florida, 2003.

ICOMOS (International Scientific Committee for Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage) – "Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage" – Paris, 2001.

ISLAM, R. – "Inventory of FRP strenghtening methods in masonry structures" –Dissertação de Mestrado – Department of Construction -Technical University of Catalonia – 2008.

LUSO, E. C. P. – "Análise Experimental de Caldas à Base de Cal para Injeção de Alvenaria Antiga" – Tese de Doutorado – Escola de Engenharia – Universidade do Minho, 2012.

MACHADO, J. M. – Sintomatologia em edifícios antigos – Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFF, 1998.

MORAIS, H. M. P. L. – "Análise experimental de um murete de pedra tradicional" – Dissertação de Mestrado – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, 2011.

NASCIMENTO, F. S. – "Rio de Janeiro em seus Quatrocentos Anos" – Formação e Desenvolvimento da Cidade – Distribuidora Record – RJ – 1965.

NEWMAN, A. – "Structural Renovation of Buildings – Methods, Details, And Design Examples" – McGraw Hill, USA, 2001.

PEREIRA, S. P. L. – "Comportamento da alvenaria de pedra ao esforço cortante" – Monografia – Escola de Engenharia – Universidade do Minho, 2003.

REIS, L. S. N. – " Sobre a recuperação e reforço das estruturas de concreto armado" – Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas – Universidade Federal de Minas Gerais, 2001.

REIS FILHO, N. G. – "Quadro da Arquitetura no Brasil" – Editora Perspectiva – 1978.

RIBEIRO, L. C. Q. – "Dos cortiços aos condomínios fechados, as formas de produção de moradia na cidade do Rio de Janeiro" – Rio de Janeiro – Editora Civilização Brasileira.

ROQUE, J. C. A.; LOURENÇO, P. B. – "Técnicas de intervenção estrutural em paredes antigas de alvenaria" – Artigo Científico – Departamento de Engenharia Civil – Universidade do Minho, 2003.

ROQUE, J. C. A.; LOURENÇO, P. B. – "Reabilitação estrutural de paredes antigas de alvenaria" – Artigo Científico – Departamento de Engenharia Civil – Universidade do Minho, 2004.

SHRIVE, N. G.; MASIA, M. J.; LISSEL, S. L. – "Strengthening and rehabilitation of masonry using fibre of reinforced polymers" – Artigo Científico – Department of Civil Engineering – University of Calgary, 2001.

SILVA, F. A. N. LOURENÇO, P. B.; OLIVEIRA, R. A. – "Paredes de alvenaria Estrutural não armada dotadas de aberturas e submetidas a carregamento lateral" – Artigo Científico – Departamento de Engenharia Civil – Universidade do Minho, 2003.

SILVA, A. M. – "Caracterização Experimental de Alvenaria Antiga: Reforço e Efeitos Diferidos" – Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia – Universidade do Minho, 2008.

SILVA, A. P. – "Planejamento Integrado: cadastramento histórico: Lapa". Rio de Janeiro, s.d.n.p.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. – "Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto" – São Paulo, Editora Pini, 1998.

TELLES, A. C. S. – "Guia dos Bens Tombados da Cidade do Rio de Janeiro" – Editora Expressão e Cultura, 2001.

TUMIALAN, J. G.; GALLATI, N.; NANNI, A. – "Field assessment of urm walls strengthened with frp laminates" – Center for Infrastructure Engineering Studies – University of Missouri.

## SÍTIOS VISITADOS

Portal da Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro - www0.rio.rj.gov.br – visitado no dia 25.03.2013

Instituto Estadual do Patrimônio Cultural - http://www.inepac.rj.gov.br – visitado no dia 25.03.2013

Câmara Municipal de Viseu - http://cm-viseu.pt – visitado no dia 05.05.2014

Grêmio do Patrimônio - http://www.gecorpa.pt – visitado no dia 18.05.2014

Twistfix - http://www.twistfix.co.uk/crack-stitching - visitado no dia 26.05.2014