

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Vinícius Silveira Marques

**RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS SUBMETIDAS À
CORROSÃO DE ARMADURAS: DEFINIÇÃO DAS
VARIÁVEIS QUE INTERFEREM NO CUSTO**

Porto Alegre
novembro 2015

VINÍCIUS SILVEIRA MARQUES

**RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS SUBMETIDAS À
CORROSÃO DE ARMADURAS: DEFINIÇÃO DAS
VARIÁVEIS QUE INTERFEREM NO CUSTO**

Projeto de Pesquisa do Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Angela Gaio Graeff

Porto Alegre
dezembro 2015

VINÍCIUS SILVEIRA MARQUES

**RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS SUBMETIDAS À
CORROSÃO DE ARMADURAS: DEFINIÇÃO DAS
VARIÁVEIS QUE INTERFEREM NO CUSTO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora e pelos Coordenadores da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2015

Profa. Angela Gaio Graeff
PhD pela Universidade de Sheffield
Orientadora

Prof. Roberto Domingos Rios
Coordenador

Profa. Carin Maria Shmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Luciani Somensi Lorenzi (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Vanessa Fátima Pasa Dutra (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Angela Gaio Graeff (UFRGS)
PhD pela Universidade de Sheffield

Dedico este trabalho a meus pais, Edisom e Liete, pelo amor incondicional e total apoio à minha busca por meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à professora. Angela Gaio Graeff, pelas orientações, apoio e interesse demonstrados desde o nosso primeiro contato, por confiar em mim para a realização deste trabalho e ainda por disponibilizar seu tempo para frequentes encontros para discussão e direcionamento do conteúdo. Sou grato também pelo material disponibilizado para a realização deste trabalho, assim como à professora Vanessa Dutra.

Agradeço aos meus pais, Edisom e Liete, pelo incentivo e priorização do estudo e da educação desde que era criança, por sempre respeitarem as minhas escolhas e me darem todo o suporte para que eu pudesse correr atrás dos meus sonhos. Tenho vocês como meus maiores exemplos.

À minha namorada, Patrícia, agradeço por ter estado do meu lado durante grande parte da faculdade, me incentivando a buscar cada vez melhores resultados e compartilhando momentos e conhecimentos diversos. Muito aprendi contigo nestes anos e sei que muito mais ainda tenho para aprender.

Agradeço à minha família, incluindo avós, tios e tias, dindo e dinda, primos e primas, por estarem presentes na maioria dos momentos importantes da minha vida e contribuírem decisivamente para a minha formação.

Aos meus irmãos, Guilherme e Eduardo, agradeço a parceria que estabelecemos desde crianças. Evolui muito com a nossa convivência e conversas francas. Obrigado por estarem do meu lado sempre, e pelo respeito que temos uns pelos outros.

Não posso esquecer-me de agradecer todos os professores e outros profissionais que, em algum momento, fizeram parte da minha trajetória acadêmica e ajudaram na minha aquisição de conhecimento. Estes foram tão importantes quanto os meus esforços para superar os desafios do curso. E juntamente, sou grato a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, uma das melhores do Brasil, pela formação, pois, certamente, concluo o curso de Engenharia Civil preparado para encarar os desafios profissionais.

Por fim, agradeço àqueles que, mesmo não citados aqui, também participaram deste trabalho ou, de alguma forma, me apoiaram.

Tu te tornas eternamente responsável por aquilo que
cativas.

Antoine de Saint-Exupéry

RESUMO

No Brasil, a manifestação patológica em estruturas de concreto armado que mais preocupa é a corrosão de armaduras. Para a correção deste problema, existem duas possibilidades que são a intervenção, com a recuperação da capacidade resistente da estrutura, ou em casos mais críticos, a demolição da peça contaminada. A escolha por uma ou outra opção estará diretamente relacionada à intensidade e gravidade da corrosão, assim como à sua viabilidade econômica. Com a diversidade de equipamentos e materiais disponíveis no mercado atualmente, deve-se buscar a melhor alternativa para a correção, levando em conta fatores como durabilidade da obra e redução de custos. Tendo em vista que para o controle de custos de qualquer atividade deve-se analisar os itens que interferem na sua orçamentação, dando atenção especial àqueles que podem variar circunstancialmente devido às particularidades da intervenção e afetar no custo final. Seguindo neste raciocínio, este trabalho lista a sequência de procedimentos de recuperação julgados mais corretos e as variáveis que, de algum modo, interferem no custo das atividades. Estes dados são abordados em formato de fluxogramas de atividades com o auxílio de quadros com informações complementares. Os principais custos de qualquer atividade podem ser divididos em função dos insumos de mão-de-obra, equipamentos e materiais, e cada variável interveniente está relacionada a, pelo menos, uma delas. As etapas básicas da recuperação e reparo de estruturas com corrosão de armaduras são: inspeção preliminar, inspeção detalhada, delimitação da área, remoção do material deteriorado, limpeza, revestimento da armadura, recomposição da estrutura e revestimento da estrutura. Constatou-se que podem existir custos que não estão relacionados a nenhuma etapa especificamente, mas sim à atividade de recuperação geral, como é o caso de escoras e plataformas para trabalho em altura. Por fim, constatou-se que o custo da mão-de-obra tende a ser elevado, comparado aos outros fatores, pois deve ser especializada e está presente em todas as etapas, porém, são os equipamentos e materiais que representam maior variação do custo das atividades, devido às diversas possibilidades de uso de cada um.

Palavras-chave: Corrosão de Armaduras. Custos. Recuperação

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado no estado do Ceará.....	12
Figura 2 – Representação do delineamento da pesquisa.....	16
Figura 3 – Célula de corrosão em concreto armado.....	24
Figura 4 – Esforços gerados no concreto pela ocorrência de corrosão de armaduras.....	23
Figura 5 – Fluxograma macro do processo de recuperação de estruturas afetadas por corrosão de armaduras.....	35
Figura 6 – Abertura de janela de inspeção.....	40
Figura 7 – Fluxograma das atividades da etapa de inspeção preliminar.....	42
Figura 8 - Fluxograma das atividades da etapa de inspeção detalhada.....	44
Figura 9 – Magnitude do processo corrosivo em função da fase de intervenção.....	46
Figura 10 – Resumo das principais etapas para recuperação de armaduras corroídas.....	49
Figura 11 – Corte em parede de concreto para delimitação de área para intervenção.....	50
Figura 12 – Delimitação da área a reparar.....	51
Figura 13 - Fluxograma do processo de delimitação do contorno de reparo.....	52
Figura 14 – Remoção do concreto com o uso de martelo e talhadeira.....	54
Figura 15 – Fluxograma do processo de remoção do concreto deteriorado.....	56
Figura 16 – Remoção de produtos da corrosão com escova com cerdas de aço.....	58
Figura 17 – Remoção de produtos da corrosão com lixa manual.....	59
Figura 18 – Remoção de produtos da corrosão com lixadeira elétrica.....	59
Figura 19 – Fluxograma das atividades para limpeza mecânica da armadura.....	62
Figura 20 – Proteção da armadura com pintura.....	67
Figura 21 – Fluxograma das atividades para revestimento da armadura.....	69
Figura 22 – Fôrmas para preenchimento de diferentes elementos.....	72
Figura 23 – Fluxograma das atividades para recomposição da estrutura.....	74
Figura 24 – Revestimento de argamassa projetável.....	77
Figura 25 – Fluxograma das atividades para revestimento do concreto com tinta.....	79
Figura 26 – Escoras de madeira.....	86
Figura 27 – Escoras metálicas.....	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Simbologia dos fluxogramas.....	34
Quadro 2 – Principais variáveis que influenciam no custo da inspeção preliminar	43
Quadro 3 – Principais variáveis que influenciam no custo da inspeção detalhada	44
Quadro 4 – Principais variáveis que influenciam no processo de delimitação da superfície de corte.....	52
Quadro 5 – Principais variáveis que influenciam no processo de remoção do concreto deteriorado.....	56
Quadro 6 – Procedimentos básicos para limpeza dos componentes do concreto armado	60
Quadro 7 – Principais variáveis que influenciam no processo de limpeza.....	62
Quadro 8 – Principais variáveis que influenciam no processo de revestimento da armadura com tinta.....	69
Quadro 9 – Principais variáveis que influenciam no processo de recomposição da estrutura.....	74
Quadro 10 – Principais variáveis que influenciam no processo de revestimento da superfície de concreto com tinta.....	79

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI – American Concrete Institute

NBR – Normas Brasileiras Regulamentadoras

NR – Norma Regulamentadora

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	14
2.1 QUESTÃO DA PESQUISA	14
2.2 OBJETIVO DA PESQUISA	14
2.2.1 Objetivo Principal	14
2.2.2 Objetivos Secundários	14
2.3 PRESSUPOSTO.....	15
2.4 PREMISA.....	15
2.5 DELIMITAÇÕES	15
2.6 LIMITAÇÕES	15
2.7 DELINEAMENTO	15
3 CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	18
3.1 CONCEITOS DE DURABILIDADE E VIDA ÚTIL	18
3.2 CORROSÃO DE ARMADURAS.....	20
3.2.1 Processo da Corrosão	22
3.2.2 Carbonatação do Concreto	25
3.2.3 Ação de Cloretos	26
4 FORMAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DE CUSTO	28
4.1 ETAPAS DA ORÇAMENTAÇÃO.....	28
4.2 COMPOSIÇÃO DE CUSTOS.....	29
4.2.1 Custo da Mão-de-obra	30
4.2.2 Custo de Material	31
4.2.3 Custo de Equipamento	32
5 MÉTODO PARA DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS QUE INTERFEREM NO CUSTO DA RECUPERAÇÃO	34
6 INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO	37
6.1 IMPORTÂNCIA DA INSPEÇÃO, DO DIAGNÓSTICO E DA MANUTENÇÃO PARA AVALIAR UMA ESTRUTURA COM CORROSÃO DE ARMADURAS....	37
6.2 VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM O CUSTO DE UMA INSPEÇÃO.....	39
6.3 COMO A INSPEÇÃO PODE CONTRIBUIR PARA A REDUÇÃO DE CUSTOS DE UM REPARO.....	45
7 ETAPAS DO PROCEDIMENTO DE RECUPERAÇÃO DE ELEMENTOS AFETADOS POR CORROSÃO DE ARMADURAS	47
7.1 DELIMITAÇÃO DO CONTORNO DE REPARO.....	50

7.2 PREPARO DO SUBSTRATO: REMOÇÃO DO MATERIAL DETERIORADO.....	53
7.3 LIMPEZA.....	57
7.4 COMBATE À CORROSÃO: FOCO NA ARMADURA.....	63
7.4.1 Técnicas Eletroquímicas.....	64
7.4.2 Revestimento da Armadura.....	66
7.5 RECOMPOSIÇÃO DA ESTRUTURA.....	70
7.6 PROTEÇÃO DA SUPERFÍCIE DE CONCRETO.....	76
8. OUTROS FATORES INTERVENIENTES NO CUSTO PARA RECUPERAÇÃO DE CORROSÃO DE ARMADURAS.....	81
8.1 TRABALHO EM ALTURA.....	81
8.1.1 Equipamentos.....	82
8.1.2 Providências (documentos, capacitação, etc).....	83
8.2 DISPONIBILIDADE DE MATERIAL PRÓXIMO.....	83
8.3 MÃO-DE-OBRA QUALIFICADA.....	84
8.4 ESCORAS E FÔRMAS.....	85
8.5 MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO DE MÃO-DE-OBRA E EQUIPAMENTOS.....	88
REFERÊNCIAS	89

1 INTRODUÇÃO

Para melhor se adaptar ao meio onde vive, o homem sempre se propôs a realizar obras de construção civil. Após vários erros e acertos, foi sendo formado um grande acervo técnico e, com o passar do tempo e com o desenvolvimento de novas tecnologias, se tornou recorrente a aceitação implícita de maiores riscos nos projetos de engenharia de uma maneira geral.

No início do século XX, acreditava-se que o concreto armado era um material que poderia atingir uma vida útil elevada sem a necessidade de reparos. Isso realmente acontece se o projeto e a execução forem isentos de falhas e o ambiente for pouco agressivo. Porém, como é difícil controlar esses fatores construtivos e ambientais, e com a grande utilização deste material nas obras de construção civil, passou a ser comum a presença de manifestações patológicas nas edificações a partir de então.

As causas dos problemas apresentados podem ser diversas, desde a concepção do projeto até a economia de materiais, passando por casos de imperícia e/ou falhas involuntárias. Thomaz (1989, p. 17) observa que devido à ineficiência de registro e divulgação de dados sobre problemas patológicos, isso acaba retardando o desenvolvimento das técnicas de projetar e de construir. Ao constatar-se que algumas edificações passaram a apresentar desempenho insatisfatório quanto à durabilidade, assim como à segurança estrutural, surgiu o ramo da Engenharia Civil chamada Patologia das Construções para estudar os motivos, as consequências e as possíveis intervenções nas construções debilitadas. Souza e Ripper (1998, p. 14) definem:

Designa-se genericamente por *Patologia das Estruturas* esse novo campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismo de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas.

Cascudo (1997, p. 6) observa que, no Brasil, a manifestação patológica que mais preocupa é a corrosão de armaduras, pelo fato de as principais cidades estarem localizadas em regiões costeiras, onde existe uma quantidade muito grande de íons cloreto provenientes do mar. E mesmo outras cidades mais afastadas da costa, que tenham um alto índice de poluição, oferecem ambientes agressivos. Silva (2011), em um estudo realizado no estado do Ceará fez

o levantamento da ocorrência de manifestações patológicas em 30 obras diferentes, e o resultado foi justamente que, a corrosão de armaduras está presente na grande maioria das construções, sendo elas a beira-mar, ou não. Esta constatação está descrita na figura 1, onde a corrosão de armaduras está presente em 96,67% das obras analisadas.

Figura 1 – Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado no estado do Ceará.

MANIFESTAÇÃO LOCAL	FISSURAS	INFILTRAÇÕES	CORROSÃO DE ARMADURA	DESAGREGAÇÃO	SEGREGAÇÃO	MANCHAMENTO SUPERFICIAL	DEFORMAÇÕES EXCESSIVAS	EFLORESCÊNCIA	FUNGOS
OBRA 1	X	-	X	-	-	X	-	-	-
OBRA 2	X	-	X	-	-	-	-	-	-
OBRA 3	X	-	X	X	-	-	-	X	-
OBRA 4	X	X	X	-	-	X	-	-	X
OBRA 5	X	X	X	X	-	-	-	X	-
OBRA 6	X	X	X	X	-	-	-	-	-
OBRA 7	X	X	X	-	-	-	-	-	-
OBRA 8	X	X	X	X	-	X	X	-	X
OBRA 9	X	-	X	X	-	X	-	X	X
OBRA 10	-	-	X	-	-	-	-	-	-
OBRA 11	-	-	X	-	X	-	-	-	-
OBRA 12	X	X	X	X	-	-	-	X	-
OBRA 13	X	-	X	-	-	X	-	-	-
OBRA 14	-	-	X	-	X	-	-	-	-
OBRA 15	X	X	X	-	-	X	-	-	-
OBRA 16	-	X	X	X	-	X	-	X	-
OBRA 17	X	-	X	X	X	-	-	X	X
OBRA 18	-	-	X	X	-	-	-	-	-
OBRA 19	X	-	X	-	-	-	-	-	-
OBRA 20	X	-	X	X	-	-	-	-	-
OBRA 21	X	X	X	X	X	X	X	X	X
OBRA 22	-	-	X	-	X	-	-	-	-
OBRA 23	X	-	-	-	-	-	X	-	-
OBRA 24	X	-	X	-	-	-	-	-	-
OBRA 25	-	-	X	X	-	-	-	-	-
OBRA 26	-	-	X	X	-	-	-	-	-
OBRA 27	-	-	X	X	-	-	-	-	-
OBRA 28	X	-	X	-	X	-	X	-	-
OBRA 29	-	X	X	-	X	-	-	X	-
OBRA 30	X	-	X	X	X	-	X	-	-
TOTAL	20	10	29	15	8	8	5	8	5
%	66,67%	33,33%	96,67%	50,00%	26,67%	26,67%	16,67%	26,67%	16,67%

(fonte: SILVA, 2011, p. 35)

A grande maioria das normas que regulamentam estes serviços focalizam somente os aspectos de projeto e execução das estruturas, deixando de lado considerações importantes a respeito da manutenção e durabilidade das mesmas. Com isso observa-se o surgimento de manifestações patológicas que poderiam ser evitadas. Porém, é muito difícil prever o local onde irá surgir algum problema de corrosão de armaduras, a não ser que a armadura esteja visivelmente exposta.

Com o envelhecimento das estruturas de concreto armado e a identificação de diferentes comportamentos de peças idênticas, há a necessidade de reabilitação e recuperação de algumas estruturas. Os fatores, que se contrapõe na obtenção de um modelo ideal a ser seguido, são as condicionantes técnicas, econômicas e sociais. Uma das grandes preocupações está relacionada ao custo de determinada intervenção. As opções de realizar a intervenção ou até mesmo demolir a peça que apresenta as manifestações patológicas são abordadas nas considerações sobre a sua viabilidade econômica. O custo final de um reforço ou recuperação está diretamente associado à escolha da solução para a execução da mesma, considerando desde o cálculo estrutural até trabalhos complementares, como escoramentos e andaimes (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 106).

Segundo Helene (1992, p. 15), se o concreto receber manutenção sistemática e programada, pode ser considerado um material praticamente eterno, porém existem construções que apresentam manifestações patológicas em intensidade e incidência significativas, acarretando elevados custos para sua correção. Afirma ainda que, frente às manifestações patológicas, muitas vezes ocorre um descaso inconsequente dos profissionais responsáveis, que leva a reparos meramente superficiais, ou a demolições ou reforços injustificados.

Sabe-se, que com a elevada gama técnica e com os produtos desenvolvidos para resolver estes tipos de problema, hoje em dia, deve-se buscar a intervenção menos dispendiosa. Para auxiliar na orçamentação de intervenções e com o objetivo de ser um guia prático na elaboração de sistemas de recuperação e reparo estrutural de estruturas de concreto armado afetadas por corrosão de armaduras, é proposto um levantamento minucioso do processo de execução de reparo. Salienta-se que este tipo de intervenção dependerá da gravidade da manifestação patológica incidente nas estruturas. Esse processo será descrito pela identificação das variáveis encontradas para a realização do serviço, analisando atividades, materiais e custos das etapas.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: quais as variáveis intervenientes na composição de custos das atividades de recuperação de estruturas com manifestação patológica de corrosão de armaduras?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é a listagem das variáveis intervenientes na elaboração de um orçamento de atividades associadas à recuperação de estruturas de concreto armado deterioradas por corrosão de armaduras.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) a identificação dos serviços e materiais associados ao processo de execução dos reparos e/ou recuperações de estruturas danificadas por corrosão de armaduras;
- b) elaboração de um fluxograma genérico de insumos para ser usado como *checklist* em um procedimento de recuperação de corrosão de armaduras;

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que o meio técnico encontra dificuldades em quantificar, em termos de orçamento, os serviços de reparo e/ou recuperação de estruturas, sendo estes ainda baseados em experiência prática, e pouco em conhecimentos teóricos. Essas dificuldades também são consequência dos grandes riscos, aos executores, em se generalizar a intervenção de alguma manifestação patológica sem análise prévia.

2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que existe uma grande variação na execução das atividades de reparo de estruturas com corrosão de armaduras, e essa incerteza atrapalha o levantamento de dados para a intervenção.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à análise do procedimento padrão de recuperação de estruturas de concreto armado de prédios residenciais atacados por corrosão de armaduras.

2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) a avaliação apenas da corrosão de armaduras, dentre todas as manifestações patológicas, nos elementos estruturais
- b) a identificação e descrição qualitativa das variáveis intervenientes.

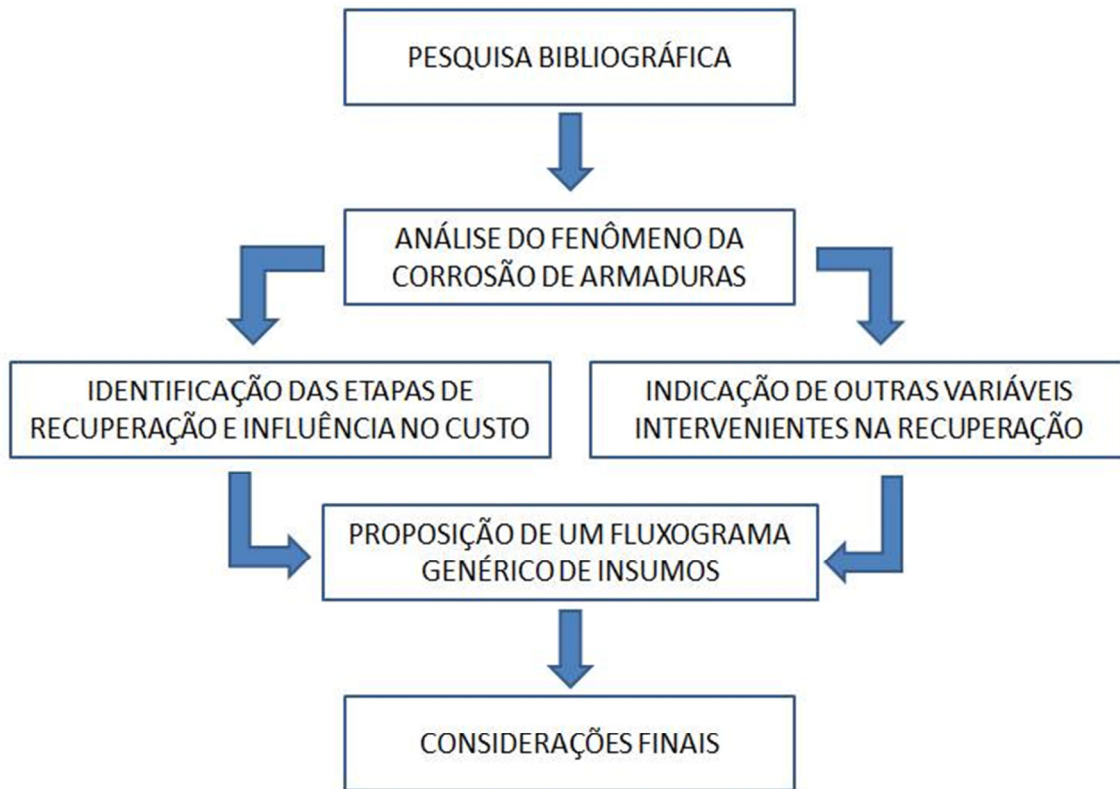
2.7 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) análise do fenômeno da corrosão de armaduras;
- c) identificação das etapas de reparo e recuperação e influência no custo;

- d) indicação de outras variáveis intervenientes na recuperação;
- e) proposição de um fluxograma genérico de insumos;
- f) considerações finais.

Figura 2 – Representação do delineamento da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

A **pesquisa bibliográfica** esteve presente em praticamente todas as etapas do trabalho, e consiste em consultas à diversas publicações a respeito de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado e quais os elementos que impactam no custo de atividades da construção civil, a fim de obter embasamento teórico para a realização do trabalho. Na segunda etapa, foi realizada uma **análise do fenômeno da corrosão de armaduras**, abordando o processo da corrosão, assim como durabilidade, vida útil e desempenho de estruturas de concreto, e inspeção e diagnóstico de manifestações patológicas associadas à corrosão de armadura.

Seguindo com o trabalho, a **identificação das etapas de recuperação sua influência no custo** foi feita a partir do estudo das atividades da construção civil relacionadas ao assunto, com base na experiência de autores renomados e profissionais da área de inspeção e laudos técnicos. Durante este estudo, notou-se que alguns itens aconteciam corriqueiramente e tinham características marcantes, assim poderiam ser descritos em outro capítulo na qual houve a **indicação de outras variáveis intervenientes na recuperação**.

Para reunir todo o conhecimento adquirido durante a pesquisa, e visando deixar as informações mais claras para o leitor, faz-se a **proposição de um fluxograma genérico de insumos**, com o auxílio de tabelas com a lista das variáveis intervenientes, cuja composição é o objetivo do trabalho. Após estas etapas pretende-se analisar os benefícios do trabalho nas **considerações finais**.

3 CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

O concreto armado é a combinação do concreto simples com elementos de aço (armaduras). De acordo com Mehta e Monteiro (2014, p. 13), o concreto simples é um material composto por água, cimento, agregado graúdo (brita), agregado miúdo (areia), e ar. A esse material ainda podem ser acrescentados alguns componentes como aditivos químicos e adições (sílica ativa, pozolanas, cinza volante, entre outras) cuja finalidade é modificar e/ou melhorar as propriedades básicas da mistura.

O concreto simples é um material que apresenta elevada resistência à compressão, porém seu desempenho referente à tração é baixo, correspondendo a cerca de 10% do valor da resistência à compressão. Esse fato demonstra a necessidade de combinar o concreto com algum material com maior resistência à tração. O concreto armado surgiu para suprir essa necessidade, acrescentando a sua característica a capacidade de assumir qualquer forma, e que unisse as qualidades da pedra (resistência à compressão e durabilidade) com as qualidades do aço (resistências mecânicas). Isso permitiria que o composto fosse utilizado de forma ampla e eficiente.

Porém, para que o concreto armado tenha o desempenho esperado não basta a simples união desses dois materiais. É importante que, depois de incorporados um ao outro, eles assumam uma característica monolítica, atuando em conjunto. A aderência entre a barra de aço e o concreto é o que faz com que o trabalho de suportar as tensões seja realizado de forma conjunta e solidária. A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 3) define um elemento de concreto armado como sendo aquele cujo desempenho estrutural dependa da solidariedade da armadura com o concreto e não existam forças de tração aplicadas previamente no aço antes da existência desta aderência.

3.1 CONCEITOS DE DURABILIDADE E VIDA ÚTIL

Nas construções mais antigas até a metade do século XX, os conceitos de durabilidade e vida útil de uma estrutura não eram muito bem difundidos no meio técnico, pois as construções eram executadas de maneira empírica e diferiam umas das outras, e a grande quantidade de

material que usavam tornava o seu fator de segurança muito elevado, evitando muitos dos problemas verificados atualmente. Esses termos só começaram a ser tratados com a devida importância depois que, com o avanço da tecnologia e dos métodos de construção, passaram a surgir manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado. As estruturas que antes não apresentavam qualquer sinal de falha passaram a desencadear uma série de problemas, que em alguns casos levava as edificações à ruína.

Hoje em dia é usualmente aceito que, ao projetarem-se estruturas, as características de durabilidade dos materiais em questão devam ser avaliadas com o mesmo cuidado que outros aspectos, tais como propriedades mecânicas e custo inicial (MEHTA; MONTEIRO, 2014, p. 125). O fator durabilidade é extremamente importante, tanto do ponto de vista financeiro, como do ponto de vista de segurança e condições de uso. Quanto mais durável é uma edificação, menos dinheiro o proprietário do bem irá dispende em manutenção predial para recuperar e restaurar o material afetado com manifestações patológicas. Ao se tratar da segurança, a ocorrência de manifestações patológicas pode degradar os materiais componentes da estrutura de tal maneira que a capacidade de carga da mesma é reduzida consideravelmente. Segundo Aguiar (2006, p. 90), os maiores problemas referentes à durabilidade do concreto armado são a alta permeabilidade, baixa compactação e deficiência da camada de cobrimento das armaduras.

O conceito de durabilidade ainda não está muito bem esclarecido na área da engenharia civil. É comum encontrar na literatura algumas definições para o termo, mas nem sempre elas são compatíveis entre si. Com a necessidade de se considerar a durabilidade e vida útil no cálculo e projeto de uma estrutura, se faz necessário estabelecer o conceito padrão desses termos.

Para Neville (2013, p. 221) a durabilidade é entendida como a capacidade de uma edificação em resistir aos fatores presentes no ambiente que contribuam para a sua degradação. Esta conceituação é considerada vaga, pois não existe uma definição exata, em termos temporais, da sua durabilidade. Estabelecer esse tempo em que a edificação será durável é muito complicado, pois com ele existem inúmeras variáveis que podem intervir nesse sistema.

Mehta e Monteiro (2014, p. 126) adotam o conceito de durabilidade utilizado pelo comitê 201 do ACI (AMERICAN CONCRETE INTITUTE), em que definem a durabilidade do concreto como sendo a capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou

qualquer outro processo de deterioração, ou seja, o concreto durável conservará a sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao seu meio ambiente. Esta é uma definição que relaciona a manutenção do desempenho da edificação frente às adversidades que tentem a provocar desgastes no material.

Outra abordagem para o termo durabilidade é explicitada pela NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 13) que diz que a durabilidade é a capacidade da estrutura em resistir às influências do meio ambiente que foram previstas no momento da elaboração do projeto. Portanto uma edificação deve conservar sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período pré-estabelecido pelo projetista.

Os conceitos referidos por diferentes autores são divergentes, mas a ideia por trás das definições é a mesma. Por depender da comparação entre dois ou mais materiais, a definição de durabilidade se torna subjetiva. Para fins de determinação de um conceito a ser seguido durante o trabalho, considera-se aquele indicado por Mehta e Monteiro (2014).

Outro importante conceito bastante usado em estruturas de concreto armado é o de vida útil. O seu significado é comumente confundido com o de durabilidade, pois muitas vezes considera-se vida útil como sinônimo de durabilidade (MEHTA; MONTEIRO, 2014, p. 126). Porém a vida útil é entendida como sendo o período de tempo em que uma edificação mantém suas características de desempenho acima do mínimo exigido e determinado em projeto. Mehta e Monteiro (2014, p. 126) salientam que quando as propriedades de um determinado material, sob determinadas condições de uso, deterioram de maneira que a continuação do uso deste material é considerada como insegura ou antieconômica, a sua vida útil tenha chegado ao fim.

Sabe-se que nenhum material é eternamente durável. Uns tem capacidade de manter suas características intactas por mais tempo que outros, mas nada é imutável. O concreto armado, se bem dosado e executado, é um bom exemplo de material de grande durabilidade, mas como os outros sofrem as ações ambientais e as propriedades dos materiais mudam com o tempo.

3.2 CORROSÃO DE ARMADURAS

Helene (1986, p. 1) define a corrosão como sendo a interação destrutiva de um material com o ambiente, podendo ocorrer por reação química ou eletroquímica. São dois os principais

processos de corrosão sofridos por barras de aço: a oxidação e a corrosão. A primeira trata-se do ataque provocado por uma reação gás-metal, onde há a formação e uma película de óxido na camada superficial da barra. Essa reação normalmente ocorre no período de fabricação do aço. Esta película pode servir substancialmente como protetora do aço contra a corrosão úmida porém, para a utilização do aço em estruturas de concreto armado ela deve ser substituída no momento da trefilação.

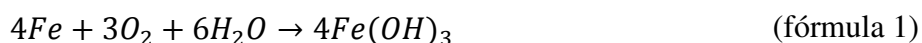
A oxidação não é o processo mais crítico de deterioração do aço, cabendo à corrosão, propriamente dita, esta preocupação. Cascudo (1997, p. 18) relata que a corrosão aquosa, como também pode ser chamada, trata-se de um ataque de natureza eletroquímica, que ocorre no meio aquoso, desencadeado pela formação de uma pilha de corrosão, com eletrólito e diferença de potencial entre trechos da superfície do aço. O eletrólito forma-se a partir da presença de umidade no concreto em contato com a armadura. Este é o tipo de reação mais encontrado em estruturas de concreto armado. Helene (1986, p. 7) atenta que uma das características deste processo é a não uniformidade da corrosão por toda a extensão da armadura, portanto, geralmente existem trechos em que o fenômeno encontra-se em grau mais acentuado enquanto que em outros ainda não é notada a sua incidência.

Segundo a morfologia, a classificação da corrosão pode ser: corrosão generalizada, corrosão por pite ou puntiforme, e corrosão sob tensão fraturante. A primeira ocorre em toda a barra de aço, podendo ser uniforme ou não uniforme. A segunda ocorre em uma região pontual da barra, e é mais grave quanto maior for a relação entre a área catódica e a área anódica. Esta corrosão, dentre as três, é a considerada mais preocupante. E por fim a corrosão sob tensão, ocorre concomitantemente com uma tensão de tração da armadura, dando origem a propagação de fissuras (CASCUDO, 1997, p. 18).

Quando um aço é afetado pela corrosão, a área atingida perde as propriedades metálicas essenciais, tais como ductilidade, elasticidade e resistência mecânica. Este fenômeno pode ocorrer ainda antes do aço ser utilizado na edificação, mas isso depende de condições ambientes propícias e particulares.

3.2.1 Processo da Corrosão

Em armaduras de concreto armado o tipo de corrosão mais frequente é o da corrosão eletroquímica em meio aquoso. Ribeiro et al. (2014) explica que esta corrosão acarreta a formação de óxidos/hidróxidos de ferro, denominado ferrugem. Algumas características são indispensáveis para o desencadeamento desta manifestação, sendo que as principais são a existência de água, para atuar como eletrólito, a presença de oxigênio, e a existência de uma diferença de potencial. Para exemplificar a necessidade desses fatores apresenta-se abaixo a principal reação geradora da ferrugem:



Sendo:

Fe = Ferro;

O₂ = Oxigênio;

H₂O = Água;

Fe(OH)₃ = Hidróxido de Ferro.

Segundo Helene (1986, p. 3), quando um aço é submergido em uma solução, ocorre a transformação de alguns átomos desse material em cátions de ferro. Essa situação combinada com a presença de reagentes acarreta na produção de íons ferro. E Verbeck¹ (1975, apud HELENE, 1986, p. 3) fala que qualquer diferença de potencial produzida entre dois pontos da barra é capaz de desencadear pilhas de corrosão. Essa diferença de potencial pode ser gerada por diferença de umidade, aeração, concentração salina e tensão no concreto e no aço.

Para evitar o desencadeamento do processo corrosivo, a armadura deve estar protegida dentro do componente estrutural. Existem dois tipos de proteção, a física e a química. A proteção química é fornecida pela formação de um ambiente alcalino, nas primeiras idades, pela reação de hidratação do cimento, e como envelhecimento essas características recaem principalmente sobre o hidróxido de sódio (NaOH) e o hidróxido de potássio (KOH) originários dos álcalis do cimento (CASCUDO, 1997, p. 39). Estas soluções tornam o meio onde a armadura está

¹ VERBECK, G. J. *Mechanisms of corrosion of steel in concrete*. In: *CORROSION OF METALS IN CONCRETE*, 1975. Detroit, American Concrete Institute, 1975, p. 21-38.

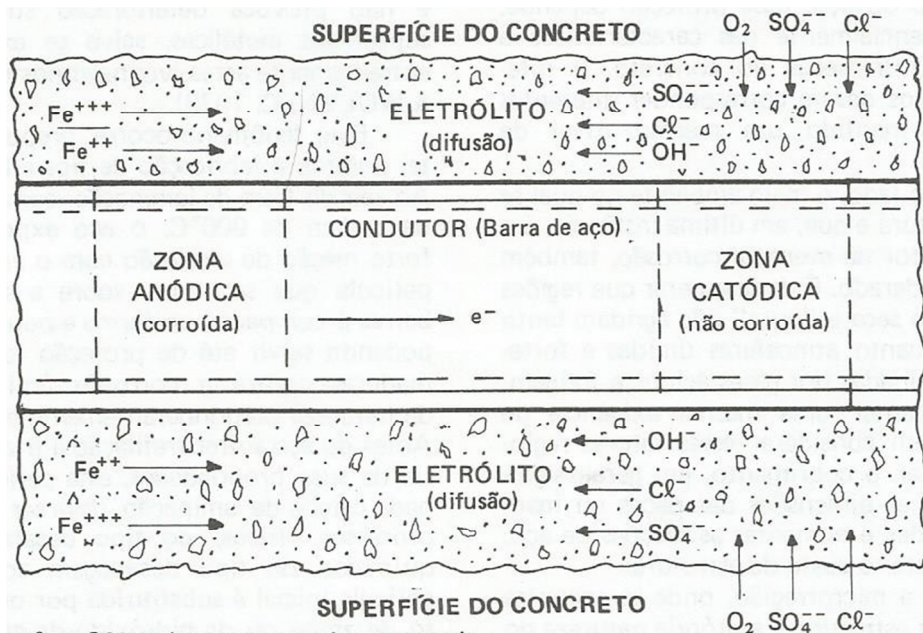
inserida altamente alcalino, com pH em torno de 12,5, o que fornece uma passividade para as reações de corrosão.

A proteção física da armadura se deve ao cobrimento fornecido pelo concreto. O cobrimento deve ter um concreto de alta compacidade, sem falhas de concretagem, que garanta a impermeabilização do material para proteger o aço do ataque de agentes agressivos externos.

Cascudo (1997, p. 38) resume o mecanismo de corrosão eletroquímica em meio aquoso observando que existe a formação de íons metálicos e liberação de elétrons na região anódica, onde se dá a oxidação do metal, e, simultaneamente na região catódica, há o consumo de todos os elétrons e a neutralização dos íons de hidrogênio. A região anódica é a que se deteriora com a ação da corrosão. Portanto a combinação das reações anódicas e catódicas gera os produtos de corrosão finais do processo. Na figura 3, demonstra-se, esquematicamente como funciona a célula de corrosão em concreto armado.

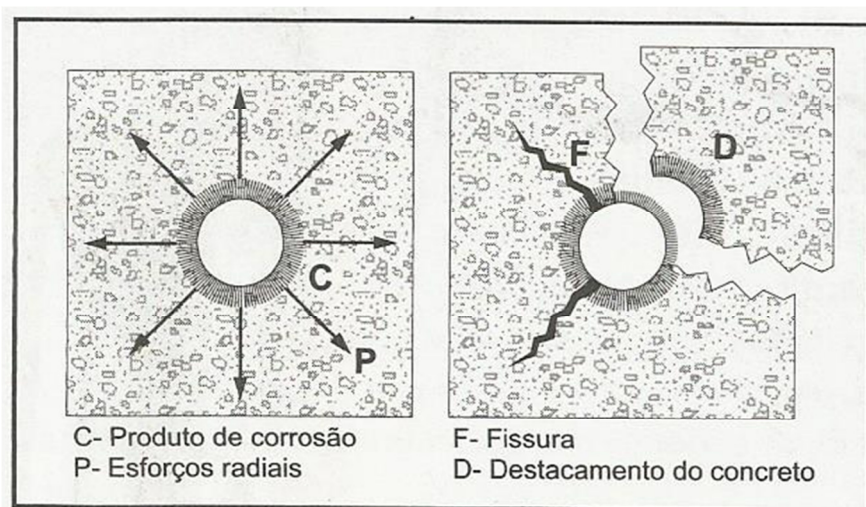
Os sintomas da corrosão de armaduras em concreto armado são rapidamente identificados e, normalmente, de fácil visualização. As reações corrosivas produzem compostos ferrosos cujo volume é muito maior que o material original. Esse aumento contínuo de volume causa pressões internas no concreto. Como a armadura, na grande maioria das vezes, é posicionada próxima às faces de um elemento, essa superfície será acometida por fissuras no sentido longitudinal da barra afetada. Geralmente a fissuração acompanha a armadura principal, e raramente os estribos, e o que se observa nesses últimos é o lascamento direto do concreto, sem fissuras iniciais. Essas fissuras, por sua vez, podem favorecer a carbonatação e a penetração de agentes agressivos, o que intensifica o problema (HELENE, 1986, p. 5). A figura 4 representa a seção transversal de uma barra de aço, e representa a pressão exercida no concreto pelos produtos da corrosão.

Figura 3 – Célula de corrosão em concreto armado



(fonte: HELENE, 1986, p. 2)

Figura 4 – Esforços que levam à fissuração e destacamento do concreto, devidos à corrosão de armaduras



(fonte: CASCUDO, 1997, p. 63)

Os elementos estruturais mais propícios a apresentarem esse tipo de manifestação patológica, são aqueles em que é difícil executar o cobrimento estabelecido em projeto, tais como lajes e pilares. Outro aspecto que favorece sua aparição é a condição de tração do concreto, como acontece em lajes e vigas. Um sintoma comum é a formação de manchas de coloração vermelho-marrom-acastanhadas nas fissuras geradas pela corrosão. Essas características irão ajudar na inspeção e diagnóstico dos problemas estruturais.

3.2.2 Carbonatação do Concreto

A vida útil de uma estrutura de concreto armado pode ser dividida em dois períodos: de iniciação e de propagação. O primeiro é o tempo em que a película passiva protetora da armadura, que pode ser formada da combinação da ferrugem superficial com o hidróxido de cálcio, leva para degradar e permitir a ação dos agentes agressivos na armadura. O segundo é a etapa em que ocorre o desenvolvimento e a evolução do processo eletroquímico. A partir da despassivação da armadura, os elementos causadores da corrosão, descritos no item anterior, passam a incidir no material.

A carbonatação é um dos processos deletérios do concreto armado, que ocorre em todas as situações que o elemento for exposto à presença de agentes agressivos, sendo o principal deles o dióxido de carbono. Ele ocorre com maior ou menor intensidade, dependendo se os poros desse concreto estão ou não saturados. Originalmente, o concreto é um elemento de alta alcalinidade, devido às reações de hidratação do cimento. Porém com o passar do tempo e da ação dos agentes agressivos, o elemento vai perdendo a característica passivadora. Segundo Cascudo (1997, p. 51) existe uma “frente” de avanço do processo de carbonatação que separa a região afetada em duas. A mais atingida, com pH em torno de 9, e outra com pH aproximado de 12. Essa situação é crítica quando a região de concreto que envolve a armadura dispõe de pH abaixo de 11,5, iniciando o processo de corrosão da armadura. Essa frente de carbonatação deve sempre ser mensurada com relação à espessura do cobrimento da armadura.

Este é um processo lento e tende a diminuir cada vez mais sua velocidade com o passar do tempo, pois como o cimento está sempre hidratando, os compostos que garantem a alcalinidade do material estão sempre sendo produzidos. Ainda segundo Cascudo (1997, p. 53), a carbonatação é dependente de fatores como transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto, condições ambientais, tipo de cimento e umidade do ambiente.

Concretos carbonatados podem ser identificados de forma rápida e simples com o uso de fenolftaleína. Bertolini² (2010, p. 295 apud MIOR JÚNIOR, 2013, p. 45) explica que o ensaio consiste na aplicação na superfície de concreto onde se acredita estar danificada de uma solução hidroalcoólica de fenolftaleína. A parte do concreto que está carbonatada fica com a mesma cor, enquanto que a parte que não está carbonatada (ainda fornece ambiente alcalino) assume a coloração rosada.

Winter (2012, p. 138), ressalta que a carbonatação, apesar de ser um processo deletério para a armadura, pois despassiva a barra de aço por meio da redução do pH da camada de concreto que a protege, apresenta algumas vantagens para o composto. A contribuição desta reação está por conta da redução da porosidade do concreto, protegendo-o, em partes, da penetração de íons cloreto. É importante salientar que o efeito benéfico somente ocorrerá em situações específicas, com misturas de concreto que essencialmente já são menos porosas que concretos convencionais.

3.2.3 Ação de Cloretos

Outro processo bastante comum na fase de iniciação da corrosão é a ação dos íons cloretos (Cl^-). Este é considerado o agente de maior agressividade e potencial de corrosão dentre todos. A sua inserção no concreto se dá a partir de aditivos aceleradores de pega, agregados e águas contaminadas, sendo, normalmente, adicionado involuntariamente à mistura (CASCUDO, 1997, p. 40).

Materiais e compostos químicos que tenham a presença de cloro em sua composição, podem se tornar perigosos para a o concreto armado. Um exemplo são agregados encontrados em regiões próximas do mar, ou genericamente, em regiões salobras. Esse material apresenta, na maioria das vezes, cloreto de sódio (NaCl). Com relação aos aditivos aceleradores, o composto mais encontrado é o $CaCl_2$. No concreto o cloreto pode estar presente de três maneiras: formando cloroaluminato de cálcio, adsorvido na superfície dos poros e sob a forma de íons livres. A tendência, nesses estados, é sempre haver um equilíbrio entre essas três formas, portanto sempre será encontrado um teor considerável de cloretos em concentração iônica.

² BERTOLINI, L. **Materiais de construção**: patologia, reabilitação, prevenção. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

Segundo Cascudo (1997, p. 42) os mecanismos de transporte do íon cloreto para o interior do concreto são os seguintes: absorção capilar, difusão iônica, permeabilidade sob pressão e migração iônica. O fator determinante para essa difusão é a estrutura porosa do concreto. Uma grande interconexão entre os poros possibilita o transporte das substâncias, e o tamanho dos poros define a velocidade de transporte.

Cascudo (1997, p. 47) destaca que os compostos que contêm cloro na composição, ao penetrarem no concreto, são dissolvidos gradativamente, formando os íons cloreto. Esses, por sua vez, agem atacando a película passivadora da armadura e, posteriormente, por hidrólise, combinam com os átomos de ferro das barras de aço. Outra reação que ocorre, em consequência da primeira, é a produção de ferrugem por ação dos íons hidroxila soltos no material. As reações referidas são mostradas a seguir:

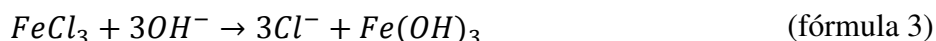


Sendo:

Fe = Ferro;

Cl = Cloro;

FeCl₃ = Cloreto Férrico.



Sendo:

FeCl₃ = Cloreto Férrico;

OH = Hidroxila;

Cl = Cloro;

Fe(OH)₃ = Hidróxido de Ferro.

Na literatura há uma divergência de qual seria o teor de íons cloreto máximo recomendado para que a armadura não seja prejudicada. A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 17) indica que não é permitido o uso de aditivos contendo cloreto nas estruturas de concreto armado e protendido, ou seja, na regulamentação brasileira não é tolerado qualquer teor de íon cloro.

4. FORMAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DE CUSTO

O custo total de uma obra é fruto do custo orçado para cada um dos seus serviços integrantes. A origem da quantificação está na identificação desses serviços e dos insumos necessários para a sua realização.

Mattos (2006, p. 26) comenta que o orçamento de um serviço tem enfoques diferentes para proprietários e executores. Para os primeiros, o que deve ser encontrado em um orçamento bem elaborado é a descrição de todos os serviços, com suas quantificações e respectivos preços unitários, o que dará origem ao preço final e conseqüente desembolso total. Porém para os executores, os itens essenciais na orçamentação são a descrição de todos os insumos, com quantidades e preços unitários, despesas indiretas, lucro e impostos, chegando assim a um preço total.

Este trabalho pretende dar enfoque na listagem e descrição dos insumos, de maneira qualitativa, sem a obtenção de nenhuma quantidade ou custo unitário.

4.1 ETAPAS DA ORÇAMENTAÇÃO

A orçamentação pode ser resumida em 3 etapas, as quais apresentam atividades muito bem definidas, sendo elas o estudo e análise de caso, a elaboração de custos diretos e indiretos e, por último, o acréscimo de impostos e margem de lucratividade. Já considerando a orçamentação voltada para a recuperação e reparo de estruturas, na primeira etapa, são reunidos todos os documentos que possam ajudar na identificação das características pertinentes da edificação, como posição e densidade de armaduras, existência de obstáculos no interior do elemento, cargas de projeto da estrutura, entre outras. São observados também o prazo de execução dos serviços, critérios de medição e pagamento, e acesso à itens essenciais, como água e energia elétrica. Neste momento a visita técnica ao local de estudo é incluído como uma atividade do processo de recuperação, sendo bastante importante para tirar dúvidas, obter fotos, avaliar o estado da edificação, e verificar disponibilidades de equipamentos e materiais (MATTOS, 2006, p. 28).

Ainda segundo o mesmo autor, a segunda etapa da orçamentação inclui a identificação dos serviços necessários para o tratamento, levantamento dos quantitativos baseados em dimensões precisas ou estimadas, discriminação dos custos diretos e indiretos, a cotação de preços de mercado para os diversos insumos, e a definição de encargos sociais e trabalhistas para a aplicação na mão de obra. Na terceira etapa ocorre o fechamento do orçamento e formação do preço final, com a definição da lucratividade e impostos.

4.2 COMPOSIÇÃO DE CUSTOS

Segundo Mattos (2006, p. 62), a composição de custos é um processo onde são estabelecidos todos os custos incorridos dos insumos necessários para a execução de determinada atividade. Nesta lista de insumos estão presentes itens como custos unitários e totais de cada um, e suas respectivas quantidades, as quais variam conforme a etapa de execução, gravidade do problema e particularidades da intervenção.

Mattos (2006, p. 62) também constata que a composição de custos pode ser realizada em dois momentos distintos. O primeiro momento acontece numa fase preliminar ao início da atividade, onde os índices de cada insumo devem ser estimados, podendo ter alta variabilidade, o que incorre em incertezas e na obtenção de apenas ordens de grandezas destes valores. Este instante serve para o executante ter noção do custo que será gasto por ele. O outro momento é durante o período de execução do serviço, ou após a sua conclusão. Esta situação tem o objetivo de controlar os custos, e serve como comparativo com os custos previstos inicialmente, gerando um histórico que é útil para estimativas futuras.

Cordeiro (2007, p. 13) salienta que para montar um orçamento é necessário conhecer os índices de produtividade da mão-de-obra, consumo de materiais e consumo horário dos equipamentos utilizados nos serviços, conforme serão detalhados nos itens na sequência. Além destes, ainda existem os custos indiretos, que são aqueles custos que não estão associados à atividade de operação específica, mas que são necessários para que os serviços possam ser realizados. Um exemplo de custos indiretos são os referentes à mobilização e desmobilização de plataformas de suporte às operações.

4.2.1 Custo da Mão-de-obra

O trabalhador é o grande responsável por dar forma aos projetos elaborados pelos engenheiros, e suas ações e decisões são de extrema importância. Mattos (2006, p. 78) afirma que uma obra executada no sistema convencional, pode chegar a ter cerca de 50% a 60% de seu custo composto pela mão-de-obra, o que requer um grande cuidado na sua elaboração.

O primeiro pensamento quando se fala em custo da mão-de-obra é saber se ela é própria ou terceirizada. Quando se trabalha com mão de obra terceirizada, pode-se acertar um preço fixo antes de começarem as atividades de recuperação. Porém quando ela é própria, os itens descritos mais adiante tem grande representatividade no valor final.

Os custos da hora, atribuídos a cada insumo de mão-de-obra, podem ser diferentes entre si, e vão depender, principalmente, dos encargos sociais e trabalhistas direcionados a esses profissionais. Os encargos podem ser apresentados segundo duas óticas: encargos no sentido estrito e encargos em sentido amplo. No sentido estrito estão incluídos os encargos sociais, trabalhistas e indenizatórios previstos por lei, enquanto que nos encargos em sentido amplo, além dos dados anteriores, são somadas outras despesas, como alimentação, transporte, EPI e até horas extras habituais. O segundo modelo é o mais usado por ser mais conveniente para quem orça, a fim de facilitar a orçamentação final (MATTOS, 2006, p. 78).

O período de pagamento desses trabalhadores pode ser por mês, semana, dia, horas, ou qualquer outro sistema que esteja dentro dos aceites da legislação. Os formatos de mensalistas e horistas são mais comuns, e o que os difere é que os primeiros recebem um valor fixo todo mês, enquanto os outros são ressarcidos segundo a quantidade de horas trabalhadas.

Carvalho e Pini (2013, p.15) citam como principais custos associados ao insumo mão-de-obra os seguintes:

- a) mobilização e desmobilização;
- b) transporte;
- c) alimentação;
- d) alojamento;
- e) máquinas e ferramentas leves;
- f) treinamento;
- g) segurança;

h) medicina do trabalho.

No que diz respeito à unidade de medida, a mão-de-obra é obtida em horas, ou mais precisamente, homem-hora. Por exemplo, é estimado que um pintor precise de 0,05 horas para pintar 1 m² de parede.

4.2.2 Custo de Material

A determinação dos custos associados aos materiais é de extrema importância, pois, em muitos casos, chegam a representar mais da metade do custo unitário do total dos serviços. Alguns dos cuidados que devem ser observados ao fazer este levantamento dizem respeito à identificação das várias formas que os fornecedores costumam elaborar seus preços. A distância de transporte de um material entre o local que está estocado e a obra, e a maneira como este material é entregue, são exemplos de itens que podem representar uma variação no orçamento. Para que este seja realizado com mais detalhes, devem ser adicionados os custos de frete, carroto, impostos de venda, tarifas de importação, e qualquer outra taxa que venha a incidir.

Segundo Mattos (2006, p. 98), os principais aspectos que influenciam na aquisição dos materiais são:

- a) especificações técnicas;
- b) unidade e embalagem;
- c) quantidade;
- d) prazo de entrega;
- e) condições de pagamento;
- f) validade da proposta;
- g) local e condições de entrega;
- h) despesas complementares.

Para Carvalho e Pini (2013, p. 15), os custos associados aos insumos materiais para estruturas de concreto armado são:

- a) movimentação;
- b) montagem;

- c) distribuição;
- d) financiamentos específicos.

Não existe uma unidade de medida padrão para quantificar os materiais. Estes podem ser medidos em kg, m³, m², m, unidade, entre outros, dependendo do tipo de material. Por exemplo, tintas para revestimentos de paredes são especificadas em litros, enquanto que o aço das armaduras é listado em kg.

4.2.3 Custo de Equipamento

São diversos os equipamentos que podem ser utilizados nas diferentes atividades da construção civil. Podem ser definidos como pequenos ou grandes, alugados ou próprios, hidráulicos, pneumáticos ou elétricos, entre outras classificações.

Segundo Mattos (2006), a unidade de medida de equipamentos é a hora, sendo este o padrão para todos os tipos de equipamentos, porém a obtenção deste valor é mais complicada em comparação ao cálculo feito para a hora de trabalho da mão-de-obra. Alguns dos complicadores dizem respeito à compra deste equipamento, pois o dinheiro utilizado na aquisição poderia ter sido aplicado em outro investimento e ter rentabilidade diferente, e ainda a sua frequente utilização, que acarreta em outras despesas variáveis. Para a formação do custo é importante levar em consideração os desembolsos ocorridos devido à aquisição, operação, manutenção, seguro, taxas, etc. Para Carvalho e Pini (2013, p. 15), o custo dos equipamentos é obtido considerando os seguintes itens:

- a) mobilização e desmobilização;
- b) propriedade;
- c) conservação;
- d) manutenção;
- e) operação;
- f) financiamentos específicos;
- g) impostos;
- h) seguros.

Mattos (2006, p. 108), descreve o custo horário total dos equipamentos como sendo a soma dos custos de propriedade, operação e manutenção, que estão representados na equação 1:

$$C_h = D_h + J_h + G_h + L_h + MO_h + M_h \quad (\text{equação 1})$$

Sendo:

$C_h =$ custo horário total (R\$/h)

$D_h =$ custo horário de depreciação (R\$/h)

$J_h =$ custo horário de juros (R\$/h)

$G_h =$ custo horário do combustível ou energia elétrica (R\$/h)

$L_h =$ custo horário de lubrificação (R\$/h)

$MO_h =$ custo horário de mão-de-obra de operador (R\$/h)

$M_h =$ custo horário de manutenção (R\$/h)

Ainda podem entrar na composição de custos dos equipamentos a divisão em horas produtivas e horas improdutivas. As horas improdutivas se referem aos momentos em que o equipamento fica parado, sem ser utilizado, porém à disposição da obra. Neste cálculo entram apenas custos de depreciação e juros, e ainda mão-de-obra de operação, quando esta for específica e especializada.







Em resumo, o custo total de uma atividade de recuperação de estruturas de concreto armado deve levar em conta, para elaborar um orçamento satisfatório, os itens variáveis que influenciam nos insumos de mão-de-obra, materiais e equipamentos. Existe ainda, o custo associado à administração do serviço, que é considerado um custo indireto, mas também entra no custo final. Porém este último item não será considerado no decorrer deste trabalho.

5 MÉTODO PARA DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS QUE INTERFEREM NO CUSTO DA RECUPERAÇÃO

Considerando a pesquisa bibliográfica realizada nos capítulos anteriores, este trabalho tem como objetivo a definição das variáveis intervenientes no custo das etapas do processo de recuperação de estruturas danificadas pelo fenômeno da corrosão de armaduras. A elaboração de uma composição de custos passa pela identificação e detalhamento de todas as atividades envolvidas, buscando a sequência dos procedimentos adotados na sua realização. A figura 4 mostra um fluxograma geral das etapas de recuperação de elementos submetidos à corrosão de armaduras, que direta ou indiretamente, irão influenciar na composição final do custo de recuperação.

A intenção com a elaboração de um fluxograma é o mapeamento dos principais processos envolvidos em cada uma das etapas da recuperação. Para que se tenha um bom entendimento do que será descrito, são utilizados alguns símbolos clássicos na composição de fluxogramas. Cada um destes símbolos apresenta algum significado particular, e os que serão adotados neste trabalho estão ilustrados no quadro 1.

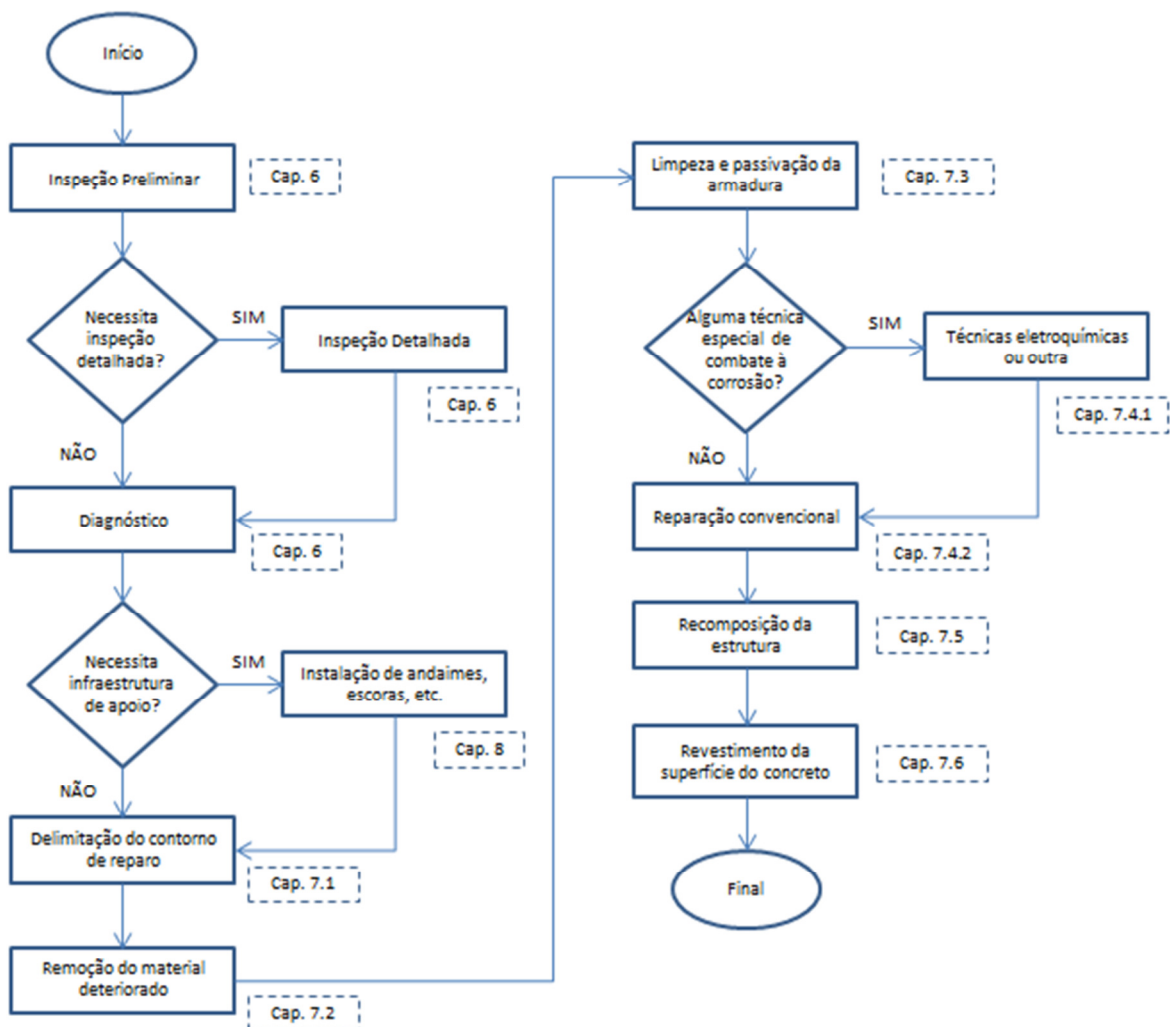
Quadro 1 – Simbologia dos fluxogramas

Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
	Terminal Ponto de início e término		Ponto limítrofe e de interseção entre processos
	Transporte		Decisão Possibilidade de alternativas
	Processamento Operações manuais		Emissão de documentos

(fonte: elaborado pelo autor)

São inúmeros os locais onde a corrosão de armaduras pode ocorrer, porém ela está limitada a elementos que contenham componentes metálicos, sendo os elementos estruturais os escolhidos como foco desta análise. Além disso, os procedimentos de recuperação podem ser diferentes dependendo do profissional que os executa, entretanto existe uma sequência de atividades descritas por diversos especialistas como sendo a ideal para estas situações. Esta sequência está representada, como já mencionado anteriormente, no fluxograma macro mostrado na figura 5. Baseado nessas observações, nos capítulos posteriores será descrito os principais itens responsáveis pela variação no custo de um orçamento vinculado a este tipo de serviço, exposto a partir das atividades de inspeção, execução, operações que agregam valor, e outros fatores intervenientes.

Figura 5 – Fluxograma macro do processo de recuperação de estruturas afetadas por corrosão de armaduras



(fonte: elaborado pelo autor)

A partir do fluxograma acima, foram definidas as variáveis intervenientes em cada uma das etapas, com uma abordagem focada, principalmente, nos insumos de mão-de-obra, materiais e equipamentos. No entanto, existem alguns itens genéricos, que afetam várias das etapas descritas, e estes devem ter uma abordagem diferente, não sendo detalhados por procedimentos específicos, e sim orçados para a atividade geral de recuperação. No capítulo 8 estão descritos esses outros itens, que consistem em providências necessárias para o trabalho em altura, a disponibilidade de mão-de-obra próxima ao local da intervenção, a qualificação desta mão-de-obra, a necessidade de escoras e fôrmas e a mobilização e desmobilização de mão-de-obra e equipamentos.

Uma situação importante, e que deve ser citada, é a possibilidade de reforço da estrutura. Esta fase acontece principalmente quando a capacidade de carga da estrutura deve ser elevada, por motivos de alteração de uso, eventos inesperados, ou qualquer outra razão. Nestes casos podem ser utilizados diversos materiais, sendo os mais comuns barras de aço, chapa metálica, fibras de carbono e fibras de vidro. Existe ainda, uma etapa posterior à conclusão da recuperação que se chama inspeção de controle do serviço, a qual visa verificar o sucesso se os procedimentos adotados foram bem executados, porém não serão feitas considerações a respeito desta etapa, por considerar que ela não entrará nos custos essenciais do serviço de recuperação, e ficará a cargo do proprietário da edificação providenciar essa verificação posterior.

6 INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO

Este capítulo apresenta a primeira etapa do processo de recuperação de estruturas de concreto armado atacadas por corrosão de armaduras: a etapa de inspeção e diagnóstico. Mais adiante, nos capítulos subsequentes, serão apresentadas e detalhadas as demais etapas do processo de recuperação e reparo de corrosão de armaduras. São descritas as atividades que compreendem a inspeção e o diagnóstico de uma estrutura, e como estas atividades podem influenciar no custo de uma recuperação de corrosão de armaduras.

Sempre que existirem dúvidas a respeito da integridade de um elemento de concreto armado, este deve ser submetido à algum tipo de avaliação. Se as manifestações patológicas estiverem em estágios avançados de deterioração, fica fácil para o profissional identificar que existe algo de errado, porém, se elas estiverem em fase inicial, podem passar despercebidas, e possivelmente não serão alvo de medidas corretivas, e nem preventivas, a curto prazo (CARMONA e HELENE, 1992, p. 51).

6.1. IMPORTÂNCIA DA INSPEÇÃO E DO DIAGNÓSTICO PARA AVALIAR UMA ESTRUTURA COM CORROSÃO DE ARMADURA

O colapso de estruturas de concreto armado tem se tornado uma grande preocupação, pois é crescente o registro de casos em que ocorre alguma falha e a ruína destes, causando graves consequências. Os colapsos totais são raros, no entanto problemas em elementos específicos das construções são cada vez mais frequentes, e geralmente representam ameaças as pessoas que se localizam próximas. (TUTIKIAN et al. 2012, p. 53).

Ainda segundo Tutikian et al. (2012, p. 54), o tamanho e a complexidade dos empreendimentos construídos nos últimos anos alerta para uma maior dificuldade de se avaliar as causas e o aparecimento de manifestações patológicas. O descaso aos prazos de realização de serviços e a falta de recursos financeiros dos condomínios, juntamente com a contratação de profissionais sem habilitação adequada, tornam a falta de proteção adequada aos elementos estruturais, principalmente às armaduras, uma das principais responsáveis pelo surgimento de disfunções estruturais. Esta situação acarreta em uma despesa muito grande em termos de manutenção, o que representa uma alta probabilidade de incidência de patologias. O

surgimento crescente de problemas em estruturas de concreto armado tem exigido que os reparos, eventualmente executados, apresentem boa qualidade. A minúcia da inspeção e o correto diagnóstico do problema são ferramentas essenciais para o sucesso das futuras intervenções.

O conceito e as atribuições referentes ao termo inspeção predial têm evoluído com o tempo. No início muitos peritos entendiam que o resultado de uma inspeção deveria ser a apuração das causas das anomalias e indicação dos responsáveis por tais acontecimentos, com uma vistoria voltada a manutenção corretiva e preventiva. Mas atualmente entende-se que a inspeção predial visa, principalmente, à boa manutenção tendo em vista a qualidade, como constata Gomide (2006, p. 18) quando afirma que “inspeção predial é a avaliação das condições técnicas, de uso e de manutenção de edificação visando orientar a manutenção e a qualidade predial total”.

Para verificar se um edifício apresenta algum problema relacionado à manifestações patológicas deve-se realizar uma vistoria cuidadosa e detalhada, para que seja determinada qual a real condição de uso da estrutura. Esta etapa visa avaliar as anomalias existentes, identificando suas causas, providências e a escolha dos melhores métodos a para o reforço ou recuperação da estrutura (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 78).

A importância de determinar a periculosidade de determinados mecanismos de degradação está intimamente associado à resistência e à durabilidade da estrutura, assim como a agressividade ambiental. Existem três etapas básicas no método convencional de inspeção: levantamento dos dados, análise e diagnóstico. Na primeira etapa é importante dar atenção à necessidade, ou não, de adoção de medidas especiais, principalmente para garantir a segurança e continuidade das atividades. A análise de dados e diagnóstico, que compreendem a segunda etapa, irão conduzir a um bom entendimento dos mecanismos atuantes e definição da manifestação patológica existente com a posterior indicação da intervenção mais aconselhada, que seria considerada a terceira etapa da inspeção (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 79).

A atividade de inspeção deve ser realizada por profissional experiente e capacitado, pois diversos são os fatores ou condições que influenciam no desenvolvimento do processo corrosivo. Ribeiro et al. (2014, p. 171) listam alguns destes fatores, como por exemplo:

- a) reduzida espessura de revestimento;
- b) baixa resistência do concreto à penetração de CO_2 ;
- c) compactação inadequada do concreto;
- d) presença interna de agentes contaminantes;
- e) reduzida quantidade de cimento;
- f) elevada razão a/c.

Os sinais mais frequentes da presença de corrosão são manchas acastanhadas sobre a superfície de concreto, fissuração, desagregação e eflorescências. Essas manifestações são confirmativas que realmente existe o problema na estrutura, porém em muitos casos a visualização dos focos de corrosão ainda não é possível. Para sua identificação existem algumas técnicas de avaliação do concreto, como ensaio de migração de cloretos, profundidade de carbonatação, resistividade do concreto, ultrassom, entre outros, além das já referidas técnicas eletroquímicas.

6.2 VARIÁVEIS QUE INFLUENCIAM O CUSTO DE UMA INSPEÇÃO

Toda tarefa de inspeção já é considerada parte da atividade de recuperação. Caso o resultado da inspeção e diagnóstico diga que não foi encontrado nenhum problema e o elemento não necessita de intervenção, considera-se o trabalho como finalizado. No entanto isso não significa que não existe custo associado a esta etapa. Para que ocorra algum diagnóstico, seja ele qual for, deve existir uma quantidade mínima de investigação necessária para validá-lo.

As inspeções de estruturas afetadas por corrosão de armaduras tendem a serem feitas em duas etapas. A primeira delas deve ser realizada por um profissional capaz de identificar quais as possíveis causas do problema presente na estrutura. Segundo Cascudo (1997, p. 77), esta atividade é chamada de inspeção preliminar, onde é feita uma avaliação visual do objeto em estudo seguida de alguns ensaios que permitam abalizar a gravidade da situação e direcionar os estudos posteriores.

O primeiro item a ser considerado é a mão-de-obra. A partir do instante que o profissional designado para a função dedica seu tempo e conhecimento para avaliar as condições da estrutura, ele deve ser remunerado por isso. Essa avaliação deverá constar de um planejamento do trabalho, com a elaboração de croquis e fichas de verificação, de inspeção

visual e de inspeção detalhada. Na mão-de-obra estão incluídos todos os encargos e benefícios, assim como as ferramentas leves de uso rotineiro do profissional, por exemplo colher de pedreiro, martelo, trena, paquímetro, etc.

A avaliação visual é a primeira atividade da inspeção preliminar e consiste em verificar a presença de manchas provenientes de produtos de corrosão, a cor desses produtos, aspectos morfológicos do ataque, entre outros. Alguns equipamentos são utilizados para auxiliar nesta avaliação, como lupa, binóculo, espelho, trena, prumo, paquímetro, fissurômetro, máquina fotográfica, lanterna, martelo, entre outros, e poderão acarretar algum custo, apesar de terem baixo valor de aquisição e depreciação insignificante.

Existem técnicas de inspeção que diferem um pouco umas das outras, e na maioria dos casos elas são complementares entre si, pois dessa maneira chegam a algum resultado mais confiável. A atividade mais comum é a abertura de janelas de inspeção, onde é realizada a retirada de uma pequena área de concreto de cobertura, para analisar visualmente o estado do aço. A dificuldade na execução deste serviço está associada à espessura deste cobertura, à área da janela e à dureza do concreto. O profissional deve dispor de martelo e ponteira, ou outro equipamento para retirada do concreto de cobertura. Esta técnica é de grande importância para a inspeção visual, pois permitirá que o profissional confirme as suas suspeitas quanto ao grau de deterioração da armadura e possa dar prosseguimento com a investigação, direcionando sua atenção para uma inspeção mais detalhada. Na figura 6 é mostrado um exemplo de abertura de janela de inspeção.

Figura 6 – Abertura de janela de inspeção



(fonte: www.tarsoengenharia.com.br³)

³Disponível em: <http://www.tarsoengenharia.com.br/popup/aracruz11.htm>

A análise visual apresenta limitações, e algumas informações só são possíveis de serem obtidas com investigações mais detalhadas. Para uma análise mais rigorosa do componente estrutural são realizadas extrações de material para análise em laboratório. O mais comum é a extração de testemunhos do elemento de concreto, pois com essas amostras é possível realizar uma série de ensaios e assim determinar algumas características importantes. O equipamento responsável pela extração do testemunho de concreto do elemento em estudo é o extrator, como o próprio nome indica, porém em alguns casos só é preciso retirar partículas finas do elemento de concreto, na intenção de determinar o teor de cloretos, e para isso os corpos de prova não são necessários e o uso de furadeira é o mais recomendado. Na formação do preço destes equipamentos estão incluídos variáveis como o desgaste da broca, o período de utilização, a depreciação da máquina, entre outros. O desgaste da broca, inclusive, tendo como principal responsável a dureza do concreto.

A inspeção detalhada consiste em avaliações mais específicas, com obtenção de dados para a determinação da gravidade e do desenvolvimento do processo corrosivo. Neste momento é feita a identificação exata da origem das alterações, se devido à presença de cloretos ou se por carbonatação do concreto. Para situações de carbonatação, são utilizadas soluções de fenolftaleína ou timolftaleína, com o objetivo de salientar a região de concreto carbonatada, assim como trena e paquímetro, para quantificar o tamanho da degradação. A praticidade relacionada a sua aplicação faz dela um procedimento constante nas inspeções das estruturas de concreto. A análise em laboratório utiliza soluções e materiais específicos, que não serão citados neste trabalho, e que podem influenciar no custo da inspeção.

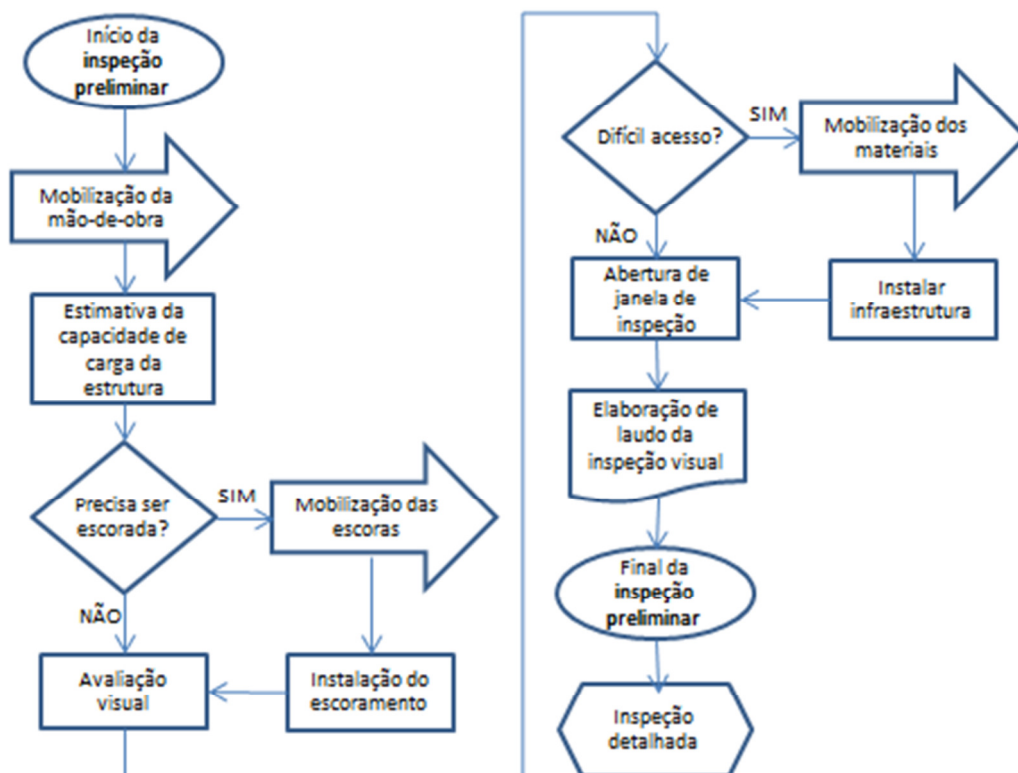
Gastos como energia elétrica e água podem ser atribuídos diretamente ao serviço, se houver medição destes itens, mesmo que estes valores não sejam muito relevantes. Por se tratar de uma atividade de campo, e exigir o seu transporte até o local de trabalho, serão considerados custos de mobilização e desmobilização, o que se agrava quando a acessibilidade é ruim, pois além da necessidade de montar uma plataforma para suporte e estabilidade, seu deslocamento é prejudicado. As dimensões da plataforma irão depender da altura do local em estudo até o apoio inferior, correspondendo a um item bem variável. A maneira mais comum de obtenção destes equipamentos de maior porte é o aluguel.

A avaliação qualitativa e quantitativa da corrosão deve ser feita, preferencialmente, por métodos eletroquímicos. Estes métodos são interessantes devido a sua sensibilidade, rapidez e

caráter não destrutivo. Segundo Cascudo (1997, p. 84), as principais técnicas envolvidas neste cenário são as de potenciais de corrosão, de resistência de polarização e a de medida da resistividade do concreto. Os equipamentos necessários para a aplicação destas técnicas se resumem a voltímetros, eletrodos, potenciostato e medidor de resistência e resistividade. Ainda existem os métodos gravimétricos que visam determinar, quantitativamente, a perda de material ocasionado pela deterioração da armadura devido ao processo corrosivo.

A área total a ser inspecionada é outro item bastante relevante na composição dos custos da inspeção. Um dado que ilustra bem esta situação é o número de testemunhos extraídos, a medida que procura-se representar bem toda a estrutura, portanto retira-se um número mínimo de cada elemento estudado. Nas figuras 7 e 8 estão representados os fluxogramas das atividades básicas das etapas de inspeção preliminar e detalhada, respectivamente, assim como os quadros 2 e 3 abordam os itens que interferem no custo.

Figura 7 – Fluxograma das atividades da etapa de inspeção preliminar.



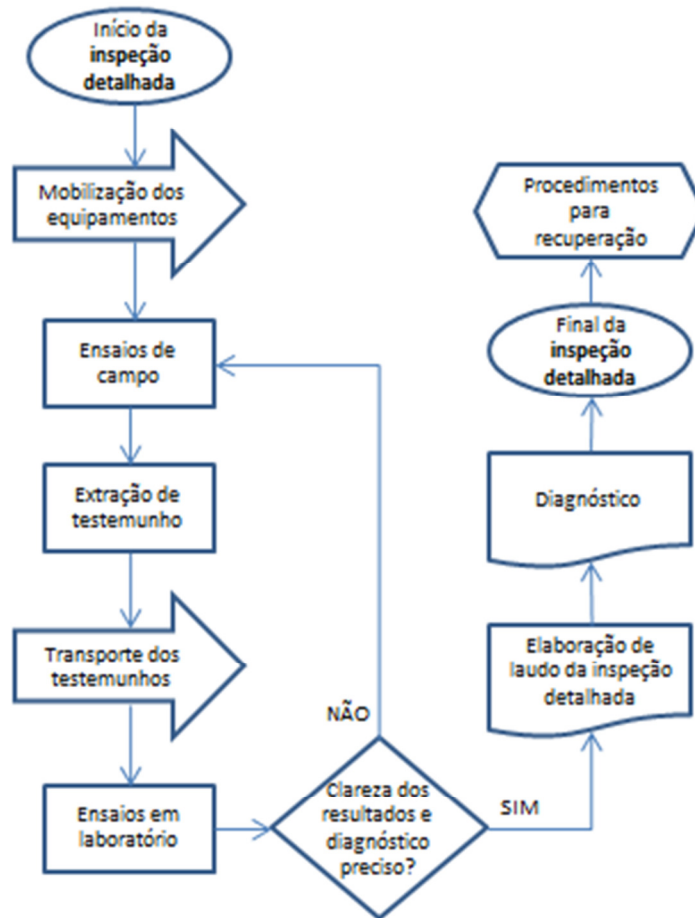
(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 2– Principais variáveis que influenciam no custo da inspeção preliminar

Atividade	Principais variáveis intervenientes	
Mobilização da mão-de-obra	Acesso ao local de trabalho	
	Ferramentas leves	
Cálculo rápido da resistência da estrutura	Complexidade da edificação	
	Experiência do profissional	
Mobilização das escoras	Distância de transporte	
	Quantidade de escoras	
Instalação do escoramento	Disponibilidade de mão-de-obra	
	Peso das escoras	
	Praticidade	
	Tipo de material	
	Se alugadas:	Período de utilização
		Quantidade de escoras
	Se adquiridas:	Depreciação
		Manutenção
Possibilidade de reuso		
Avaliação visual	Ferramentas (ex: binóculos, trena, paquímetro, etc.)	
Mobilização dos materiais	Quantidade de material	
	Acessibilidade	
	Peso dos materiais	
Instalação da infraestrutura	Quantidade de material	
	Método de fixação	
	Facilidade na montagem	
	Habilidade do operador	
Abertura de janela de inspeção	Ferramentas utilizadas	
	Habilidade do profissional	
	Velocidade de execução	
	Espessura do cobrimento da armadura	
Elaboração de laudo da inspeção visual	Tempo para relato do profissional	

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 8 – Fluxograma das atividades da etapa de inspeção detalhada



(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 3 – Principais variáveis que influenciam no custo da inspeção detalhada

Atividade	Principais variáveis intervenientes
Ensaio de campo	Quantidade de ensaios
	Equipamentos específicos
Extração de testemunho	Produtividade do equipamento
	Quantidade de testemunhos
	Cuidados adicionais (ex: localização das armaduras)
Transporte dos testemunhos	Quantidade de testemunhos
	Distância de deslocamento

continua

continuação

Atividade	Principais variáveis intervenientes
Ensaio em laboratório	Quantidade de ensaios
	Quantidade de testemunhos
	Tipos de ensaios
	Equipamentos utilizados
Elaboração de laudo da inspeção detalhada	Tempo para relato do profissional

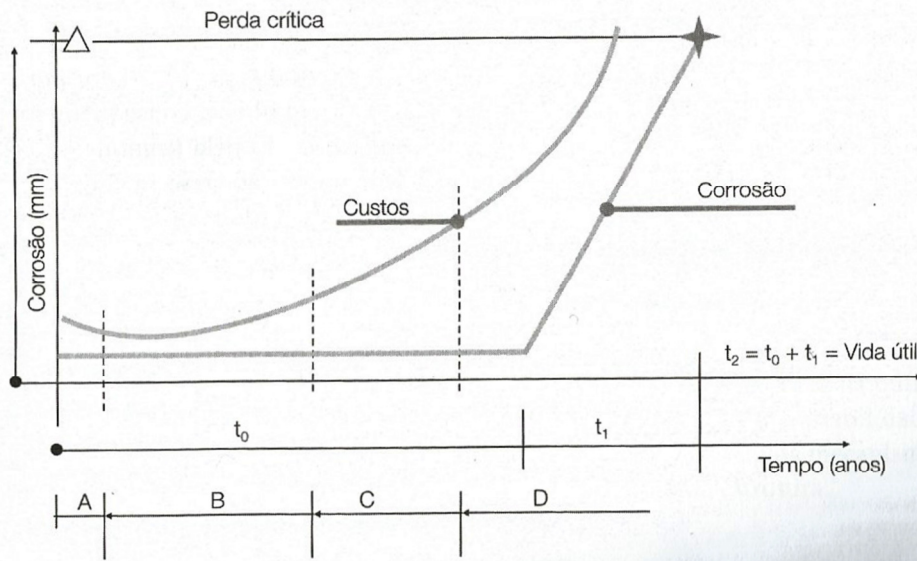
(fonte: elaborado pelo autor)

6.3 COMO A INSPEÇÃO PODE CONTRIBUIR PARA A REDUÇÃO DE CUSTOS DE UM REPARO

Na prática, a degradação do concreto armado dificilmente é devida a apenas uma única causa. É natural que desde o início da construção, o rendimento de uma estrutura decaia com o tempo, então para que isso não aconteça rapidamente são recomendadas medidas preventivas a fim de recuperar parte do seu desempenho estrutural. Como citado anteriormente, a complexidade das construções tem aumentado nos últimos tempos, assim como a busca pela otimização de materiais e outros fatores atrelados à essa sistemática. Não bastasse isso para o surgimento crescente de manifestações patológicas nas construções civis, os responsáveis por mantê-las em boas condições de desempenho não têm recursos financeiros para investir em manutenção periódica.

Ribeiro et al. (2014, p. 45) observam que as dificuldades técnicas, os custos e as manifestações patológicas, apresentam um crescimento acentuado na falta de um programa de manutenção. Isso significa que se não existem intervenções regulares nas edificações, para a correção das imperfeições da estrutura, tudo se complica na medida em que os anos passam. Para ilustrar esta situação, Ribeiro et al. (2014, p. 46) associam a magnitude do processo corrosivo e o custo em função da fase de intervenção, como mostrado na figura 9.

Figura 9 – Magnitude do processo corrosivo em função da fase de intervenção



(fonte: RIBEIRO et al., 2014, p. 46)

Sendo:

A = Boas práticas construtivas R\$ 1

B = Manutenção R\$ 5

C = Reparo e manutenção R\$ 25

D = Renovação e recuperação R\$ 125

A corrosão de armaduras se manifesta de algumas formas visíveis, como manchamentos ou destacamentos, mas ela também pode estar camuflada em regiões que ainda não apresentam nenhuma anomalia a olho nu. Portanto, nesses casos, o problema não é identificado claramente, o que representa uma grande dificuldade em mensurar a sua extensão, pois a corrosão pode estar presente em outros pontos da estrutura, que não apresentam sinal algum de dano (CARMONA E HELENE, 1992, p. 51). Para identificar a natureza e a extensão do problema e ter condições de agir na causa exata é necessário o investimento na inspeção.

A inspeção tem a capacidade de determinar quais as atividades que devem ser executadas para melhorar o desempenho do elemento corroído. Esta fase de avaliação inicial é justamente para que não sejam aplicados tratamentos equivocados, e não ocorra a intervenção apenas da região onde a manifestação está mais concentrada, pois esta situação geraria outros problemas em breve. O levantamento de dados das anomalias permite analisar o grau de gravidade, urgência e tendência, o que permite um planejamento adequado tanto das atividades e técnicas

aplicáveis, quanto da quantidade de material necessária para tais serviços. Se não fosse assim, dificilmente teria algum controle sobre os gastos dos processos adotados.

O planejamento das técnicas a serem aplicadas durante o processo de recuperação permite economia em termos de tempo e dinheiro. Os custos associados ao tratamento desnecessário de áreas não afetadas, ao retrabalho por não ter tratado todo o problema e à improdutividade da mão-de-obra, poderão ser controlados e evitados.

7 ETAPAS DO PROCEDIMENTO DE RECUPERAÇÃO DE ELEMENTOS AFETADOS POR CORROSÃO DE ARMADURAS

A recuperação de uma estrutura afetada por alguma manifestação patológica não é realizada de maneira rígida, ou seja, normalmente existem vários métodos ou sistemas de reparo para se utilizar, dependendo da gravidade e do tipo de manifestação. A escolha do método ideal dependerá de alguns fatores como a possibilidade de acesso ao local de reparo, fatores econômicos e condicionantes técnicas, que variam de caso a caso. No caso de estruturas deterioradas por corrosão de armaduras, a situação se torna um pouco mais complicada, à medida que o reparo deverá atuar em um ambiente que é, comprovadamente, agressivo (ANDRADE, 1992, p. 95).

O desempenho de um prédio de concreto armado é diretamente afetado pela qualidade de projeto, execução e materiais utilizados. Outra prática muito importante para sua conservação são os cuidados relativos ao uso e manutenção deste. A manutenção é uma maneira de garantir maior vida útil para as estruturas, pois se forem realizadas intervenções rotineiras, a probabilidade de uma edificação manter-se em boas condições de uso e longe da ruína aumenta consideravelmente.

Porém, se a manutenção começar a se torna falha, as manifestações patológicas irão surgir mais rapidamente, e se farão necessárias ações corretivas. O reforço e a recuperação de estruturas são as ações responsáveis por essa correção, e seu objetivo principal é devolver para a edificação as condições ideais de desempenho estrutural para as quais ela foi projetada. Em muitos casos a intervenção não pode ser demasiadamente demorada, pois essa situação

acarreta prejuízos exorbitantes, como é o caso de serviços executados em viadutos ou pontes de elevado fluxo de veículos, pois a obstrução da passagem dos automóveis causará transtornos de grandes proporções.

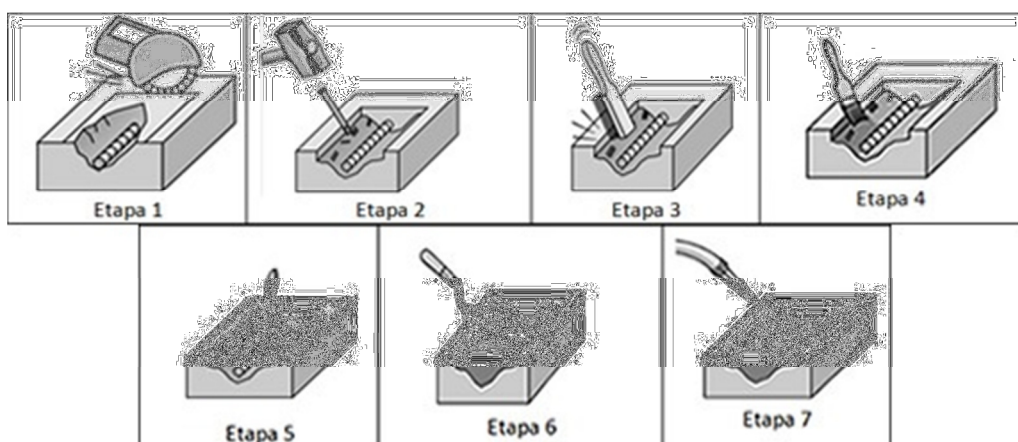
É válido fazer a diferenciação entre os termos reforço e recuperação. Entende-se por recuperação a intervenção cuja intenção é garantir o retorno da integridade das peças estruturais incluindo a vida útil inicial. Já os reforços pressupõe a perda da resistência residual, ou seja, a estrutura não atende mais as solicitações de projeto. Souza e Ripper (1998, p. 105) observam que para a aplicação de reforço deve haver sempre a prévia elaboração de trabalhos de cálculo estrutural, analisando os serviços a serem executados levando em consideração a necessidade de alteração da funcionalidade da estrutura. Essa ação torna-se necessária para estabelecer alguns elementos básicos como a definição das peças estruturais em que será necessário o reforço, a escolha da melhor técnica executiva a utilizar, a avaliação do grau de segurança em que se encontra a estrutura, entre outras. Os próximos itens irão focar nas atividades relacionadas à recuperação das estruturas. Salienta-se que não serão abordadas etapas que envolvam o reforço de estruturas.

Se tratando de corrosão de armaduras, Cascudo (1997) descreve alguns métodos de tratamento, sendo eles: reparos localizados, reparos generalizados, remoção eletroquímica dos cloretos, controle no processo catódico, eliminação do eletrólito e proteção catódica.

Os reparos localizados consistem na exposição da armadura nos trechos corroídos, execução de tratamento no local, e posterior reconstituição da seção do elemento. Ao abrir a estrutura de concreto, os componentes de aço devem ser rigorosamente limpos, livres dos produtos da corrosão, e tratados com produtos que evitem a ocorrência da corrosão, de preferência à base de zinco. Neste caso a presença do zinco tem como objetivo atuar como ânodo de sacrifício, protegendo a armadura das reações deletérias. Para reparos generalizados são usados os mesmos materiais e procedimentos anteriores, e podem ser executados quando se deseja remover concretos contaminados de maneira preventiva. Esta é a intervenção mais comum, pois suas técnicas de execução já são bem conhecidas pelos profissionais e estão bem disseminadas no ramo da construção civil, com seus resultados, em termos de reestabelecimento do desempenho estrutural, altamente satisfatórios quando adequadamente executados.

As etapas de recuperação abordadas neste trabalho são referentes ao tratamento baseado na reconstituição do concreto deteriorado ou contaminado e a limpeza das armaduras corroídas. O principal objetivo da recomposição estrutural, no caso da corrosão de armaduras, é restaurar a proteção à armadura reestabelecendo as propriedades físicas e características estéticas e geométricas do componente de concreto. A sequência de atividades, consideradas ideais para a prática da recuperação, é mostrada na ilustração da figura 10.

Figura 10 – Resumo das principais etapas para recuperação de armaduras corroídas



(fonte: www.aecweb.com.br⁴)

Sendo:

Etapa 1: Delimitação de contorno do reparo

Etapa 2: Remoção do material deteriorado

Etapa 3: Limpeza

Etapa 4: Preparação da camada de aderência

Etapa 5: Revestimento da armadura (pintura)

Etapa 6: Recomposição do concreto

Etapa 7: Proteção da superfície de concreto

Nos subitens seguintes, serão descritas as etapas básicas de um reparo e reforço de estruturas afetadas por corrosão de armaduras, e a definição das variáveis essenciais para a execução dos trabalhos de recuperação. O enfoque será nas etapas que afetam a orçamentação dos serviços.

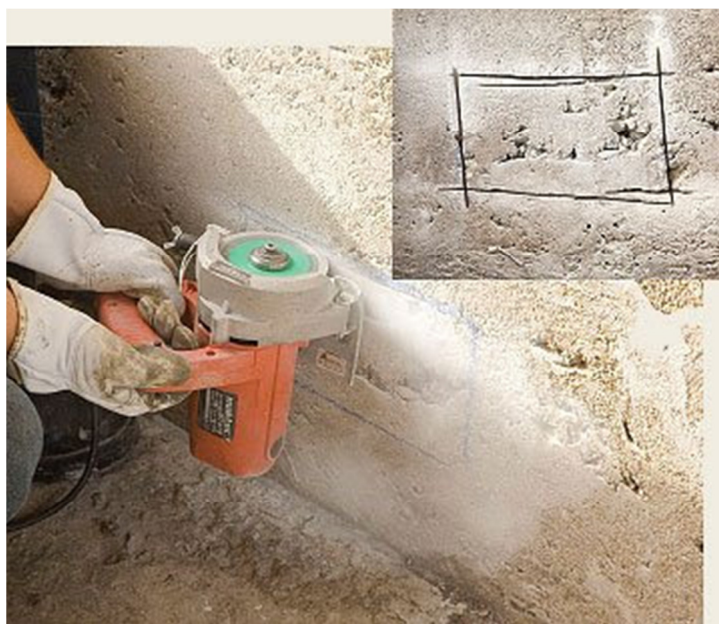
⁴ Disponível em: http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/corrosao-do-concreto-e-causada-por-umidade-e-gases-nocivos_6412_0_1

7.1. DELIMITAÇÃO DE CONTORNO DO REPARO

Para o caso de reparos de estruturas afetadas por corrosão de armaduras, o corte do concreto serve, principalmente, para delimitar a área a ser reparada. Ao cortar a parte do concreto determinada para a intervenção, a estrutura remanescente, que não deve ser atingida, será preservada. Um cuidado importante que se deve ter é a correta demarcação da linha de corte, para que a estabilidade da estrutura não seja comprometida, e danos mais graves não venham a acontecer.

Salienta-se que a definição das áreas a serem reparadas, e conseqüentemente, das áreas de corte, é oriunda de um estudo prévio de inspeção, conforme detalhado no capítulo anterior. As figuras 11 e 12 ilustram a delimitação de área de reparo em um elemento de concreto armado.

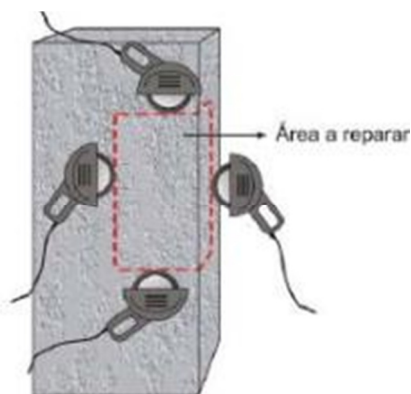
Figura 11 – Corte em parede de concreto para delimitação da área para intervenção



(fonte: SILVEIRA, 2009⁵)

⁵ Disponível em: <http://englucianosilveira.blogspot.com.br/2009/06/reparos-de-estruturas-de-concreto.html>

Figura 12 – Delimitação da área a reparar



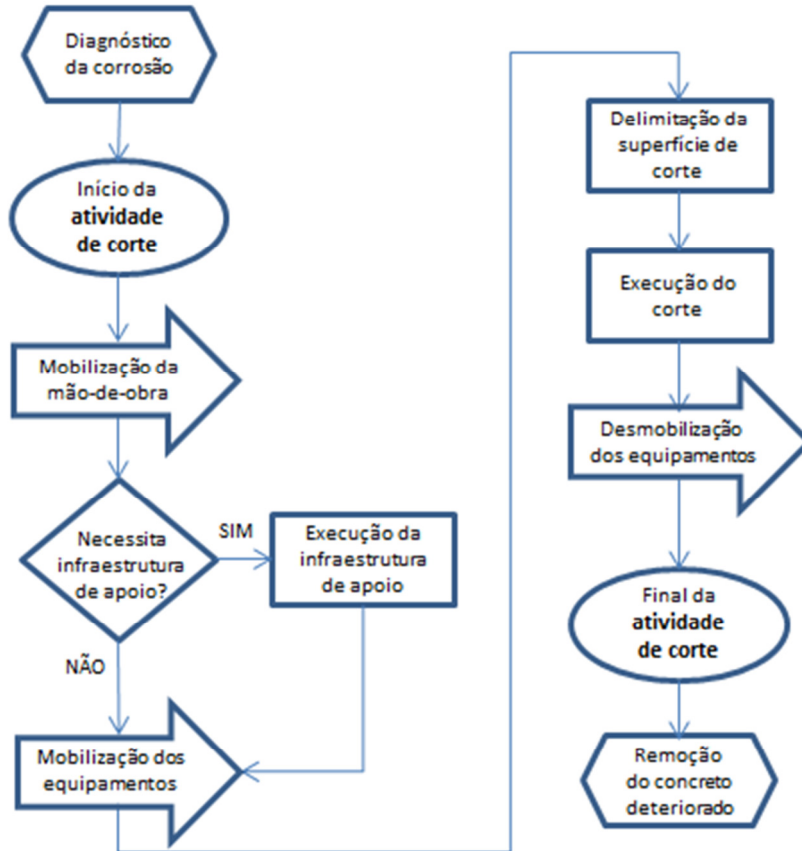
(fonte: ROSSI et al., 2010)

O procedimento mais adequado indica, como primeiro passo, a marcação da linha onde acontecerá o corte, com um giz-estaca, ou outro, e o auxílio de uma régua, mantendo a retilinealidade do traçado. Com uma serra circular, penetra-se o disco na superfície até uma profundidade não muito grande, geralmente em torno de 50 milímetros. Durante o corte, é interessante tentar manter o disco em uma rotação moderada e constante, para o melhor desempenho deste. Um cuidado importante é não realizar cortes curvos com este equipamento (HELENE, 1992).

Quando se opta pela terceirização da operação, muitos cuidados devem ser tomados, em termos de orçamentação, e a responsabilidade das partes envolvidas deve ser bem discriminada. O tipo e o modelo de equipamento, são dados importantes para a formação do preço, apesar de a mão-de-obra ser, na maioria dos casos, responsável por mais da metade dos custos associados à este serviço. A forma mais comum de pagamento neste caso é por medição, e este dado é obtido a partir do metro quadrado de área de seção de corte.

Alguns acessórios são indispensáveis para este tipo de trabalho, como por exemplo, a mangueira de água, que é utilizada para a refrigeração do disco e remoção da poeira residual. A presença de energia elétrica e ponto de tomada de água são fundamentais para a realização da atividade. Segundo Reis (2001, p.71), os discos de corte comuns também são utilizados para remoção de concreto degradado em maiores profundidades, assim como retirada de rebarba, delimitação de contorno para reparos e abertura de vincos. A figura 13 apresenta um resumo do fluxo de atividades necessárias para a realização do corte para a delimitação da área a ser reparada.

Figura 13 – Fluxograma do processo de delimitação do contorno de reparo



(fonte: elaborado pelo autor)

A elaboração do fluxograma não esclarece quais as principais variáveis intervenientes no custo total do serviço. Na tentativa de descrevê-las, foi elaborado o quadro 4 relacionando cada uma das atividades com alguns itens importantes para a sua execução.

Quadros 4 – Principais variáveis que influenciam no processo de delimitação da superfície de corte

Atividade	Principais variáveis intervenientes
Mobilização da mão-de-obra	Tempo para a logística da mobilização
	Posse de equipamentos leves (martelo, trena, etc.)
Execução das estruturas de apoio	Quantidade de material para a montagem das estruturas de apoio (andaimes, escadas, etc.)
	Disponibilidade destes materiais
	Habilidade do profissional na montagem
	Grau de dificuldade de acesso ao local de reparo

continua

continuação

Atividade	Principais variáveis intervenientes
Mobilização de equipamentos	Quantidade de equipamentos
	Peso dos equipamentos
	Dificuldade de transporte
Análise da superfície de corte	Avaliação dos detalhes construtivos
	Marcação do serviço
Execução do corte	Habilidade do profissional
	Extensão do corte
	Cuidados com os detalhes construtivos (densidade de armadura, geometria, etc.)
Desmobilização dos equipamentos	Quantidade de equipamentos
	Peso dos equipamentos
	Dificuldade de transporte

(fonte: elaborado pelo autor)

7.2. PREPARO DO SUBSTRATO: REMOÇÃO DO MATERIAL

DETERIORADO

A respeito da etapa que precede o tratamento real da corrosão de armaduras, com a aplicação de produtos especiais e técnicas diversas, Helene (1992, p. 85) define: “O preparo do substrato é entendido como o conjunto dos procedimentos efetuados antes da limpeza superficial e da aplicação propriamente dita dos materiais e produtos da correção, ou seja, são os tratamentos prévios da superfície dos componentes estruturais.”.

Ao iniciar um procedimento de recuperação de um elemento afetado por corrosão de armaduras, objetiva-se recuperar a integridade do componente danificado, e mais especificamente, tratar a armadura de maneira que a manifestação patológica não volte a ocorrer. O concreto é o principal responsável pela proteção da armadura contra os agentes agressivos, mas quando o aço já está em processo de deterioração ele não tem mais funcionalidade. Para aplicar um tratamento corretivo o caminho até as barras de aço presentes na estrutura deve ser desobstruído, sendo assim, o concreto degradado que envolve a

armadura deve ser retirado completamente. A figura 14 mostra a remoção do concreto por meios manuais, com o auxílio de martelo e talhadeira.

Figura 14 – Remoção do concreto com o uso de martelo e talhadeira



(fonte: SILVEIRA, 2009⁶)

Antes do início dessa atividade, deve haver um estudo cuidadoso a respeito da capacidade de carga da estrutura, para se avaliar a necessidade e prever o uso de escoras, como será discutido no próximo capítulo. É fundamental que apenas o concreto danificado seja removido, pois ferir o concreto sã, além de ir contra a segurança, é antieconômico.

O processo de remoção do concreto ruim só deve iniciar após a delimitação da área de trabalho. A busca pelo concreto sadio é realizada de forma manual, principalmente através de um método que grande parte da mão-de-obra da construção civil já está bastante habituada, que é a escarificação. Para sua execução as principais ferramentas utilizadas são marreta, ponteira e talhadeira, sendo que a disponibilidade destas ferramentas não incide diretamente na composição do orçamento, pois estes materiais são de propriedade do profissional, e não têm depreciação. O custo da mão-de-obra atribuído a este serviço, está relacionado diretamente com o volume de concreto removido, o que significa que a medição é realizada em metros quadrados (m²), portanto, exige-se o levantamento do comprimento e da largura da intervenção. É importante ressaltar que, assim como em todas as atividades da construção civil, os equipamentos e dispositivos de segurança devem estar presentes e em condições de uso, mas nesse caso em especial, deve-se ter atenção especial para óculos e luvas.

⁶ Disponível em: <http://englucianosilveira.blogspot.com.br/2009/06/repares-de-estruturas-de-concreto.html>

A atividade de escarificação manual é muito útil, pois pode ser praticada em locais de difícil acesso, onde equipamentos maiores e mais pesados se tornam inviáveis. Estes últimos devem ser utilizados onde a área a ser tratada apresenta grandes dimensões, e o local disponha de boa acessibilidade. SILVA (2006, p. 27) indica para a prática deste serviço a utilização de martelos pneumáticos, ou elétricos, leves (aproximadamente 5 kg), e ponteiros com a extremidade em forma de picador. Em um caso extremo, na preparação de grandes superfícies, recomenda o martetele pneumático (aproximadamente 20 kg). Outro interveniente para seu uso, comparado com o método manual, é a necessidade de um ponto de energia elétrica, para que o equipamento funcione. Neste caso, protetores auriculares e máscaras de proteção são os itens, relativamente, de maior importância, dentro daqueles listados como equipamento de proteção individual.

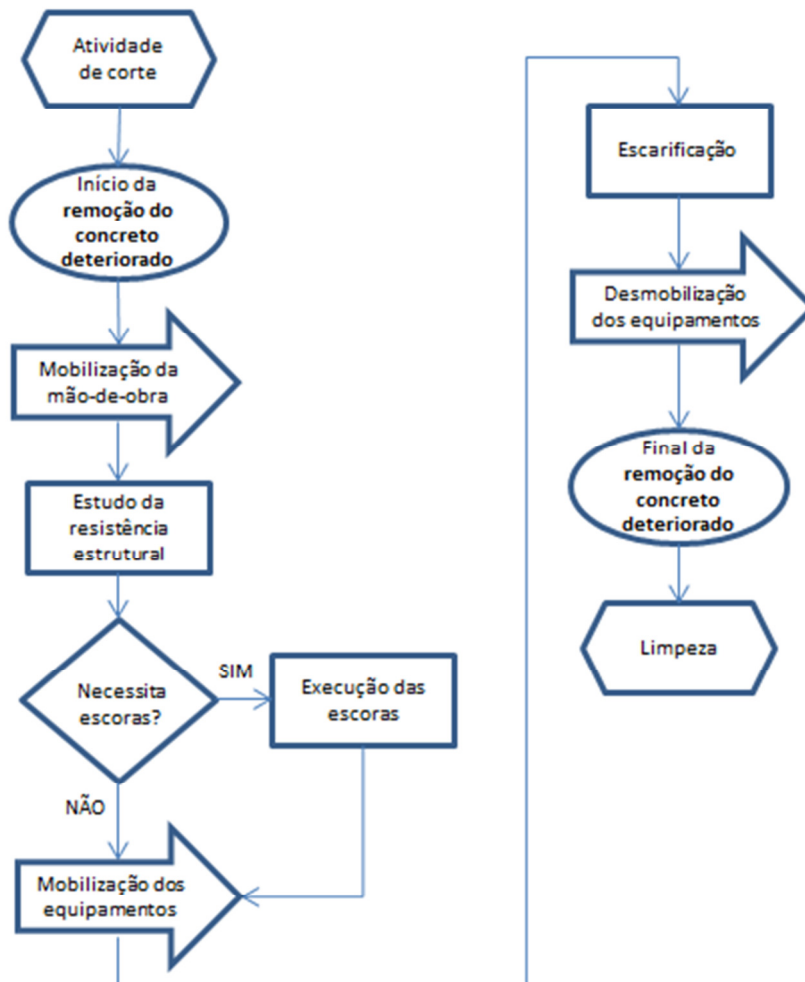
Um dado importante de se ressaltar é a produtividade da mão-de-obra, que dependerá muito da superfície que está sendo trabalhada, e do posicionamento do operário. Segundo Souza e Ripper (1998, p. 114), a produtividade de uma atividade que está sendo executada de baixo para cima fica na ordem de 0,5 a 0,8 m²/h, podendo chegar ao dobro disto em superfícies verticais. A produção varia de 2 a 4 m²/dia, em função das condições de trabalho. Garantir a melhor condição de trabalho para o profissional é um fator relevante no tempo total da atividade.

A eficácia do tratamento da armadura dependerá da área de exposição da sua superfície, sendo que quanto mais fácil for o acesso à esta área, melhor será o resultado da aplicação dos compostos protetores. Desta forma, é necessário que o concreto seja removido até uma profundidade de aproximadamente 2 cm, ou mais, após atingir a armadura, para que as ferramentas de aplicação tenham atinjam toda a armadura. É importante salientar, como já mencionado anteriormente, que se deve tomar cuidado para não remover concreto sadio além da quantidade necessária, pois isso pode comprometer a segurança estrutural.

Após a remoção da maior parte, ou da totalidade, do concreto deteriorado, deve-se realizar a preparação da superfície que será a interface entre o concreto antigo e o concreto novo. Para esta atividade, a técnica mais indicada é o apicoamento, e posterior remoção de qualquer partícula que possa estar aderida ao substrato. O umedecimento deste substrato é aconselhado nos casos em que os concretos não apresentam elevada resistência à compressão, pois esta prática ajuda na ponte de aderência. A figura 15 apresenta um fluxograma com as etapas da

atividade de remoção do concreto deteriorado, e o quadro 5 auxilia na identificação das variáveis intervenientes.

Figura 15– Fluxograma do processo de remoção do concreto deteriorado



(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 5 – Principais variáveis que influenciam no processo de remoção do concreto deteriorado

Atividade	Principais variáveis intervenientes
Mobilização da mão-de-obra	Tempo para logística de mobilização
	Posse de ferramentas leves
Estudo da resistência estrutural	Análise de projetos estruturais
	Cálculo de carregamentos
	Avaliação da capacidade de carga dos elementos

continua

continuação

Atividade	Principais variáveis intervenientes
Execução das escoras	Projeto de escoras
	Tipo de material da escora
	Quantidade de escoras
	Dificuldade de montagem das escoras
Mobilização de equipamentos	Quantidade de equipamentos
	Peso dos equipamentos
	Dificuldade de transporte
	Tempo de transporte
	Tempo de instalação
Escarificação	Acessibilidade
	Condições ergonômicas de trabalho
	Posição da superfície de tratamento
	Equipamentos utilizados
	Habilidade do profissional
	Densidade de armadura
	Tempo ocioso ou improdutivo

(fonte: elaborado pelo autor)

7.3. LIMPEZA

Com o objetivo de ilustrar a importância das etapas iniciais das intervenções, no que diz respeito à custos, Helene (1992, p. 85) afirma que diversos autores consideram a fase de preparação e limpeza do substrato responsáveis por pelo menos 50%, do sucesso de uma recuperação ou reforço. Por melhor e mais adequados que sejam os materiais usados na recomposição, de nada adiantará se não forem tomados cuidados neste momento.

A limpeza da armadura pode ser feita de diferentes maneiras e a opção por cada uma delas dependerá do tipo de impureza presente. Os métodos de limpeza podem ser por ação mecânica, ação química, solubilização e detergência. Os dois últimos são usados em casos em

que existe a presença de óleos e sujeira aderida, respectivamente, e a sua presença não acarrete em nenhum tipo de reação direta com o metal, o que só acontece quando o metal não está exposto. Portanto, estas soluções não servem para o caso em análise.

A ação química consiste na decapagem das barras de aço alteradas, isto é, na remoção de oxidações e impurezas inorgânicas presentes na superfície destes elementos. A decapagem química é feita através da aplicação de soluções ácidas, ou alcalinas. Parecido com o que acontece na decapagem eletrolítica, com a diferença que nesta última se aplica corrente elétrica no sistema, afim de se obter uma eletrólise.

No entanto, o principal método, e aquele que será abordado no trabalho, sendo o mais comumente utilizado para remoção da ferrugem das armaduras corroídas é a limpeza mecânica. Seu mecanismo está baseado na abrasão e consiste na eliminação dos produtos da corrosão pela passagem de partículas rígidas na superfície do aço. As maneiras mais usuais deste método são por escovação, lixamento ou jateamento de materiais abrasivos. A escovação e o lixamento requerem a utilização de escova de cerdas de aço e lixa manual ou lixadeira elétrica, respectivamente, acarretando em uma variação nos custos devido à diferença de equipamentos e materiais utilizados. Uma dificuldade na utilização destas ferramentas é a limpeza da face do aço que está direcionada para o lado interno da estrutura, pois aquele material será de difícil remoção. As figuras 16, 17 e 18, ilustram as situações de remoção dos produtos de corrosão da armadura.

Figura 16 – Remoção de produtos da corrosão com escova com cerdas de aço



(fonte: SILVEIRA, 2009)

Figura 16 – Remoção de produtos da corrosão com lixa manual



(fonte: SILVEIRA, 2009)

Figura 17 – Remoção de produtos da corrosão com lixadeira elétrica



(fonte: DASHOFER, 2010)

O jateamento de materiais abrasivos, por sua vez, pode ser executado com materiais metálicos, minerais, sintéticos, e até mesmo orgânicos, sendo o mais comum o uso de areia, que entra na classe dos minerais. Para esta atividade se faz necessário a utilização de um compressor de ar, ao qual se liga uma cuba de decapagem que contém o abrasivo. Se este equipamento não for utilizado frequentemente, é mais interessante obtê-los por meio de aluguel.

O DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte) indica que a limpeza de armaduras corroídas, em obras de arte especiais, deva ser realizada com escova de aço para pequenas áreas, e jato de areia para grandes áreas (DNIT, 2006, p. 2).

No quadro 6 é possível verificar a adequação dos procedimentos de limpeza para as superfícies do concreto e da armadura.

Quadro 6 - Procedimentos básicos para limpeza dos componentes do concreto armado

Procedimento	Procedimento mais adequado para			
	Concreto com superfície		Aço com superfície	
	Seca	Úmida	Seca	Úmida
Escarificação manual	adequado	adequado	inadequado	inadequado
Escarificação mecânica	adequado	adequado	inadequado	inadequado
Lixamento manual	inadequado	aceitável	adequado	aceitável
Lixamento elétrico	adequado	aceitável	adequado	aceitável
Escovamento manual	adequado	aceitável	adequado	aceitável
Jato de areia seco ou úmido	adequado	adequado	adequado	aceitável

(fonte: Helene, 1992, p. 85)

Voltando para o concreto, o objetivo da limpeza dessa superfície, é garantir que nenhuma substância com potencial de prejudicar a armadura e a durabilidade da recuperação, permaneça na estrutura. Devemos estabelecer métodos eficientes de limpeza para eliminar todos os vestígios de agentes agressores, sendo os principais, a carbonatação e os íons cloreto. O ideal seria a remoção total destes agentes no momento da escarificação do concreto, mas nem sempre isto é possível.

A contaminação por íons cloreto, por exemplo, é a maior preocupação em termos de segurança da armadura, pois se não tratada corretamente, novas pilhas de corrosão são geradas a longo prazo, em áreas adjacentes. Ela pode ocorrer em dois momentos distintos, um na execução da estrutura e outra pela penetração de agentes externos. Quando a contaminação ocorre durante a construção da estrutura, no caso de aditivos a base de $CaCl_2$, é recomendável a remoção de todo o concreto do entorno das armaduras, porém isso pode ser inviável prática e economicamente (CASCUDO, 1997, p. 101). Caso opte por essa intervenção, o custo da atividade será semelhante ao abordado no item 7.2, referente à atividade de remoção do concreto, com o acréscimo de um cuidadoso sistema de escoras.

Todavia, quando os íons cloreto penetram na estrutura por impregnação externa, formando as “frentes de cloretos”, o procedimento de limpeza mais adequado é o jateamento de materiais abrasivos ou o hidrojateamento. Reis (2001, p. 69) comenta que as lavagens mais comuns em superfícies de concreto são feitas com água fria e quente, soluções ácidas ou alcalinas, ou ainda por jatos alternados de água e areia. As soluções ácidas devem ocorrer com a saturação prévia da zona a ser tratada e posteriormente uma lavagem abundante, para não penetrarem no concreto sadio, e não devem ser usadas quando existe armadura exposta. Souza e Ripper (1998, p. 107) complementam que a solução ácida, na falta de especificação, é o ácido muriático misturado em água na proporção 1:6, e que a lavagem final deve ocorrer primeiramente com uma solução neutralizadora de amônia e água na proporção 1:4, e após jatos de água natural. No caso de utilização de soluções alcalinas, o cuidado não é com a armadura, e sim com os agregados, devido à possibilidade da reação álcali-agregado. Fora isto, os cuidados são os mesmos.

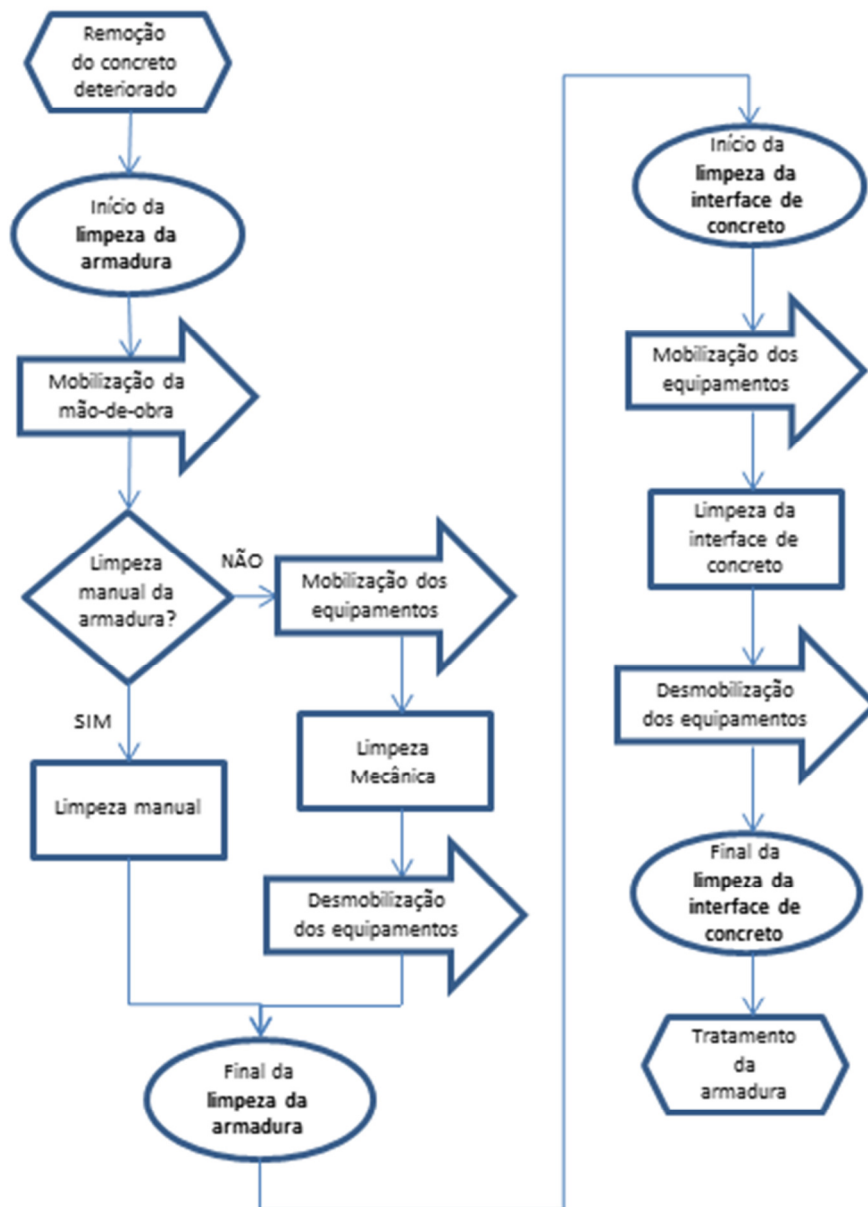
Sobre os custos da atividade, a mão-de-obra é a que tem maior representatividade. O valor atribuído a ela irá depender do tipo de equipamento e material que serão utilizados para essa tarefa, sendo que quanto mais simples forem estes, à exemplo de lixas manuais e escovas, maior será a sua importância frente à todos os outros custos. A mão-de-obra precisa ser qualificada e ter um mínimo de treinamento e responsabilidade para operar os equipamentos mais complexos, quando estes forem utilizados. Gastos com encargos, alimentação, EPI e horas extras também estão incluídos neste pacote.

O valor dos materiais são muito baixos, e praticamente insignificantes, pois a maioria não apresenta valores elevados no mercado, como areia, água, e até mesmo a lixa manual. Estes são materiais de fácil aquisição, e a quantidade necessária para a realização da tarefa não é muito grande, portanto variação de custos devido à distância e dificuldade de encontrar o material ou especificações técnicas não devem acontecer.

No entanto os equipamentos são o insumo que pode apresentar maior variação de custos, pois existem situações em que eles não são necessários, como em práticas manuais com lixa e escova, até o uso de bombas para jateamento de materiais particulados. Estes equipamentos podem ser de propriedade do profissional, ou alugados de terceiros. No caso de propriedade, os principais fatores dizem respeito a valor de aquisição, depreciação e manutenção, enquanto que se forem alugados, o que irá determinar o custo é apenas o período de locação.

A figura 19 apresenta um fluxograma de atividades para a execução de limpeza mecânica da armadura, enquanto que o quadro 7 lista todas as variáveis associadas à estas atividades.

Figura 19 – Fluxograma das atividades para limpeza mecânica da armadura



(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 7 – Principais variáveis que influenciam no processo de limpeza

Atividade	Principais variáveis intervenientes
Mobilização da mão-de-obra	Acesso do profissional ao local de trabalho
	Posse de ferramentas leves (ex: martelo, trena, etc.)

continua

continuação

Atividade	Principais variáveis intervenientes
Mobilização dos equipamentos	Tempo de transporte
	Tempo de instalação
	Peso do equipamento
Limpeza manual	Habilidade do profissional
	Velocidade de execução
	Área total de superfície de trabalho
	Tempo ocioso ou improdutivo
Limpeza mecânica	Velocidade de execução
	Área total de superfície de trabalho
Desmobilização dos equipamentos	Tempo de transporte
	Tempo de desinstalação
	Peso do equipamento
Limpeza da interface de concreto	Extensão e gravidade da contaminação
	Potência do equipamento
	Grau de abrasão do material utilizado
	Quantidade de material
	Movimentação de materiais
	Tempo ocioso ou improdutivo

(fonte: elaborado pelo autor)

7.4. COMBATE À CORROSÃO: FOCO NA ARMADURA

Para um combate eficaz da corrosão e a garantia de uma longa vida útil para a estrutura, é indispensável a utilização de um concreto de boa qualidade, com cobrimento e traço adequados. Entretanto, se o ambiente em que o objeto está inserido for agressivo, apresentando altos teores de cloretos ou sulfatos, este aspecto pode não ser suficiente, pois os agentes podem penetrar por trincas e poros do concreto e causar a corrosão da armadura.

Sendo assim, sugere-se que algumas medidas adicionais devem ser tomadas para proteção da armadura.

As principais medidas relacionadas à proteção física e química da armadura dizem respeito à proteção por técnicas eletroquímicas, revestimento através de depósito a base de zinco, pinturas poliméricas, entre outros. Indica-se a utilização destas medidas na construção de novas estruturas de concreto armado, assim como substituição de armaduras de aço carbono por materiais resistentes à corrosão, e algumas outras providências, visando um prolongamento da vida útil dos componentes. O custo destes serviços está bastante atrelado à mão-de-obra, pois deve ser a mais experiente e qualificada possível, aos materiais e equipamentos utilizados.

O objetivo desta etapa é recuperar a armadura sadia, e garantir que o processo de corrosão não volte a acontecer. Portanto serão descritos dois dos sistemas mais utilizados para esta finalidade.

7.4.1 Técnicas eletroquímicas

Para a reabilitação de estruturas afetadas por íons cloreto, além da reparação localizada, são utilizados métodos eletroquímicos. No caso de carbonatação do concreto, a realcalinização é uma das técnicas mais comuns. Estas técnicas são aplicadas sem a exposição da armadura, porém, em casos onde há a visualização da armadura, devem-se cobrir as barras de aço com um material parecido com o concreto original antes do início do tratamento. Outra técnica para a eliminação da carbonatação é a reparação convencional, que consiste na remoção de todo o material contaminado, e é exatamente a sequência de atividades descritas neste trabalho.

Para proteger a armadura afetada por corrosão, devido à presença de íons cloreto, são indicadas duas técnicas: a proteção catódica e a dessalinização. O método da remoção eletroquímica dos cloretos consiste em retirar íons cloreto do concreto mediante procedimento eletroquímico, envolvendo um ânodo de metal nobre, resinas de troca iônica e uma fonte de corrente contínua, porém sua praticidade é pequena, o que torna muito difícil a sua utilização. Segundo Ribeiro et al. (2014, p. 224) a proteção catódica é reconhecida pela *Federal Highway Administration*, nos Estados Unidos, como sendo a única técnica de reabilitação capaz de eliminar a corrosão de estruturas deterioradas por cloretos.

O controle do processo catódico se resume em evitar que o oxigênio chegue até a região da armadura, onde se darão as reações de corrosão, impedindo o desenvolvimento e evolução do problema. No entanto esta solução somente retarda a manifestação patológica, tornando essa medida temporária, mas se for bem executada é bastante eficaz.

Os componentes básicos dos sistemas de proteção catódica e dessalinização são parecidos, pois ambos constituem-se por um ânodo, cátodo (armadura), concreto (eletrólito) e a fonte de alimentação. As técnicas diferem com relação à fonte de alimentação, onde na proteção catódica é aplicada corrente contínua durante toda a vida útil da estrutura, afim de reduzir a velocidade de corrosão para aproximadamente zero, e na dessalinização a duração do tratamento é geralmente entre quatro e sete semanas. (RIBEIRO et al., 2014, p. 224)

Os ânodos irão variar conforme o tipo de estrutura ou elemento a proteger, o tempo de vida útil esperado e as condições ambientais que estará inserido. O dimensionamento deste elemento e o zoneamento do sistema devem estar bem definidos no projeto, para o sucesso da técnica. Existem diversos vários tipos de material indicados para esta função, podendo ser usados ânodos galvânicos ou de corrente impressa, malhas de titânio ativado ou até cerâmicas condutoras.

A respeito da fonte de alimentação, segundo Ribeiro et al. (2014, p. 227) a duração deste tipo de tratamento varia conforme a profundidade de carbonatação, a espessura de recobrimento, a qualidade do concreto, a geometria da armadura, a densidade e distribuição da corrente. Para densidades de corrente elevadas, a consequência é uma maior quantidade de materiais como ânodos e fios transmissores.

O serviço de instalação dos sistemas de proteção catódica e de dessalinização consiste, na maioria dos casos, em abertura de ranhuras no concreto, instalação dos ânodos e cobrimento deste com um eletrólito. Especificando o custo desta atividade, podemos atribuir como custo direto, a mão-de-obra, medida em unidade de tempo, o material anódico, medido em unidades de massa, a quantidade de material de recobrimento (normalmente argamassa), em unidade de massa. Como custo indireto, estão vinculados aos equipamentos de corte, de projeção de argamassa, entre outros, que são medidos por tempo produtivo, e energia elétrica, em medida de potência. A fonte de alimentação, no caso da proteção catódica, pode ser considerada como

custo direto, por estar permanentemente associada ao sistema, já na dessalinização esta é utilizada por um período de tempo reduzido, sendo medido em unidade de tempo produtivo.

Esta atividade não é muito corriqueira na construção civil, pois é difícil associar estes equipamentos e técnica com algo parecido, isso colabora para que a execução seja feita por um profissional qualificado e que entenda em detalhes o seu funcionamento. Assim como os materiais e equipamentos empregados devem ser rigorosamente escolhidos. Na tentativa de esclarecer os custos associados à técnica de proteção catódica de elementos de concreto armado, a seguir são listados algumas das variáveis intervenientes no tempo gasto pela mão-de-obra, e para o funcionamento do sistema.

- a) área onde deseja-se aplicar a técnica;
- b) quantidade de ânodos;
- c) características de instalação dos ânodos;
- d) energia elétrica para a fonte de alimentação;
- e) montagem dos equipamentos;

Como atividades que não influenciam no funcionamento da técnica, mas ajudam a quantificar os custos envolvidos, podemos listar:

- a) tempo improdutivo da mão-de-obra (ex: mobilização e desmobilização, tempo ocioso, inspeção, etc.);
- b) aquisição ou aluguel de materiais e ferramentas (ex: fonte de alimentação, ânodos, etc.)

As variáveis associadas a essas atividades são:

- a) volume de material para o ânodo;
- b) densidade de corrente elétrica necessária;
- c) valor de mercado para aquisição ou aluguel de materiais e ferramentas;

7.4.2 Revestimento da armadura

Este tipo de tratamento consiste no uso de barreiras físicas cuja finalidade é isolar a estrutura do contato com agentes agressivos, controlando o acesso de umidade e oxigênio até a armadura. A pintura é o principal meio de proteção de componentes metálicos. Tinta é um

produto líquido, ou em pó, que aplicado ao substrato forma uma película com características protetoras.

Pinturas epoxídicas ricas em zinco são as mais recomendadas para o tratamento superficial de armaduras. Esse elemento adicionado ao composto tem a função de atuar como ânodo de sacrifício, beneficiando desta forma, a durabilidade do aço (CASCUDO, 1997, p. 99).

Para o sucesso de um sistema anticorrosivo, é preciso que se tenha conhecimento técnico do processo de corrosão que está afetando a estrutura, e dos materiais disponíveis para serem empregados. A mão-de-obra especializada e o controle de qualidade também são de extrema importância, pois não deve ser admitida nenhuma falha de execução desta etapa.

Por se tratar de um processo detalhista, onde qualquer descuido relativo à qualidade do serviço pode gerar graves consequências e colocar tudo a perder, deve-se ter um controle sobre o método de aplicação, os tempos máximos e mínimos de demãos entre pinturas, a correta mistura dos componentes das tintas, entre outros. Pelo fato de barras de aço que compõe a armadura serem elementos esbeltos, o equipamento recomendado para a aplicação são rolos, trinchas e pincéis. Em estruturas com chapas de aço podem-se usar pistolas de projeção, mas este não é o caso das estruturas convencionais de concreto armado. A figura 20 mostra a aplicação de uma tinta especial para a proteção da armadura.

Figura 20 – Proteção da armadura com pintura



(fonte: NAKAMURA; FARIA, 2013)

Os custos atribuídos aos materiais e à mão-de-obra, da atividade de revestimento da armadura através de pinturas podem ser divididos em atividades que agregam valor e atividades

auxiliares. Para as atividades que agregam valor deve ser estimado e calculado o tempo gasto pelo profissional para aplicar a pintura e a quantidade de tinta usada para revestir a armadura. Para essas definições, são de extrema importância saber o comprimento e diâmetro das barras de aço e a quantidade de demãos indicadas em norma, e/ou pelo fabricante, para a aplicação da tinta.

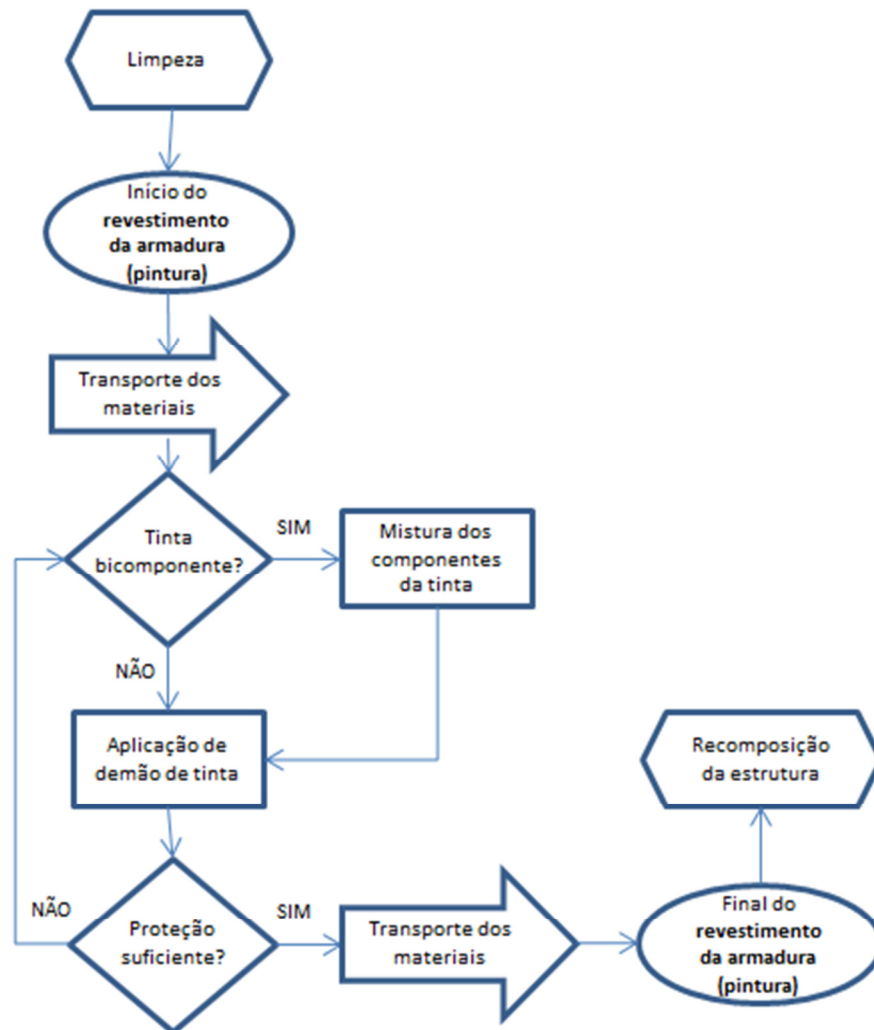
Na determinação dos custos das atividades auxiliares, ou seja, aquelas que não agregam valor, podem ser listados os seguintes fatores intervenientes:

- a) tempo improdutivo da mão-de-obra (mobilização e desmobilização, tempo ocioso, etc.);
- b) aquisição dos materiais e ferramentas utilizados (ex: tintas, pincel, etc.);
- c) equipamento de proteção individual (ex: luvas, máscaras, etc.).

A fim de esmiuçar os fatores listados acima, a quantificação dos mesmos deve ser influenciada por algumas das variáveis descritas abaixo e representadas na figura 21. O quadro 8 ainda salienta os principais itens e os associa às atividades presentes na figura.

- a) tempo de mistura do produto;
- b) intervalo de tempo entre demãos;
- c) quantidade de demãos;
- d) valor de mercado para aquisição ou aluguel dos materiais e equipamentos.

Figura 21 – Fluxograma das atividades para revestimento da armadura



(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 8 – Principais variáveis que influenciam no processo de revestimento da armadura com tinta

Atividade	Principais variáveis intervenientes
Transporte dos materiais	Quantidade de materiais
	Acessibilidade do local de trabalho
Mistura dos componentes da tinta	Tempo para homogeneização
	Quantidade dos componentes
	Tempo de pega

continua

continuação

Atividade	Principais variáveis intervenientes
Aplicação de demão de tinta	Quantidade de demãos
	Espessura da camada de tinta
	Período entre demãos
	Velocidade de aplicação
	Tipo de ferramenta utilizada

(fonte: elaborado pelo autor)

7.5. RECOMPOSIÇÃO DA ESTRUTURA

Quando a introdução de materiais no elemento estrutural é feita com a finalidade apenas de recomposição da estrutura, e não objetiva aumentar a capacidade portante desta, chama-se essa atividade de recuperação ou reparo estrutural. Os reparos em estruturas convencionais podem ser classificados em rasos, semiprofundos e profundos, de acordo com a profundidade alcançada, sendo essas medidas de zero até 2 cm, de 2 cm até 5 cm e a partir de 5 cm, respectivamente (SOUZA E RIPPER, 1998, p. 129).

Como as condições de acesso da água, de oxigênio e de cloretos, é o fator que determina a intensidade do processo de corrosão de armaduras, fica claro que a permeabilidade do concreto é decisiva para que ele ocorra. Nota-se então, que uma das soluções adotadas é a redução da permeabilidade do material que cobre a armadura. As exigências de qualidade, nesse caso, passam a estabelecer limites para a relação água/cimento, que é a principal responsável pela permeabilidade e resistência do concreto, e a concentração máxima de cloretos permitidos na sua dosagem (MEHTA E MONTEIRO, 2014, p. 190).

Outra condição que tem influência direta na permeabilidade é o cobrimento da armadura. Esse cobrimento irá variar em função da agressividade do ambiente, sendo maiores em ambientes mais hostis. Juntamente com essas informações são determinados limites máximos para abertura de fissuras, apesar de muitos pesquisadores concluírem que não existe relação direta entre abertura de fissuras e a corrosão de armaduras (MEHTA E MONTEIRO, 2014, p. 191).

Dentre os materiais aconselháveis para o uso nos serviços de reforço ou recuperação estrutural, o maior destaque vai para os concretos e argamassas. Em termos de qualidade e economia financeira, a melhor opção é preencher o espaço deixado pela remoção do concreto danificado com concreto sadio (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 83). Aspectos como a durabilidade dos serviços de recuperação ou reforço, por exemplo, devem ser observados mais rigorosamente em uma recuperação estrutural, comparativamente à casos de construções nos seus primeiros anos de vida.

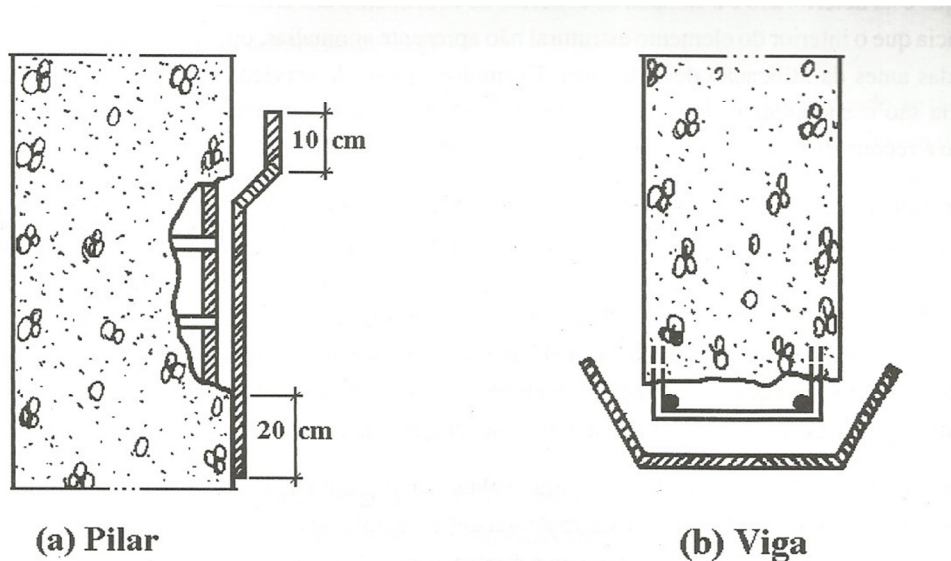
Para melhorar a proteção da armadura, podemos alterar a composição das argamassas e concretos do reparo, no entanto, Andrade (1992, p. 43) afirma que o cimento Portland, sem adições, é o que proporciona maior quantidade de reserva alcalina, e isso representa uma segurança frente à ação de agentes agressivos. A grande concentração de cimento pode gerar elevada retração, o que não é desejado, sendo uma alternativa o uso de alguns tipos de fibras, desde que não prejudiquem a essência do reparo. Aditivos plastificantes podem ser adicionados no intuito de se obter uma maior trabalhabilidade. Cada componente ou substância adicionada à mistura irá interferir diretamente no custo total do material, representando uma variável no preço final.

Outras opções para a recomposição são concretos com polímeros, sílica ativa ou pozolanas. O principal polímero usado é o epóxi, e as características incorporadas a partir da sua presença são a fluidez da mistura, aumento da resistência, impermeabilização e aderência. Já a sílica ativa, assim como as pozolanas, tem influência positiva na resistência a ataques químicos, na permeabilidade, porosidade e absorção, no entanto diminui o pH do composto (RIES, 2001, p. 55 – 62).

A aplicação desses concretos e argamassas pode ser realizada de diferentes maneiras. Uma delas é por projeção, que tem como característica principal a compacidade aderente e a compactação simultânea à aplicação. Esta técnica permite que o composto chegue a locais de difícil acesso, e pode ser aplicado de baixo para cima, para este caso será necessário o uso de equipamentos de projeção de argamassa e um operador qualificado. Outra maneira de se recompor o concreto removido é por meio de concretos e argamassas auto adensáveis. Neste caso, exige-se a incorporação de aditivos plastificantes, pois como a relação água/cimento deve ser baixa, por questões de permeabilidade, a mistura não teria condições ideais de adensamento.

As fôrmas são itens quase que indispensáveis para esta atividade, podendo ser compostas por diversos materiais, como madeira, aço, entre outros. Como existe uma infinidade de formatos de superfícies afetadas por corrosão de armaduras, que necessitam serem reparadas, o formato desses componentes é bastante variado. A figura 22 mostra exemplos de fôrmas que podem ser usadas para pilares e vigas.

Figura 22 – Fôrmas para diferentes preenchimentos



(fonte: SOUZA; RIPPER, 1998, p. 129)

Como descrito anteriormente, um dos fatores decisivos para a garantia da qualidade da recuperação estrutural é o cobrimento da armadura. Nesse sentido, quanto maior a espessura de cobrimento, maior tende a ser a proteção, e mais elevados tornam-se os custos desta atividade. Da mesma forma deve-se considerar a profundidade do reparo, pois quanto mais profundo tiver sido a remoção do material antigo, maior será o volume de material necessário para a recomposição do elemento.

A separação dos fatores que interferem no custo pode ser feita da seguinte forma: considerando o tempo gasto pela mão-de-obra e a quantidade de material necessário para preencher os espaços abertos no elemento de concreto, e tempo improdutivo da mão-de-obra (mistura, mobilização e desmobilização, tempo ocioso, etc.) e aquisição e manutenção de materiais e equipamentos (ex: bomba de projeção, betoneira, fôrmas, desempenadeira, EPIs, etc). Para o detalhamento destes itens, podemos citar as seguintes variáveis intervenientes:

- a) volume a ser preenchido;

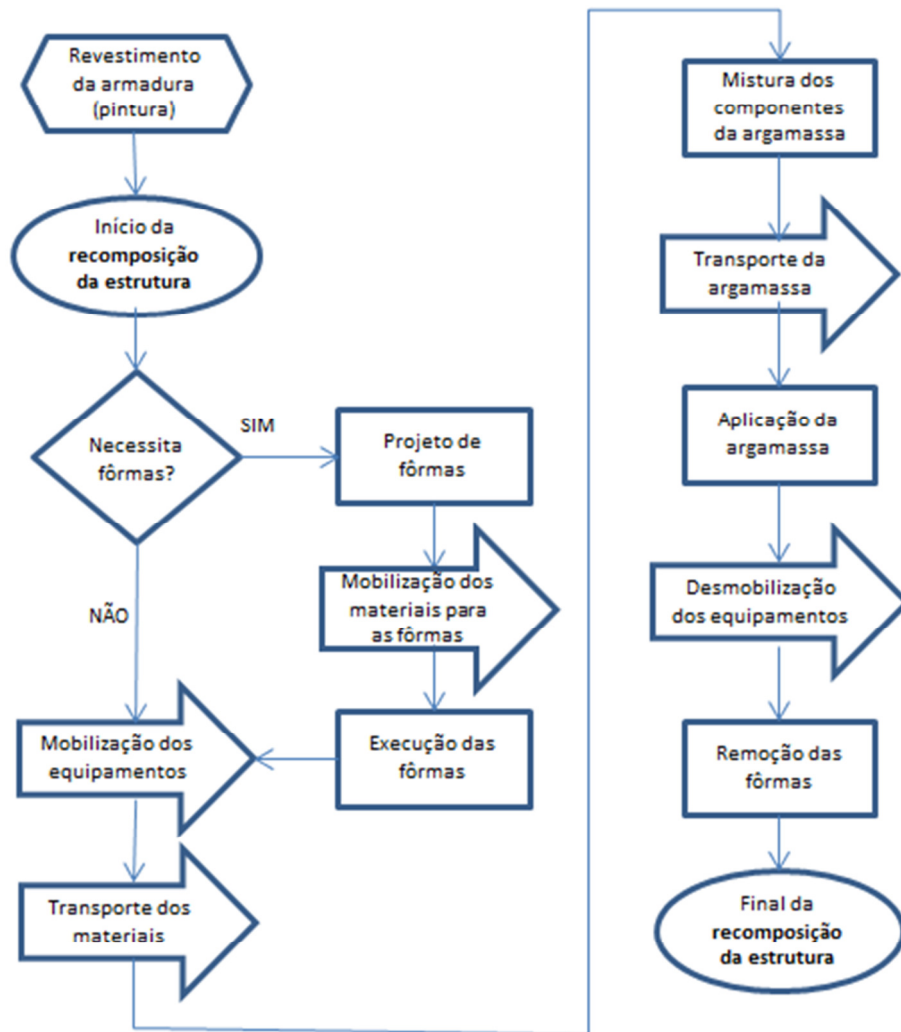
- b) área da superfície externa;
- c) tempo de mistura;
- d) tempo de transporte dos materiais e equipamentos;
- e) velocidade de aplicação da argamassa;
- f) valor de mercado para aquisição ou aluguel dos materiais e equipamentos;
- g) relação entre quantidade de componentes (cimento, água, agregados, pozolanas, etc.);
- h) condições de fixação das fôrmas e escoras;
- i) tipo de material das fôrmas e escoras;
- j) possibilidade de reutilização de materiais;

É importante saber a quantidade de cada um dos componentes na elaboração da argamassa, por exemplo, argamassas que apresentam maior volume de cimento comparado à pozolanas, terão um custo mais elevado. Isto vai depender das características desejadas para a camada de recomposição. A escolha do tipo de pozolana também influi na composição do custo. O uso de fibras, aditivos, polímeros, sílica ativa e pozolanas, implicarão numa variação do custo final produto. As fôrmas, que são essenciais para a delimitação do contorno da recomposição estrutural, representam um item de grande expressão no orçamento.

A aplicação da argamassa por meio de projeção tem como principais equipamentos a bomba injetora e o misturador de argamassa. As argamassas auto adensáveis, por sua vez, tem como principal equipamento a argamassadeira, ou a betoneira. Para ambos os métodos, a mão-de-obra qualificada é imprescindível para o sucesso do reparo, sendo sua despesa dividida em horas produtivas, improdutivas e auxiliares.

Como sempre, os EPIs são recomendados para a execução da tarefa, assim como equipamentos de uso geral do operário, como nível, colher de pedreiro, fio de prumo, carrinho de mão, etc. Estes são considerados custos indiretos da produção, pois também são usados em diversas outras atividades. Em caso de trabalhos em altura, equipamentos próprios para a prática também deverão ser considerados. A fim de identificar e melhorar a visualização das variáveis intervenientes foi elaborado o fluxograma apresentado na figura 23. O quadro 9 apresenta as principais variáveis intervenientes por atividade, no processo de recomposição da estrutura.

Figura 23 – Fluxograma das atividades para recomposição da estrutura



(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 9 – Principais variáveis que influenciam no processo de recomposição da estrutura

Atividade	Principais variáveis intervenientes
Projeto de fôrmas	Tempo para execução do projeto
Mobilização dos materiais para as fôrmas	Peso do material da fôrma
Execução das fôrmas	Quantidade de trabalhadores
	Montagem
	Extensão do reparo
	Sistema de fixação

continua

continuação

Atividade	Principais variáveis intervenientes
Mobilização dos equipamentos	Tipos de equipamentos
	Quantidade de equipamentos
	Sistema de transporte
	Logística
Transporte de materiais	Quantidade de materiais
	Logística de fornecimento
	Distância da obra até o fornecedor
Mistura dos componentes da argamassa	Tempo de mistura
	Quantidade de material
	Produtividade do equipamento e da mão-de-obra
	Espessura de cobrimento
	Profundidade do reparo
Transporte da argamassa	Equipamentos utilizados
	Quantidade de argamassa
Aplicação da argamassa	Equipamentos utilizados
	Trabalhabilidade da argamassa
	Habilidade do profissional
	Espessura de cobrimento
	Profundidade do reparo
Desmobilização dos equipamentos	Tipos de equipamentos
	Quantidade de equipamentos
	Sistema de transporte
	Logística
Remoção das fôrmas	Quantidade de fôrmas
	Quantidade de mão-de-obra

(fonte: elaborado pelo autor)

7.6. PROTEÇÃO DA SUPERFÍCIE DO CONCRETO

Após a realização de todas as etapas de recuperação de estruturas afetadas por corrosão de armaduras, passando pela remoção do material contaminado, limpeza do substrato, e recomposição do material cimentício, chega o momento de finalizar a intervenção. Nesta etapa procura-se proteger todo o elemento estrutural criando uma camada de isolamento para não haver a penetração dos agentes que promovem a corrosão da armadura, como água, íons cloreto, oxigênio e gás carbônico. O objetivo é o mesmo que o revestimento da armadura que visa proteger o aço. Entre os materiais usados com esta finalidade, estão as tintas orgânicas (epóxi, acrílica, poliuretana, vinílica, tintas asfálticas e betume), concreto de elevada densidade, argamassa polimérica de cimento Portland, e até mesmo materiais cerâmicos (RIBEIRO, 2014, p. 161).

A superfície que irá receber o material de revestimento deve estar livre de qualquer impureza, e deseja-se que essa camada também esteja polida, para que seja feita uma boa fixação. Esses preparos já foram descritos em seções anteriores.

Os revestimentos compostos por tintas orgânicas apresentam desempenho bastante satisfatório relativo à proteção da estrutura, atrasando consideravelmente a penetração de substâncias no concreto. Em termos de custos, a tinta, comparada aos outros materiais (argamassa, cerâmica, et.), é a mais barata.

Um fator que deve ser observado na hora da escolha da técnica é a durabilidade do material. Na maioria das vezes, os produtos mais baratos apresentam um ciclo de vida reduzido, o que compromete a sua funcionalidade. Outro fator importante é a presença de selador, que deve fazer parte de todas as pinturas de revestimentos externos, pois a sua presença garante a característica impermeabilizante da tinta. Outro fator a ser levado em conta, e não menos importante, é a susceptibilidade do revestimento se degradar no ambiente na qual ele será aplicado, o que deve ser estudado antes da aplicação.

No que diz respeito aos revestimentos de concreto impermeável e argamassa polimérica, o primeiro requer uma espessura entre 37,5 mm e 63 mm para cumprir sua finalidade e deve conter aditivo superplastificante na sua composição, pois para atingir uma condição de

impermeabilidade adequada, deve apresentar uma baixa relação a/c. Já o segundo consiste na mistura de cimento Portland com alguma resina polimérica (fenólica, furânica, epóxi, poliéster, estireno-butadieno), e deve ser aplicado sobre uma superfície de concreto previamente umedecida (RIBEIRO, 2014, p. 164).

A aplicação deste revestimento cimentício é realizada da mesma forma que os revestimentos convencionais de obras da construção civil. Pode ser chapada com colher de pedreiro ou projetada, incluindo-se na segunda opção o uso de uma bomba acoplada ao misturador. A produção deste concreto ou argamassa, normalmente é feita no próprio local, com o auxílio de betoneira, ou outro misturador, pois não é viável utilizar concretos dosados em centrais e transportados via caminhão, por se tratar de uma pequena quantidade de material.

Em termos de equipamentos, além das máquinas elétricas ou a diesel já citadas, faz-se o uso de ferramentas manuais comuns, como régua de alumínio, desempenadeira, colher de pedreiro, carrinho de mão, entre outros. Na figura 24 temos um exemplo de aplicação de revestimento cimentício com o método projetável.

Figura 24 – Revestimento de argamassa projetável



(fonte: SILVA, 2010)

Para a aplicação de revestimentos cerâmicos deve-se executar uma camada de argamassa anteriormente à instalação das placas. Esta camada pode ser comparada às técnicas descritas anteriormente, pois os procedimentos e os materiais são os mesmos. O revestimento cerâmico, porém, tem o acréscimo das placas e de tempo de execução, o que onera ainda a sua utilização. Em termos de custo, os valores são bem superiores às outras soluções.

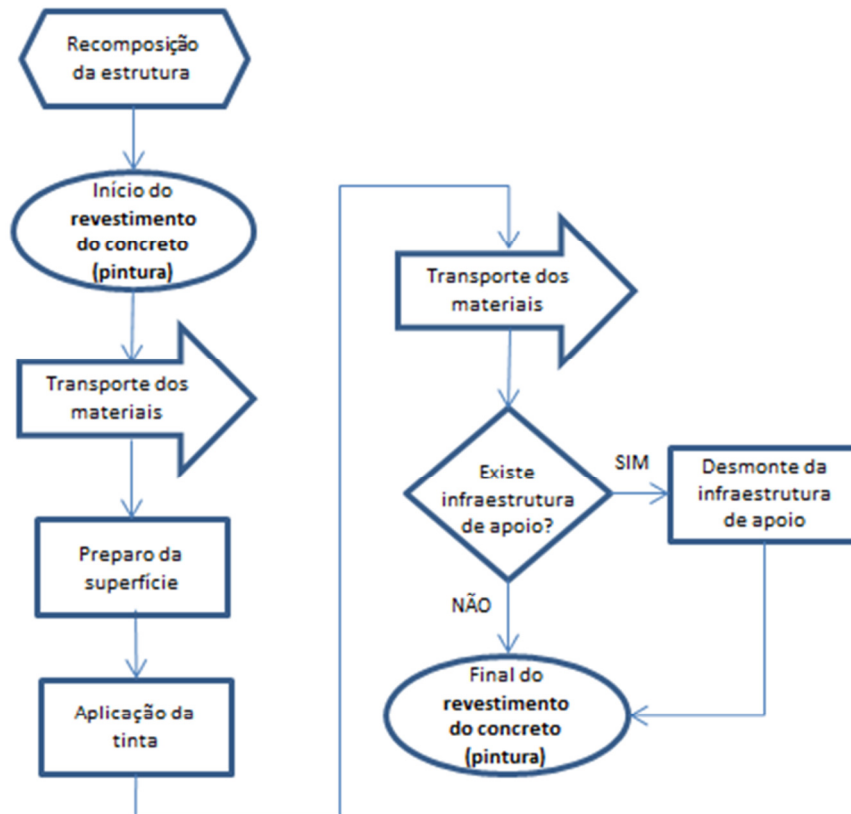
Assim como em todas as atividades, a quantidade de serviço e o tempo que se leva para realizar cada uma são os principais fatores que impactam no custo final. Neste caso, a medição do serviço é realizada com base na área total de superfície revestida e nos padrões de produtividade. O tempo de execução é um fator que altera diretamente o preço da mão-de-obra, e associado a isto está a fluidez do material que será aplicado no substrato. Quanto menos fluida for a argamassa, mais difícil é a sua aplicação, e mais tempo o serviço levará para ser executado.

Nesta etapa, os fatores intervenientes no custo, que podem ser associados diretamente à execução do serviço são o tempo produtivo do profissional e a quantidade de material necessária para aplicação. Fatores como o tempo improdutivo da mão-de-obra (mistura, mobilização e desmobilização, tempo ocioso, etc.) e a relação entre as quantidades dos materiais não são considerados na técnica da atividade, mas são imprescindíveis para o custo final e sucesso do revestimento. Abaixo estão listados algumas variáveis que contribuem para a orçamentação da atividade de revestimento com pintura do substrato.

- a) área de revestimento;
- b) trabalhabilidade do produto;
- c) número de demãos;
- d) período de intervalo entre demãos;
- e) valor de mercado para aquisição ou aluguel dos materiais e equipamentos (ex: bomba de projeção, rolo, pincel, pistola de tinta, etc.).

O revestimento com tinta pode ser composto por diversos materiais, sendo que essa escolha irá impactar no custo direto da atividade. Outro impacto direto é o número de demãos mínimo que é exigido pelo fabricante, na qual cada tinta tem a sua e deve ser bem observado, a fim de evitar problemas futuros. A figura 25 apresenta as variáveis intervenientes em formato de fluxograma, enquanto que o quadro 10 apresenta as principais variáveis intervenientes, por atividade, no processo de revestimento do concreto com pintura.

Figura 25 – Fluxograma das atividades para revestimento do concreto com tinta



(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 10 – Principais variáveis que influenciam no processo de revestimento do concreto com tinta

Atividade	Principais variáveis intervenientes
Transporte de materiais	Quantidade de materiais
	Acessibilidade do local de trabalho
Preparo da superfície	Materiais utilizados
	Método de aplicação
	Produtividade
	Extensão da superfície
Mistura dos componentes da tinta	Tempo para homogeneização
	Quantidade dos componentes
	Tempo de pega

continua

continuação

Atividade	Principais variáveis intervenientes
Aplicação da tinta	Quantidade de demãos
	Tipo de tinta
	Rendimento
	Durabilidade
	Produtividade
	Extensão da superfície
	Período entre demãos
	Velocidade de aplicação
	Ferramentas utilizadas

(fonte: elaborado pelo autor)

8. OUTROS FATORES INTERVENIENTES NO CUSTO PARA RECUPERAÇÃO DE CORROSÃO DE ARMADURAS

Este capítulo apresenta uma relação de outros fatores que podem interferir no custo de uma recuperação de corrosão de armaduras de concreto armado. Esses fatores atuam em diversos momentos da intervenção, por esse motivo serão descritos separadamente das atividades que realmente representam a produção. Dentre estes fatores, pode-se citar a necessidade de se realizar trabalhos em altura, a disponibilidade de material próximo, a exigência de mão-de-obra qualificada, o escoramento e fôrmas, e a prática de mobilização e desmobilização da mão-de-obra e equipamentos.

8.1. TRABALHO EM ALTURA

Toda e qualquer estrutura de concreto armado está sujeita à ação do meio externo e degradação dos seus componentes, estando a sua durabilidade diretamente associada ao grau de proteção destes, assim como à exposição às substâncias agressivas do ambiente. É coerente pensar que elementos estruturais localizados próximos às regiões onde há concentração de substâncias com elevado potencial agressivo estejam mais propícios a apresentarem manifestações patológicas, comparado à elementos mais distantes. Um exemplo são áreas de um edifício localizados próximos ao nível da rua, onde passam veículos emissores de gás carbônico, comparados aos últimos andares, onde a atuação desses gases não é tão intensa. Já para o caso de uma obra de arte especial, tanto a região do tabuleiro como as outras regiões da estrutura (pilares e fundações) podem estar susceptíveis à corrosão de armaduras, devido à emissão de gás carbônico em regiões próximas a todos estes elementos, ou ao fato de terem todos os elementos expostos à atmosfera (e à ação de cloretos, caso localizada em região com elevada concentração destes agentes agressivos).

Apesar do diferente nível de contribuição dos agentes agressores conforme a altura em que o elemento estrutural se encontra, podem ocorrer manifestações em regiões consideradas altas, o que demanda uma atenção especial em termos de equipamentos de acesso e segurança dos trabalhadores envolvidos. Considera-se trabalho em altura toda a atividade executada a uma distância superior a 2 metros do nível inferior, onde existe a possibilidade de queda do operário (NORMA REGULAMENTADORA NR-35, 2012, item 35.1.2).

8.1.1 Equipamentos

A altura ideal para a realização da maioria das atividades em superfícies verticais é aproximadamente 1,50 metros, pois permite um melhor desempenho por parte do operário. Contudo, nem sempre é possível adequar o ambiente de trabalho para esta situação, muitas vezes devido a questões de praticidade. Sugere-se então que, para atividades situadas em regiões com altura menor que dois metros, não sejam utilizados equipamentos auxiliares, como escadas e andaimes.

As escadas são equipamentos comuns e de fácil instalação, porém sua utilização é inviável para atividades de recuperação estrutural sem que haja o auxílio de outras plataformas, pois não fornecem o suporte necessário. A recomendação para seu uso é restrito a acessos provisórios e serviços de pequeno porte, como no caso de querer-se realizar uma avaliação visual da manifestação anteriormente o início da intervenção. Ainda assim, existem algumas recomendações a serem respeitadas acerca da sua utilização como a altura máxima das escadas unidirecionais ser de 5 metros, estarem posicionadas em locais com apoio sólido, o afastamento da base até a parede ser de $\frac{1}{4}$ do comprimento da escada, sempre que possível firmemente amarradas no topo, entre outras.

Para inspeção visual de áreas localizadas acima de 5 metros do piso e que não seja muito proveitoso usar equipamentos mais dispendiosos, pode-se optar pela utilização de um binóculo. Esta situação é justificável em casos de corrosão em fachadas de edifícios e, também, pontes e viadutos na qual é difícil o acesso ao local da manifestação.

Existem diversos tipos de andaimes e plataformas de trabalhos, e a escolha dependerá das características da região do entorno da estrutura afetada. Os modelos disponíveis são:

- a) andaimes simplesmente apoiados;
- b) andaimes fachadeiros;
- c) andaimes móveis;
- d) andaimes em balanço;
- e) andaimes suspensos;
- d) andaimes suspensos motorizados;
- f) plataformas por cremalheira;
- g) cadeira suspensa.

Cada uma dessas opções necessita de cuidados especiais para sua utilização, e devem ser projetados de maneira segura. Por serem diferentes, o custo deste item será determinado pela quantidade de material exigido e a complexidade para a sua montagem, assim como o tipo de material usado. Os materiais mais comuns são metálicos, podendo existir ainda material sintético ou madeira, sendo que andaimes de madeira só podem ser utilizados em obras de até, aproximadamente, 7 metros. O preço da madeira é menor, comparado às estruturas metálicas, o que reduz o impacto no orçamento final, caso a escolha seja por esta composição.

8.1.2 Providências (documentos, capacitação, etc)

Para a realização de atividades de recuperação em alturas elevadas que não sejam rotineiras, é preciso fornecer uma análise de risco e uma permissão de trabalho. Já para as atividades consideradas rotineiras, deve ser elaborado um procedimento operacional, dentro do qual a análise de risco pode ser abordada de forma mais sucinta (NR 35, NORMA REGULAMENTADORA, 2012). Esta análise consiste em um documento esclarecendo todos os perigos e providências cabíveis para que não ocorra nenhum desastre devido ao trabalho em altura. O desenvolvimento deste levantamento de informações demanda tempo e conhecimento de profissionais responsáveis pela segurança do trabalho, que entra na conta dos custos da mão-de-obra deste item.

A NR-35 determina que as empresas responsáveis pelo serviço devem ter seus trabalhadores devidamente capacitados para a função, portanto é exigido que elas promovam programas de treinamento para preparação às atividades de trabalho em altura. Estas atividades constituem um custo indireto, pois não está diretamente ligado à atividade de recuperação, e sim contabilizado com tempo improdutivo da mão-de-obra.

8.2. DISPONIBILIDADE DE MATERIAL PRÓXIMO

Antes de se iniciar qualquer atividade de intervenção estrutural, é importante que se realize um planejamento de todo o procedimento executivo. Neste planejamento devem estar incluídos todos os materiais indicados para todos os estágios do serviço. O processo de execução de atividades para recuperação de estruturas afetadas por corrosão de armaduras pode ser considerado como padronizado, por ter suas etapas principais bem definidas e

consolidadas, assim como foi descrito no capítulo anterior, entretanto os materiais utilizados podem variar bastante.

Todos os materiais considerados na concepção da intervenção devem estar a disposição do trabalhador no momento da atividade. Muitos dos materiais utilizados precisam ser adquiridos com antecedência, por não serem muito comuns na construção civil, é o caso algumas de resinas de fibras especiais. Caso esses precisem ser adquiridos com urgência, será acrescentado um valor extra de transporte. Esta situação implicará em um aumento no custo do material.

A disponibilidade de material não é um problema somente daqueles que tem baixa demanda. Sempre que alguma atividade tiver que ser realizada, todos os seus materiais devem localizados e avaliados conforme a viabilidade da sua aquisição, sendo o transporte o item a ser acrescentado neste cálculo. Um exemplo de material que é imprescindível em qualquer atividade da construção civil é a areia, portanto, deve-se averiguar de onde este material será adquirido. Basicamente o que deve ser analisado é a distância entre a areira mais próxima e o local da recuperação, e quanto será o valor acrescentado ao custo devido ao transporte.

8.3. MÃO-DE-OBRA QUALIFICADA

Pode se dizer que a mão-de-obra, na composição de custos, é um dos itens que apresenta a maior variabilidade, pois apesar da exigência por profissionais capacitados para a execução dos serviços de recuperação, nem sempre estes encontram-se disponíveis. Para trabalhar com recuperação de estruturas de concreto armado deve-se ter experiência na atividade, e bastante conhecimento a respeito das características e peculiaridades do material utilizado. A mão-de-obra deve dominar o processo de recuperação e o manuseio das resinas, assim como ser implementado um sistema rigoroso de controle da qualidade.

Os principais motivos para se exigir experiência prévia e comprometimento dos operários, é que o material utilizado nessas intervenções é caro, e o trabalho geralmente é artesanal. Infelizmente, não é incomum encontrar atividades de recuperação mal executadas, seja pela mão-de-obra não capacitada ou pela falta de acompanhamento do profissional responsável. Antes de iniciar qualquer atividade, é importante que se realize um quantitativo aproximado de todo o serviço. A remuneração da mão-de-obra fica a cargo do responsável pela

intervenção, podendo ser proporcional aos serviços executados. Para isso é recomendável que exista fiscalização com medição destes serviços.

Salienta-se que a medição por si só não pode ser a única responsável pela definição da remuneração da mão-de-obra. As atividades desenvolvidas devem ser também fiscalizadas pelo profissional responsável ao longo de todo o desenvolvimento do processo de recuperação, visando a qualidade do serviço executado.

No cálculo da mão-de-obra, está se considerando as atividades de suporte para o serviço em questão, como o transporte de materiais, a atividade de mistura, quando necessária, entre outros.

8.4. ESCORAS E FÔRMAS

O uso de fôrmas e escoramento é atribuído à necessidade de se manter uma estrutura estável e garantir a segurança para as atividades que nela serão realizadas. O projeto destes itens deve ser elaborado com cuidados como determinar exatamente o posicionamento dos elementos, definir as cargas adotadas para o dimensionamento e detalhar a correta execução da montagem, do jeito que estabelece a NBR 15696 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009)

A NBR 15696:2009 define como escoramento remanescente, o uso de estruturas provisórias que objetivam auxiliar as estruturas de concreto já existentes que não tem capacidade de resistir à todas as cargas permanentes e/ou variáveis solicitantes. Portanto, estes elementos devem ser dimensionados a partir de uma análise de carregamentos e um levantamento da capacidade portante dos elementos estruturais. A tendência é que quanto maior a quantidade de escoras e sua capacidade resistente, maior será o custo associado.

Na construção civil, é comum a utilização de elementos de madeira para o escoramento de obras menos complexas. Essa era a opção mais escolhida há algum tempo atrás, pois a madeira é um material de fácil trabalhabilidade, e com um custo de aquisição relativamente baixo, comparado a outros sistemas. A madeira mais utilizada para este fim era o Eucalipto. Esse panorama tem mudado nos últimos tempos, pois além de a madeira ter ficado mais cara, houve o surgimento das escoras metálicas, que dentre outras características, permitem uma

maior reutilização do material e adaptação à diferença de cota entre as superfícies de apoio. As escoras metálicas substitutas da madeira são tubulares ajustáveis, a qual compõe dois tubos deslizando um por dentro do outro. Porém, um ponto negativo é o elevado custo deste material, comparado à madeira, e quando utilizado em grande quantidade gasto é bastante dispendioso. Mesmo com esse novo sistema de escora, as construções que não necessitam elevado suporte ainda optam pelas escoras de madeira.

As peças de escoramento metálico exigem manutenção, como repintura, engraxe e desamassamento. Devido a isso, muitos dos equipamentos utilizados em obras da construção civil estão cada vez mais sendo alugados e não adquiridos. No preço de locação, estão embutidos ainda os custos de projeto, assistência técnica e administração dos materiais. Isso se deve a identificação, por parte das empresas, de que não é viável adquirir um equipamento que não será usado frequentemente, pois os custos se tornam elevados. Esta consideração deverá ser feita no orçamento da atividade, visto que o preço de uma escora alugada difere de uma escora comprada. Nas figuras 26 e 27 podemos observar exemplos de escoras de madeira e metálica, respectivamente.

Figura 26 – Escoras de madeira



(fonte: www.mfrural.com.br⁷)

⁷ Disponível em: <http://www.mfrural.com.br/mobile/ClassificadosAnuncio.aspx?id=127063>

Figura 27 – Escoras metálicas



(fonte: www.mecamil.com.br)

No que diz respeito às fôrmas, existem alguns materiais disponíveis no mercado, sendo o compensado de madeira e o metálico, os mais utilizados. A principal característica delas deve ser a estanqueidade, de modo a impedir a perda de pasta de cimento, portanto, se o material disponível cumprir esta função, pouco importará a sua composição. A natureza do material irá afetar prioritariamente a sua reutilização. Quanto maior o número de vezes que uma fôrma pode ser reutilizada, menor será seu custo de utilização, pois levará mais tempo para a necessidade de sua reposição. A isso está associado também, o uso correto de desmoldante. Além do desmoldante, ainda podem ser considerados como componentes das fôrmas, pregos e sarrafos.

Para fins de orçamentação, as fôrmas, independentemente do material que foram fabricadas, são medidas em metros quadrados (m^2). As escoras, por sua vez, se forem alugadas, terão seu custo embutido no preço do aluguel, mas se forem calculadas sua unidade de medida é o metro cúbico (m^3). Este último leva em consideração a área apoiada, assim como a altura entre a face inferior e o nível de assentamento de escoramento.

⁸ Disponível em: <http://www.mecamil.com.br/locacao-escoramento-metalico-lajes>

8.5. MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO DA MÃO-DE-OBRA E EQUIPAMENTOS

A mobilização envolve uma série de ações e merece ser cuidadosamente conduzida para não comprometer a segurança e a produtividade dos serviços de recuperação estrutural. Durante esta etapa é montada toda a infraestrutura necessária para auxiliar na execução das atividades finais, como o transporte e a instalação de equipamentos. O cálculo do custo de transporte de determinado equipamento é feito a partir do custo horário considerando depreciação e juros.

Muitas vezes, esta etapa pode ser considerada um diferencial para algumas empresas. Quanto mais rápida é efetuada a mobilização de trabalhadores e equipamentos, mais tempo esta terá disponível para executar a tarefa de recuperação. Este tempo necessário para mobilizar e desmobilizar os envolvidos nas atividades deve ser levado em consideração nos custos totais. Sabe-se que essa mobilização gera gastos, mas a única discussão se refere à consideração deste custo como direto ou indireto. Muitas empresas o consideram como custo direto, mas especialistas afirmam que o mais adequado é colocar a mobilização como despesa indireta.

Os custos de mobilização podem ser muito variáveis. Um exemplo pode ser a atividade de recuperação de elementos estruturais de uma ponte, cujo acesso é difícil e existe a necessidade de se instalar um sistema de suporte com andaimes, ou outros equipamentos, pois o serviço é em altura elevada. Comparando esta situação com o tratamento da superfície de um pilar localizado no andar térreo de uma edificação, temos algumas atividades que não agregam valor à atividade final, como o transporte de equipamentos até o local crítico e a movimentação dos operários. Sendo assim, estes custos são registrados na mobilização e desmobilização do ambiente de trabalho. Descaso com procedimentos aparentemente corriqueiros durante a mobilização pode significar atrasos e desperdícios.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste trabalho foi elaborar um fluxograma de atividades em conjunto com uma tabela para análise das estruturas deterioradas por corrosão de armaduras, onde estivessem listadas as principais variáveis intervenientes na elaboração da orçamentação das atividades de reparo e recuperação estrutural. Não foi possível listar todos os fatores que contribuem na composição de custos destas atividades, pois muitas delas são insignificantes ou não estão presentes no método utilizado pelo profissional.

Houve dificuldade para determinar um padrão de execução das atividades de recuperação, na medida em que cada profissional trabalha de uma maneira, e tem preferências por este ou aquele método. Apesar disto, procurou-se descrever o passo a passo do processo tendo como base o que é descrito pela maioria dos autores como sendo o ideal para situações onde ocorra esta manifestação patológica. E com esses dados foi possível elaborar fluxogramas genéricos para cada etapa do processo, e obter listas com os principais fatores responsáveis pela composição de custos e variação nos preços finais.

Neste trabalho pode-se concluir que as etapas presentes na maioria dos procedimentos de recuperação e reparo dessas estruturas são:

- a) inspeção preliminar;
- b) inspeção detalhada;
- c) delimitação do contorno de reparo;
- d) remoção do material deteriorado;
- e) limpeza
- f) revestimento da armadura
- g) recomposição da estrutura
- h) revestimento da superfície de concreto

Na etapa de inspeção preliminar, a mão-de-obra é o fator com maior representatividade no custo, pois, além da necessidade dela ser especializada, não são usados materiais ou equipamentos muito elaborados. Porém ela não tende a ser variável, sendo indicada por um

valor fixo por hora trabalhada. As etapas de inspeção detalhada, delimitação do contorno de reparo e remoção do material deteriorado, ainda tem a mão-de-obra especializada como o principal fator do custo, porém desta vez são utilizados equipamentos específicos em cada uma delas, como o extrator, a cerra elétrica e o martelo pneumático, respectivamente. Estes equipamentos são os itens com maior variabilidade do orçamento, pois podem tanto ser alugados como comprados, e os custos associados a cada prática são diferentes um do outro.

As atividades de limpeza, revestimento da armadura, recomposição da estrutura e revestimento da superfície de concreto, tem os materiais como um insumo de extrema importância na obtenção do custo final. Existem diferentes tipos de materiais que podem ser aplicados em cada etapa, e as quantidades irão depender das dimensões do local da intervenção, e isso é a principal causa da variação do custo. É importante salientar que também são necessários mão-de-obra qualificada, e alguns equipamentos específicos para cada atividade.

Observou-se também, que alguns custos não podem ser atribuídos à uma etapa específica, pois estão atrelados à todo o processo de recuperação, como é o exemplo de instalação de plataformas auxiliares para trabalhos em altura, e o uso de escoras que visam garantir a segurança da estrutura, em termos de capacidade de carga, enquanto os reparos são executados. Estes itens, como outros, menos significativos, são bastante variáveis e significativos na elaboração do preço final de um reparo e recuperação estrutural.

Pensava-se, no início do trabalho, em avaliar um caso real seguindo os passos do estudo elaborado, porém não foi possível tal atuação devido a uma série de fatores, entre elas o tempo para a realização do trabalho. Para trabalhos futuros, uma possível indicação é elaborar um quantitativo de custos avaliando cada item descrito neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: edificações habitacionais – desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

CARVALHO, L. F. de; PINI, M. S. **Engenharia de Custo aplicada à Construção Civil** 2013, 33 f. São Paulo: Pini, 2013. Disponível em: <http://www.piniweb.com.br/empresa/download/Engenharia_custos_aplicada_a_construcao_civil.pdf>. Acesso em: 10 set. 2015.

CASCUDO, O. **O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto**: inspeção e técnicas eletroquímicas. 1. ed. São Paulo: Pini, 1997.

CORDEIRO, F. R. F. de S. **Orçamento e Controle de Custos na Construção Civil**. 2007. 65 f. Monografia (Curso de Especialização de Construção Civil), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

GOMIDE, T. L.; PUJADAS, F. Z. A; FAGUNDES NETO, J. C. P. **Técnicas de inspeção e manutenção predial**: vistorias técnicas, check-up predial, normas comentadas, manutenção x valorização patrimonial, análise de risco. São Paulo: Pini, 2006.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em Armaduras para Concreto Armado**. 1. ed. (4. tiragem) São Paulo: Pini, 1986 (tiragem 1999).

_____. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras**: dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos. 1. ed. (3. tiragem) São Paulo: Pini, 2006 (tiragem 2007)

MIOR JÚNIOR, C. **Deterioração de Elementos de Cobertura em Concreto Armado**: diagnóstico com enfoque na corrosão de armaduras. 2013. 91 f. Trabalho de Diplomação (Graduação de Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2. ed. ver. atual. São Paulo: Pini, 1997.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

RIBEIRO, D. V. (Coord.); SALES, A.; SOUSA, C. A. C. de; ALMEIDA, F. do C. R.; CUNHA, M. P. T.; LOURENÇO, M. Z., HELENE, P. **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado**: Teoria, Controle e Métodos de Análise. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SILVA, E. A. da. **Técnicas de Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. 2006. 84 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi, São Paulo, 2006.

SILVA, L. K. da, **Levantamento de Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado no Estado do Ceará**. 51 f. Monografia de final de curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011.

SOUZA, V. C. M. de; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998.

THOMAZ, E. **Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 1. ed. (3. tiragem) São Paulo: Pini, 1989 (tiragem 1998).

TUTIKIAN, B. F.; MILLEN, E.; SILVA FILHO, L. C. P. da; SILVA, M. A. C.; HELENE, P.; CARMONA, T.; BITTENCOURT, T. Programa de redução de riscos e aumento da vida útil de estruturas. **Concreto: Aliado na Construção de Cidades Sustentáveis**. v. 68, p. 52-56, Out.-Dez. 2012. São Paulo: IBRACON 2012.

WINTER, N. B. *Understanding Cement The fast start user-friendly insight into cement production, cement hydration and concrete chemistry*. 1. ed. UK: WHD Microanalysis Consultants Ltda, 2012.