

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ÉDER HENRIQUE MOURA SANTOS

**AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE REPAROS EM PILARES DE
CONCRETO ARMADO**

CAMPO MOURÃO

2018

ÉDER HENRIQUE MOURA SANTOS

AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE REPAROS EM PILARES DE CONCRETO ARMADO

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Fukunaga Surco

Coorientadora: Prof. Dr^a Thelma Pretel Brandão Vecchi

CAMPO MOURÃO

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE REPARO EM PILARES DE CONCRETO ARMADO

por

Éder Henrique Moura Santos

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 10h15min do dia 28 de novembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado

**Prof^a. Dr^a. Fabiana Goia Rosa de
Oliveira**
(UTFPR)

**Prof. Me. Adalberto Luiz Rodrigues
de Oliveira**
(UTFPR)

**Prof^a. Dr^a. Thelma Pretel Brandão
Vecchi**
(UTFPR)
Coorientadora

Prof. Dr. Douglas Fukunaga Surco
(UTFPR)
Orientador

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenadora do Curso de Engenharia Civil: **Prof. Dr^a. Paula Cristina de Souza**

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha mãe, pelo apoio financeiro que me possibilitou viver e concluir meu curso em outra cidade, assim como todo o apoio emocional que, mesmo estando longe, nunca deixou de existir, em todas as situações e decisões que surgiram em minha vida, durante estes cinco anos de graduação.

Em seguida, agradeço os amigos que foram minha família nesta cidade, os que estiveram e ainda estão ao meu lado, sempre me dando suporte, em situações ruins ou boas, desde o primeiro dia de aula, além de me proporcionarem momentos memoráveis.

Por fim, agradeço aos professores e responsáveis pelos laboratórios de engenharia civil, os quais fizeram parte da minha história, direta ou indiretamente, em especial ao meu orientador, pelos momentos de compartilhamento de ideias, pelo grande aprendizado proporcionado dentro e fora de sala de aula.

RESUMO

As estruturas sofrem com muitas patologias, devido à má execução, uso incorreto, falha de projeto, etc. Dentre as patologias, a mais verificada em obras civis de concreto armado é a corrosão da armadura. Desta forma, medidas devem ser tomadas para recuperar essa estrutura e, para isso, a técnica mais utilizada é o tratamento da armadura corroída e posterior recomposição. Este trabalho apresenta um estudo afim de avaliar o processo de recomposição, assim como os materiais comumente utilizados nesta técnica, como o graute e o adesivo estrutural. Para as análises, foram feitos ensaios com um carregamento estático normal aos pilares, em pilares moderadamente esbeltos, divididos em grupos, onde cada grupo retrata um processo ou material diferente. Após as análises, conclui-se que pilares com recomposição resistem a esforços menores, e o graute demonstrou ser um excelente material para recomposições.

Palavras-chave: Técnicas de reparo. Graute. Adesivo estrutural.

ABSTRACT

Structures suffer from many pathologies due to poor execution, misuse, failure of design, etc. Among the pathologies, the most verified in civil works of reinforced concrete is the corrosion of the reinforcement, and thus, techniques are adopted to recover this structure, in this pathology the most commonly used technique is the treatment of corroded reinforcement, and later recomposition. This work presents a study, in order to evaluate the recomposition process, as well as materials commonly used in this technique, such as grout and structural adhesive. To perform the analysis, tests are carried out, with a static load normal to the columns, in moderately slender columns, divided into groups, where each group depicts a different process or material. Finally, it is concluded that the columns with the recomposition are less resistant to tensions, and grout has proved to be an excellent material for recompositions.

Keywords: Repair techniques. Grout. Structural adhesive.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mecanismo de corrosão da pilha.....	19
Figura 2 - Mecanismo de corrosão eletroquímica na barra de aço.	20
Figura 3 - Esforços causados por corrosão eletroquímica.	21
Figura 4 – Reação de carbonatação.	23
Figura 5 – Remoção do concreto com uso de martelo e talhadeira.	26
Figura 6 – Fluxograma de preparo do substrato.	27
Figura 7 – Remoção de produtos da corrosão com escova de cerdas de aço. 28	
Figura 8 – Remoção de produtos da corrosão com lixa manual.	29
Figura 9 – Remoção de produtos da corrosão com lixadeira elétrica.....	29
Figura 10 – Fluxograma de limpeza.	31
Figura 11 – Proteção da armadura com pintura.	33
Figura 12 – Fluxograma do processo de tratamento da armadura.....	34
Figura 13 – Formas para recomposição.....	37
Figura 14 – Fluxograma da recomposição.	38
Figura 15 – Caracterização dos grupos de pilares.	44
Figura 16 – Formas sem as laterais.	46
Figura 17 – Confecção dos estribos.....	47
Figura 18 – Armaduras prontas.....	47
Figura 19 – Balança para pesagem dos materiais do traço.	48
Figura 20 – Betoneira de eixo inclinado.	48
Figura 21 – Fôrmas prontas para concretagem na mesa vibratória.	49
Figura 22 – Pilares concretados e adensados.	50
Figura 23 – Pilares úmidos e cobertos.....	50
Figura 24 – Misturador.	51
Figura 25 – Dosagem do adesivo.....	52
Figura 26 – Pilares recompostos.....	52
Figura 27 – Corpos-de-prova de concreto.....	53
Figura 28 – Corpos-de-prova de graute.	54

Figura 29 – Corpos de prova fresados.....	54
Figura 30 – pilares, preparados para os ensaios.	56
Figura 31 – Primeiro pilar que foi ensaiado.....	57
Figura 32 – Corpos-de-prova de graute rompidos.....	59
Figura 33 – Corpos-de-prova de concreto rompidos	60
Figura 34 – Gráfico de força normal máxima.	63
Figura 35 – Pilares ensaiados, grupo A (pilares referência).....	65
Figura 36 - Pilar 1, Grupo A (pilares referência).....	65
Figura 37 - Pilares ensaiados, Grupo B (apenas com concreto).....	66
Figura 38 - Pilar 1, Grupo B (apenas com concreto).	67
Figura 39 – Pilar 4, Grupo B (apenas com concreto).	67
Figura 40 - Pilares ensaiados, Grupo C (adesivo e concreto).....	68
Figura 41 - Pilar 4, Grupo C (adesivo e concreto).....	69
Figura 42 – Pilar 3, Grupo C (adesivo e concreto).	69
Figura 43 - Pilares ensaiados, Grupo D (adesivo e graute).	70
Figura 44 - Pilar 1, Grupo D (adesivo e graute).....	71
Figura 47 - Pilar 2, grupo D (adesivo e graute).	71
Figura 48 - Pilar 3, grupo D (adesivo e graute).	72
Figura 49 – Pilar 4, grupo D (adesivo e graute).....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Manifestações patológicas no estado do Ceará.....	18
Quadro 2 – Reação de carbonatação.	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – f_c do concreto e graute.	58
Tabela 2 – Ensaio nos pilares.	62
Tabela 3 – Locais de ruptura dos pilares.	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos específicos.....	14
3	JUSTIFICATIVA.....	15
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
4.1	Corrosão de armaduras.....	17
4.1.1	Corrosão eletroquímica	18
4.1.2	Carbonatação do concreto	21
4.1.3	Ação de cloretos.....	23
4.1.4	Ação de ácidos.....	24
4.2	Recuperação de elementos de concreto armado.....	25
4.2.1	Preparo do substrato	25
4.2.2	Limpeza.....	28
4.2.3	Tratamento da patologia.....	32
4.2.4	Recomposição da estrutura.....	34
4.3	Adesivos estruturais	38
4.3.1	Adesivos base epóxi.....	39
4.3.2	Adesivos base poliuretano	40
4.3.3	Adesivos base acrílico modificado	40
4.4	Graute	41
5	METODOLOGIA	44
5.1	Materiais utilizados.....	45
5.2	Elaboração dos pilares.....	45
5.3	Recomposição dos pilares	51
5.4	Ensaio de compressão em corpos-de-prova	53
5.5	Ensaio para determinação da força normal de ruptura.....	55

6	RESULTADOS.....	58
6.1	Resistência a compressão do concreto e recomposição (f_c).....	58
6.2	Ensaio para determinação da força normal de ruptura.....	60
7	CONCLUSÕES.....	73
	REFERÊNCIAS.....	74

1 INTRODUÇÃO

Contextualizando historicamente, o concreto foi concebido pelos romanos, superando as limitações construtivas da época. Com o avanço das ideias e conceitos, constitui-se o que hoje é chamado de concreto armado ou protendido (ISAIA, 2011).

Segundo a NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – procedimento (ABNT, 2014), o concreto resiste muito bem a compressão, porém a tração deixa a desejar; se comparado a resistência a compressão, corresponde a cerca de 10%. Desta maneira, o aço tem a função de resistir a tração, completando o concreto armado.

Andrade (2006) defende que as estruturas de concreto são largamente utilizadas mundialmente, tornando o concreto armado o segundo material mais consumido no mundo, perdendo somente para água.

No entanto, com o tempo, as estruturas de concreto armado se deterioram, seja pela falta de manutenção, má execução, falhas de projeto, entre outros. Devido a este fato, há necessidade de manutenção, reparos, reforços e recuperações nessas estruturas (ARAÚJO, 2002).

Este cenário em constante evolução de técnicas de reforço e recuperação proporciona um crescimento no mercado de novos materiais. Porém, pouco adianta um ótimo dimensionamento do reforço ou reparação do elemento, se esse dimensionamento teve premissas erradas ou pouco precisas; antes do dimensionamento é necessário que o engenheiro verifique todas as variáveis envolvidas, como: identificação de patologias, necessidade de intervenção emergencial, recursos e acessos a serem utilizados, tratamento das causas patológicas, durabilidade da estrutura, seleção da técnica de reforço e/ou recomposição e custo do processo, já que o processo de recomposição e/ou reforço, em geral, é mais caro e mais árduo que uma nova construção do elemento (NAKAMURA, 2009).

Sobre o processo patológico, Broto (2005) o separa em três partes: a origem, a evolução e o resultado final. Para o estudo do processo patológico, convém recorrer a esta sequência de modo inverso, em que se observa

primeiramente o resultado da anomalia, depois os sintomas, para, seguindo a evolução da mesma, alegar sua origem: a causa. Este processo auxilia na estratégia de reparação e/ou reforço.

As patologias são originadas, em sua maioria, de falhas ocorridas no processo de construção civil, e podem ser evitadas de maneira simplista, apenas com utilização de boas técnicas construtivas, materiais apropriados e empenho no processo construtivo, pensando na durabilidade do empreendimento. As falhas não identificadas nas primeiras fases de uma construção geram danos maiores se identificadas somente na fase final, de uso e manutenção, que segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), norma de desempenho, é de no mínimo 50 anos para a estrutura (TUTIKIAN e PACHECO, 2013).

Diante do exposto, este trabalho trata de um estudo sobre as técnicas e materiais utilizados em recomposições de pilares, comparando-os com processos comumente utilizados e o processo formulado neste trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar em termos estruturais a recomposição do concreto em pilares, utilizando materiais específicos de reparo.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o uso de adesivo estrutural no reparo em pilares de concreto armado.
- Avaliar os métodos executivos praticados em obra.
- Estudar a eficiência do graute no reparo de pilares de concreto armado.

3 JUSTIFICATIVA

O projeto estrutural é um dos projetos essenciais a uma construção. A partir de um modelo estrutural é feita a análise do comportamento da estrutura para que, por fim, seja feito o seu dimensionamento.

Para isso, o engenheiro estrutural leva em conta ações e combinações previstas na NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento (ABNT, 2003), para o desenvolvimento de um projeto estrutural eficiente, onde serão considerados três aspectos básicos: limites de segurança, limites de serviço e custo do projeto, sem deixar a desejar em nenhum deles.

No começo do século XX acreditava-se que o concreto era um material com vida útil muito elevada, a ponto de dispensar manutenções. Porém, hoje sabemos que, para que ele tenha elevada vida útil, é necessário contar com excelente projeto e execução, livre de falhas, mantendo um ciclo de manutenções. Contudo, é muito difícil controlar esses fatores construtivos e ambientais, considerando a grande utilização do material nas obras civis, fato que ocasionou a comum presença de manifestações patológicas (MARQUES, 2015).

As causas dos problemas podem ser inúmeras, desde a concepção do projeto até a economia de materiais, passando por casos de imperícia e/ou falhas involuntárias. Thomaz (1989) 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, deu-se origem a um ramo da Engenharia Civil chamada Patologia das Construções, para estudar os motivos, as consequências e as possíveis intervenções nas construções debilitadas.

Cascudo (1997) observa que a manifestação patológica que mais preocupa no Brasil é a corrosão de armaduras, pelo fato de as principais cidades estarem localizadas em regiões costeiras, onde há uma grande quantidade de íons cloreto provenientes do mar. E, mesmo outras cidades mais afastadas da

costa, que tenham um alto índice de poluição, oferecem ambientes agressivos. Desta forma, este trabalho visa estudar o processo de recomposição de pilares, o qual deve ser executado na maioria dos casos de tratamento de corrosão de armaduras.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Corrosão de armaduras

Segundo Fusco (1995), o concreto é um material poroso, e essa é uma característica que compromete sua durabilidade, devido ao meio ambiente onde está inserido, principalmente pelo gás carbônico, gerando carbonatação, e, conseqüentemente, corrosão das armaduras. Dessa forma, a durabilidade da armadura baseia-se em dois fatores: condições ambientais e porosidade. O fator de condições ambientais é difícil de mudar, então, uma das únicas soluções está na redução da porosidade do concreto.

Neville (1997) afirma que, para alcançar uma baixa porosidade e permeabilidade do concreto, é necessário atentar-se para a relação água/cimento, de forma a ser baixa e densa, e utilizar uma granulometria bem graduada.

O revestimento necessário para as armaduras em razão do meio ambiente é outro fator que, se não for adotado, causa deterioração prévia. O valor do revestimento deve obedecer a NBR 6118 (ABNT, 2014). O uso de espaçadores é indispensável no cenário. Os valores de ancoragem também devem obedecer a norma; um comprimento menor propicia o surgimento de fissuras (BOTELHO e MARCHETTI, 2013).

Silva (2011), em um estudo realizado no estado do Ceará, fez o levantamento da ocorrência de manifestações patológicas em trinta obras diferentes, e o resultado foi justamente que a corrosão de armaduras está presente na grande maioria das construções, sendo estas à beira-mar ou não. Esta constatação está descrita no Quadro 1, onde a corrosão de armaduras está presente em 96,67% das obras analisadas.

Quadro 1 – Manifestações patológicas 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).

A grande maioria das normas vigentes no Brasil focalizam nas fases de projeto e execução das estruturas, deixando de lado considerações importantes de fase de uso e manutenção, comprometendo a durabilidade das obras civis. Com isso, evidenciam-se manifestações patológicas que poderiam ser evitadas (MARQUES, 2015).

4.1.1 Corrosão eletroquímica

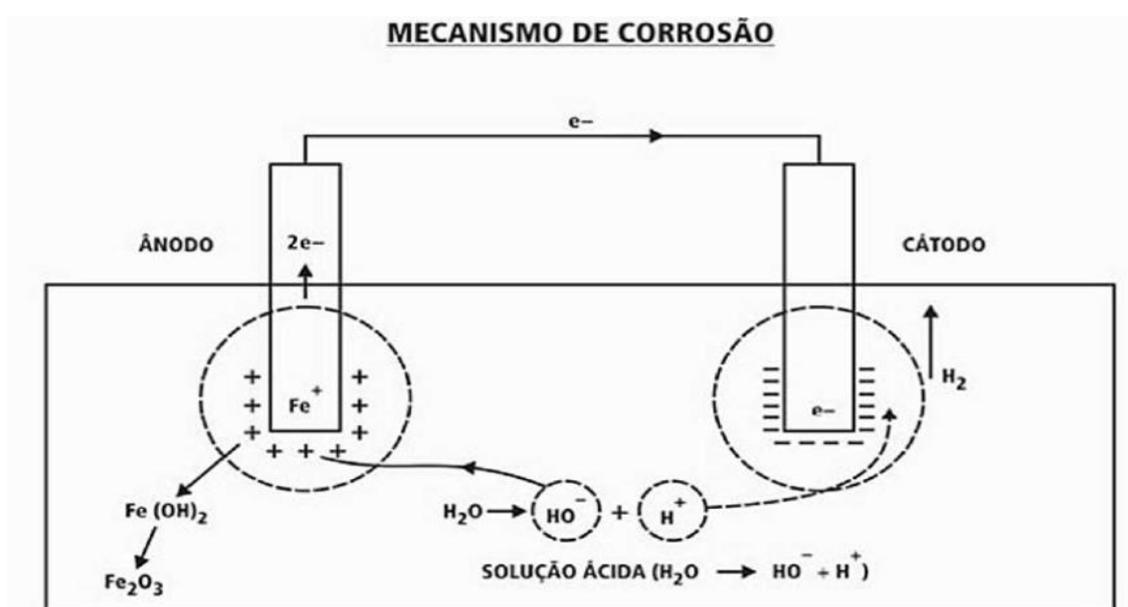
Uma das formas de corrosão da armadura consiste em um processo eletroquímico, que pode ter sua eficiência aumentada por alguns fatores, como

os agentes agressivos externos e internos, que foram adicionados ao concreto, ou ainda que foram gerados pelo ambiente. Para que o processo ocorra, é necessário que se tenha: oxigênio, umidade e o estabelecimento de uma célula eletroquímica (MARCELLI, 2007).

Fusco (2008) aponta que ocorrem dois tipos de reações, uma anódica e outra catódica. Na reação anódica, o ferro fica carregado positivamente de modo que ocorre a dissolução dos íons Fe^{++} , que passam para a solução. Na solução anódica, o Ferro irá atuar como eletrodo, junto do qual os elétrons liberados pelo anodo passam à solução, formando-se desta maneira o circuito elétrico, não havendo consumo do ferro no cátodo.

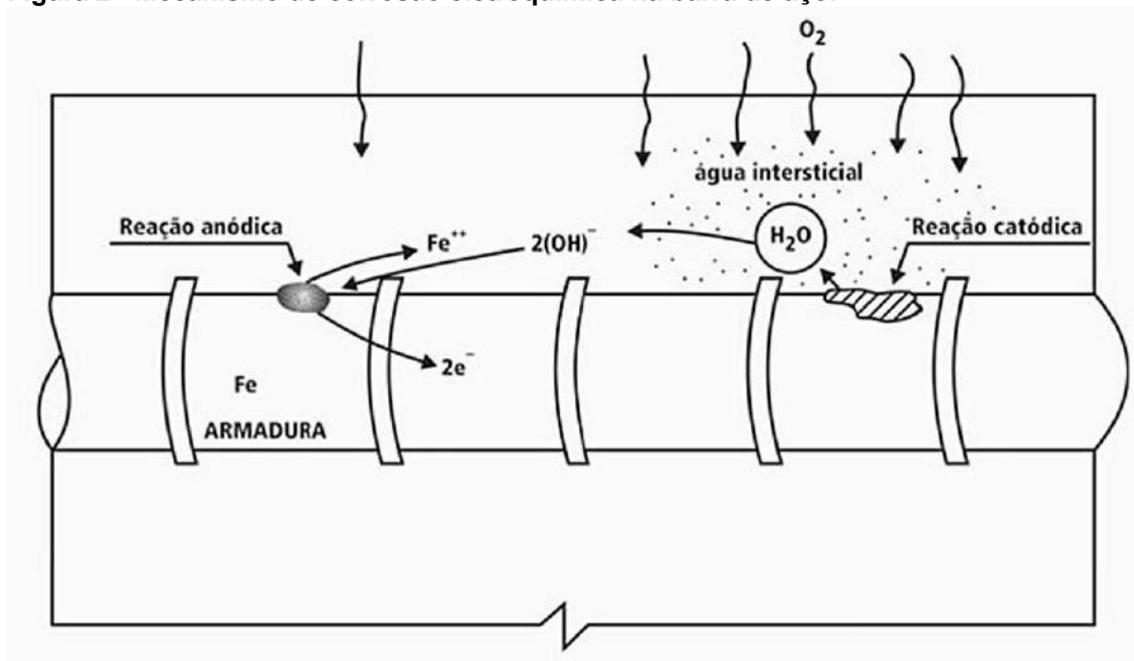
Cascudo (1997) sintetiza o mecanismo de corrosão eletroquímica em meio aquoso, observando que existe a formação de íons metálicos e liberação de elétrons na região anódica, onde se dá a oxidação do metal, e, simultaneamente, na região catódica, há o consumo de todos os elétrons e a neutralização dos 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. A Figura 1 e a Figura 2 ilustram como funciona o sistema.

Figura 1 – Mecanismo de corrosão da pilha.



Fonte: FUSCO (2008).

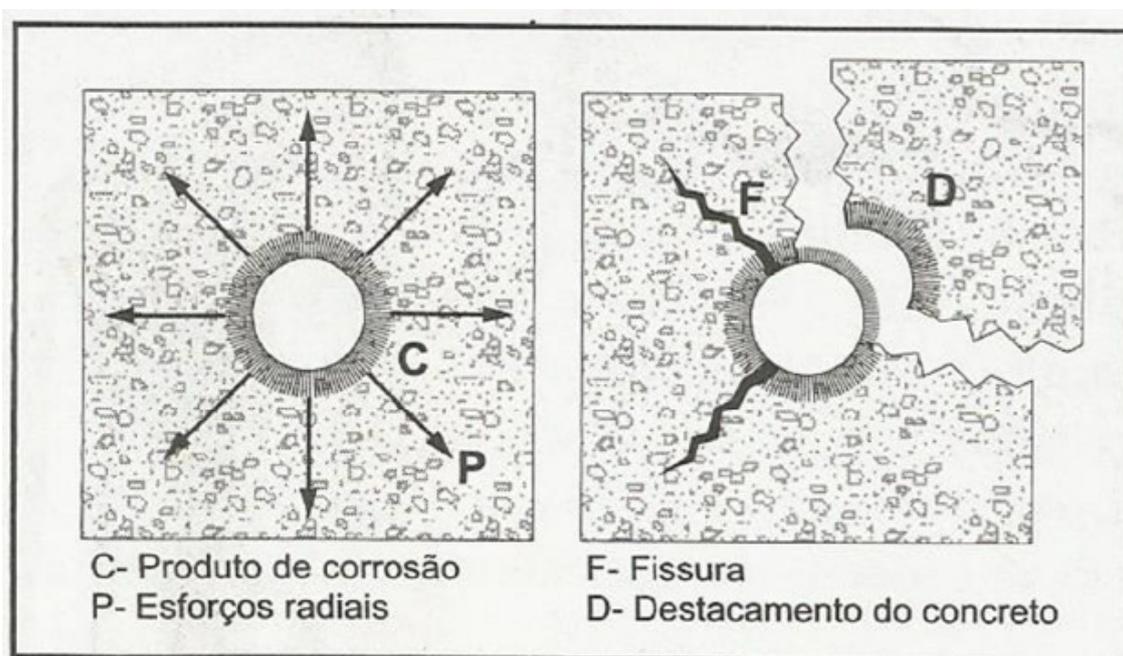
Figura 2 - Mecanismo de corrosão eletroquímica na barra de aço.



Fonte: FUSCO (2008).

Os sintomas da corrosão de armaduras em concreto armado são rapidamente identificados e, normalmente, de fácil visualização, pois 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. Dessa forma, quando há armadura posicionada junto as faces dos elementos, essa superfície será acometida por fissuras no sentido longitudinal da barra afetada. Essas fissuras, por sua vez, podem favorecer a carbonatação e a penetração de agentes agressivos, o que intensifica o problema (HELENE, 1986). A Figura 3 apresenta a seção transversal de uma barra de aço, e representa a pressão exercida no concreto pelos produtos da corrosão.

Figura 3 - Esforços causados por corrosão eletroquímica.



Fonte: CASCUDO (1997).

4.1.2 Carbonatação do concreto

A carbonatação é um processo de deterioração química do concreto, que, segundo Cascudo (1997), geralmente é um condicionador da corrosão das armaduras de estruturas de concreto armado.

A carbonatação consiste na redução do PH da pasta de cimento do concreto, que geralmente tem valores entre 12 e 14, devido principalmente ao hidróxido de cálcio que é produto das reações de hidratação do cimento. Este produto, juntamente com os hidróxidos ferrosos da armadura, formam uma capa passivadora envolta da barra (BARIN, 2008).

Segundo Cascudo (1997), 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.

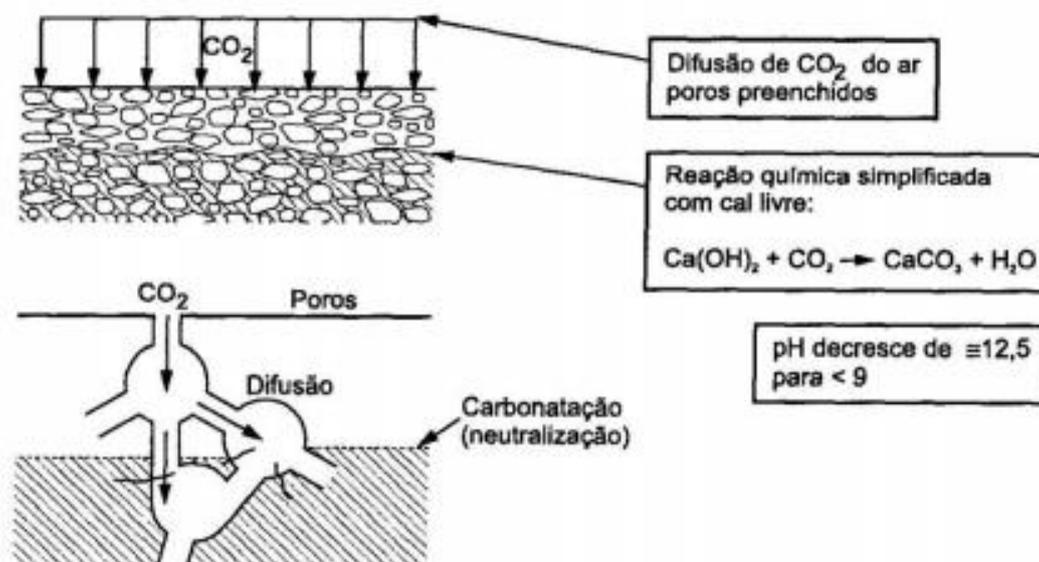
Ainda segundo Cascudo (1997), a carbonatação é dependente de fatores como: transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto, condições ambientais, tipo de cimento e umidade do ambiente.

Há um ensaio simples que pode ser empregado para identificar concretos carbonatados. Bertolini (2010) explica que o ensaio consiste na aplicação na superfície de concreto onde se acredita estar carbonatada 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 assume a coloração rosada.

A carbonatação, apesar de ser um processo deletério para a armadura, pois desp passiva a barra de aço por meio da redução do PH da camada de concreto que a protege, exibe algumas vantagens para o concreto. A contribuição desta reação consiste no fato de deixar o concreto menos poroso, protegendo-o, em partes, da penetração de íons cloreto. É importante frisar que o efeito benéfico somente ocorrerá em situações específicas, em misturas de concreto essencialmente menos porosas que massas comuns (WINTER, 2012).

Cascudo (1997) completa que a desp passivação da armadura devido à carbonatação deixa-a extremamente vulnerável à corrosão e, praticamente, totalmente exposta à atmosfera, sem qualquer proteção. A Figura 4 mostra como ocorre a reação.

Figura 4 – Reação de carbonatação.



Fonte: CASCUDO (1997).

4.1.3 Ação de cloretos

De acordo com Zamberlan (2013), a presença de cloretos no concreto pode gerar corrosão nas armaduras de forma bastante agressiva. Os cloretos podem ser encontrados em agregados extraídos de regiões que no passado foram marinhas, na água do mar, em aditivos aceleradores de pega, poluentes industriais ou a partir de produtos usados na limpeza, que tenham na constituição o ácido muriático. Vários são os parâmetros que influenciam a penetração deste agente no concreto, tais como: a estrutura porosa do material, composição química, relação água /cimento, fissuração do concreto e PH do concreto.

Os íons cloreto são um dos agentes mais nocivos para a corrosão das barras de aço, pois, mesmo o concreto com PH elevado, os cloretos conseguem despassivar as armaduras. Os cloretos penetram nos poros do concreto por meio da difusão ou pela absorção capilar de águas, contendo o íon na forma dissolvida, e, ao superarem um certo limite da concentração de hidroxilas, despassivam à superfície do aço e dão início ao processo corrosivo (FUSCO, 2008).

Neville (1997) afirma que o maior dano causado pelo ataque de cloretos é a corrosão do aço, que conseqüentemente afetará o concreto à sua volta. Por ser uma corrosão eletroquímica, os produtos que são gerados pela corrosão ocupam um espaço cerca de seis a sete vezes maior do que o aço originalmente ocupava, causando um deslocamento do concreto das faces ocupadas por armaduras.

Na literatura, há uma divergência sobre qual seria o teor de íons cloreto máximo recomendado para que a armadura não seja prejudicada. A NBR 6118 (ABNT, 2014) 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.

4.1.4 Ação de ácidos

O contato do concreto com soluções ácidas ocorre em uma grande quantidade de ambientes, principalmente naqueles onde prepondera o microclima industrial. Nas indústrias de laticínios, papel, fertilizantes e nas estações de tratamento de água e esgoto, o concreto é alvo de elevada agressividade, principalmente por ataque ácido, que pode ter várias origens (MIRANDA e GOLD, 1996).

Caso uma estrutura esteja em contato com soluções que contenham certos tipos de ácidos (acético, clorídrico, láctico, entre outros) ocorre uma troca de cátions entre os componentes da pasta de cimento e as soluções ácidas. Os produtos resultantes dessa troca são sais solúveis de cálcio, que podem ser removidos por lixiviação (BICZÓK, 1964).

Já o ácido clorídrico comercial (HCl) é um ácido inorgânico que é utilizado comercialmente para limpeza em geral. Tal material ataca o concreto, lixiviando os produtos de cálcio e acarretando uma degradação da pasta de cimento, com a formação do cloreto de cálcio (CaCl_2). Através da realização de experimentos em argamassas de cimento Portland, BICZÓK (1964) mostrou que concentrações acima de 5% podem causar uma significativa perda de resistência dos materiais investigados.

4.2 Recuperação de elementos de concreto armado

Não há uma 'receita' para recuperação de uma estrutura afetada por alguma manifestação patológica, ou seja, normalmente existem vários métodos ou sistemas de reparo para se utilizar, a depender da patologia, bem como sua gravidade. A escolha do método mais adequado dependerá de alguns fatores, como o acesso ao local de reparo, ou ainda fatores econômicos e condicionantes técnicas, que variam de caso a caso. No caso de estruturas deterioradas por corrosão de armaduras, a situação se torna mais complicada à medida que o reparo deverá atuar em um ambiente que é comprovadamente agressivo (ANDRADE, 1992).

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

Os reparos localizados e generalizados são métodos mais utilizados na construção civil, mantendo resultados altamente satisfatórios. Quando bem executados, 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 (Cascudo, 1997).

4.2.1 Preparo do substrato

A respeito da etapa que precede o tratamento real da corrosão de armaduras, com a aplicação de produtos especiais e técnicas diversas, Helene (1992) 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".

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 e o concreto degradado que envolve a armadura deve ser retirado completamente. A Figura 5 mostra a remoção do concreto por meios manuais, com o auxílio de martelo e talhadeira (SILVEIRA, 2009).

Figura 5 – Remoção do concreto com uso de martelo e talhadeira.



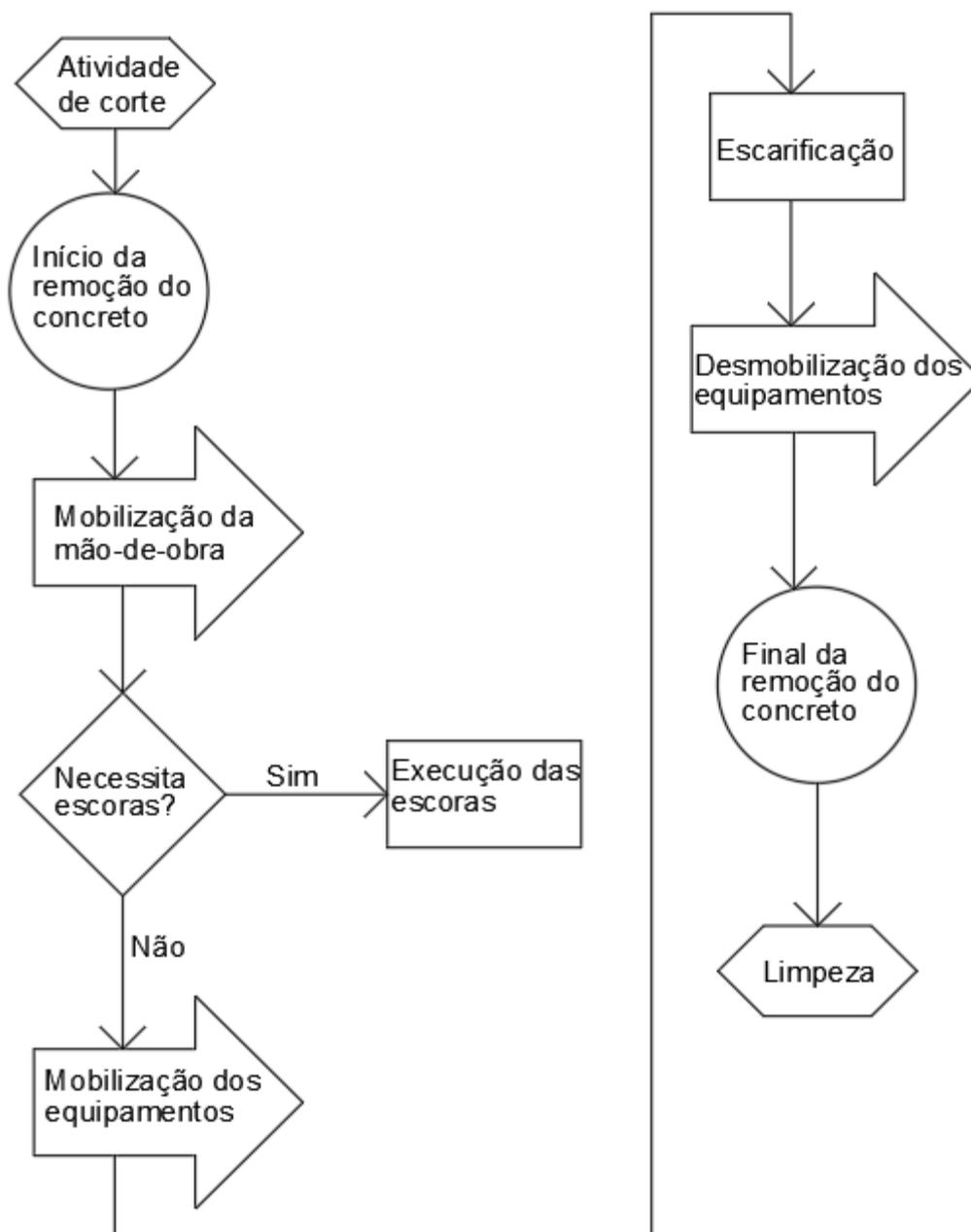
Fonte: SILVEIRA (2009).

SILVA (2006) 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 caso extremo, na preparação de grandes superfícies, recomenda-se o martelete pneumático (aproximadamente 20 kg). Um 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, dentre aqueles listados como equipamentos de proteção individual.

O fluxograma da Figura 6 mostra o processo de preparo do substrato.

Figura 6 – Fluxograma de preparo do substrato.



Fonte: Autoria própria (2018).

4.2.2 Limpeza

Helene (1992) afirma que a fase de preparação e limpeza do substrato é responsável 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 nesta fase.

O principal método 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 utilizadas na aplicação deste método são: 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. 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 (SILVEIRA, 2009). A Figura 7, a Figura 8 e a Figura 9 ilustram as situações de remoção dos produtos de corrosão da armadura.

Figura 7 – Remoção de produtos da corrosão com escova de cerdas de aço.



Fonte: SILVEIRA (2009).

Figura 8 – Remoção de produtos da corrosão com lixa manual.



Fonte: SILVEIRA (2009).

Figura 9 – Remoção de produtos da corrosão com lixadeira elétrica.



Fonte: SILVEIRA (2009).

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) 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).

Helene (1992) demonstra no Quadro 2, o procedimento mais adequado para limpeza do concreto e aço, com base na superfície de cada material.

Quadro 2 – Reação de carbonatação.

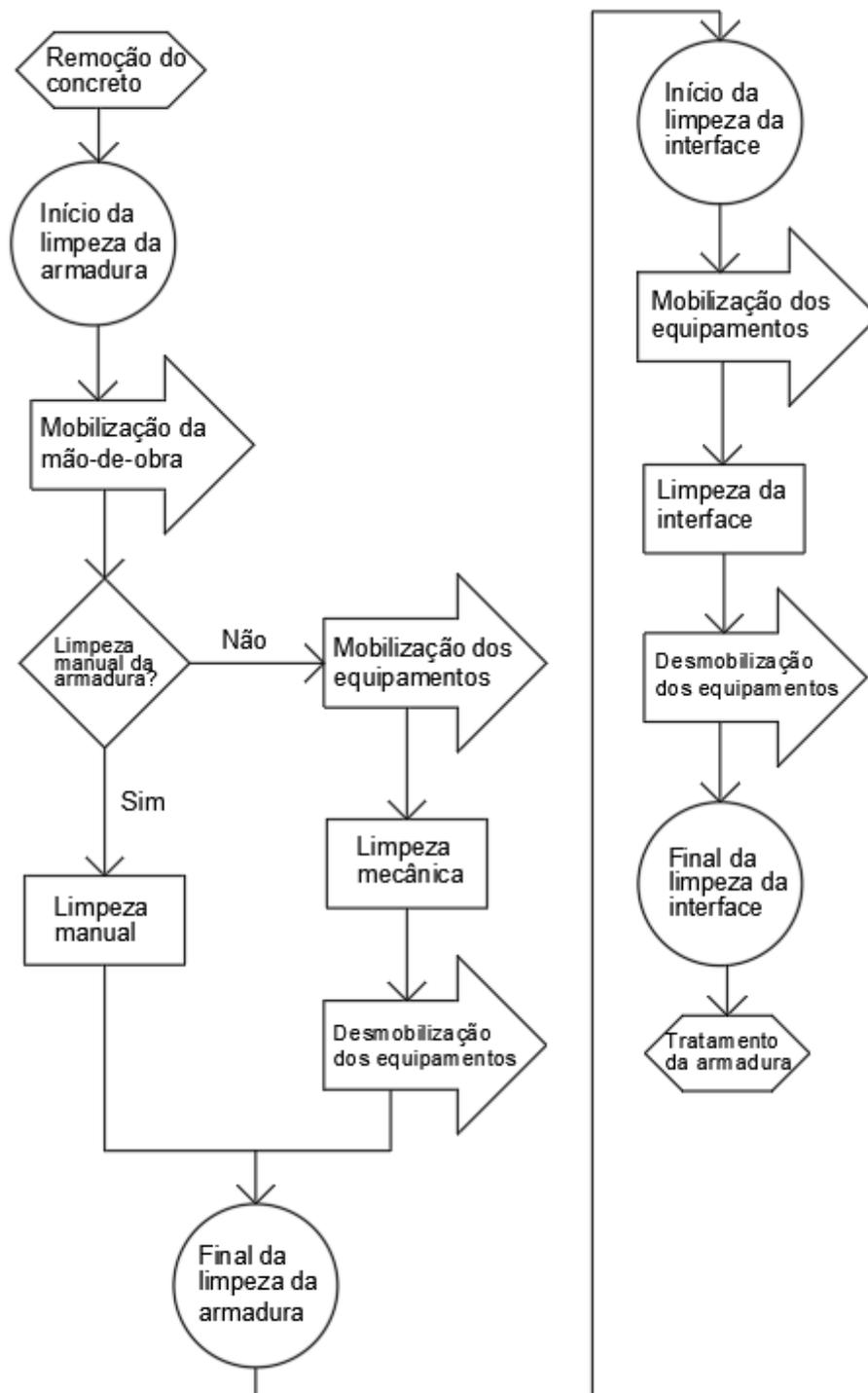
Procedimento	Procedimento mais adequado para			
	Concreto com superfície		Aço com superfície	
	Seca	Úmida	Seca	Úmida
Escarificação manual	adequado	adequado	inadequado	inadequado
Escarificação mecânica	adequado	adequado	inadequado	inadequado
Lixamento manual	inadequado	aceitável	adequado	aceitável
Lixamento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

Fonte: HELENE (1992).

Reis (2001) 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.

O fluxograma da Figura 10 mostra o processo de limpeza.

Figura 10 – Fluxograma de limpeza.



Fonte: Autoria própria (2018).

4.2.3 Tratamento da patologia

Para proteger a armadura afetada por corrosão, devido à presença de íons cloreto, são indicadas duas técnicas: a proteção catódica e a dessalinização.

Segundo Ribeiro et al. (2014), 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 processo catódico baseia-se em evitar que o oxigênio chegue até a armadura, onde se darão as reações de corrosão, impedindo assim o desenvolvimento do problema. No entanto, esta solução somente retarda a manifestação patológica, tornando essa medida temporária, porém, se bem executada, é bastante eficaz.

Os componentes básicos dos sistemas de proteção catódica e dessalinização são semelhantes, ambos são compostos por um ânodo, cátodo (armadura), concreto (eletrólito) e a fonte de alimentação. As técnicas apenas diferem com relação à fonte de alimentação. Na proteção catódica, aplica-se corrente contínua durante toda a vida útil da estrutura, afim de reduzir a velocidade de corrosão para aproximadamente zero, enquanto que na dessalinização, a duração do tratamento ocorre geralmente entre quatro e sete semanas (RIBEIRO et al., 2014).

Outra forma de tratamento das armaduras é o revestimento com pinturas epoxídicas ricas em zinco. Esse elemento adicionado ao composto tem a função de atuar como ânodo de sacrifício, beneficiando, desta forma, a durabilidade do aço (CASCUDO, 1997).

A mão-de-obra especializada e o controle de qualidade são de extrema importância, para que não se admita nenhuma falha de execução nesta etapa. Deve-se controlar o método de aplicação, os tempos máximos e mínimos de demãos entre pinturas, a correta mistura dos componentes das tintas, entre outros. A Figura 11 apresenta a aplicação de uma tinta especial para a proteção da armadura (NAKAMURA e FARIA, 2013).

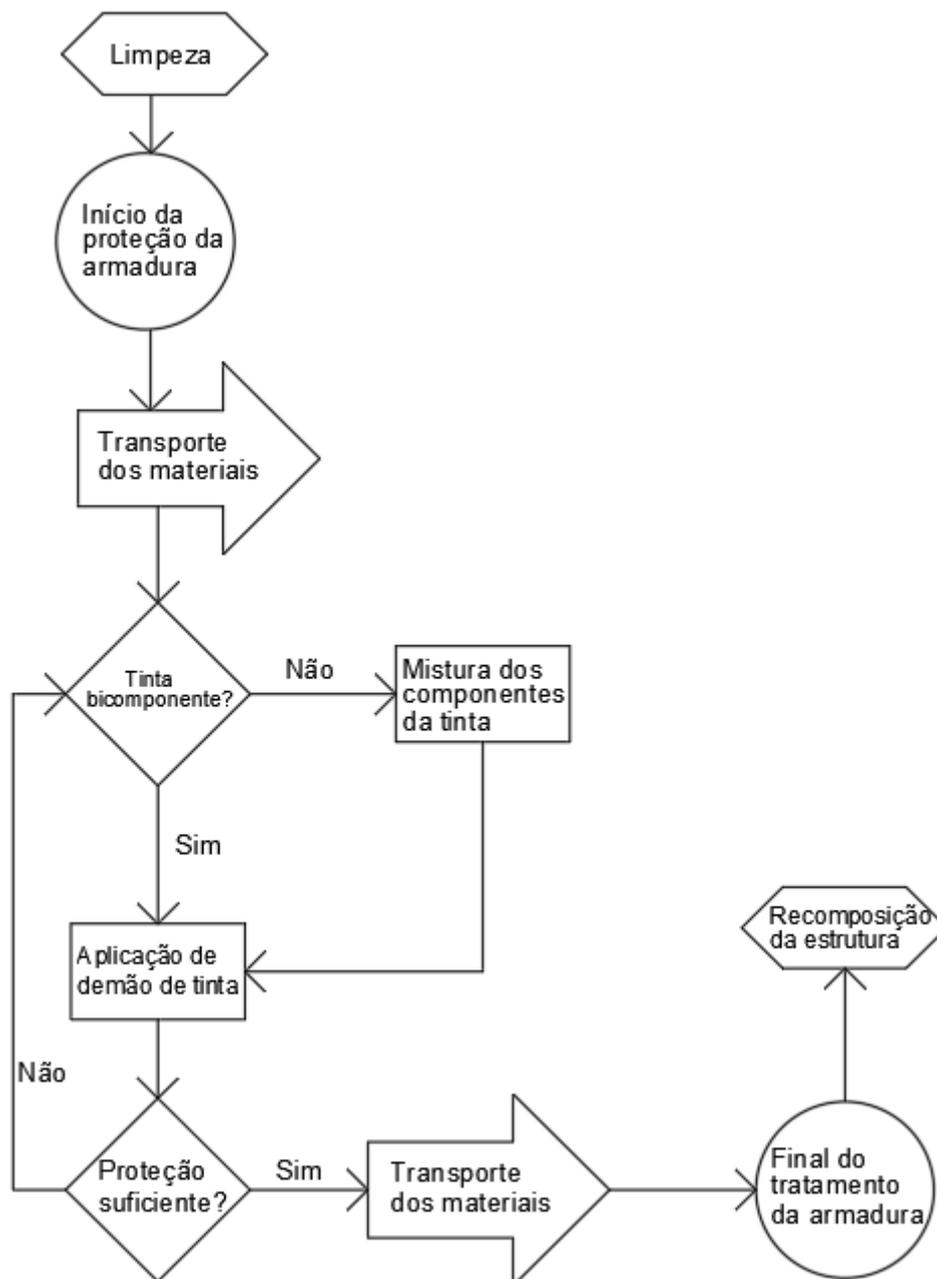
Figura 11 – Proteção da armadura com pintura.



Fonte: NAKAMURA e FARIA (2013).

O fluxograma da Figura 12 mostra o processo de tratamento da armadura com maior clareza.

Figura 12 – Fluxograma do processo de tratamento da armadura.



Fonte: Autoria própria (2018).

4.2.4 Recomposição da estrutura

Quando é feito o processo de recomposição da estrutura e não objetiva-se o aumento da sua capacidade, denomina-se essa atividade de recuperação

ou reparo estrutural, o qual pode ser classificado em raso, semiprofundo e profundo, de acordo com a profundidade alcançada na etapa de preparo do substrato, considerando zero a 2 cm, 2 a 5 cm e superior a 5 cm, respectivamente (SOUZA e RIPPER, 1998).

A permeabilidade do concreto é um fator decisivo. Os acessos que a água, o oxigênio e os cloretos penetram no concreto determinam a intensidade do processo de corrosão de armaduras. Desta forma, 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).

Outro fator decisivo na permeabilidade do concreto é o cobrimento da armadura. Esse cobrimento irá variar em função da agressividade do ambiente, sendo maiores em ambientes mais hostis, variando de 2 cm até 5,5 cm, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014). 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).

Dentre os materiais usados no processo de recomposição do concreto antigo, o maior destaque é dado 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 e RIPPER, 1998).

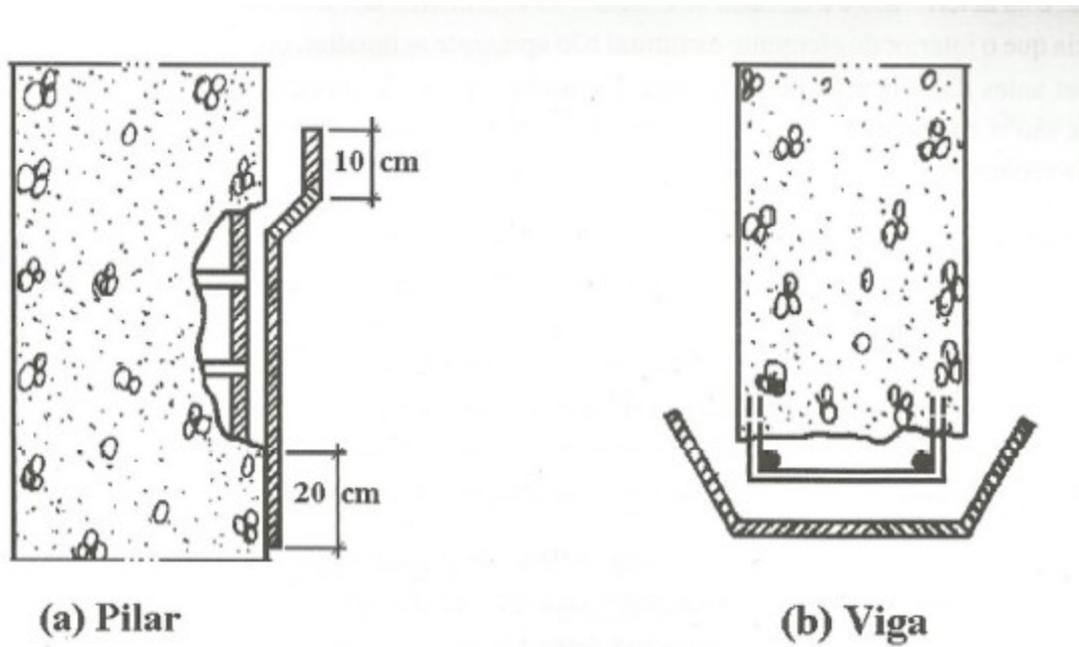
É possível que, para as argamassas e concretos usados no processo, utilizem aditivos, porém, Andrade (1992) afirma que o cimento Portland, sem adições, é o que proporciona maior quantidade de reserva alcalina, e isso representa uma segurança frente à ação de agentes agressivos. No entanto, a grande concentração de cimento pode gerar elevada retração, sendo uma alternativa o uso de alguns tipos de fibras, desde que não prejudiquem a composição da massa. Aditivos plastificantes podem ser adicionados no intuito de se obter uma maior trabalhabilidade.

Outras alterações possíveis na composição de argamassas e concretos são feitas a partir da adição de: polímeros, sílica ativa ou pozolanas. O principal polímero usado é o epóxi, cujas características incorporadas são: 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 (REIS, 2001).

Há basicamente duas formas de aplicação do concreto ou argamassa. Uma é a 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. 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, para melhorar a trabalhabilidade e ajudar no adensamento da massa, visto que o fator água/cimento é baixo (SOUZA e RIPPER, 1998).

As fôrmas são itens indispensáveis, dependendo do tamanho da recomposição. 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 13, "a" e "b", mostra exemplos de fôrmas que podem ser usadas para pilares e vigas.

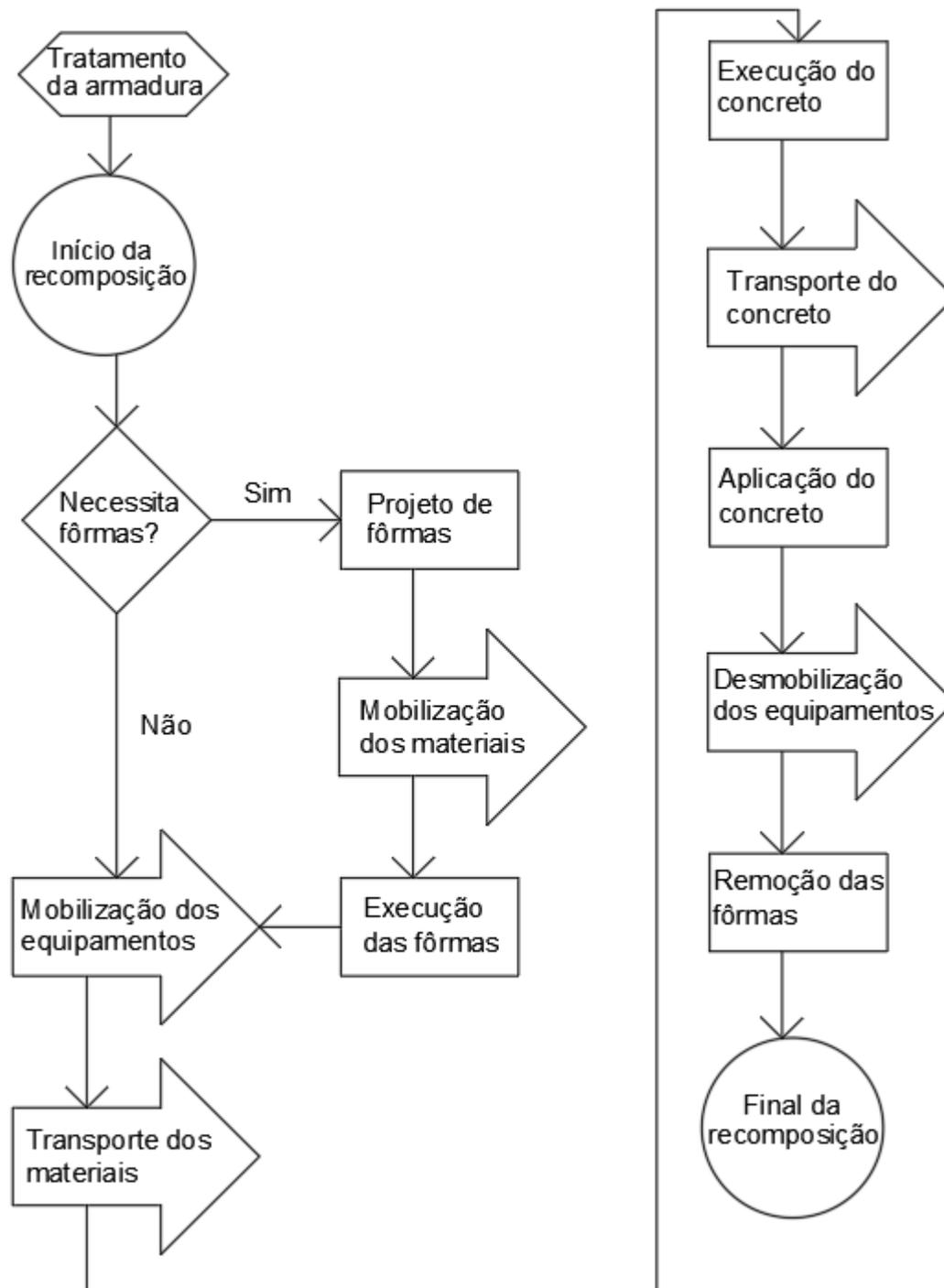
Figura 13 – Formas para recomposição.



Fonte: SOUZA e RIPPER (1998).

O fluxograma da Figura 14, mostra o passo a passo de uma recomposição.

Figura 14 – Fluxograma da recomposição.



4.3 Adesivos estruturais

Os adesivos estruturais tiveram sua utilização iniciada pelo segmento aeroespacial, como solução para redução de peso dos sistemas, mantendo a resistência necessária às uniões (PETRIE, 2006). Mais tarde, estendeu-se à linha automotiva e, nos últimos anos, ao setor industrial em geral. De acordo com informações adquiridas em projetos de aplicações recentes, estima-se ganhos de até 50% na redução de algumas operações, utilizando adesivos e valores superiores a 5% de redução no custo total das peças (LORD CORPORATION, 2012). Para a engenharia, a adesivagem estrutural representa uma nova opção de fixação permanente, solucionando algumas fraquezas e limitações dos tradicionais sistemas de fixação.

Adesivos estruturais são substâncias líquidas ou parcialmente líquidas em algum momento de sua adesão, capazes de manter pelo menos duas superfícies unidas de maneira forte e permanente. O poder de adesão destas substâncias é conseguido, normalmente, através da mistura de dois componentes, sendo um elemento adesivo e um elemento ativador, também identificado como “catalisador”. Esse tipo de adesivo é conhecido como bi-componente. São aplicados manualmente ou por equipamentos expurgadores e bicos misturadores, de acordo com cada modelo e fabricante (PETRIE, 2006).

O comportamento da mistura depende, dentre outros fatores, da tixotropia (propriedade de um fluido não-newtoniano ou pseudoplástico que apresenta uma alteração dependente do tempo em sua viscosidade) e do tempo de cura (reação) dos componentes (LORD CORPORATION, 2012).

4.3.1 Adesivos base epóxi

Dentre os adesivos estruturais, o adesivo base epóxi é o mais versátil, uma vez que, devido a sua boa relação com a água, possui um excelente comportamento em muitos substratos, exceto polímeros e elastômeros que possuem uma energia de superfície muito baixa. Adesivos Epóxi foram introduzidos na indústria automotiva e aeroespacial, no ano de 1946 (SILVA et al., 2007).

Após curados, os adesivos de base epóxi, possuem uma excelente resistência a tração e uma fraca resistência ao arrancamento, porém podem ser modificados para apresentar melhor comportamento. Dentre os principais benefícios do seu uso, destaca-se a excelente resistência à altas temperaturas, óleos, umidade, solventes e agentes corrosivos em geral (PETRIE, 2006).

Uma das principais desvantagens do adesivo epóxi é seu tempo de cura, de 72 horas em média, e seu baixo alongamento, na casa dos 5%, que pode prejudicar aplicações onde há constante vibração ou que exija um adesivo menos rígido (LORD CORPORATION, 2012).

4.3.2 Adesivos base poliuretano

Os adesivos base poliuretano, se comparados aos adesivos epóxi, são extremamente flexíveis, podendo chegar a alongamentos superiores a 120%. Essa propriedade, garante aos poliuretanos uma boa resistência ao corte e ao arrancamento. Não são tão eficientes quanto os adesivos epóxi, quando se trata de resistência a agentes corrosivos, porém seu bom desempenho de adesão estrutural e seu alongamento o torna uma boa alternativa para várias aplicações.

Apresenta como desvantagem a necessidade de uma superfície bem limpa e preparada, algumas vezes com uso de primers ou aditivos para total eficiência do adesivo e sua sensibilidade à variação de proporção de mistura quando bi-componente. A variação da mistura pode comprometer fortemente o adesivo, por isso limita-se suas aplicações a bsnagas ou seringas de proporção controlada (LORD CORPORATION, 2012).

4.3.3 Adesivos base acrílico modificado

É o tipo de adesivo com maior resistência ao corte para aplicações com metais em pelo menos um dos substratos. São termoendurecíveis e também designados de acrílicos reativos para que se diferenciem de outros acrílicos sensíveis à pressão (SILVA et al., 2007).

São encontrados como bi-componentes, sendo um adesivo e um ativador com proporção de acordo com cada modelo e fabricante. Sua cura se dá pela reação química entre os componentes e geralmente é muito rápida. Cerca de 80% da cura total se dá entre 20 minutos e 1 hora (A & S ADESIVOS E SELANTES, 2011).

Com relação a sua resistência, os adesivos acrílicos têm um ótimo comportamento sob condições ambientais severas, inclusive resistindo bem à alta umidade e salinidade corrosiva. Possuem também uma boa resistência ao arrancamento, ao corte e a impactos, trabalhando em temperaturas abaixo dos 120°C. Para temperaturas mais altas, os adesivos de base epóxi ou poliuretânicos tem melhor comportamento (GARCIA et al., 2008).

Para a aplicação, podem ser usados aplicadores de bisnagas, de baldes ou tambores, ou ainda fazendo a mistura manualmente, já que sua sensibilidade à proporção é mais alta que os adesivos de outras famílias (LORD CORPORATION, 2012).

Entre os fatores que podem limitar sua utilização, pode-se citar o custo relativamente caro, comparando-se com os de base epóxi e poliuretano, e o odor bastante forte, quando ainda pastoso, que pode incomodar os aplicadores (SILVA et al., 2007).

4.4 Graute

O graute é um composto amplamente aplicado em diferentes ramos da construção civil, por exemplo, como elemento de reforço e reparo de estruturas, estabilização de solos, entre outros (OLIVEIRA, 1986). Devido a sua consistência, o graute é empregado para preenchimento dos vazios dos blocos e canaletas da alvenaria, solidarizando os elementos com a armadura e reagindo monoliticamente (NICHELE, 2014).

De acordo com Ramalho e Corrêa (2013), o graute é um composto à base de cimento com fluidez considerável, contemplando a mistura de aglomerantes, agregados e aditivos químicos. Prudêncio Júnior *et al.* (2002) especificam características do compósito no estado fresco, salientando a importância da

consistência do material. Ainda segundo os autores, o abatimento da mistura deve corresponder a 200 ± 30 mm. Tais valores, para serem atingidos, exigem uma elevada relação água/cimento (a/c), todavia, Anagnostopoulos (2014) demonstra o ganho na trabalhabilidade através da adição de aditivos químicos, como os superplastificantes, mantendo baixas relações a/c.

Alguns cuidados devem ser tomados para manter a qualidade do graute quando se encontra no estado fresco. Além de obter uma grande capacidade de preenchimento de vazios, deve possuir estabilidade de suspensão e baixa exsudação, melhorando a resistência à separação entre a fase líquida e sólida do composto (GIESELER e TUTIKIAN, 2013).

De acordo com Bauer (2005), a estabilidade da suspensão é importante durante a operação do grauteamento e também durante o período de início de pega, quando a floculação e a coagulação podem ocorrer entre as partículas finas. Por último, a exsudação pode ocorrer devido à elevada fluidez, onde, em muitos casos, é comum se observar uma forte separação dos constituintes da mistura, quando há deficiência de materiais finos. Normalmente, ocorre quando existe erro na dosagem.

Baseando-se nas dimensões dos agregados, o graute pode ser classificado diferentemente. Para agregados com dimensões abaixo de 4,8 mm, classifica-se o graute como fino e, conseqüentemente, valores a cima deste classifica-se como grosso (GIESELER e TUTIKIAN, 2013).

O graute, segundo Oliveira *et al.* (2006), também pode ser classificado quanto ao tipo de aglomerante, sendo graute mineral e graute orgânico.

Os grautes minerais, ou grautes a base de cimento, recebem uma classificação de acordo com sua utilização. Assim, encontram-se no mercado denominações do tipo: de uso geral, de construção, de uso industrial, para injeção, de reparo, de uso submerso, para altas temperaturas, entre outras. Alguns fabricantes ainda sugerem pequenas variações à classificação descrita para ressaltar alguma característica particular de um determinado produto, ou ainda a adição de algum elemento particular (OLIVEIRA *et al.*, 2006).

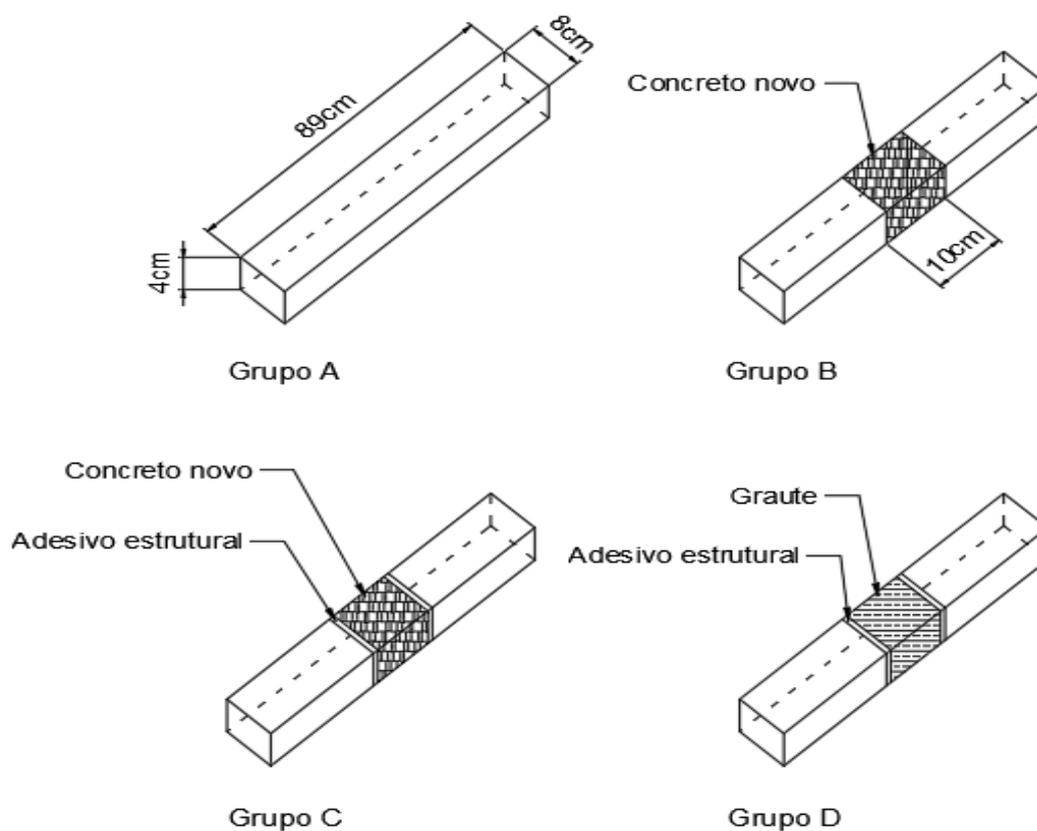
Já os grautes orgânicos, ou grautes à base de resina ou, ainda, grautes poliméricos, são materiais de características e usos mais específicos,

recomendados para situações especiais em que se exige alta aderência e resistência a cargas cíclicas e dinâmicas, pois não sofrem o efeito de fadiga comum aos grautes à base de cimento (OLIVEIRA et al., 2006)

5 METODOLOGIA

Para este trabalho foram ensaiados dezesseis pilares, de seção 4 por 8 cm, para que os pilares fossem moderadamente esbeltos, e 89 cm de altura, devido ao limite de altura da prensa, com resistência a compressão característica (f_{ck}) de projeto de 25 MPa, submetidos à um carregamento estático normal ao pilar. Para isso, quatro grupos de pilares foram considerados: grupo A: quatro pilares sem recomposição, para resultados de referência; grupo B: quatro pilares com recomposição, utilizando apenas uma nova mistura de concreto; grupo C: quatro pilares recompostos com adesivo estrutural e uma nova mistura de concreto; por fim, grupo D: quatro pilares recompostos com adesivo estrutural e graute. A recomposição foi feita em toda a seção central dos pilares em 10 cm. A Figura 15 ilustra as especificações de cada grupo.

Figura 15 – Caracterização dos grupos de pilares.



Fonte: Autoria própria (2018).

5.1 Materiais utilizados

Para fabricação dos pilares são utilizados os seguintes materiais:

- Fôrmas
 - Compensado plastificado com 15 mm de espessura;
 - desmoldante;
 - barras roscadas com 5 mm de diâmetro.
- Concreto armado
 - aço CA-60 com 4,2 mm de diâmetro;
 - brita 0 com 12 mm de diâmetro máximo;
 - agregado miúdo;
 - cimento CP - II – E – 32, da marca Votoran ®.
- Equipamentos
 - balança mecânica, para dosagem dos materiais;
 - betoneira de eixo inclinado;
 - mesa vibratória, para perfeito adensamento.

Para recomposição são utilizados:

- Isopor com 30 mm de espessura, para deixar o espaço da recomposição;
- graute, da marca Ceramfix ® 40;
- adesivo epóxi, da marca Vedacit ®, Compound adesivo.

Para o preparo do concreto e graute da recomposição foi usado um misturador de concreto.

Os pilares foram ensaiados na prensa DL 30000 disponível na UTFPR – CM, e, para constatação do f_{ck} do concreto, foram ensaiados corpos de prova na prensa hidráulica disponível no laboratório de materiais da mesma universidade.

5.2 Elaboração dos pilares

Para o trabalho foram utilizadas 8 fôrmas, cada uma com espaço para 2 pilares, como ilustrado na Figura 16, totalizando 16 pilares concretados de uma vez.

Figura 16 – Formas sem as laterais.



Fonte: Autoria própria (2018).

Para armadura, foram utilizadas quatro barras de aço CA-60 4,2 mm longitudinais, com estribos de 4,2 mm a cada 15 cm, dobrados manualmente com auxílio de pregos e uma cantoneira, como demonstrado na Figura 17 e Figura 18.

Figura 17 – Confeção dos estribos.



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 18 – Armaduras prontas.



Fonte: Autoria própria (2018)

A massa de concreto foi dosada conforme o traço de 1:2:2 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo), e relação água/cimento: 0,55. Para a dosagem foi utilizado uma balança, conforme a Figura 19, para pesagem dos materiais envolvidos.

Figura 19 – Balança para pesagem dos materiais do traço.



Fonte: Autoria própria (2018).

Na Figura 20 é mostrada a betoneira de eixo inclinado, onde foi misturada a massa de concreto.

Figura 20 – Betoneira de eixo inclinado.



Fonte: Autoria própria (2018).

Para adensar o concreto foi utilizada uma mesa vibratória, como demonstrado na Figura 21, junto com as formas e armaduras prontas para concretagem, bem como isopores para deixar um espaço vazio, para posterior recomposição.

Figura 21 – Fôrmas prontas para concretagem na mesa vibratória.



Fonte: Autoria própria (2018).

Após o adensamento, os pilares foram cobertos por uma lona de plástico afim de garantir uma correta cura do concreto, ilustrada na Figura 22 e Figura 23.

Figura 22 – Pilares concretados e adensados.



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 23 – Pilares úmidos e cobertos.



Fonte: Autoria própria (2018).

Após vinte e um dias de cura, os pilares foram levados para recomposição.

5.3 Recomposição dos pilares

Para a recomposição dos elementos foi necessária uma limpeza da superfície, de modo a garantir uma perfeita aderência da recomposição. Após o preparo da superfície, repetiu-se a dosagem do concreto antigo.

A seguir, foi dosado o graute, apenas com água, para aplicação no grupo D, feito a partir de um misturador pequeno disponível em laboratório, ilustrado na Figura 24, visto que o volume feito foi pequeno.

Figura 24 – Misturador.



Fonte: Autoria própria (2018).

Em seguida, foram misturados os componentes do adesivo estrutural com auxílio de uma balança digital, dos pilares dos grupos C e D, que receberam a recomposição, conforme Figura 25 e Figura 26.

Figura 25 – Dosagem do adesivo.



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 26 – Pilares recompostos.



Fonte: Autoria própria (2018).

Os pilares ficaram 28 dias no laboratório, cobertos da mesma forma, com a lona, para posteriores ensaios.

5.4 Ensaio de compressão em corpos-de-prova

Afim de constatar o f_{ck} calculado com o real, foram separados corpos de prova, de diâmetro 10 cm e comprimento 20 cm, retirados da primeira concretagem, conforme Figura 27, e posteriormente, o processo foi feito novamente para o graute utilizado, conforme Figura 28.

Figura 27 – Corpos-de-prova de concreto.



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 28 – Corpos-de-prova de graute.



Fonte: Autoria própria (2018).

Na sequência, os corpos-de-prova de concreto e graute foram fresados e ensaiados à compressão na prensa, conforme Figura 29.

Figura 29 – Corpos de prova fresados.



Fonte: Autoria própria (2018).

5.5 Ensaio para determinação da força normal de ruptura

Segundo Araújo (2014), a maioria dos autores classifica os pilares de concreto armado, relacionando com índice de esbeltez (λ), da seguinte forma: pilares com $\lambda < 35$, pilar curto; pilares com $35 \leq \lambda < 90$, pilar moderadamente esbelto; pilares com $90 \leq \lambda < 140$, pilar esbelto ou muito esbelto; e pilares com $\lambda \geq 140$, pilar excessivamente esbelto.

Dessa forma, é feito o cálculo do índice de esbeltez dos pilares ensaiados, pelas seguintes fórmulas apresentadas na NBR 6118 (ABNT, 2014):

$$\lambda = \frac{3,46 \times L_e}{h}$$

Em que:

λ = índice de esbeltez entorno de X ou Y;

L_e = comprimento equivalente;

h = altura da seção transversal do pilar, medida no plano perpendicular ao eixo de estudo.

O comprimento equivalente, por sua vez, é o menor dos seguintes valores:

$$L_e \leq \begin{cases} L_0 + h \\ L \end{cases}$$

Em que:

L_0 = distância entre as faces internas dos elementos estruturais, supostos horizontais, que vinculam o pilar;

L = distância entre os eixos dos elementos estruturais aos quais o pilar está vinculado.

Calculando o índice de esbeltez para a seção e altura do pilar em questão, encontramos os seguintes resultados:

$$L_x = L_y = 89 \text{ cm}$$

$$h_x = 8 \text{ cm}$$

$$h_y = 4 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = \frac{3,46 \times 89}{4} = 76,98$$

$$\lambda_y = \frac{3,46 \times 89}{8} = 38,49$$

Desta forma, constatou-se que os pilares foram classificados como moderadamente esbeltos.

A antes dos ensaios, enquanto que a Figura 31 mostra o primeiro pilar ensaiado.

Figura 30 apresenta os quatro grupos de pilares antes dos ensaios, enquanto que a Figura 31 mostra o primeiro pilar ensaiado.

Figura 30 – pilares, preparados para os ensaios.



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 31 – Primeiro pilar que foi ensaiado.



Fonte: Autoria própria (2018).

6 RESULTADOS

6.1 Resistência a compressão do concreto e recomposição (f_c)

Foram testados os corpos-de-prova de concreto e graute com dimensão 10x20, conforme a NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2015) e NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos (ABNT, 2018), cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – f_c do concreto e graute.

Material	Corpo de prova	Idade (dias)	Área média (mm ²)	Força normal máxima (kN)	Tensão normal máxima (MPa)
Concreto	1	49	7909,06	289,50	36,60
	2	49	7814,76	283,60	36,29
	3	49	7904,33	291,60	36,89
Graute	1	28	7838,28	511,40	65,24
	2	28	7956,41	516,90	64,97
	3	28	7794,40	512,20	65,71

Fonte: Autoria própria (2018).

Seguindo a NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento (ABNT, 2015), encontra-se o f_{ck} real pela fórmula:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65 \times S_d$$

em que:

f_{cm} = Resistência a compressão média;

S_d = Desvio padrão

Calculando para os resultados da Tabela 1, tem-se:

$$f_{ck} = 36,59 - 1,65 \times 0,42$$

$$f_{ck} = 35,90 \text{ MPa para o concreto}$$

O traço, de 1:2:2:0,55, utilizado para fabricação deste concreto foi obtido através do método da ABCP, almejando um f_{ck} de 25 MPa aos 28 dias.

$$f_{ck} = 65,31 - 1,65 \times 0,53$$

$$f_{ck} = 64,43 \text{ MPa para o graute}$$

O graute foi dosado apenas com adição de água, na proporção indicada pelo fabricante na embalagem, de três litros de água para um saco de 25 kg.

A Figura 32 e a Figura 33 apresentam os corpos-de-prova após os ensaios.

Figura 32 – Corpos-de-prova de graute rompidos



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 33 – Corpos-de-prova de concreto rompidos



Fonte: Autoria própria (2018).

6.2 Ensaio para determinação da força normal de ruptura

Após o processo de confecção dos pilares e suas particularidades, os mesmos foram submetidos à uma força normal centrada, e os resultados seguem na

Tabela 2.

Tabela 2 – Ensaio nos pilares.

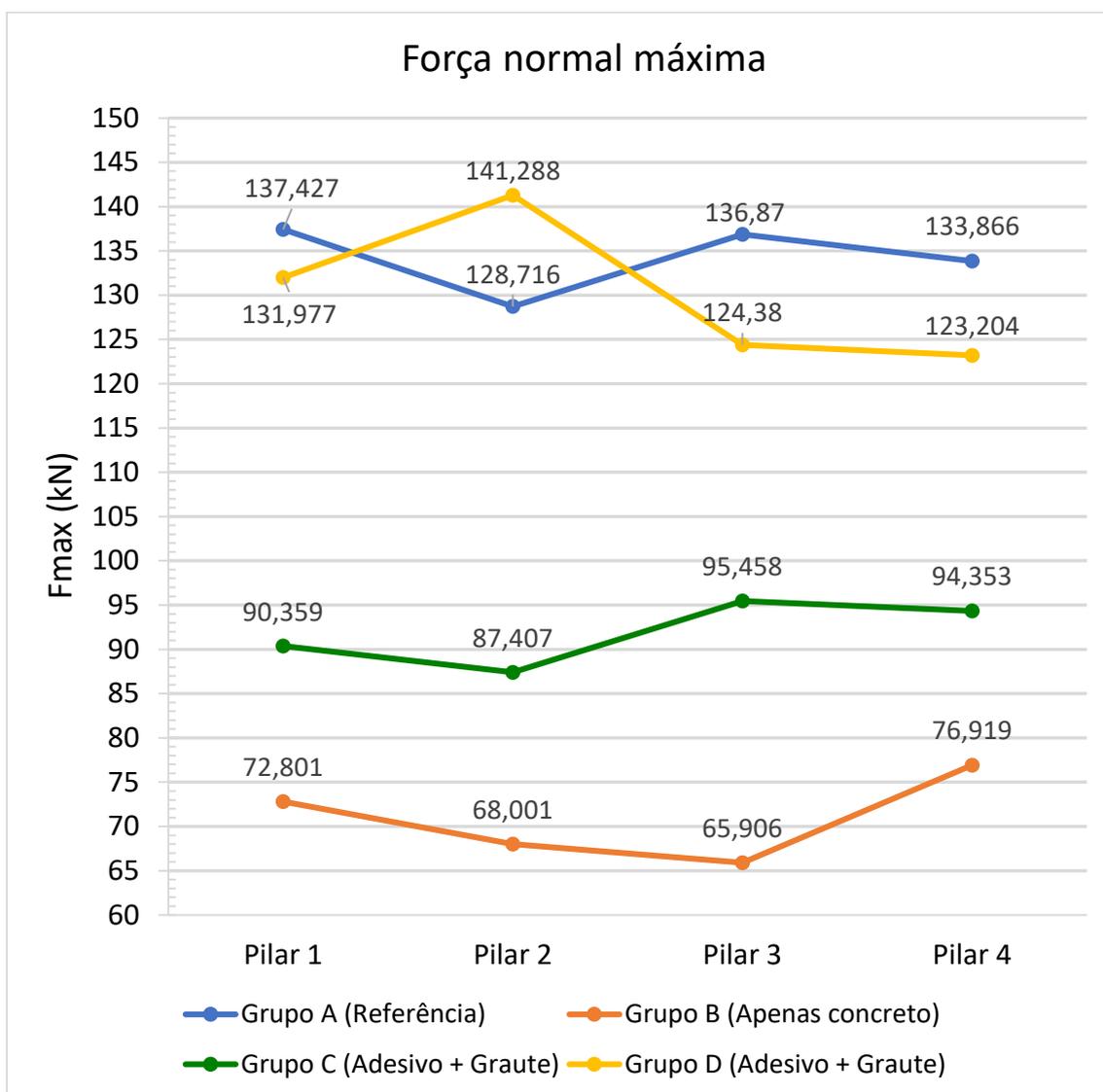
Grupo	Pilar	Área (mm ²)	Tensão máxima (MPa)	Força máxima (kN)	Força média (kN)	$\frac{\text{Média (B,C,D)}}{\text{Média A (\%)}}$
A	1	3225,47	42,61	137,42	134,21	100
	2	3375,53	38,13	128,71		
	3	3239,85	42,25	136,87		
	4	3280,00	40,81	133,86		
B	1	3306,40	22,02	72,80	70,90	52,83
	2	3293,94	20,64	68,00		
	3	3325,49	19,82	65,90		
	4	3307,47	23,26	76,91		
C	1	3354,43	26,94	90,35	91,89	68,47
	2	3366,43	25,96	87,40		
	3	3492,94	27,33	95,45		
	4	3402,00	27,73	94,35		
D	1	3354,45	39,34	131,97	130,21	97,02
	2	3300,60	42,81	141,28		
	3	3483,36	35,71	124,38		
	4	3460,94	35,60	123,20		

Fonte: A autoria própria (2018).

Os pilares do grupo A (referência) atingiram uma força normal máxima média de 134,21 kN, e em média todos os outros grupos de pilares obtiveram um força normal máxima menor, porém o pilar mais resistente foi um dos pilares do grupo D (adesivo + graute), que alcançou o valor de 141,28 kN, enquanto que o pilar três do grupo B (apenas concreto), obteve o menor resultado, de 65,90 kN.

Para melhor visualização e comparação, os resultados da força normal máxima foram dispostos no gráfico da Figura 34.

Figura 34 – Gráfico de força normal máxima.



Fonte: Autoria própria (2018).

Observa-se no gráfico que os resultados do grupo D (adesivo + graute), aproximam-se muito dos resultados dos pilares referência, enquanto que os dos demais grupos foram bem menores, com os resultados do grupo C (adesivo + concreto) ligeiramente maiores aos do grupo B (apenas concreto).

Para a conclusão dos ensaios, além da força e tensão máxima, é importante identificar o local da ruptura dos pilares. A Tabela 3 demonstra os locais de ruptura dos pilares.

Tabela 3 – Locais de ruptura dos pilares.

Grupo	Pilar	Local de ruptura
A	1	Extremidade
	2	Extremidade
	3	Extremidade
	4	Extremidade
B	1	Recomposição
	2	Recomposição
	3	Recomposição
	4	Recomposição
C	1	Recomposição
	2	Recomposição
	3	Recomposição
	4	Recomposição
D	1	Imediatamente acima da recomposição
	2	Imediatamente acima da recomposição
	3	Extremidade
	4	Extremidade

Fonte: Autoria própria (2018).

Observa-se na tabela que os pilares que foram recompostos com concreto romperam na recomposição, devido à fragilidade da região, enquanto que os pilares do grupo D (adesivo + graute), tiveram locais de ruptura semelhantes aos dos pilares referência. Nenhum pilar teve indícios de ruptura na interface onde foi aplicado o adesivo estrutural.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.** observa-se a ruptura dos pilares do grupo A. Todos os pilares do grupo A (pilares referência), romperam-se nas extremidades.

Figura 35 – Pilares ensaiados, grupo A (pilares referência).



Fonte: Autoria própria (2018).

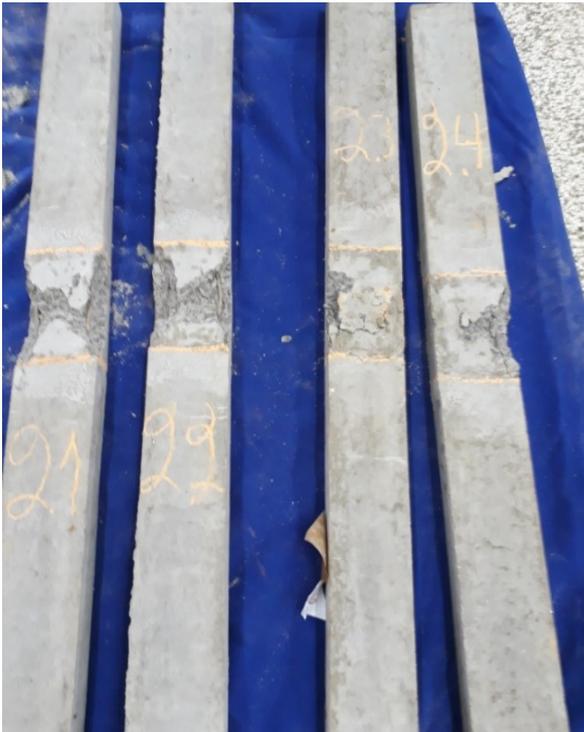
Figura 36 - Pilar 1, Grupo A (pilares referência).



Fonte: Autoria própria (2018).

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e Figura 39 observa-se a ruptura dos pilares do grupo B (simplesmente com concreto), os quais romperam exatamente na recomposição.

Figura 37 - Pilares ensaiados, Grupo B (apenas com concreto).



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 38 - Pilar 1, Grupo B (apenas com concreto).



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 39 – Pilar 4, Grupo B (apenas com concreto).



Fonte: Autoria própria (2018).

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, ilustram-se os pilares do grupo C (adesivo e concreto) rompidos, os quais romperam na recomposição, assim como os do grupo B.

Figura 40 - Pilares ensaiados, Grupo C (adesivo e concreto).



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 41 - Pilar 4, Grupo C (adesivo e concreto).



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 42 – Pilar 3, Grupo C (adesivo e concreto).



Fonte: Autoria própria (2018).

Por fim, a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, mostram a ruptura dos pilares do grupo D (adesivo e graute). Dois pilares do grupo romperam nas extremidades, e outros dois logo acima da reposição.

Figura 43 - Pilares ensaiados, Grupo D (adesivo e graute).



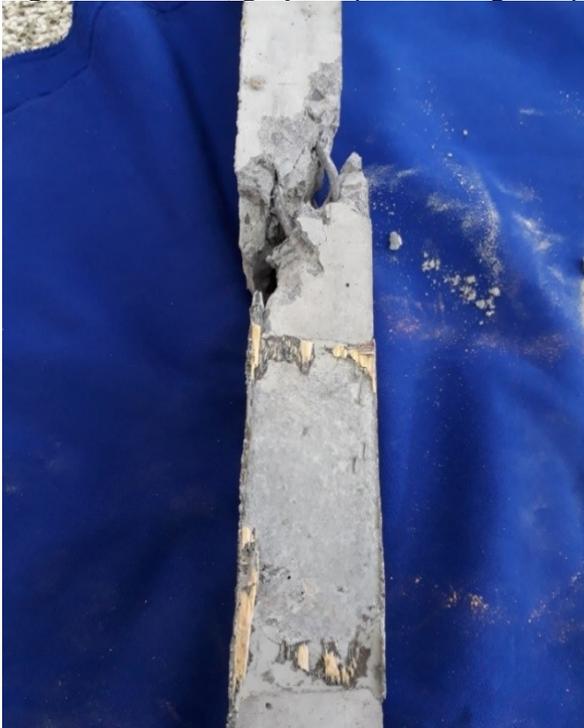
Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 44 - Pilar 1, Grupo D (adesivo e graute).



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 45 - Pilar 2, grupo D (adesivo e graute).



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 46 - Pilar 3, grupo D (adesivo e graute).



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 47 – Pilar 4, grupo D (adesivo e graute).



Fonte: Autoria própria (2018).

7 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou uma análise sobre a eficiência do processo de recomposição, de pilares em concreto armado, muito utilizado em patologias bem recorrentes nas construções, como demonstrado, principalmente corrosão de armaduras.

Com base nos resultados obtidos a partir dos ensaios propostos por este trabalho, pode-se concluir sobre os pilares:

- A recomposição com graute e adesivo foi praticamente similar aos pilares referência, chegando à 97,02 % da força de ruptura dos pilares referência, além de alcançar o maior valor de força dentre todos os pilares ensaiados.

- A recomposição simplesmente com concreto foi a que obteve os piores resultados, 52,83 % da força dos pilares referência. Ruim para a construção civil, já que é o que acontece na prática em obras.

- A recomposição com adesivo e concreto é superior à recomposição apenas com concreto, atingindo 68,47 % da força média dos pilares referência.

- Sobre o adesivo estrutural, conclui-se que o produto é de confiança e o mesmo demonstrou nos ensaios que a falha a compressão não ocorreu nas emendas entre o concreto novo e o antigo.

- Com relação ao graute, nota-se que o material é de excelente qualidade, já que sua resistência é alta, maior que a prometida na embalagem do produto (resistência aos 28 dias da embalagem é de 40 Mpa); além disto, se comporta muito bem quando utilizado em recomposições.

- Em relação a dosagem do concreto, com traço de 1:2:2 e relação a/c: 0,55, o f_{ck} para este traço é de 35,90 MPa.

A recomendação para trabalhos futuros é a análise do processo de recomposição em pilares de concreto armado com reforço de fibra de carbono.

REFERÊNCIAS

A & S ADESIVOS E SELANTES. **Banco de dados**. 2011 Disponível em: < <https://www.construchemical.com/edicao/30/> >. Acesso em: 28 de ago de 2018.

ANAGNOSTOPOULOS, C. A. **Effect of diferente superplasticisers on the physical and mechanical properties of cement grouts**: Construction and Building Materials. v. 50, n. 6. Grécia. 2014.

ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. 104p. Pini. São Paulo. 1992.

ANDRADE, Paulo H. de. **Evolução do Concreto Armado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Civil. Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2006.

ARAÚJO, Caroline M. **Reforço de Vigas de Concreto à Flexão e ao Cisalhamento com Tecidos de Fibra de Carbono**. Tese de mestrado – UFRJ. Rio de Janeiro. 140p, 2002. Disponível em <<http://www.coc.ufrj.br/index.php/dissertacoes-de-mestrado/102-2002/1800-caroline-maia-araujo#download>>. Acesso em 05 de ago. de 2018.

ARAÚJO, José Milton. **Curso de concreto armado**. 4 ed. Dunas. Rio Grande, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12655:2015**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575:2013**: Edificações habitacionais – desempenho. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738:2015**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739:2018**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118:2014**: Projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8681:2003**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro. 2003.

BARIN, D. **Carbonatação e absorção capilar em concretos de cimento Portland branco com altos teores de adição de escória de alto forno e ativador químico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2008.

BAUER, F. **Concreto**: ensino, pesquisa e realizações. 2 ed. São Paulo. Ibracon. 2005.

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

BICZÓK, I. **Concrete Corrosion and Concrete Protection**. Akadémiai Kiadó. 543p. 1964.

BOTELHO, M.H.C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado eu te amo**. 7ª ed. Blucher. 526p. São Paulo. 2013.

BROTO, C. **Enciclopedia broto patologías de la construcción**. 1396p. Barcelona, Espanha. 2005.

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

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT). **DNIT 084**. Tratamento da corrosão – especificação de serviço. Rio de Janeiro. 2006.

FUSCO, Pericles B. **Técnica de armar as estruturas de concreto**. Pini. São Paulo. 1995.

FUSCO, Pericles B. **Tecnologia do concreto estrutural**: Tópicos aplicados a componentes, durabilidade, resistência mecânica, corrosão e compressão. São Paulo, Pini, 2008.

GARCIA, F. G.; SAMPAIO, E. M.; NEVES, A. F.; OLIVEIRA, M. G. de. **Evaluación de la adherencia de uniones adhesivas metálicas com adhesivos epoxídicos modificados**. Revista Polímero: ciência e tecnologia, São Carlos. v. 18, n. 1. 2008.

GIESELER, S., TUTIKIAN, B. **Estudo de grautes produzidos com agregado reciclado de resíduo de bloco cerâmico incorporando teores de cal hidratada**: Ambiente Construído. v 13, n 3. São Leopoldo. 2013.

HELENE, P. **Manutenção para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. Pini, 2ª ed. São Paulo, 1992.

HELENE, P. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. Pini. São Paulo, 1986.

ISAIA, Geraldo C. **Efeitos de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho**: um estudo de durabilidade com vistas a corrosão da armadura. In: Concreto: Ciência e tecnologia. V 2. IBRACON. São Paulo. 2011.

LORD CORPORATION. **Banco de dados**. São Paulo. 2012. Disponível em: <<https://www.lord.com/>>. Acesso em: 28 de ago de 2018.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil**: causas e soluções para danos e prejuízos em obras. Pini. São Paulo. 2007.

MARQUES, Vinícius S. **Recuperação de estruturas submetidas à corrosão de armaduras**: definição das variáveis que interferem no custo. Trabalho de conclusão de curso – UFRGS. Porto alegre. 2015.

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

MIRANDA, C.R.; GOLD, J.S. **Estudo do Ataque de Soluções Ácidas ao Cimento**. In: Congresso de Química do Cimento. Anais. São Paulo. 1996.

NAKAMURA, Juliana. **Projetos**: reparo, reforço e recuperação de concreto. Artigo para revista Técnica, ed 146. 2009. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/146/concreto-reparo-reforco-e-recuperacao-de-concreto-285462-1.aspx>>. Acesso em 03 de set de 2018.

NAKAMURA, J.; FARIA, R. **Intervenções corretivas estendem a vida útil das estruturas de concreto armado**: Conheça produtos e técnicas para recuperação estrutural. Artigo para revista Técnica, ed 201. 2013. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/201/intervencoes-corretivas-reestabelecem-estendem-a-vida-util-das-estruturas-de-302536-1.aspx>>. Acesso em 28 de out de 2018.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. 2ª ed. Pini. 828p. São Paulo. 1997.

NICHELE, B. P. **Alvenaria estrutural de blocos cerâmicos**: controle na execução para evitar manifestações patológica. Dissertação de Graduação, UFRGS. Porto Alegre. 2014.

OLIVEIRA, L. A. **Estudo do desempenho dos grautes com adições para enchimento de blocos de alvenaria estrutural**. Dissertação de Mestrado. EP/USP, São Paulo. 1986.

OLIVEIRA, P. S. F.; OLIVEIRA, R. R. de.; TULA, L. **Grautes**. Artigo para revista *Téchne*. 2002.

PETRIE, E. W. **Epoxy adhesive Formulations**. 1 Ed. McGraw-Hill. New York, N.Y. 2006.

PRUDÊNCIO, L. R.; OLIVEIRA, A. L.; BEDIN, C. A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 1 ed. Pallotti. Florianópolis. 2002.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 1 ed. Pini. São Paulo. 2003.

REIS, L. S. N. **Sobre a Recuperação e Reforço das Estruturas de Concreto Armado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais. 114f. Belo Horizonte, 2001.

RIBEIRO, D. V.; 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. Elsevier. Rio de Janeiro. 2014.

SILVA, L. K. da. **Levantamento de Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado no Estado do Ceará**. Trabalho de conclusão de curso - UFCE, 51f. Fortaleza, 2011.

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

SILVA, L. F. M.; MAGALHÃES, A. G.; MOURA, M. F. S. F. **Juntas adesivas estruturais**. Publindústria. Coimbra. Portugal. 2007.

SILVEIRA, L. **Reparos de estruturas de concreto**. Blog de engenharia civil. 2009. Disponível em: < <http://englucianosilveira.blogspot.com/2009/06/reparos-de-estruturas-de-concreto.html>>. Acesso em 22 de out de 2018.

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

THOMAZ, E. **Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 1ª ed. Pini. São Paulo. 1989.

TUTIKIAN, B.; PACHECO, M. **Inspección, diagnóstico y pronóstico em la construcción civil**. Boletín técnico. ALCONPAT internacional. Mérida, Espanha. 2013.

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.

ZAMBERLAN, F. **Penetração de cloretos em concretos compostos com cinza de casca de arroz de diferentes teores de carbono grafítico**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Maria. Santa maria. 2013.