

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANDREI AURÉLIO PESCAROLO

**AVALIAÇÃO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO TRATADAS COM ADESIVO
ESTRUTURAL E PROTETOR DE ARMADURAS SUBMETIDAS AO ENSAIO DE
FLEXÃO**

Campo Mourão

2021

ANDREI AURÉLIO PESCAROLO

Avaliação de vigas de concreto armado tratadas com adesivo estrutural e protetor de armaduras submetidas ao ensaio de flexão

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

2021



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 VIGAS DE CONCRETO ARMADO TRATADAS COM ADESIVO
ESTRUTURAL E PROTETOR DE ARMADURAS SUBMETIDAS AO ENSAIO DE FLEXÃO**

por

Andrei Aurélio Pescarolo

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 19h do dia 24 de setembro de 2021 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. Dr. Douglas Fukunaga Surco

(UTFPR)

Orientador

**Prof^a. Dr^a. Thelma Pretel Brandão
Vecchi**

(UTFPR)

Coorientadora

**Prof. Dr. Adalberto Luiz Rodrigues de
Oliveira**

(UTFPR)

**Prof^a. Dr^a. Fabiana Goia Rosa de
Oliveira**

(UTFPR)

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

Coordenador do Curso de Engenharia Civil: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

AGRADECIMENTOS

A elaboração e desenvolvimento deste trabalho só foi possível graças ao suporte de algumas pessoas que me incentivaram e me apoiaram ao longo de todo o curso. Em especial agradeço:

a DEUS por sempre iluminar e abençoar meu caminho;

a minha mãe Kátia Regina Pacheco Pescarolo e ao meu pai Marcos Aurélio Pescarolo pelo imensurável suporte e esforço para que eu pudesse chegar até aqui;

a minha namorada Jéssica Lúcio da Silva por todo amor compartilhado e por fazer meus dias melhores;

aos meus amigos Fernando, Gilson, Henry, Iago, João Paulo, João Victor, Matheus e Ruan pela companhia ao longo do curso e pela amizade;

ao meu orientador Douglas Fukunaga Surco pelo conhecimento compartilhado e pelo empenho em me guiar ao longo deste trabalho;

a minha coorientadora Thelma Pretel Brandão Vecchi pelo conhecimento compartilhado e o empenho em tornar esse trabalho melhor;

a todos os professores da UTFPR que ao longo do curso compartilharam seu conhecimento através das aulas;

aos técnicos Fabio e Maiko que me ajudaram na elaboração e realização do experimento.

RESUMO

As estruturas de concreto armado sofrem com uma gama de patologias de diversas origens. Contudo, sabe-se que a patologia com maior ocorrência nas obras brasileiras é a corrosão das armaduras. Desta forma, medidas devem ser apresentadas a fim de neutralizar ou diminuir esses problemas. Uma das formas mais correntes de diminuir o processo de corrosão é o tratamento prévio das armaduras com algum produto que dificulte a corrosão, além de, é claro, um projeto estrutural bem detalhado e dimensionado, e boa execução da obra. Este trabalho apresenta um estudo com o intuito de avaliar a influência do tratamento das armaduras com pinturas especiais e adesivo estrutural e sua relação com a aderência entre o concreto e aço. Para esta análise foram ensaiadas vigas de concreto armado, submetidas a um ensaio de flexão; as vigas foram divididas em grupos, cada qual submetido a um tratamento diferente. Após os ensaios, conclui-se que as vigas sem tratamento na armadura e com tratamento na armadura apresentam desempenhos muito próximos, com uma variação de -6,54% para o grupo com adesivo e +0,04% para o grupo com protetor de armadura.

Palavras-chave: Estruturas de concreto. Patologias. Corrosão. Pintura. Adesivo estrutural. Ensaio de flexão. Vigas.

ABSTRACT

Reinforced concrete structures suffer from a range of pathologies from different origins. However, it is known that the most common pathology in Brazilian works is reinforcement corrosion. Thus, measures must be presented in order to neutralize or reduce these problems. One of the most common ways to reduce the corrosion process is to pre-treat the reinforcement with a product that makes corrosion difficult, in addition to, of course, a well-detailed and dimensioned structural project, and good execution of the work. This work presents a study in order to evaluate the influence of reinforcement treatment with special paints and structural adhesive and its relationship with the adhesion between concrete and steel. For this analysis, reinforced concrete beams were tested, submitted to a bending test; the beams were divided into groups, each submitted to a different treatment. After the tests, it is concluded that beams without reinforcement treatment and with reinforcement treatment present very similar performances, with a variation of -6.54% for the group with adhesive and +0.04% for the group with armor protector.

Keywords: Concrete structures. Pathologies. Corrosion. Painting. Structural adhesive. Bending test. Beams.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comportamento do concreto na flexão pura (Estádio I).....	20
Figura 2: Comportamento do concreto na flexão pura (Estádio II).....	20
Figura 3: Comportamento do concreto na flexão pura (Estádio III).....	21
Figura 4: Domínios de estado limite último de uma seção transversal.....	22
Figura 5: Ilustração do mecanismo de corrosão eletroquímica devido ao ataque por cloretos.....	24
Figura 6: Pilar com corrosão devido ao ataque de cloretos.....	25
Figura 7: Reação de carbonatação	27
Figura 8: Carbonatação do concreto.....	27
Figura 9: Pilar com carbonatação do concreto.	28
Figura 10: Cuidados na execução de reparos quase profundos e profundos...	29
Figura 11: Formas de recomposição.....	30
Figura 12: Remoção do concreto com uso de martelo e talhadeira	31
Figura 13: Remoção de produtos da corrosão com escova de cerdas de aço..	32
Figura 14: Remoção de produtos da corrosão com lixa manual	33
Figura 15: Remoção de produtos da corrosão com lixadeira elétrica.....	33
Figura 16: Processos de recuperação de um pilar.....	34
Figura 17: Esquema de ensaio das vigas.....	41
Figura 18: Detalhamento da viga.	41
Figura 19: Propriedades e características do protetor de armadura Quartzolit.	43
Figura 20: Protetor de armadura Quartzolit.	44
Figura 21: Armadura tratada com o protetor de armadura Quartzolit.	45
Figura 22: Armadura tratada com protetor de armadura e armadura sem tratamento.....	45
Figura 23: Propriedades e características do adesivo estrutural Compound. ..	46
Figura 24: Adesivo estrutural Compound.....	47
Figura 25: Armadura tratada com adesivo estrutural.	47
Figura 26: Forma para concretagem das vigas.	48
Figura 27: Vigas e corpos de prova concretados.....	49
Figura 28: Vigas concretadas.....	49
Figura 29: Corpos de prova pronto para serem ensaiados.....	50
Figura 30: Diagramas de esforços solicitantes (ensaio de tração na flexão). ...	51

Figura 31: Viga sendo ensaiada.....	52
Figura 32: Corpos de prova rompidos.....	56
Figura 33: Vigas rompidas (adesivo estrutural).	58
Figura 34: Armadura positiva da viga rompida (adesivo estrutural).	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classes de agressividade ambiental (CAA).	17
Tabela 2: Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.	18
Tabela 3: Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm.	19
Tabela 4: Valores de f_c do concreto.	53
Tabela 5: Valores de Ψ_6	54
Tabela 6: Condições de preparo do concreto.	55
Tabela 7: Resultados do ensaio á flexão das vigas.	57

LISTA DE SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
f_{ck}	Resistência Característica do Concreto
f_{ctk}	Resistência Característica do Concreto à Tração
ϵ_c	Deformação específica do concreto
ϵ_{cu}	Deformação última do concreto
ϵ_s	Deformação específica do aço da armadura passiva
ϵ_{yd}	Deformação específica do escoamento do aço de cálculo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	15
3	JUSTIFICATIVA.....	16
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
4.1	PROJETO ESTRUTURAL DE CONCRETO ARMADO	17
4.2	CORROSÃO DAS ARMADURAS	22
4.2.1	<i>Ação de ácidos.....</i>	23
4.2.2	<i>Ação de cloretos</i>	23
4.2.3	<i>Ação de sulfatos.....</i>	25
4.2.4	<i>Carbonatação do concreto</i>	26
4.3	RECUPERAÇÃO DOS ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO	28
4.3.1	<i>Preparo do substrato e limpeza</i>	31
4.3.2	<i>Tratamento da patologia</i>	34
4.4	ADESIVO ESTRUTURAL	35
4.4.1	<i>Adesivo acrílico</i>	35
4.4.2	<i>Adesivo epóxico</i>	36
4.4.3	<i>Adesivo fenólico</i>	36
4.4.4	<i>Adesivos poliaromáticos.....</i>	36
4.4.5	<i>Adesivo poliuretano.....</i>	37
4.5	TINTA ANTICORROSIVA	37
4.5.1	<i>Tinta acrílica.....</i>	38
4.5.2	<i>Tinta alquídica.....</i>	38
4.5.3	<i>Tinta epóxi.....</i>	38
4.5.4	<i>Tinta etil-silicato de zinco</i>	39
4.5.5	<i>Tinta intumescente.....</i>	39
4.5.6	<i>Tinta nitrocelulose</i>	39
4.5.7	<i>Tinta poliuretana</i>	40
4.5.8	<i>Tinta de silicone</i>	40

5	METODOLOGIA	41
5.1	MATERIAIS UTILIZADOS	42
5.2	TRATAMENTO DAS ARMADURAS DAS VIGAS.....	42
5.3	ELABORAÇÃO DAS VIGAS	48
5.4	ENSAIO A COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA	50
5.5	ENSAIO A FLEXÃO DAS VIGAS.....	50
6	RESULTADOS.....	53
6.1	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO (F_{ck})	53
6.2	RESISTÊNCIA A FLEXÃO.....	56
7	CONCLUSÃO	59
	REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

O concreto tem suas primeiras evidências, há aproximadamente 5300 anos com os egípcios através do gesso calcinado e depois com os romanos e gregos através da hidratação de cinzas vulcânicas. Contudo, somente no século XIX, com a patente do cimento Portland em 1824, por Joseph Aspdin, possibilitou-se o desenvolvimento do concreto armado.

Desde então o concreto vem sendo usado massivamente pela humanidade, sendo atualmente o segundo material mais consumido no mundo. O consumo em grande escala desse material está relacionado com sua capacidade de solucionar os desafios da construção civil diante dos problemas enfrentados com o avanço da civilização.

No entanto, diante do uso abundante desse material, problemas começaram a aparecer e, juntamente com isso, as premissas da Construção Civil começaram a mudar. Atualmente, sabe-se que existe prioridade quanto à qualidade da obra e durabilidade das estruturas. A partir daí, iniciaram-se os estudos das patologias das estruturas.

Patologia pode ser entendida como a parte da Engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema (HELENE,1992).

Entende-se por patologia do concreto armado a ciência que estuda os sintomas, mecanismos, causas e origens dos problemas patológicos encontrados nas estruturas de concreto armado. Importante lembrar que, para um dano qualquer, existe a possibilidade de vários fatores serem responsáveis. Estes danos podem vir apenas a causar incômodos para aqueles que irão utilizar a obra segundo o fim para qual foi feita, desde pequenas infiltrações até grandes problemas que podem levar a estrutura ao colapso (HELENE, 1988).

Inúmeras são as causas que levam as estruturas a sofrerem danos, tais como: falhas de projeto, falta de manutenção, má execução, agressividade do meio (poluição, maresia). Sabendo-se disso faz-se importante a manutenção, reforço, reparo e recuperação das estruturas.

Quanto a recuperação e reforços de vigas há uma gama de métodos e materiais a serem utilizados, considerando-se desde o custo até o problema a ser resolvido. Dentre os materiais utilizados podemos citar: adesivos estruturais, aditivos, argamassa (poliméricas e orgânicas), concreto de alta resistência, perfis metálicos, grautes (base cimento ou orgânicos), tintas e, de uso mais recente, a fibra de carbono.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Avaliar em termos estruturais a recuperação da armadura de vigas de concreto armado utilizando materiais específicos para a recomposição estrutural de peças em concreto armado.

2.2 Objetivo específico

- Avaliar o uso do protetor de armadura para o tratamento da corrosão da armadura de uma viga de concreto armado e sua influência no desempenho do elemento estrutural
- Avaliar o uso de adesivo estrutural na recomposição estrutural da viga.

3 JUSTIFICATIVA

O concreto, no Brasil, é um material que tem seu uso na parte estrutural extremamente superior a outros materiais como aço e madeira. Para quantificar, em 2012, foram produzidos 51 milhões de m³ de concreto no Brasil (ABCP, 2013).

Além do uso abundante do concreto no Brasil, temos que, por muitas vezes, o concreto é considerado como um material de vida útil elevada, e a manutenção e verificações quanto a seu desempenho são deixados de lado. Viadutos sendo interditados ou ruindo, edifícios desabando e até mesmo, mais recente, o rompimento das barragens de Mariana e Brumadinho (G1, 2019), são alguns exemplos de situações em que, dentre os vários motivos, a falta de manutenção é a principal causa. Podemos destacar também que o Brasil lida bastante com a agressividade do ambiente em relação as estruturas, seja pelas edificações litorâneas ou seja pelas edificações em meios de poluição muito alta.

A partir disso, temos o surgimento de patologias tais como: corrosão da armadura, trincas, fissuras, eflorescências, entre vários outros problemas. Em sua maioria proveniente de falhas na execução, falhas de projeto e mal utilização dos materiais.

Vale destacar que a durabilidade, os problemas patológicos, e a falta de manutenção das estruturas de concreto, são assuntos que preocupam a população em geral, seja pelo uso do dinheiro público/privado destinado a manutenção das obras e/ou pela segurança das edificações, logo, o domínio completo dos métodos e técnicas de recuperação e reforço das estruturas é de grande interesse.

Portanto, ao fim deste trabalho espera-se que as vigas tratadas com tinta anticorrosiva e com adesivo estrutural possuam desempenho igual ou melhor no ensaio a flexão do que uma viga sem tratamento.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Projeto estrutural de concreto armado

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizados em projeto conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil (ABNT NBR 6118, 2014).

Para que as estruturas de concreto conservem a segurança, a estabilidade e tenham aptidão em serviço durante toda sua vida útil, é necessário a manutenção periódica da estrutura, e que o projetista leve em conta os mecanismos de deterioração da estrutura como: carbonatação, ação de cloretos, expansão por sulfatos, ação de ácidos, lixiviação e agressividade do meio.

A agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto. No projeto de estruturas, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado na Tabela 1 e pode ser avaliada, simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes (ABNT NBR 6118, 2014).

Tabela 1: Classes de agressividade ambiental (CAA).

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

A durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do concreto do cobrimento da armadura (ABNT NBR 6118, 2014). Para cada classe de agressividade ambiental é necessária uma classe de concreto (Tabela 2), para que haja um desempenho melhor da estrutura.

Tabela 2: Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655. ^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. ^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

Além das características do concreto, da espessura e qualidade do concreto do cobrimento da armadura, para uma boa durabilidade da estrutura é importante que a armadura tenha um cobrimento mínimo de acordo com agressividade do meio, conforme dados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

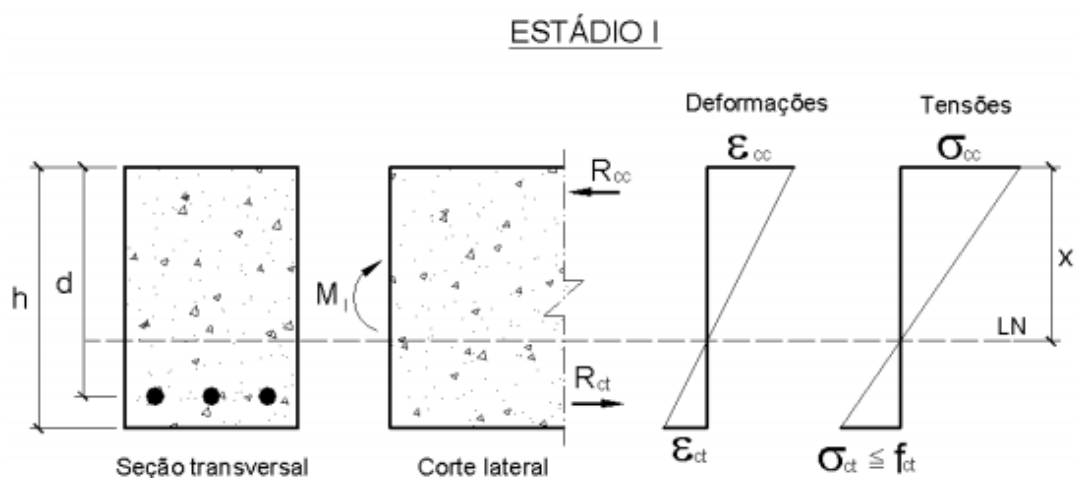
Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

Quando se fala do projeto de vigas de concreto armado faz-se importante a análise dos chamados Estádios de Carregamento, que são as fases que a seção de concreto passa após o início de um carregamento até a sua ruína. Distinguem-se em basicamente três fases distintas: Estádio I, Estádio II e Estádio III.

O Estádio I refere-se à fase em que as tensões na região tracionada geradas pelo momento fletor não ultrapassam a resistência característica do concreto à tração (f_{ctk}). O diagrama de tensão normal ao longo da seção é linear, as tensões nas fibras mais comprimidas são proporcionais às deformações, correspondendo ao trecho linear do diagrama tensão-deformação do concreto e não apresenta fissuras visíveis (CARVALHO E FILHO, 2016).

A Figura 1 apresenta um diagrama linear de tensões, ao longo da seção transversal de concreto submetido à flexão, quando no Estádio I.

Figura 1: Comportamento do concreto na flexão pura (Estádio I).

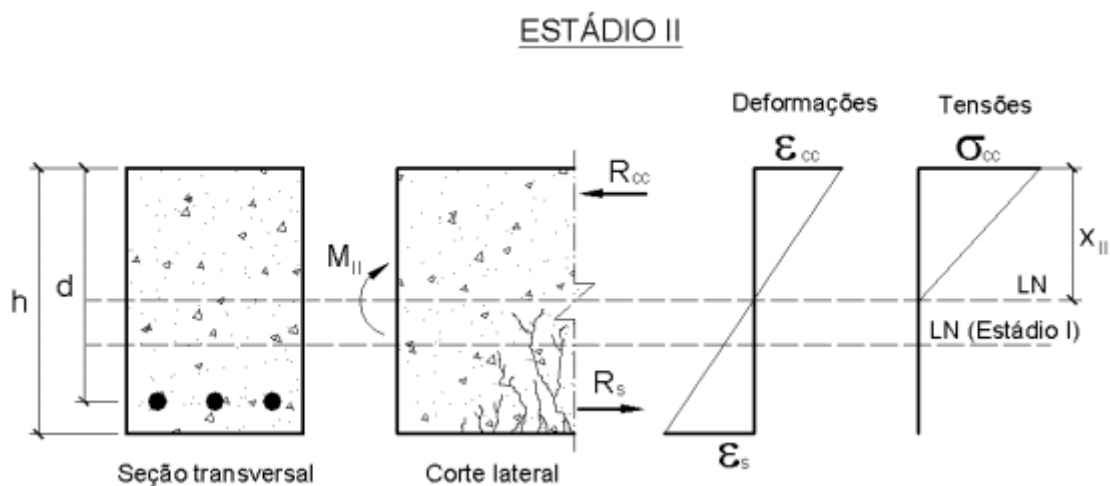


Fonte: LIBÂNIO (2007).

No Estádio II começam a aparecer fissuras devido ao concreto não resistir mais a tração. A contribuição do concreto tracionado deve ser desprezada. Todavia, a parte comprimida ainda mantém um diagrama linear de tensões. Conforme o carregamento evolui as fissuras no concreto aumentam e caminham no sentido da borda comprimida e a tensão na armadura cresce, podendo atingir o escoamento ou não. O término do Estádio II dá-se como o início da plastificação do concreto comprimido (LIBÂNIO, 2007).

A Figura 2 apresenta a fissuração da parte tracionada do concreto e um diagrama linear de tensões na parte comprimida do concreto.

Figura 2: Comportamento do concreto na flexão pura (Estádio II).

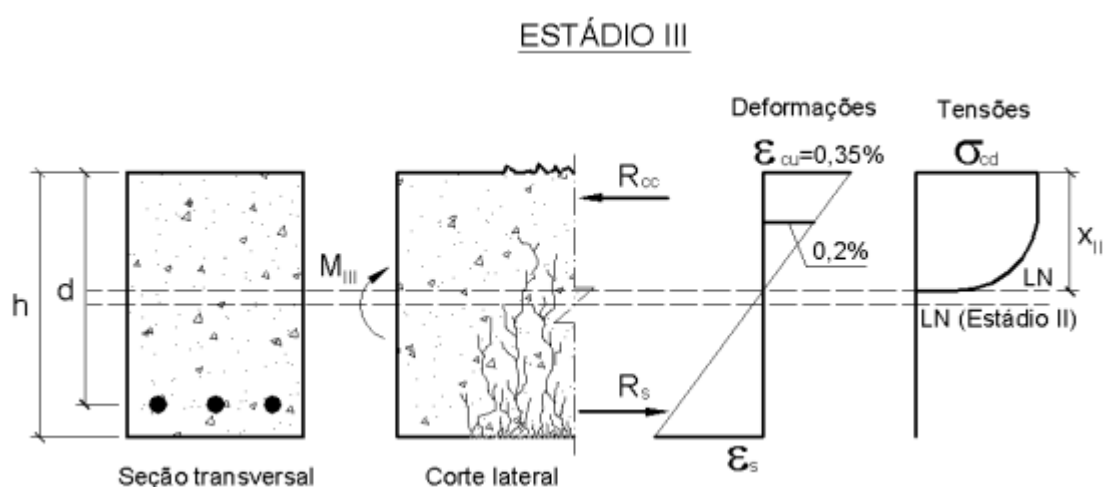


Fonte: LIBÂNIO (2007).

O Estádio III é denominado Estado de Limite Último (ELU). A parte mais comprimida do concreto encontra-se plastificada, apresentando uma grande deformação específica sem o aumento de tensão. A distribuição de tensões dá-se através de um diagrama parábola-retângulo. É nesse estágio em que as vigas são dimensionadas (MUNIZ, 2018).

A Figura 3 mostra a plastificação e a iminência da ruptura do concreto na região comprimida, e apresenta um diagrama de tensões parabólico-retangular.

Figura 3: Comportamento do concreto na flexão pura (Estádio III).



Fonte: LIBÂNIO (2007).

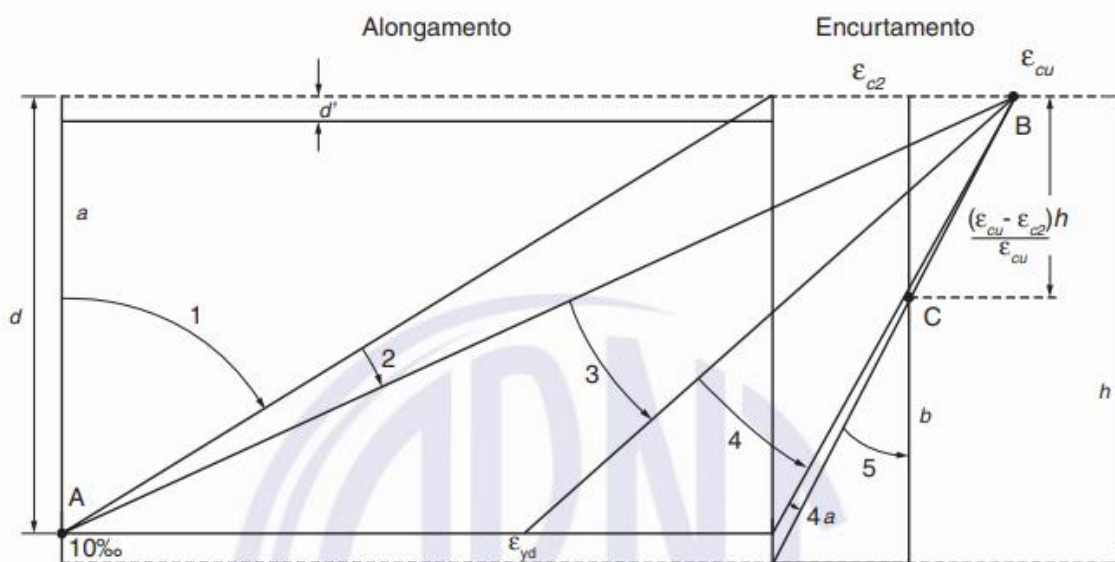
As deformações e estados limites são representados através de domínios (situação em que pelo menos um dos materiais, aço ou concreto, atinge seu limite de deformação). A NBR 6118:2014 (ABNT, 2014) define seis domínios de classificação: 1, 2, 3, 4, 4^a, 5.

- Domínio 1: tração não uniforme, sem compressão
- Domínio 2: flexão simples ou composta sem ruptura à compressão do concreto ($\epsilon_c < \epsilon_{cu}$ e com o máximo alongamento permitido).
- Domínio 3: flexão simples (seção subarmada) ou composta com ruptura à compressão do concreto e com escoamento do aço ($\epsilon_s \geq \epsilon_{yd}$);
- Domínio 4: flexão simples (seção superarmada) ou composta com ruptura à compressão do concreto e aço tracionado sem escoamento ($\epsilon_s < \epsilon_{yd}$);
- Domínio 4^a: flexão composta com armaduras comprimidas;

- Domínio 5: compressão não uniforme, sem tração.

A Figura 4 representa todos os domínios de deformação em apenas um diagrama. No qual podemos verificar que a reta para os domínios 1 e 2 giram em torno do ponto A, que corresponde á ruína por deformação plástica excessiva da armadura. Para os domínios 3,4 e 4a gira em torno do ponto B, relativo à ruptura do concreto com $\epsilon_{cu} = 0,35\%$ na borda comprimida. Por fim, nota-se que do domínio 5 e para a reta b, o diagrama gira em torno do ponto C, correspondente à deformação de 0,2% e distante de $3/7 h$ da borda mais comprimida (LIBÂNIO, 2007).

Figura 4: Domínios de estado limite último de uma seção transversal.



Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

4.2 Corrosão das armaduras

A corrosão de um material pode ser entendida como a deterioração de um material, normalmente um metal, por ação eletroquímica do meio ambiente ou por ação química. Uma vez que o aço tenha sido corroído ele gera um aumento de volume na parte afetada da armadura, produzindo tensões internas maiores do que o concreto suporta. Logo, há o aparecimento de fissuras que deixam a armadura do concreto ainda mais exposta, aumentando a corrosão através dos agentes do meio externo, podendo até ocorrer à desagregação do concreto.

As trincas em concreto armadas devido à corrosão das armaduras são muito comuns nas edificações e precisam ser tratadas adequadamente, a fim de bloquear o processo e evitar o agravamento. Esta situação tem ocorrido com frequência em algumas obras, e muitas vezes não se procura identificar, diagnosticar e corrigir as verdadeiras causas do problema (MARCELLI, 2007).

A corrosão da armadura, na maioria das vezes tem sua fonte geradora no meio externo, logo, deve-se evitar fissuramento do elemento e proteger onde for necessário. Portanto, devido a agressividade diversa dos meios, existe a NBR 6118:2014 que fornece níveis aceitáveis da espessura da fissura e o cobrimento nominal mínimo para cada elemento estrutural de acordo com o meio.

4.2.1 Ação de ácidos

A agressividade do meio em que a estrutura de concreto está inserida é um fator determinante para sua durabilidade. Diante da exposição ou contato da estrutura de concreto com ácidos, ocorre a deterioração do concreto, pois os ácidos reagem com os componentes do concreto baixando seu pH.

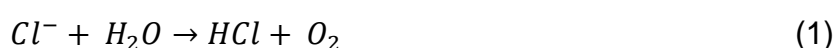
Segundo Gentil (1996) quando o concreto armado é atacado por ácidos ocorre a destruição da pasta de cimento e depois o ataque a armadura, notando-se, na armadura, a formação castanho-alaranjada característica dos sais de ferro.

Nas estruturas de concreto ocorrem ataques ácidos provenientes do contato com ácidos presentes no meio em que a estrutura está inserida como em indústrias de laticínios (ácido láctico), indústrias de vinagre (ácido acético), indústria de suco de laranja (ácido cítrico), indústrias de sabão (ácido graxo), etc. Vale destacar, que em meios muito poluídos, as estruturas de concreto sofrem com as chuvas ácidas, as quais são constituídas por ácidos sob a forma de névoa, tais como: ácido sulfuroso, ácido sulfúrico e ácido nítrico.

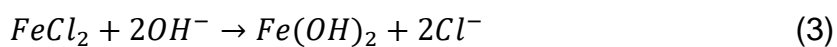
4.2.2 Ação de cloretos

As ação de íons cloreto nas estruturas de concreto armado podem ser entendidas a partir das equações a seguir:

- Concreto armado:



- Aço:

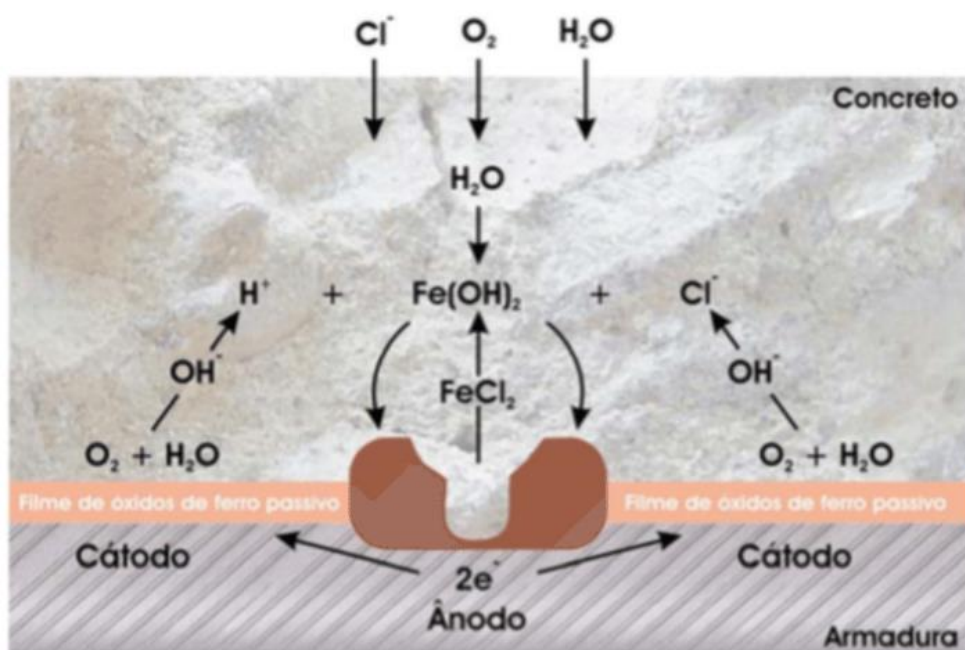


As equações nos mostram que quando a estrutura de concreto entra em contato com os íons cloreto, ocorre a formação do ácido clorídrico, o que provoca a diminuição do seu pH quebrando a camada passivadora do aço. Já quando em contato com o aço, os íons cloreto reagem formando cloreto férrico, substância altamente instável, que reage com as hidroxilas formando hidróxido de ferro mais íons cloreto, ou seja, além do íon cloreto quebrar a camada passivadora do aço, o íon atua gerando uma corrosão localizada (pites de corrosão) (MOTA et al., 2012).

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).

A Figura 5 ilustra as equações (1), (2) e (3).

Figura 5: Ilustração do mecanismo de corrosão eletroquímica devido ao ataque por cloretos.



Fonte: Cascudo (1997).

A Figura 6 apresenta um pilar em região litorânea com sua armadura corroída devido ao ataque de cloretos.

Figura 6: Pilar com corrosão devido ao ataque de cloretos.



Fonte: Reparo em concreto (2010).

4.2.3 Ação de sulfatos

É a expansão por ação de águas ou solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado (ABNT NBR 6118, 2014).

Ambientes urbanos, marinhos, industriais e esgotos estão cada vez mais contaminados por íons sulfatos. Todos os sulfatos levam a deterioração do concreto feito a partir do cimento Portland. A intensidade do ataque depende do íon cátion (íon positivo) que está ligado ao radical sulfato (SO_4^{2-}), de modo que a ordem crescente de agressividade é: sulfato de cálcio ($CaSO_4$), sulfato de sódio (Na_2SO_4), sulfato de magnésio ($MgSO_4$) e sulfato de amônia (NH_4SO_4) (COSTA, 2004).

Costa (2004) esquematiza as reações de maneira simplificada:

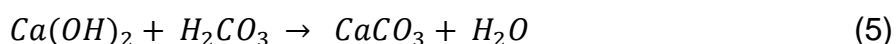
- Hidróxido de cálcio + sulfato + água = gipsita
- Aluminato tricálcico + gipsita + água = monossulfato
- Monossulfato + gipsita + água = etringita

As consequências do ataque do sulfato ao concreto são: expansões, descamação do concreto, fissuração, desintegração e amolecimento. O ataque do íon sulfato é feito por difusão, quando o concreto está saturado e por absorção/adsorção quando o concreto está seco.

A defesa contra o ataque de sulfatos consiste na diminuição do conteúdo de C_3A do cimento, pela adição de óxido férrico, produzindo-se então o C_4AF , que é muito resistente ao ataque químico. Essa é a essência dos chamados cimentos resistentes a sulfatos, como os que são regulados pela NBR 5737 (FUSCO, 2008).

4.2.4 Carbonatação do concreto

A carbonatação do concreto é decorrente de duas reações químicas. A primeira ocorre entre o dióxido de carbono, presente no meio ambiente, e a água nos poros do concreto, formando ácido carbônico que tem um pH baixíssimo. Em seguida, o ácido carbônico reage com o hidróxido de cálcio, formando carbonato de cálcio que é a carbonatação:

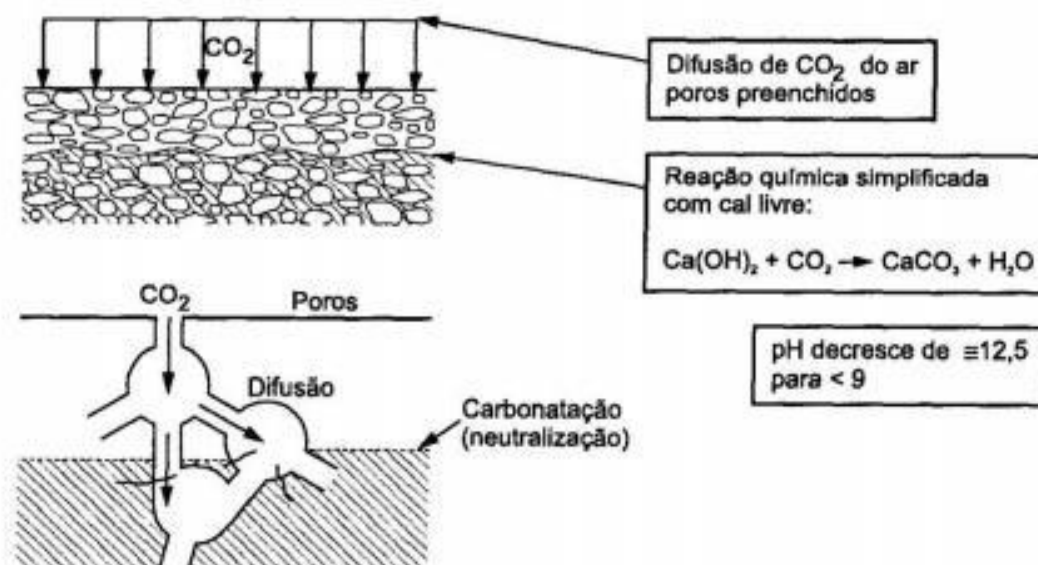


No sentido físico do fenômeno, as reações dos elementos presentes nos poros do concreto geram um ácido forte que começa a degradar o concreto indo em direção a armadura, que vai até certo ponto, até a reação de neutralização desse ácido ocorrer (carbonatação). Dependendo da profundidade da carbonatação, pode-se chegar há um grau em que a armadura do concreto fique extremamente exposta, mesmo que não deixe a armadura totalmente exposta, devido ao baixo pH, a camada de proteção da armadura começa a ficar cada vez mais fraca.

Segundo Gentil (1996), é possível fazer a verificação da profundidade da carbonatação através do uso de uma solução aquosa-alcoólica de fenolftaleína em uma área recém exposta do concreto. Nas partes que apresentarem coloração róseo-avermelhada não há carbonatação, e se a área permanecer inalterada há carbonatação.

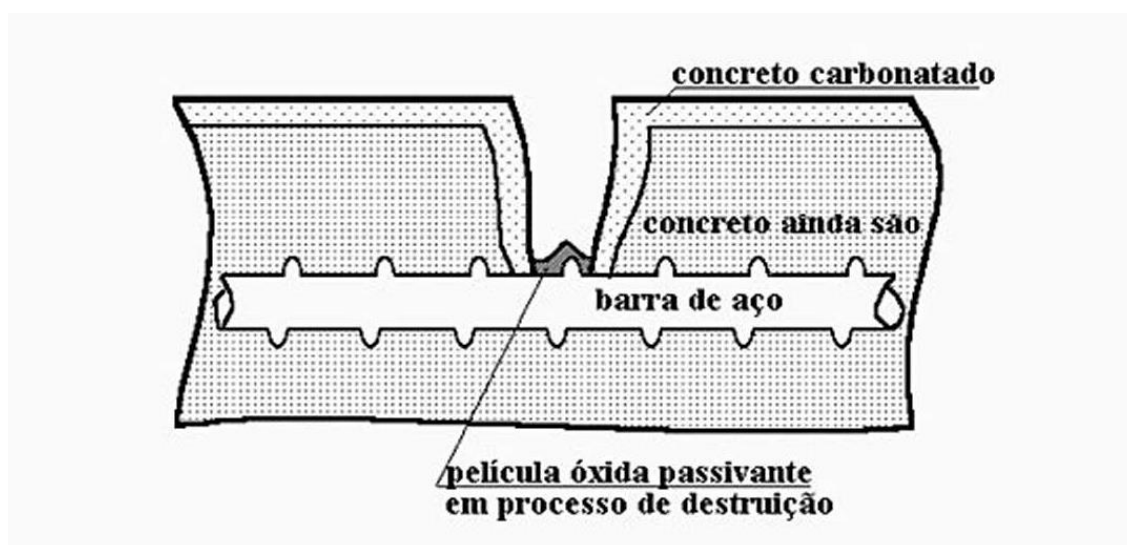
Cascudo (1997) diz que a carbonatação é dependente de fatores como: transporte, lançamento, adensamento e cura do concreto, condições ambientais, tipo de cimento e umidade do ambiente. Nas Figuras 7 e 6, é ilustrado a oxidação da armadura devido ao ataque de gás carbônico.

Figura 7: Reação de carbonatação



Fonte: Cascudo (1997).

Figura 8: Carbonatação do concreto



Fonte: Souza e Ripper (1998).

A Figura 9 apresenta um pilar da parte externa de uma casa o qual a armadura sofreu corrosão devido a carbonatação do concreto.

Figura 9: Pilar com carbonatação do concreto.



Fonte: Apostila de patologia e recuperação das construções (2021).

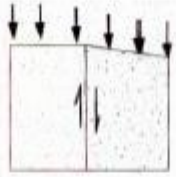
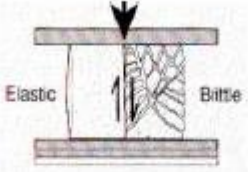

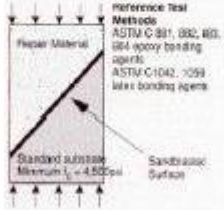
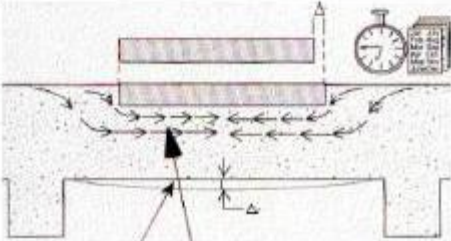
4.3 Recuperação dos elementos de concreto armado

São várias as manifestações quando o concreto é atacado por agentes corrosivos iniciando por fissuras típicas até o lascamento ou delaminação da camada do concreto. Uma estrutura pode apresentar-se doente em vários graus e, quando isto ocorre, é necessário intervir-se para que a sua integridade seja garantida. Quando os serviços a serem executados nesta intervenção não implicarem introdução de materiais com a finalidade de aumentar ou de reconstituir a capacidade portante da estrutura, denominam-se trabalhos de recuperação ou de reparo da estrutura, sendo chamado de reforço em caso contrário (SOUZA e RIPPER, 1998).

Segundo Souza e Ripper (1998), a recuperação estrutural pode ser classificada de acordo com a profundidade alcançada na etapa de preparo do substrato, sendo: raso (zero a 2 cm), quase profundo (2 a 5 cm) e profundo (superior a 5 cm).

Granato (2002) ressalta que o cuidado com a execução deve ser criterioso, pois o reparo irá suportar parte da carga da estrutura. O autor também recomenda que alguns fatores sejam observados, como é mostrado na Figura 10.

Figura 10: Cuidados na execução de reparos quase profundos e profundos.

	<p>⇒ Utilizar materiais com o módulo de elasticidade semelhante ao da estrutura, e de materiais que não sofram deformações que impeçam que os mesmos suportem parte das cargas que lhe são atribuídas.</p>
	
	<p>⇒ Utilizar materiais com coeficiente de expansão térmica semelhante ao da estrutura, de forma a não tensões na linha de aderência.</p>
	<p>⇒ Garantir a boa aderência do material de reparo à estrutura, de forma a que se comportem como uma peça única.</p>
	<p>⇒ É esperada uma certa retração do material de reparo. Isto pode fazer com que o reparo não contribua para suportar as cargas impostas. Devem-se adotar todos os procedimentos possíveis para minimizar a retração do reparo, tal como traço do material de reparo, retração compensada, cura, etc.</p>

Fonte: Granato (2002)

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).

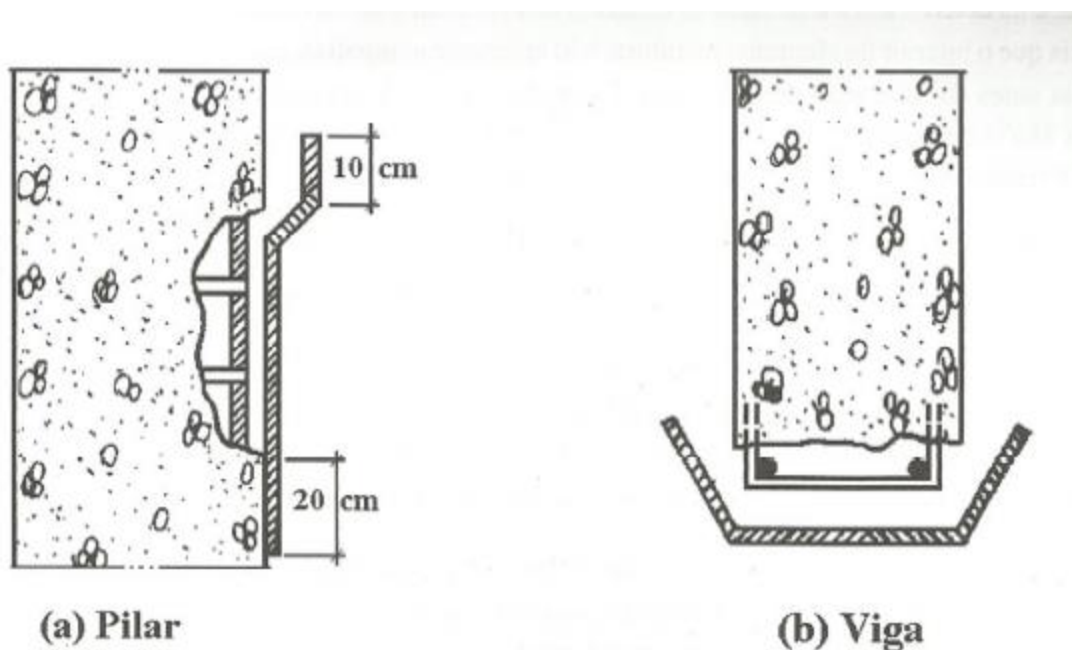
Dentre os materiais usados no processo de recomposição do concreto antigo o maior destaque é dado para os concretos e argamassas. Em termos de qualidade

e economia financeira, a melhor opção é preencher o espaço deixado pela remoção do concreto danificado com concreto sadio (SOUZA e RIPPER, 1998).

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 autoadensáveis. 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). A Figura 11, “a” e “b”, ilustra formas que podem ser usadas para pilares e vigas.

Figura 11: Formas de recomposição



Fonte: Souza e Ripper (1998)

4.3.1 Preparo do substrato e limpeza

Quanto ao preparo do elemento em recuperação ou reforço, Helene (1992) destaca que para obter sucesso no processo o preparo do substrato e a limpeza são as etapas mais importantes.

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 de correção, ou seja, são os tratamentos prévios da superfície dos componentes estruturais (HELENE, 1992).

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 12 mostra a remoção do concreto por meios manuais, com o auxílio de martelo e talhadeira (SILVEIRA, 2009).

Figura 12: Remoção do concreto com uso de martelo e talhadeira



Fonte: Silveira (2009)

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).

As Figuras 13, 14 e 15 ilustram a limpeza das armaduras corroídas de forma manual e mecânica.

Figura 13: Remoção de produtos da corrosão com escova de cerdas de aço



Fonte: Silveira (2009)

Figura 14: Remoção de produtos da corrosão com lixa manual



Fonte: Silveira (2009)

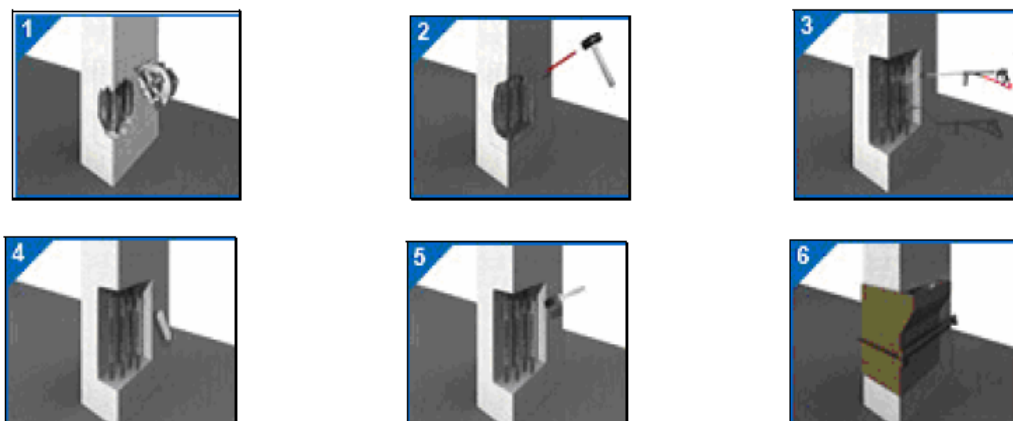
Figura 15: Remoção de produtos da corrosão com lixadeira elétrica



Fonte: Silveira (2009)

A Figura 16 ilustra os procedimentos a serem adotados no preparo do substrato e limpeza de um pilar de concreto para a sua recuperação.

Figura 16: Processos de recuperação de um pilar



Fonte: Quartzolit (2019).

1- Recorte da área a ser recuperada usando a ferramenta adequada; 2- Remoção do concreto deteriorado, dos agregados e pó; 3- Limpeza da armadura corroída; 4- Limpeza da armadura corroída; 5- Tratamento da armadura por pintura de proteção específica, verificação das seções da barra, caso necessário, reforçar as barras; 6- Montagem de uma forma primer que permita o lançamento do material de reparo sem que haja vazamento;

4.3.2 Tratamento da patologia

Ao ser verificada que uma estrutura de concreto armado ou protendido está "doente", isto é, que apresenta problemas patológicos, torna-se necessário efetuar uma vistoria detalhada de corrosão e cuidadosamente planejada para que se possa determinar as reais condições da estrutura, de forma a avaliar as anomalias existentes, suas causas, providências a serem tomadas e os métodos a serem adotados para a recuperação ou o reforço (SOUZA e RIPPER, 1998).

De acordo com as circunstâncias e parâmetros envolvidos para a recuperação do elemento estrutural, existem diversos tipos de reparo e materiais a serem usados tais como: 1) reparos com adesivo estrutural (epóxidos, fenólicos, acrílicos, poliaromáticos, poliuretanos). 2) reparos com argamassa (convencional, farofa, convencional com adesivo PVA ou com adesivo acrílico, seca com adesivo PVA ou com adesivo acrílico, epoxídica, convencional com adesivo epóxi, seca com adesivo epóxi, projetada com aditivo acelerador). 3) reparos com concreto (com

agregado pré-colocado, convencional, com adesivos, projetado). 4) reparos com graute. 5) reparos com tinta anticorrosiva (acrílica, alquídica, etil-silicato de zinco, epóxi, intumescente, nitrocelulose, poliuretana, de silicone).

4.4 Adesivo estrutural

Pode-se definir um adesivo como sendo um material polimérico que, assim que aplicado em superfícies, pode ligá-las, resistindo à sua separação pela ação combinada de diferentes forças adesivas e coesivas. Por sua vez, um adesivo estrutural é um adesivo que resiste a forças consideráveis, permitindo que a resistência ao corte da ligação seja, pelo menos, de aproximadamente 7 MPa. Este tipo de adesivo é responsável pela resistência e rigidez da estrutura (FANECO, 2014).

Adesivos são materiais usados como ponte de aderência entre dois outros, sendo em geral um deles a superfície do concreto velho, também chamada de substrato. Promovem melhoria substancial de aderência entre os diversos materiais tais como: concreto novo/concreto velho, aço/concreto novo, concreto velho/argamassa base poliéster, etc. (HELENE, 1992).

4.4.1 Adesivo acrílico

Os polímeros acrílicos são uma família de compostos resultantes da polimerização de monômeros, que, por sua vez são ésteres do ácido acrílico ou do ácido metacrílico, que apresentam transparência cristalina e excepcional resistência química, sendo utilizados na construção civil sob a forma de placas transparentes semelhantes ao vidro, painéis de revestimento de paredes, em tintas, impermeabilizações (como selante para juntas e como material para execução de membranas) e como adesivos, neste caso com aplicação semelhante à dos adesivos de base PVA (SOUZA e RIPPER, 1998).

4.4.2 Adesivo epóxico

Este tipo de adesivo está sendo fortemente utilizado na indústria de construção mecânica, dada a sua elevada versatilidade, boa aderência a muitos substratos, excetuando alguns polímeros e os elastômeros, devido à sua baixa energia de superfície. Possui elevada resistência mecânica, à tração e ao corte, é de fácil aplicação, mas têm uma fraca resistência ao arrancamento, a não ser que seja modificado com um polímero mais tenaz (FANECO, 2014).

Os adesivos de base epóxi são polímeros fornecidos em dois componentes: monômero e catalisador. Após a mistura dos dois componentes, o material permanece viscoso durante um certo tempo, denominado "potlife", depois endurece e se solidifica, adquirindo então elevada resistência mecânica. A mistura dos componentes deve ser feita com um agitador mecânico ou manual, tomando-se cuidado para que seja bem-feita e homogênea (SOUZA e RIPPER, 1998).

4.4.3 Adesivo fenólico

Os adesivos fenólicos são usados principalmente para colar madeira, sendo também usados para ligar este material a metal, originando uma ligação metal-madeira que, apesar de tudo, se torna frágil e tende a estilhaçar sob impacto ou vibração. Possuem boa resistência mecânica, ao calor e boa estabilidade dimensional, bem como elevada resistência à umidade. As principais limitações estão na baixa resistência à corrosão por solventes, baixa resistência ao impacto e grande fragilidade (FANECO, 2014).

4.4.4 Adesivos poliaromáticos

São adesivos que possuem elevada resistência a temperaturas muito elevadas (superiores a 200°C), sendo grandemente utilizados na indústria aeroespacial, principalmente em aplicações de alta temperatura. O seu processamento torna-se muito difícil, requerendo longos tempos de cura com ciclos de pressão e temperatura elevada, e são frágeis à temperatura ambiente (FANECO, 2014).

4.4.5 Adesivo poliuretano

Apresentam-se geralmente sob a forma de dois componentes e possuem elevada aderência sobre metais, polímeros (mesmo os difíceis de colar), compósitos e plásticos de engenharia, apresentando baixa contração e longos tempos de cura à temperatura ambiente. Possuem bom desempenho a baixa temperatura, boa tenacidade, molhabilidade, resistência ao arrancamento e à abrasão, a choques e vibrações e, ainda, bom comportamento na presença de umidade. São bastante flexíveis, exigindo uma boa preparação da superfície e uma correta proporção na mistura sendo muito sensíveis à sua variação (FANECO, 2014).

4.5 Tinta anticorrosiva

Os mecanismos envolvidos na proteção de metais através de tintas são, ainda hoje, objeto de controvérsia o que se deve não só à complexidade dos processos corrosivos, mas também aos diferentes tipos de tintas existentes e aos inúmeros esquemas de pintura utilizados. Um sistema de pintura para proteção de superfícies metálicas inclui todos ou alguns dos seguintes passos: preparação da superfície, pré-tratamento da superfície, uma ou mais camadas de primário, subcapa e uma ou mais camadas de tinta de acabamento. A preparação da superfície remove óxidos, contaminantes (e restos de tinta velha no caso da superfície já ter sido pintada anteriormente) e ajuda a aderência das camadas seguintes; o pré-tratamento promove a aderência entre os filmes de tinta e o substrato; o primário adere bem ao substrato e pode oferecer proteção ativa contra a corrosão no caso de conter pigmentos anticorrosivos; a subcapa é usada quando é necessário aumentar a espessura da camada de tinta para encobrir rugosidades e defeitos da superfície; o acabamento dá a aparência final do produto com cor, brilho, resistência à intempérie e resistência a ataque de produtos químicos (BASTOS, 1999).

São chamadas de tintas anticorrosivas aquelas que são exclusivas para proteção de superfícies metálicas e que podem ser mono ou bicomponentes. Podem ser de alto ou baixo sólidos, de alta ou baixa espessura e à base de água ou de solventes orgânicos ou mesmo sem solvente (CORROSÃO&PROTEÇÃO, 2015).

4.5.1 Tinta acrílica

É obtida a partir da resina acrílica, que é um polímero advindo de monômeros de ésteres dos ácidos acrílico e metacrílico, base de solventes orgânicos. É mais utilizada na fabricação de tintas de acabamento, por ter boa resistência à radiação solar, em especial aos raios ultravioleta, proporcionando boa resistência de cor.

As tintas acrílicas apresentam vantagens, tais como: maior durabilidade, maior resistência às intempéries, a produtos químicos, ao crescimento de algas e fungos, maior resistência ao descascamento e à formação de bolhas e melhor adesão ao substrato em condições úmidas (ANGHINETTI, 2012).

4.5.2 Tinta alquídica

A resina alquídica é um polímero obtido com óleos glicérides. É obtida pela reação de um poliálcool com um poliácido, modificadas com óleos vegetais e outras resinas. Essa reação resulta em um poliéster modificado. Podem ser dissolvidas em solventes orgânicos ou água. Mais de 90% das tintas à base de solvente usam resinas alquídicas. As resinas alquídicas são usadas em tintas a óleo, esmaltes sintéticos, vernizes e complementos (ANGHINETTI, 2012).

As tintas alquídicas, também chamadas de tintas sintéticas, apesar de terem uma maior resistência comparada as tintas a óleo, também são suscetíveis a decomposição em meios ou sob condições alcalinas. Portanto, não são recomendadas para atmosferas quimicamente agressivas. Em atmosferas rurais, urbanas e industriais leves são produtos que apresentam bom desempenho a corrosão.

4.5.3 Tinta epóxi

As tintas epóxi são de alta performance, com ótima relação custo-benefício. São fabricadas com a resina epóxi, obtidas pela reação entre a epiclorigrina e o bisfenol. Estas tintas são fornecidas geralmente em dois componentes, um contendo o pré-polímero epóxi, e o outro, o agente de cura. O principal mecanismo de proteção anticorrosiva das tintas epóxi é a proteção por barreira, porém existe a tinta

de fundo epóxi que proporciona a proteção por passivação ou inibição anódica e a proteção catódica, de acordo com a sua pigmentação.

De forma geral estas tintas possuem as seguintes características: elevada resistência química, de acordo com o sistema resina epóxi / agente de cura; a película possui alta dureza, boa resistência a abrasão e ao impacto; possuem fraca resistência à radiação solar, em especial aos raios ultravioleta, causando perda do brilho e cor (ANGHINETTI, 2012)

4.5.4 Tinta etil-silicato de zinco

É uma tinta de dois elementos com solventes orgânicos, a cura da película realiza-se através da reação química de hidrólise da resina com a umidade do ar, sendo que a umidade relativa do ar é o componente de maior influência na velocidade de cura da película. Correntemente é usada como tinta de fundo de alta performance para atmosferas altamente agressivas e para imersão em produtos de petróleo e produtos químicos. Requer no mínimo jateamento ao metal quase branco ou hidrojateamento severo, para tratamento da superfície, e, junto com o alto teor do pigmento de pó de zinco, pode protegê-la catodicamente (ANGHINETTI, 2012).

4.5.5 Tinta intumescente

As tintas intumescentes têm o objetivo de preservar as estruturas metálicas contra a ação do fogo, sendo muito empregadas em edifícios metálicos que são construídos para área comercial e industrial. Diante de condições de calor, forma uma camada protetora que isola termicamente o substrato, protegendo-o contra o fogo por um período que pode chegar a 2 horas (DE SÁ, 2017).

4.5.6 Tinta nitrocelulose

Essa resina natural é obtida de árvores do tipo pinho ou de plantas, como o algodão. Além do nitrato de celulose ou nitrocelulose, existem outros polímeros celulósicos, o etilcelulose, o etilhidroxiethylcelulose e o acetato-butirato de celulose. As resinas celulósicas exigem maiores quantidades de solventes para baixar sua

viscosidade e tornar sua aplicação adequada. Tem pouca adesão em substratos lisos pela alta força de coesão entre suas moléculas. Para melhorar a propriedade de adesão é necessária a incorporação de aditivos ou mesmo outras resinas com menor peso molecular (ANGHINETTI, 2012).

4.5.7 Tinta poliuretana

As resinas de poliuretano são obtidas basicamente pelo resultado da condensação de poliálcoois com isocianatos. As tintas de poliuretano, a exemplo das epoxídicas, são fornecidas em duas embalagens, uma contendo a resina polihidroxiada (poliéster, acrílica, epóxi) e a outra o agente de cura à base de poliisocianato aromático, alifático ou cicloalifático (FAZENDA, 2009).

Estas tintas têm excelentes propriedades anticorrosivas, as películas apresentam importantes propriedades físicas, como dureza, resistência ao impacto e à abrasão. As tintas de poliuretano alifático são bastante utilizadas como tintas de acabamento, por apresentarem excelente resistência aos raios ultravioleta, tendo melhor retenção de cor e de brilho quando expostas ao intemperismo natural. Já as tintas de poliuretano aromático, apresentam pouca resistência aos raios ultravioleta, indicadas para ambientes internos onde não tenha incidência de radiação solar.

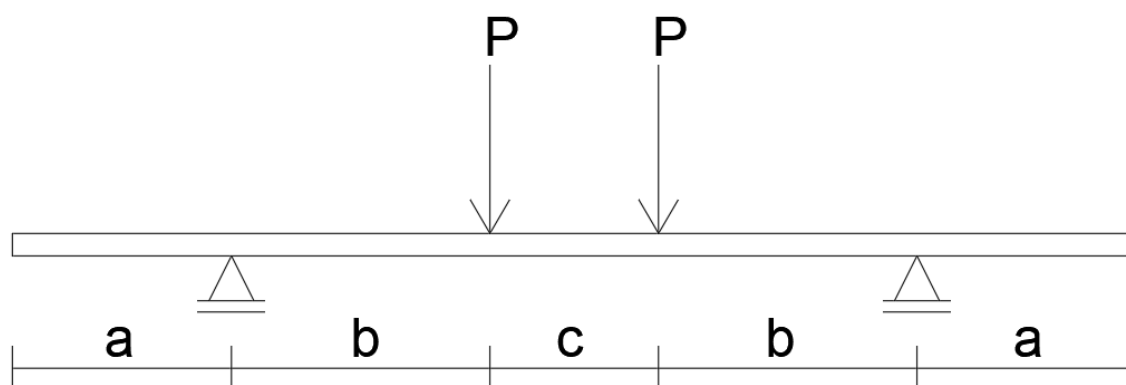
4.5.8 Tinta de silicone

São tintas desenvolvidas a partir das resinas de silicone que são polímeros formados por silício ligados a oxigênio e a grupos orgânicos. São apropriadas para pintura de superfícies que trabalham em temperaturas superiores a 120°C até 600°C, sendo que as pigmentadas em alumínio são as de melhor desempenho. A secagem destas tintas ocorre pela evaporação do solvente e por conversão térmica (FAZENDA, 2009).

5 METODOLOGIA

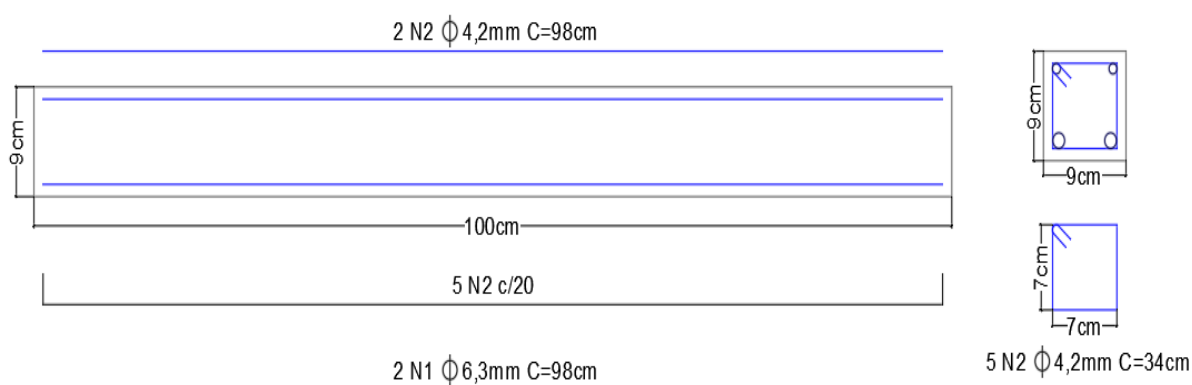
Para este trabalho foram ensaiadas doze vigas de concreto armado, de seção 9 x 9 x 100 cm, submetidos a um ensaio de flexão. Para isso, três grupos de vigas foram considerados: 1) quatro vigas com armadura sem tratamento, 2) quatro vigas com armadura tratada com adesivo estrutural e 3) quatro vigas com armadura tratada como pintura anticorrosiva. As Figuras 17 e 18 ilustram a caracterização das vigas ensaiadas.

Figura 17: Esquema de ensaio das vigas.



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 18: Detalhamento da viga.



Fonte: Autoria própria (2021).

5.1 Materiais utilizados

Para a fabricação das vigas foram utilizados os seguintes materiais:

- Forma
 - Chapa de madeira resinada plastificada com 12,5mm de espessura;
 - Desmoldante;
 - Pregos comuns com cabeça 4x6.
- Concreto armado
 - Aço CA60 com 4,2mm de diâmetro;
 - Aço CA50 com 6,3mm de diâmetro;
 - Brita 0 com 12mm de diâmetro máximo;
 - Areia média com 0,6mm de diâmetro máximo;
 - Cimento Votoran em todas as obras.
- Equipamentos
 - Balança mecânica, para dosagem dos materiais;
 - Betoneira de eixo inclinado;
 - Mesa vibratória, para perfeito adensamento.
- Recuperação das armaduras
 - Adesivo estrutural Compound, da marca Vedacit
 - Protetor de armadura, da marca Quartzolit
 - Pinceis
 - Espátula

As vigas foram ensaiadas na prensa Emic DL30000F disponível na UTFPR-CM, e para a constatação do f_{ck} do concreto, os corpos de prova foram rompidos na mesma prensa.

5.2 Tratamento das armaduras das vigas

Inicialmente foi realizada uma limpeza das armaduras a fim de retirar quaisquer impurezas e garantir melhor aderência ao tratamento. Após o preparo, foi realizado o tratamento de quatro armaduras utilizando protetor de armadura Quartzolit e o tratamento de outras quatro utilizando o adesivo estrutural Compound Vedacit .

De acordo com a Quartzolit (2019) o protetor de armadura cimentício Quartzolit é uma pintura à base de polímeros e cimento Portland, monocomponente, de grande aderência, destinada a proteção de armaduras formando uma camada inibidora e de baixa permeabilidade. Um produto com características similares ao protetor de armadura Quartzolit é o SikaTop Armatec - 108.

Para a aplicação do protetor de armaduras foram seguidos os seguintes passos:

- 1- Misturar em um recipiente estanque e limpo o protetor de armadura, adicionando água na proporção de 250 ml para cada kg de material seco, até se obter uma mistura pastosa e homogênea.
- 2- Após o preparo do substrato e mistura do material, deve-se aplicá-lo mais rápido possível na superfície da barra de aço de maneira que a barra fique completamente coberta. Aplicar a primeira demão com pincel de cerdas médias e a segunda demão com um pincel pequeno e estreito, o intervalo entre as demãos é de 3 a 5 horas. A espessura final após duas demãos é aproximadamente 1 mm. No caso de reparos estruturais deve-se aguardar, no mínimo, 24 horas após a aplicação para dar continuidade às atividades de reparo com aplicação das argamassas poliméricas, grutes ou microconcretos utilizados na recomposição das seções (QUARTZOLIT, 2019).
- 3- O consumo é de 1,9 kg/m² de superfície de aço, aplicando 2 demãos (QUARTZOLIT, 2019).

A Figura 19 apresenta as propriedades do protetor de armadura, em seguida a Figura 20 mostra a embalagem do produto.

Figura 19: Propriedades e características do protetor de armadura Quartzolit.

Aspecto da mistura	Pasta esverdeada de alta viscosidade
Massa específica	1,9 kg/dm ³
Tempo de manuseio a 25 °C (Pot life)	45 minutos
Número mínimo de demãos	2
Intervalo mínimo entre demãos	3 horas
Intervalo máximo entre demãos	5 horas

Fonte: Quartzolit (2019).

Figura 20: Protetor de armadura Quartzolit.



Fonte: Quartzolit (2019).

A Figura 21 apresenta uma visão mais detalhada de como o protetor de armadura fica após a sua aplicação e secagem dele nas barras de aço, percebe-se que o protetor aumentou a rugosidade da barra devido a suas propriedades cimentícias, o que pode levar a uma melhor interação com o concreto. A Figura 22 apresenta as armaduras tratadas com a pintura especial e as armaduras sem tratamento, prontas para concretagem.

Figura 21: Armadura tratada com o protetor de armadura Quartzolit.



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 22: Armadura tratada com protetor de armadura e armadura sem tratamento.



Fonte: Autoria própria (2021).

Já para a aplicação do adesivo estrutural, que é um adesivo estrutural de base epóxi com média fluidez, foram utilizados os seguintes passos:

- 1- Misturar os componentes A e B separadamente em suas embalagens para que eles formem uma substância mais homogênea. Adicionar então o componente B na embalagem do componente A, misturar usando uma espátula ou misturador mecânico até a obtenção de uma massa homogênea e de cor cinza e sem grumos.
- 2- Após preparo do substrato e da mistura completa dos elementos, deve-se aplicar com pincel, trincha ou espátula metálica, preenchendo todas as superfícies a serem coladas ou reparadas. Os materiais que serão reparados ou colados devem ser colocados em contato o mais rápido possível, respeitando o prazo máximo de até 50 minutos após a mistura do adesivo (VEDACIT, 2021).
- 3- Lata 1kg (A+B) 0,55 m² / mm (VEDACIT, 2021).

Um produto com características similares ao adesivo estrutural Compound é o Sikadur - 32.

A Figura 23 apresenta as propriedades do adesivo estrutural, em seguida a Figura 24 mostra a embalagem do produto.

Figura 23: Propriedades e características do adesivo estrutural Compound.

Densidade	Componente A + B : 1,80 g/cm ³ g/cm ³
Aparência	Componente A: cor branca Componente B: cor preta
Composição Básica	Componente A: resina epóxi e cargas minerais Componente B: poliamina
Válidade	12 meses

Fonte: Vedacit (2021).

Figura 24: Adesivo estrutural Compound.



Fonte: Vedacit (2021).

A Figura 25 apresenta a armadura da viga já tratada com adesivo estrutural e pronta para ser concretada.

Figura 25: Armadura tratada com adesivo estrutural.



Fonte: Autoria Própria (2021).

5.3 Elaboração das vigas

Para o trabalho foram utilizadas seis formas, cada uma com espaço para duas vigas, como ilustrado na Figura 26, totalizando doze vigas concretadas de uma vez.

Figura 26: Forma para concretagem das vigas.



Fonte: Autoria própria (2021).

Para a confecção das armaduras, foram utilizadas duas barras de aço CA60 de 4,2 mm longitudinais (armadura negativa), duas barras de aço CA50 6,3 mm longitudinais (armadura positiva), e estribos de 4,2 mm a cada 20 cm, dobrados manualmente com o auxílio de pregos e uma cantoneira. As Figuras 25 e 26 apresentam as armaduras prontas e tratadas para serem concretadas.

A massa de concreto foi dosada conforme o traço em volume de 1:2:2 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo), e relação água/cimento: 0,6. Para adensar o concreto foi utilizado uma mesa vibratória.

Após a concretagem e adensamento, as vigas foram levadas para um ambiente coberto ao abrigo sol e chuva, onde ficaram por 28 dias até atingirem a cura total do concreto. As Figuras 27 e 28 mostram as vigas e corpos de prova concretados.

Figura 27: Vigas e corpos de prova concretados.



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 28: Vigas concretadas.



Fonte: Autoria própria (2021).

5.4 Ensaio a compressão dos corpos de prova

Para o cálculo do f_{ck} do concreto utilizado nas vigas, foram separados corpos de prova cilíndricos, de 10 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento, retirado da concretagem única, conforme a Figura 29. Após 28 dias, os corpos de prova de concreto foram ensaiados à compressão na prensa Emic DL30000F.

Figura 29: Corpos de prova pronto para serem ensaiados.



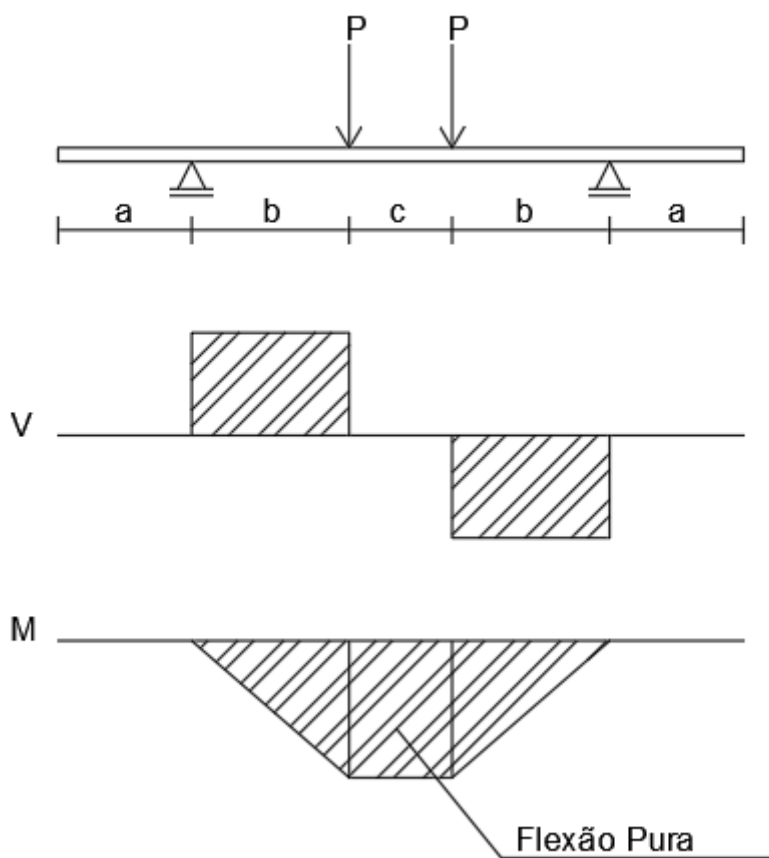
Fonte: Autoria própria (2021).

5.5 Ensaio a flexão das vigas

O ensaio de flexão das vigas consiste na aplicação de duas cargas concentradas simétricas aplicadas na viga, conforme a Figura 30. Através dessas duas cargas a viga biapoiada vai recebendo um carregamento gradativo até que atinja sua ruptura. Com esse esquema de aplicação de cargas podemos, numa mesma peça, observar a flexão pura (onde não há cisalhamento) e da flexão simples (onde há presença do cisalhamento).

A partir da Figura 30 podemos identificar as distâncias utilizadas para a configuração das cargas e apoios, sendo $a=19,5$ cm, $b=23,0$ cm e $c=15$ cm.

Figura 30: Diagramas de esforços solicitantes (ensaio de tração na flexão).



Fonte: Autoria própria (2021).

A Figura 31 apresenta a realização do ensaio de flexão.

Figura 31: Viga sendo ensaiada.



Fonte: Autoria própria (2021).

6 RESULTADOS

6.1 Resistência a compressão do concreto (f_{ck})

Os corpos de prova cilíndricos de concreto com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, foram testados conforme a NBR 5739:2018 Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2018). Os resultados são apresentados na Tabela 4:

Tabela 4: Valores de f_c do concreto.

Material	Corpo de prova	Idade (dias)	Área média (mm ²)	Força normal máxima (KN)	Tensão normal máxima (MPa)
Concreto	1	28	7795,97	111,48	14,30
	2	28	7736,61	109,99	14,22
	3	28	7764,70	115,73	14,90
	4	28	7864,98	140,18	17,82

Fonte: Autoria própria (2021).

Para o cálculo do f_{ck} do concreto de pequenos volumes (menor que 10 m³), a seção 6.2.3.3 da NBR 12655:2015 Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento, diz que:

“Nos casos de concreto produzido por betonadas de pequeno volume e sempre que o número total de betonadas (lote) seja superior ao de exemplares da amostra que representa esse lote, ou seja, trate-se de amostragem parcial, pode-se dividir a estrutura em lotes correspondentes a no máximo 10 m³ e amostrá-los com número de exemplares entre 2 e 5. Nestes casos, denominados excepcionais, o valor estimado da resistência característica é dado por: (ABNT NBR 12655, 2015).”

$$f_{ck, est} = \Psi_6 \times f_1 \quad (6)$$

onde:

Ψ_6 é dado pela Tabela 5, para valores de 2 a 5.

f_1 é o valor da menor resistência.

Tabela 5: Valores de Ψ_6

Condição de preparo	Número de exemplares (n)										
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	≥ 16
A	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97	0,99	1,00	1,02
B ou C	0,75	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,02
NOTA Os valores de n entre 2 e 5 são empregados para os casos excepcionais (conforme 6.2.3.3).											

Fonte: NBR 12655 (ABNT, 2015).

Para o presente trabalho o número de exemplares são 4, visto que a norma permite escolher de 2 a 5 exemplares para esse caso específico. Vale destacar que, para escolher o Ψ_6 deve-se saber sobre as condições de preparo do concreto (A, B ou C) de acordo com a NBR 12655:2015, como exposto na Tabela 6:

Tabela 6: Condições de preparo do concreto.

Condição A	O cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados.
Condição B	O cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume.
Condição C	O cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados da determinação da consistência do concreto, conforme disposto na ABNT NBR NM 67 ou outro método normalizado.

Fonte: Adaptado da NBR 12655:2015 (2021).

Sendo assim, calculando com os dados da Tabela 4, tem-se:

- $f_{ck,est} = \Psi_6 \times f_1$
- $f_{ck,est} = 0,84 \times 14,22$
- $f_{ck, est} = 11,94 \text{ MPa}$

Os corpos de prova rompidos são apresentados na Figura 32.

Figura 32: Corpos de prova rompidos.



Fonte: Autoria própria (2021).

6.2 Resistência a flexão

Após o processo de confecção das vigas, elas foram submetidas a um ensaio de flexão e os resultados estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados do ensaio á flexão das vigas.

Grupo	Viga	Área (mm ²)	Força Máxima (kN)	Força Máxima Média (kN)	Varição (Tratadas - Referência)	Varição (%)
Vigas com armadura sem tratamento (referência)	1	8100	21,98	22,79	0	0
	2	8100	19,61			
	3	8100	25,13			
	4	8100	24,45			
Vigas com armadura tratada (Adesivo Estrutural Compound)	1	8100	22,08	21,30	-1,49	-6,54
	2	8100	21,03			
	3	8100	20,21			
	4	8100	21,87			
Vigas com armadura tratada (Protetor de armaduras Quartzolit)	1	8100	26,37	22,80	+0,0099	+0,04
	2	8100	21,28			
	3	8100	22,51			
	4	8100	21,04			

Fonte: Autoria própria (2021).

A partir da Tabela 7, nota-se que as vigas de concreto sem tratamento e com tratamento apresentaram desempenhos semelhantes. Sendo que a viga com a armadura tratada com pintura atingiu uma força máxima média de 22,80 kN, que foi muito próximo a força máxima média das vigas sem tratamento (22,79 kN, variação de +0,04% em relação a viga referência).

Contudo, observa-se que a diferença de desempenho entre os tipos de tratamento é bem pequena, sendo uma perda de 6,57% do tratamento com protetor para o tratamento com adesivo. Por outro lado, o adesivo estrutural, no caso de uma recomposição, serve tanto para a aplicação na armadura quanto para a junção do

concreto já existente com o concreto novo, sendo o protetor válido apenas para a aplicação da armadura.

Todas as vigas ensaiadas apresentaram o mesmo tipo de ruptura, 45° a partir do apoio, a qual foi devido a força de cisalhamento presente nesse trecho da viga. As Figuras 33 e 34 apresentam algumas vigas rompidas e a presente ruptura:

Figura 33: Vigas rompidas (adesivo estrutural).



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 34: Armadura positiva da viga rompida (adesivo estrutural).



Fonte: Autoria própria (2021).

7 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou uma avaliação sobre a influência do tratamento das armaduras, de uma viga de concreto armado, com protetor de armaduras e com o adesivo estrutural, com base na força a qual as vigas resistiram no ensaio de flexão.

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

- As vigas com armadura tratadas com o adesivo estrutural apresentaram um desempenho menor que as vigas sem tratamento na armadura, correspondendo a uma perda de 6,54%.

- As vigas com armaduras tratadas com o protetor de armadura apresentaram um desempenho muito próximo as vigas sem tratamento na armadura, correspondendo à um ganho de 0,04%.

Sendo assim, tanto o tratamento com adesivo estrutural como o com protetor de armaduras, apresentam uma diferença pequena em relação ao desempenho das vigas sem tratamento, ou seja, quase não interferem no que diz respeito ao comportamento da viga e ainda garantem maior longevidade e segurança da estrutura, no que diz respeito a corrosão.

Contudo, o desempenho superior das vigas tratadas com o protetor de armadura, deve-se a qualidade e tipo do produto (aumento da rugosidade da barra, Figura 19), que por ser uma tinta polimérica e cimentícia melhora a aderência com o concreto.

Quanto ao reparo (ou recuperação) da estrutura de concreto armado, tem-se duas opções: trata-se a armadura com o protetor de armadura e utiliza-se o adesivo para garantir a monolitização do concreto recuperado, ou simplesmente utiliza-se o adesivo tanto para a armadura como para o concreto existente.

A recomendação para trabalhos futuros é o ensaio de arrancamento ou “pull-out test” – normatizado por “ASTM C234: standard test method for comparing concretes on the basis of the bond developed with reinforced steel”(ASTM,1991)e “bond test for reinforcing steel : pull-out test” (RILEM/CEB/FIB, 1983) - com barras pintadas e barras utilizando adesivos estruturais, a fim de complementar a análise de desempenho em estruturas de concreto armado com esse tipo de recomposição.

REFERÊNCIAS

- ANGHINETTI, I. C. B. **Tintas, Suas Propriedades e Aplicações Imobiliárias**. Monografia (Monografia em Construção Civil)- UFMG. Belo Horizonte. 2012.
- ARANHA, P. M. D. S. **Contribuição ao estudo das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado na região amazônica**. Dissertação (Dissertação em engenharia civil) - Universidade Federal do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre. 1994.
- ARAUJO, J. M. D. **Projeto estrutural de edifícios de concreto armado**. 3ª. ed. Rio Grande: DUNAS, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. PESQUISA INÉDITA E EXCLUSIVA REVELA CENÁRIO DO MERCADO BRASILEIRO DE CONCRETO. **abcp.org.br**, 2013. Disponível em: <<https://abcp.org.br/imprensa/noticias/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto/>>. Acesso em: 15 set. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto– Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos: Procedimento**. [S.I.]. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 - Projeto de Estruturas de concreto : Procedimento**. [S.I.]. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de Cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - procedimento**. [S.I.]. 2015.
- BASTOS, A. A. C. **Comportamento Anticorrosivo de Tintas de Base Aquosa Aplicadas em Substratos Ferrosos – Estudo por Espectroscopia de Impedância Electroquímica**. Tese (Tese em Química).Faculdade de Ciências da Universidade de Porto. 1999.
- BASTOS, P. S. S. **Vigas de Concreto Armado**.Universidade Estadual Paulista. Bauru. 2017.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais**. Nova York: Ed. John Wiley & Sons. Inc, 1997.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5ª. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2002.

CARVALHO, R. C., FILHO, J. R. F. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 4ª edição. Editora: EdUFSCar. São Carlos. 2014. 415 p.

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

CORROSÃO & PROTEÇÃO. O futuro das tintas anticorrosivas. **Corrosão & Proteção**. 2011. Disponível em: <https://abraco.org.br/src/uploads/2015/04/Revista-corrosao-e-protecao-56.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2021. Rio de Janeiro, nº 56, p.9-15, abr/maio.

COSTA, R. M. **Análise de Propriedades Mecânicas do Concreto Deteriorado pela Ação de Sulfato Mediante Utilização do UPV**. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2004. 246f.

DATTA, D.O.; AGGARVAL, S.L. **Maintenance and repair of concrete surfaces**. Indian Concrete Journal, v. 52, n. 10, p. 260-265, New Deli, 1978.

DE SÁ, S. C. **Tintas intumescentes com propriedades anticorrosivas formuladas com compostos vegetais para proteção do aço**. Dissertação (Dissertação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Su. 2017.

EL PAÍS. **brasil.elpais.com**, 2019. Disponível em: https://brasil.elpais.com/brasil/2019/01/27/opinion/1548547908_087976.html. Acesso em: 18 out. 2019.

FAZENDA, J. M. R. **Tintas: ciência e tecnologia**. 4. ed. São Paulo: Blucher; 2009. 1124p.

FANECO, T. M. S. **Caracterização das Propriedades Mecânicas de um Adesivo Estrutural de Alta Ductilidade**. Dissertação (Dissertação em Engenharia Mecânica). Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2014.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do Concreto Estrutural**. 1ª. ed. São Paulo: Pini, 2008.

G1. **g1.globo.com**, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/01/25/ha-3-anos-rompimento-de-barragem-de-mariana-causou-maior-desastre-ambiental-do-pais-e-matou-19-pessoas.ghtml>>. Acesso em: 18 out. 2019.

GRANATO, J. E. **Patologia das construções**. São Paulo, 2002. (Apostila)

GENTIL, V. **Corrosão**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 1996.

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

HELENE, P. R. L. **Manual Prático para Reparo e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Pini, 1988.

HELENE, P. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2ª. ed. [S.l.]: Pini, 1992.

LIBÂNIO, M. P. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2007.

MACHADO, M, G. **Estudo Experimental da Ductilidade de Vigas em Concreto Armado Reforçadas à Flexão Utilizando Compósitos com Tecidos de Fibra de Carbono**. Rio de Janeiro, 2004. 301p. Dissertação de Mestrado –Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio.

MARCELLI, M. **Sinistros na Construção Civil: Causas e Soluções para Danos e Prejuízos em Obras**. Pini. São Paulo. 2007.

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

MEIRA, G. R. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: fundamentos, diagnóstico e prevenção.** João Pessoa: [s.n.], 2017. 125 p.

MENDONÇA, H. El País. **brasil.elpais.com**, 2019. Disponível em: <https://brasil.elpais.com/brasil/2019/02/23/politica/1550894014_083617.html>. Acesso em: 18 out. 2019.

MUNIZ, L. F. C. **Estudo Experimental da Flexão em Protótipos de Vigas de Concreto Armado.** Trabalho de conclusão de curso (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil)- IFG. Goiânia. 2018.

MOTA, J. M. F et al. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido ao ataque de íons cloreto.** IBRACON. 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/280316499_Corrosao_de_Armadura_e_m_Estruturas_de_Concreto_Armado_devido_ao_Ataque_de_Ions_Cloreto. Acesso em 16 de jul. de 2021.

OLIVARI, G. **Patologia em edificações.** Trabalho de conclusão de curso (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) - Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo. 2003.

PASE, M. C. **Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado.** Trabalho de conclusão de curso (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil)- UFSM. Santa Maria. 2017.

POLITO, G. **Corrosão em estruturas de concreto armado: causas, mecanismos, prevenção e recuperação.** Trabalho de conclusão de curso (Trabalho de conclusão de curso para avaliação e perícia)- UFMG. Belo Horizonte. 2006.

QUARTZOLIT.**quartzolit.weber**, 2019 Disponível em: <https://www.quartzolit.weber/>. Acesso em: 22 out. 2019.

QUARTZOLIT.**quartzolit.weber**, 2019 Disponível em: <https://www.quartzolit.weber/solucoes-tecnicas-quartzolit-para-reparos-protecao-e-reforco/protecao-de-estruturas/protetor-de-armadura-quartzolit>. Acesso em: 20 ago. 2021.

REIS, A. P. A. **Reforço de vigas de concreto armado por meio de barras de aço adicionais ou chapas de aço e argamassa de alto desempenho.** Dissertação

(Dissertação em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 1998.

REIS, L. S. N. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado.** Dissertação (Dissertação em Engenharia de Estruturas) - UFMG. Belo Horizonte. 2001.

REPARO EM CONCRETO.reparoemconcreto.blogspot.com, 2010. Disponível em:<http://reparoemconcreto.blogspot.com/2010/04/reparo-e-concreto.html>. Acesso em: 26 ago. 2021.

SANTOS, É. H. M. **Avaliação de técnicas de reparos em pilares de concreto armado.** Trabalho de conclusão de curso (trabalho de conclusão de curso em engenharia civil) - UTFPR. Campo Mourão. 2018.

SANTOS, F. P. S. L. D. **Técnicas de recuperação e reforço de estruturas de concreto armado.** Trabalho de conclusão de curso (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2017.

SILVA, E. A. D. **Técnicas de reforço e recuperação de concreto armado.** Trabalho de conclusão de curso (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) - Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo. 2006.

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 3 de novembro de 2019.

SOUZA, M. I.; MURTA, M. M. **Patologia, recuperação e reforço estrutural em concreto armado.** Monografia (Monografia em Engenharia Civil) - Instituto Doctum de Educação e Tecnologia. Caratinga. 2012.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas.** São Paulo: Pini, 1998. 257 p.

STOTZ, M. V. Z. Métodos de Recuperação de Estruturas de Concreto Armado Deterioradas pela Corrosão nas. **Revista Especialize**, Florianópolis, dez. 2015.

SURCO, D. F. **Apostila de patologia e recuperação das construções.** 2021.

TAKEUTI, A. R. **Reforço de pilares de concreto armado por meio de encamisamento com concreto de alto desempenho**. Dissertação (Dissertação em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 1999.

TORRES, A. D. S. **Corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado: uma meta-análise**. Tese de Doutorado (Tese de doutorado em engenharia civil) - Universidade Federal do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre. 2011.

TRINDADE, D. D. S. **Patologia em estruturas de concreto armado**. Trabalho de conclusão de curso (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil)- UFSM. Santa Maria. 2015.

VALENTE, A. P. V. **Avaliação da eficácia de alguns processos na recuperação nas edificações do tribunal de justiça do estado de minas gerais**. Dissertação (Dissertação em Construção civil) - UFMG. Belo Horizonte. 2006.

VEDACIT.[vedacit.com.br](https://www.vedacit.com.br), 2019 Disponível em:<https://www.vedacit.com.br/produtos-e-solucoes/adesivos/vedacit-compound-adesivo#description>. Acesso em: 20 ago. 2021.

VEJA.vejasp.abril.com.br, 2018. Disponível em:<https://vejasp.abril.com.br/cidades/viaduto-marginal-pinheiros-descaso/>. Acesso em: 18 out. 2019.