



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

FAGNEY BRITO GOMES

LEONARDO DOS SANTOS MELO

**AVALIAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DAS PAREDES DE
CONCRETO ARMADO MOLDADAS *IN LOCO* DAS CASAS DO
RESIDENCIAL CRISTO VIVE LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ -
PA**

Tucuruí – PA
2016

FAGNEY BRITO GOMES

LEONARDO DOS SANTOS MELO

**AVALIAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DAS PAREDES DE
CONCRETO ARMADO MOLDADAS *IN LOCO* DAS CASAS DO
RESIDENCIAL CRISTO VIVE LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ -
PA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil, na Faculdade
de Engenharia Civil da Universidade Federal
do Pará.

Orientador: Prof. Dr. Aarão Ferreira Lima
Neto

FAGNEY BRITO GOMES

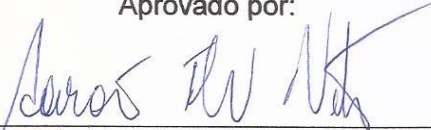
LEONARDO DOS SANTOS MELO

**AVALIAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DAS PAREDES DE
CONCRETO ARMADO MOLDADAS *IN LOCO* DAS CASAS DO
RESIDENCIAL CRISTO VIVE LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ -
PA**

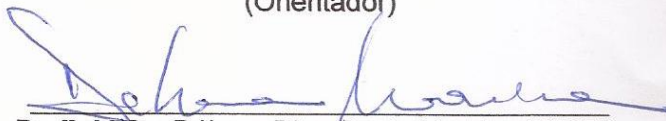
Trabalho de Conclusão de Curso como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, na Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará.

Tucuruí, 21 de dezembro de 2016.

Aprovado por:



Prof. Dr. Aarão Ferreira Lima Neto (UFPA).
(Orientador)



Prof^ª. M.Sc. Débora Dias Costa Moreira (UFPA).
(Examinadora Interna)



Eng^º. Civil Luamim Sales Tapajós (UFPA).
(Examinador Externo)

DEDICATÓRIA

Dedicamos aos nossos pais, amigos e familiares, que serviram de escudo a todas as dificuldades que cruzaram nosso caminho durante essa jornada, vocês têm sido a grande razão e incentivo de nosso aperfeiçoamento técnico.

AGRADECIMENTOS DE FAGNEY BRITO GOMES

Agradeço à minha mãe, Maria Goreti Brito Gomes e a meu pai, Raimundo de Melo Gomes, por sempre me apoiarem incondicionalmente durante de toda minha vida, principalmente na minha jornada de formação profissional.

À todas as pessoas que conheci no decorrer de minha jornada acadêmica, e que puderam contribuir de maneira positiva à minha formação, dentre eles, colegas de classe, professores, corpo técnico da UFPA – CAMTUC, dentre outros.

Agradeço a parceria de meu companheiro de trabalho de conclusão de curso, Leonardo Melo, o qual me acrescentou muito durante os anos de graduação e principalmente durante a realização deste.

À minha namorada, Poliana Paiva, a qual, para mim, foi crucial no desenvolvimento deste, dando apoio moral e sendo válvula de escape aos problemas e situações desagradáveis ou mesmo desgastantes do cotidiano.

Ao nosso orientador professor Aarão Neto, pela paciência, disponibilidade e atenção no decorrer do desenvolvimento deste trabalho, e por sempre se mostrar um professor acima da média no desenrolar de minha vida acadêmica.

Por fim a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para o bom desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTOS DE LEONARDO DOS SANTOS MELO

Aos meus pais Ailton e Maria Gerlania e ao meu irmão Rafael por todo o amor e carinho, pela confiança, por sempre acreditarem em meus sonhos e por serem a fundação para que eu os realizassem.

À minha namorada Amanda Holanda pelo companheirismo, pelo incentivo durante toda minha jornada acadêmica e pelo apoio em todas as dificuldades enfrentadas.

Ao professor Aarão Ferreira Lima Neto pela orientação durante a realização deste trabalho e pela dedicação ao transmitir conhecimento durante o curso e a todos os professores que contribuíram para a minha formação.

Ao meu companheiro de trabalho de conclusão de curso Fagney Gomes, pela parceria na realização deste e de tantos outros trabalhos.

À turma de Engenharia Civil 2012, pelas amizades construídas e pelo companheirismo durante toda a jornada acadêmica.

À todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O Residencial Cristo Vive, localizado no município de Tucuruí-PA, o qual faz parte do programa habitacional do Governo Federal Minha Casa Minha Vida, tem como objetivo dar moradia digna a 1000 famílias de baixa renda inscritas nesse programa, tendo suas obras iniciadas no ano de 2012. A construção do residencial foi paralisada em 2013 após uma vistoria técnica da equipe de engenharia da Caixa Econômica Federal – responsável pela fiscalização e financiamento da obra – constatar diversos problemas de infraestrutura e irregularidades, retirando a concessão da então empresa responsável por sua execução. Nesse contexto, após realização de visitas e inspeções visuais, foram observadas diversas manifestações patológicas nas paredes de concreto moldadas *in loco* das casas desse residencial, sendo uma das principais preocupações a integridade dessas casas quanto à segurança dos usuários e a vida útil das mesmas, tendo em vista a ocupação desordenada do residencial antes do término das obras e reparo dessas manifestações patológicas. Dessa forma, o presente trabalho analisa, através de inspeções visuais e ensaios destrutivos e não destrutivos, as manifestações patológicas, condições funcionais e estruturais das paredes de concreto armado moldadas *in loco* das casas do Residencial Cristo Vive. Dessa forma, realizaram-se algumas visitas ao local para análise preliminar das construções e em seguida foi efetuada, em algumas habitações, ensaios de carbonatação e esclerometria para verificar a qualidade das paredes. Observou-se diversas inconformidades e manifestações patológicas nas estruturas, tais como: trincas e fissuras, nichos de concreto, deslocamento de armadura durante a concretagem, caixas de passagem elétricas inutilizadas devido a erros durante a concretagem, carbonatação em estado avançado, devido à baixa qualidade do concreto, entre outros. Em função disso, sugeriram-se algumas medidas a fim de melhorar o quadro patológico das mesmas, como combater a penetração de CO₂ nas paredes, tratamento da corrosão das armaduras, recuperação de trincas e fissuras e ainda a recuperação de pontos nas estruturas que apresentam falhas de concretagem.

Palavras-chave: Manifestações Patológicas. Fissuras. Trincas. Carbonatação. Esclerometria. Paredes. Concreto.

ABSTRACT

The Cristo Vive residential, located in the city of Tucuruí-PA, which is part of the housing program of the Federal Government Programa Minha Casa Minha Vida, aims to provide decent housing to 1,000 low-income families enrolled in this program, and their work began in the year of 2012. The construction of the residential building was halted in 2013 after a technical survey of the Caixa Econômica Federal engineering team - responsible for the inspection and financing of the work - to verify various infrastructure problems and irregularities, withdrawing the concession of the then company responsible for its execution. In this context, after several visits and visual inspections, several pathological manifestations were observed in the concrete walls molded in loco of the houses of this residential, being a main concern the integrity of these houses regarding the safety to the users and their useful life, taking into account In view of an invasion of the residential area before the completion of the works and repair of these pathological manifestations. In this way, the present work analyzes, through visual inspections and destructive and non destructive tests, the pathological manifestations, functional and structural conditions of the concrete walls molded in loco of the houses of the residence Cristo Vive in the city of Tucuruí – PA. In this way, some site visits were carried out for the preliminary analysis of the buildings, and then some tests like carbonation and sclerometry were carried out to check the quality of the walls. Several nonconformities and pathological manifestations were observed in the structures, such as cracks, concrete nests, displacement of reinforcement during concreting, electric crates that were not used due to errors during concreting, carbonation in an advanced state due to poor quality Concrete, among others. As a result, some measures were suggested in order to improve their pathological conditions, such as combating the penetration of CO₂ in the walls, treatment of corrosion of the reinforcement, recovery of cracks, and recovery of structural elements that present problems of concrete.

Keywords: Pathological Manifestations. Cracks. Carbonation. Sclerometry. Walls. Concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Residencial Floresta de Santa Cândida.	6
Figura 2 - Prédios do Programa Minha Casa Minha Vida ameaçam cair.	7
Figura 3 - Inter-relacionamento entre conceitos de durabilidade e desempenho.....	11
Figura 4 - Fissura de retração em parede monolítica de concreto, na seção enfraquecida pela presença de vão de janela.	14
Figura 5 - Tipos de corrosão em uma barra de aço imersa no concreto.	15
Figura 6 - Representação esquemática do avanço da frente de carbonatação no concreto armado.	16
Figura 7 - Construção de edifício de 5 pavimentos em paredes de concreto	18
Figura 8 - Armaduras de reforço	20
Figura 9 - Montagem das armaduras da estrutura.	21
Figura 10 - Armadura de reforço em abertura da parede.	21
Figura 11 - Fixação de eletroduto e caixa de passagem na armadura da parede.	22
Figura 12 – Montagem de sistema de fôrmas plásticas.	23
Figura 13 - Residencial Cristo Vive em diferentes perspectivas.	28
Figura 14 - Planta baixa padrão.	29
Figura 15 - Treliça Gerdau TG 8M.	30
Figura 16 - Indicações dos locais de análise.....	31
Figura 17 - Materiais utilizados no ensaio de carbonatação.....	32
Figura 18 - Detalhes da execução do ensaio de esclerometria.	33
Figura 19 - a) limpeza do local de aplicação da solução; b) mensuração da frente de carbonatação.....	35
Figura 20 - Mensuração da frente de carbonatação em dois pontos próximos.....	35
Figura 21 - Parede com juntas de concretagem, fissura e perfurações no concreto.	35
Figura 22 – Frente de carbonatação medindo 5 cm.	36
Figura 23 – a) Não se identificou mudança de coloração no local; b) profundidade da frente de carbonatação superior a 6,3 cm.	36
Figura 24 - a) trinca vertical localizada na parede entre o quarto e circulação; b) trinca vertical abaixo da estrutura da caixa d'agua.	37
Figura 25 - rachaduras localizadas na parede da circulação vista por diferentes ângulos. ...	37
Figura 26 - rachaduras na junção das paredes dos vãos centrais.....	38
Figura 27 – Indicação de fissura e trinca no vão da parede.	38

Figura 28 - a) corrosão avançada na armadura e deslocamento do concreto; b) armadura exposta e com cobertura insuficiente sofrendo corrosão.	39
Figura 29 – a) armadura exposta em parede interna; b) e c) armaduras expostas em paredes externas.	39
Figura 30 – Em uma mesma residência: a) Falha de concretagem abaixo da janela do quarto e balancim do banheiro; b) falha abaixo da janela da cozinha.	40
Figura 31 - a) falha de concretagem abaixo da janela do quarto; b) falha abaixo da janela da cozinha.	41
Figura 32 – a) ninho de concreto em parede; b) ninho de concreto atrás do quadro elétrico.	41
Figura 33 - a) Abertura no vão da parede entre a sala e cozinha da residência; b) abertura na parede do vão de circulação.	42
Figura 34 - Aberturas nos vãos centrais com ausência de armadura de reforço.	43
Figura 35 - Falha de concretagem em duas residências abaixo das janelas das cozinhas. .	43
Figura 36 - Perfurações nas paredes originadas na desforma inadequada.....	44
Figura 37 – indicação de armaduras expostas devido ao arrancamento do concreto no local.	45
Figura 38 - Eletrodutos expostos devido a erros no processo executivo.	45
Figura 39 - Eletrodutos expostos nas paredes.	46
Figura 40 - Tubulação de água fria exposta apresentando fissuras paralelas à tubulação (à direita).	46
Figura 41 - Tubulação de esgoto exposta.	47
Figura 42 - Quadros de distribuição e caixa de passagem preenchidos com concreto.	47
Figura 43 - Reparo de fissura por grampeamento.....	55
Figura 44 - Resumo das principais etapas para recuperação de armaduras danificadas por corrosão.....	56
Figura 45 - Distância de escarificação e remoção do concreto e aplicação de revestimento polimérico inibidor de corrosão das armaduras.....	56
Figura 46 - Procedimento de reparo estrutural.....	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Diferentes desempenhos de uma estrutura com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos.....	9
Gráfico 2 - Comparativo entre desempenho e vida útil com e sem manutenção.....	13
Gráfico 3 – Curva de conversão: maior e menor valores obtidos para resistência à compressão equivalente.....	50
Gráfico 4 – Variação dos resultados para o f_{ck} equivalente (MPa)	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classe de Agressividade Ambiental.	17
Quadro 2 - Resumo das tipologias de concreto adotadas em paredes de concreto.	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de carbonatação.....	48
Tabela 2 - Valores do índice esclerométrico para os pontos analisados.....	49
Tabela 3 - Valores do índice esclerométrico médio para os pontos analisados.....	49
Tabela 4 - Valores obtidos de resistência à compressão equivalente (MPa) em função do IE efetivo.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
<i>Apud</i>	citado por, segundo
CO ₂	Dióxido de Carbono
DATec	Documento de avaliação Técnica
INPM	Instituto Nacional de Pesos e Medidas
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padronização).
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PA	Pará
PMCMV	Programa Minha Casa Minha Vida

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVO GERAL.....	2
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3	JUSTIFICATIVA	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1	PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS.....	4
2.2	A QUALIDADE NAS CONSTRUÇÕES DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA.....	5
2.3	CONCEITOS IMPORTANTES.....	8
2.3.1	Desempenho de uma estrutura.....	8
2.3.2	Durabilidade de uma estrutura.....	9
2.3.3	Vida útil de uma estrutura	12
2.4	MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO.....	13
2.4.1	Fissuras	13
2.4.2	Corrosão de Armaduras.....	15
2.4.3	Carbonatação	16
2.5	PAREDES DE CONCRETO ARMADO MOLDADAS <i>IN LOCO</i>	17
2.5.1	Requisitos da qualidade da estrutura.....	18
2.5.2	Requisitos de qualidade do projeto.....	19
2.5.3	Características do sistema.....	19
2.5.3.1	<i>Armadura</i>	19
2.5.3.2	<i>Elementos embutidos</i>	21
2.5.3.3	<i>Sistema de Fôrmas</i>	22
2.5.3.4	<i>Concreto</i>	24
2.5.3.5	<i>Cura</i>	25
2.6	ESPECIFICAÇÃO NORMATIVA.....	26
2.6.1	NBR 7584 (1995).....	26
3	METODOLOGIA DA PESQUISA	28
3.1	BREVE HISTÓRICO.....	28
3.2	DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA DAS RESIDÊNCIAS.....	29
3.3	MÉTODOS ADOTADOS.....	30
3.3.1	Métodos de detecção	31
3.3.2	Procedimentos de ensaio.....	32
3.3.1.1	<i>Determinação da profundidade de carbonatação</i>	32
3.3.1.2	<i>Determinação da dureza superficial do concreto</i>	32
4	RESULTADOS E ANÁLISES.....	34
4.1	IDENTIFICAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	34
4.1.1	Carbonatação no concreto.....	34
4.1.2	Fissuras, trincas e rachaduras.....	36
4.1.3	Corrosão da armadura.....	38
4.1.4	Falhas de concretagem e ninhos de concreto.....	40
4.2	ERROS EXECUTIVOS.....	41
4.2.1	Ausência de armadura de reforço.....	42
4.2.2	Falha na desforma.....	44
4.2.3	Eletrodutos e tubulações hidráulicas expostas	45

4.3	ANÁLISE DOS ENSAIOS	47
4.3.1	Ensaio de Carbonatação	48
4.4	ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....	51
4.4.1	Identificação das possíveis causas.....	52
4.4.1.1	<i>Fissuras e trincas</i>	52
4.4.1.2	<i>Corrosão das armaduras</i>	52
4.4.1.3	<i>Falhas de concretagem e ninhos de concreto</i>	53
4.5	SUGESTÕES PARA TRATAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS...	53
4.5.2	Carbonatação	54
4.5.1	Fissuras e Trincas	54
4.5.2	Corrosão das armaduras	55
4.5.3	Falha de concretagem e ninhos de concreto	56
5	CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	58
5.1	CONCLUSÃO	58
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	59
6	REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

Recentemente, a demanda e a intensa atividade da construção habitacional têm estimulado o desenvolvimento e a utilização de sistemas construtivos que proporcionem ganhos de prazo e redução da dependência de mão de obra e de custos globais de produção. Nesse contexto, o sistema construtivo constituído de paredes de concreto moldadas *in loco* se destaca como uma resposta para o atendimento dessas exigências, haja vista o grande número de empresas que utilizam esse sistema construtivo em todo o país.

Segundo Silva (2011), o sistema consiste na moldagem de paredes e lajes maciças de concreto armado com telas metálicas centralizadas. A estrutura é dimensionada para cada projeto específico de arquitetura do edifício. O processo de produção do sistema construtivo permite o controle geométrico das peças e a obtenção de superfícies aptas a receberem o acabamento.

Essa tecnologia oferece as condições desejáveis de escala, velocidade e racionalização de materiais para a construção de pequenos, médios e grandes conjuntos habitacionais ou até pequenos bairros e está sendo aplicada por diversas construtoras em todo o território nacional, tornando-se uma das melhores soluções para a diminuição do déficit habitacional.

No entanto, deve-se haver um projeto eficaz, dimensionado de acordo as normas vigentes no país e uma fiscalização eficiente que execute um controle de qualidade nos materiais e processos utilizados, as mesmas ainda devem ter bastante atenção durante a montagem dos elementos estruturais e das instalações, tendo ainda um cuidado especial no momento da concretagem, evitando assim, ninhos de concreto e deslocamento das armaduras, dentre tantos outros fatores relevantes a serem considerados.

Desta forma, por meio deste trabalho, serão relatados os procedimentos utilizados no sistema construtivo de paredes de concreto moldadas *in loco* de algumas casas do residencial Cristo Vive na cidade de Tucuruí – PA (nas quais foi utilizado o método construtivo supracitado), através de inspeções visuais e ensaios destrutivos e não destrutivos apresentando medidas a serem tomadas para que haja diminuição e/ou recuperação destas manifestações patológicas.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por objetivo realizar inspeções e analisar as manifestações patológicas estruturais nas unidades habitacionais executadas em parede de concreto armado moldadas *in loco* no Residencial Cristo Vive, localizado no município de Tucuruí – PA.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fazer levantamento das manifestações patológicas nas paredes de concreto armado moldadas *in loco* do Residencial Cristo Vive;
- Realizar análises das manifestações patológicas encontradas;
- Apresentar as possíveis causas das manifestações patológicas existentes no local;
- Apontar procedimentos mais adequados a serem aplicados para recuperação das estruturas.

1.3 JUSTIFICATIVA

Para a construção das residências no Residencial Cristo Vive, localizado no município de Tucuruí – PA, foi empregado um sistema inovador de construção na região, que é o de Paredes de Concreto Armado Moldadas *in loco*, o qual possui um grande número de unidades habitacionais no empreendimento (1000 unidades). Constatou-se, visualmente, que uma grande parcela das residências apresenta inconformidades estéticas e estruturais, tais como trincas e fissuras, corrosão de armaduras, instalações mal posicionadas, nichos de concretagem, entre outros. Tais manifestações podem diminuir a vida útil das estruturas das residências e colocar em risco a vida dos usuários. Enxergando-se então, a necessidade de um estudo com o objeto de analisar a durabilidade e o desempenho dessas estruturas, podendo-se assim, propor prováveis soluções aos problemas observados, dando apoio à constatação da necessidade de manutenções periódicas, imprescindíveis para manter o bom desempenho dessas estruturas, gerando conforto e segurança aos seus moradores.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi dividido da seguinte forma:

- No capítulo 2, através da revisão bibliográfica, são apresentadas as definições de patologia das estruturas, fazendo ainda um aparato sobre a qualidade das obras no Programa Minha Casa Minha Vida. Pôde-se também nesse capítulo, explicar acerca das definições de durabilidade, desempenho e vida útil das estruturas e os mecanismos de deterioração em estruturas de concreto e explicar acerca das características técnicas do sistema construtivo em paredes de concreto armado moldadas *in loco*.
- No capítulo 3, é apresentado o projeto de pesquisa que embasa este trabalho, trazendo inicialmente um breve histórico do Residencial Cristo Vive e em seguida a descrição da estrutura das unidades habitacionais estudadas. Este capítulo ainda apresenta os métodos de detecção das manifestações patológicas e os procedimentos de ensaio.
- O capítulo 4 discorre sobre os resultados e análises, apresentando os problemas (manifestações patológicas), apresentando ainda, sugestões de tratamento para esses problemas.
- Já no capítulo 5 é apresentada as conclusões deste trabalho, bem como sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS

O homem, desde os primórdios da civilização e sociedade, dedica-se a construir e adaptar estruturas para melhor suprir às suas necessidades, sejam elas para fins residenciais, laborais ou de infraestrutura. Tal premissa permitiu o acúmulo de grande acervo científico ao longo das gerações, resultando no desenvolvimento da tecnologia da construção, o que abrange desde a concepção, o cálculo, análise e o detalhamento das estruturas, bem como a tecnologia dos materiais e as técnicas construtivas passadas através das gerações, como reza Souza e Ripper (1998).

A partir da revolução industrial, com o crescimento sempre acelerado da construção civil, notou-se a necessidade de inovações que trouxe consigo a aceitação implícita de maiores riscos, decorrente do emprego de novas tecnologias as quais pouco se sabiam sobre suas características estruturais. Sendo que tal conhecimento foi adquirido através do estudo e análise de erros acontecidos com o passar dos anos.

Souza e Ripper (1998), ainda enfatizam que em decorrência de tais erros ou problemas, os quais dependem de um complexo conjunto de fatores, torna-se suscetível a chamada deterioração estrutural, a qual pode ser causada pelos mais diversos fatores, desde o envelhecimento natural da estrutura, falha de projeto, irresponsabilidade de alguns construtores que optam pela utilização de material de baixa qualidade, etc.

Tais problemas estruturais expuseram a necessidade da sistematização dos conhecimentos nesta área, apontando então para o desenvolvimento de um novo campo da engenharia, cujo objetivo é de abordar, de maneira científica, o comportamento e o problema das estruturas, denominado Patologia das Estruturas.

Segundo Silva (2011), o termo Patologia, de origem grega (*páthos*, doença e *logos*, estudo) é amplamente utilizado nas diversas áreas da ciência, com denominações do objeto de estudo que variam de acordo com o ramo de atividade. Tal termo é comumente utilizado no ramo da medicina, e foi exatamente neste contexto que a engenharia civil passou a utilizar o mesmo para designar as “doenças” referentes às estruturas. Ainda segundo Silva (2011), este intercâmbio de terminologias vem das similaridades do objeto de estudo destes dois tradicionais campos da formação, o ser humano e a edificação, onde o esqueleto humano compara-se à estrutura do edifício, a musculatura se assemelha às alvenarias, a pele poderia ser comparada aos revestimentos, o sistema circulatório seria como as

instalações elétricas, gás, esgoto, água potável, enquanto que o sistema respiratório seria a ventilação (janelas, ar-condicionado, sistemas de exaustão, etc.).

Deste modo, Souza e Ripper (1998) designam genericamente como PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS esse novo campo da Engenharia das Construções que se ocupa das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismo de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas.

Souza e Ripper (1998) complementam ainda que a conhecida e variadíssima gama de causas e consequências para o desempenho insatisfatório das construções, levam a necessidade do estabelecimento da mais adequada sistematização dos conhecimentos nessa área, para que, efetivamente, venha a ser alcançado o objetivo básico, que seria o de abordar de maneira científica, a problemática do comportamento estrutural ao longo do tempo, isto é, desde a concepção até a manutenção da estrutura, sem deixar de dedicar a devida importância às etapas de projeto e construção inerentes ao processo.

2.2 A QUALIDADE NAS CONSTRUÇÕES DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA

A qualidade é um conceito subjetivo que está relacionado diretamente à percepção de cada pessoa, influenciada por diversos fatores, como cultura, modo de pensar, tipo de produto ou serviço prestado. As necessidades e expectativas também influenciam diretamente nessa definição. De uma forma ou de outra, pode-se afirmar que a satisfação do cliente é uma das condições primordiais exigida a todos os produtos, ainda mais em se tratando de moradias populares, que na esmagadora maioria dos casos, tiram famílias carentes de moradias precárias ou do aluguel para uma habitação que, por teoria, deveria ser digna e sem problemas.

Helene e Terzian (1992) rezam que a qualidade deve ser definida claramente em todos os seus aspectos, utilizando-se parâmetros mensuráveis. A qualidade em engenharia deve ser objetiva e não subjetiva. A qualidade deve estar explicitada em elementos de projetos, de qualificação e seleção de materiais, de execução, de operação e de manutenção.

Souza e Mekbekian (1996) consideram a qualidade da obra, como resultado do seu planejamento e gerenciamento, da organização do canteiro de obras, das condições de higiene e segurança do trabalho, da correta operacionalização dos processos administrativos em seu interior, do controle de recebimento e armazenamento de materiais e equipamentos, e da qualidade na execução de cada serviço especificado no processo de produção.

Tomando como base as citações acima, pode-se apresentar como exemplo de empreendimento bem-sucedido do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), o Residencial Floresta de Santa Cândida (Figura 1), localizado na cidade de Curitiba-PR, o qual é visto como modelo de implantação e qualidade deste programa.

Figura 1 – Residencial Floresta de Santa Cândida.



Fonte – Agência de Notícias da Prefeitura de Curitiba (2013).

Em todo caso, sabe-se que todas as construções, independentemente do método construtivo utilizado, estão sujeitas ao aparecimento de problemas decorrentes de vários fatores sendo que, os mesmos podem surgir desde a fase de planejamento e projeto (mau dimensionamento de elementos estruturais, ou materiais de construção inapropriados a determinado fim construtivo, por exemplo), fase de construção (erros construtivos ou negligência por parte de engenheiros, mestres e operários), até o mau uso ou uso inadequado da edificação. Pode-se observar um exemplo extremo na figura 2, onde prédios no Bairro de Fonseca na cidade de Niterói – RJ, apresentam graves manifestações patológicas (rachaduras e iminente colapso da estrutura) antes mesmo de receberem acabamento, indicando, aparentemente, uma falta de estudo do terreno ao qual foi implantado, ou mesmo mal dimensionamento das fundações do mesmo.

Figura 2 - Prédios do Programa Minha Casa Minha Vida ameaçam cair.



Fonte – Revista Época (2013).

Outrossim, a busca exacerbada pela maximização dos lucros e consequente redução dos custos por parte das empresas, buscando sempre cronogramas acelerados para ter acesso ao montante dos valores licitados, acaba por se tornar um fator decisivo na qualidade das edificações, realidade essa observada em muitos dos empreendimentos do PMCMV em toda extensão nacional.

Nakamura (2012) relata queixas de vícios construtivos e da baixa qualidade das unidades recém-entregues à proprietários de imóveis beneficiados pelo programa supracitado, sendo que a Caixa Econômica Federal, gestora do programa, acaba por não divulgar o número total de falhas, o que acaba dificultando uma análise detalhada do tamanho do problema.

Outro grande fator que afeta diretamente a qualidade dos empreendimentos do PMCMV é a falta de organização de empresas, associados a orçamentos apertados, faz com que muitas dessas firmas abandonem as obras inacabadas. Casado (2015) relata que este problema está associado à excessiva fragmentação de responsabilidades entre governos, agentes financeiros, empresas subcontratadas para gerenciar projetos, e construtoras — em geral, pequenas e microempresas. Obras atrasam, e os imóveis, quando entregues, não têm documentação regular nem infraestrutura mínima, como rede de água e esgoto além de instalações elétricas oferecendo riscos à integridade dos usuários das edificações.

2.3 CONCEITOS IMPORTANTES

2.3.1 Desempenho de uma estrutura

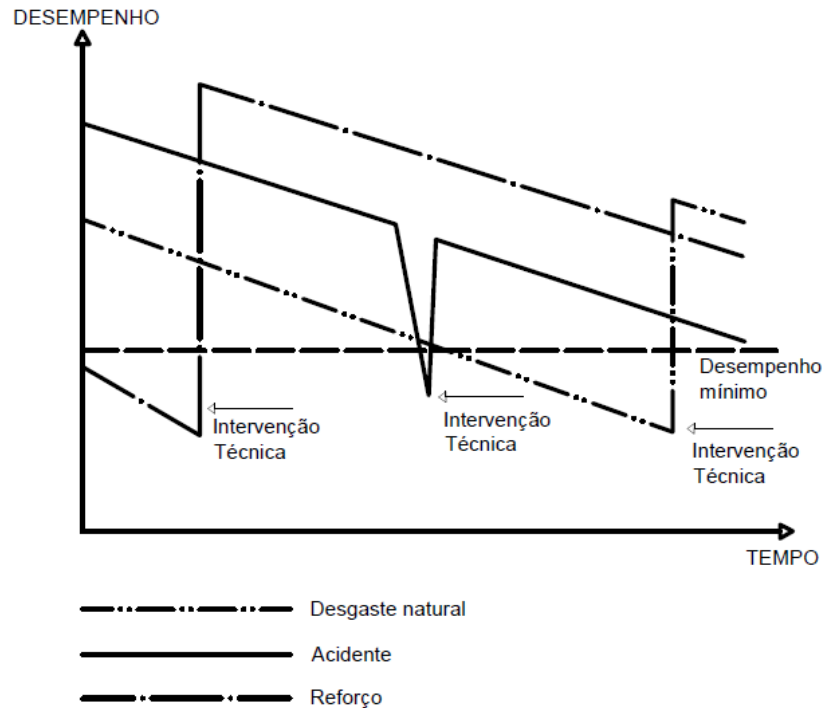
Como Apresentado por Possan e Demoliner (2013), desempenho pode ser definido como o comportamento em uso. No caso de uma edificação pode ser entendido como as condições mínimas de habitabilidade necessárias para que um ou mais indivíduos possam utilizar a edificação por um período de tempo.

Possan e Demoliner (2013) ainda enfatizam que o desempenho pode variar de um indivíduo para o outro, pois depende das exigências do usuário ou dos cuidados no uso. Também depende das condições de exposição do ambiente em que a edificação será/foi construída.

Segundo a NBR 15575-1 (2013) para que uma edificação tenha um desempenho adequado, deve-se buscar junto ao usuário a captação dos requisitos de desempenho. Com base nestes requisitos qualitativos (segurança, resistência, conforto, boa estética, etc.) devem-se estabelecer os critérios de desempenho (estabilidade estrutural, resistência ao fogo, conforto térmico e acústico, durabilidade, etc.) por meio de resoluções normativas prescritivas vigentes.

Acontece, no entanto, que as estruturas e seus materiais deterioram-se mesmo quando existe um programa bem definido de manutenção, sendo que quando essa deterioração chega ao limite, ela acaba se tornando irreversível, como enfatiza Sousa e Ripper (1998). Destacando ainda que o fato de uma estrutura em determinado momento apresentar-se com desempenho insatisfatório não significa que ela esteja necessariamente condenada. A avaliação desta situação é, talvez, o objetivo maior da Patologia das Estruturas, posto que esta seja a ocasião que requer imediata intervenção técnica, de forma que ainda seja possível reabilitar a estrutura (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Diferentes desempenhos de uma estrutura com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos.



Fonte - Souza e Ripper (2008).

2.3.2 Durabilidade de uma estrutura

De acordo com Possan e Demoliner (2013, *apud* ISO 13823, 2008), durabilidade é a capacidade de uma estrutura e de seus componentes de satisfazer, com dada manutenção planejada, os requisitos de desempenho do projeto, por um período específico de tempo sob influência das ações ambientais, ou como resultado do processo de envelhecimento natural.

Helene e Andrade (2011) definem durabilidade como sendo o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, de operação e de manutenção. Portanto não é uma propriedade inerente ou intrínseca à estrutura, à armadura ou ao concreto. Uma mesma estrutura pode ter diferentes comportamentos, ou seja, diferentes funções de durabilidade no tempo, segundo suas diversas partes, até dependente da forma de utilizá-la.

Para a NBR 6118 (2014), durabilidade “consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”. No item 6.1 prescreve que “as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que

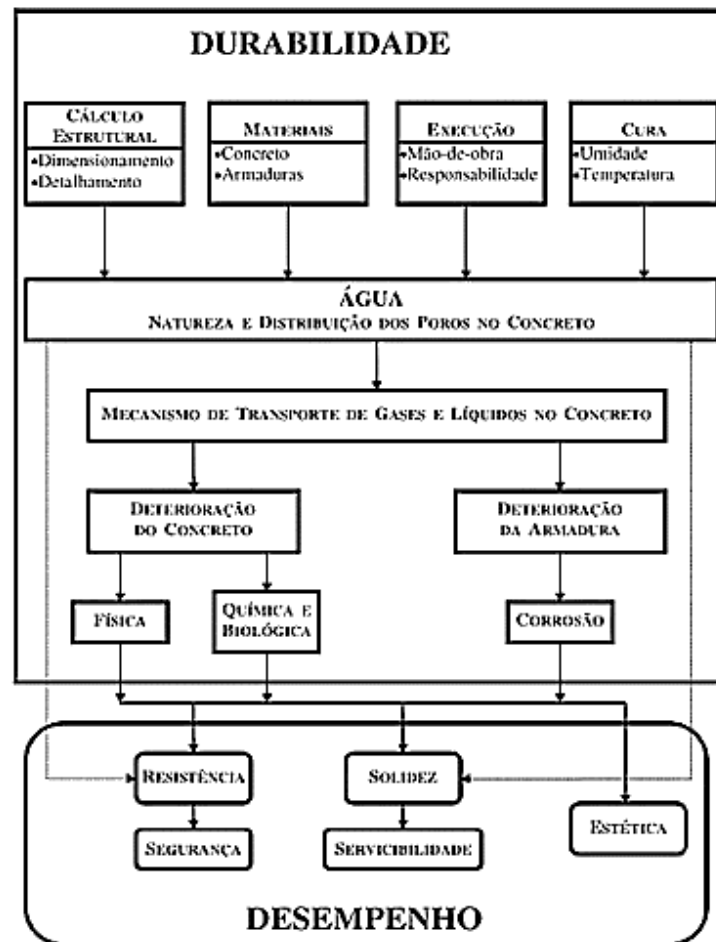
sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil”.

Mais especificamente Helene e Andrade (2011) nos apresenta ainda uma parametrização técnica que diz que a durabilidade de uma estrutura é determinada por quatro fatores identificados como regra dos 4C:

- a) Composição ou traço do concreto;
- b) Compactação ou adensamento efetivo do concreto na estrutura;
- c) Cura efetiva do concreto na estrutura;
- d) Cobrimento ou espessura do concreto de cobrimento das armaduras.

Pode-se observar na figura 3, a inter-relação entre Durabilidade e Desempenho e como um tem influência direta sobre o outro, explicitando os critérios para a obtenção de uma construção durável.

Figura 3 - Inter-relacionamento entre conceitos de durabilidade e desempenho.



Fonte - C.E.B. – Boletim nº 183 (1980, apud Souza e Ripper, 2008).

Observando ainda a figura 3, percebe-se que a água tem fundamental importância quando se trata da durabilidade de edificações, seja na preparação do concreto atentando a otimização do fator água/cimento, seja na drenagem da mesma visando à durabilidade da mesma, como apresentado no item 7.2 da NBR 6118 (2014), a qual especifica os seguintes cuidados a serem tomados:

- a) Presença ou acúmulo de água proveniente de chuva ou decorrente de água de limpeza e lavagem, sobre as superfícies das estruturas de concreto;
- b) Superfícies expostas que necessitem ser horizontais tais como coberturas, pátios, garagens, estacionamentos e outras, devem ser convenientemente drenadas, com disposição de ralos e condutores;
- c) Todas as juntas de movimento ou de dilatação, em superfícies sujeitas à ação de água, devem ser convenientemente seladas, de forma a torna-las estanques à passagem (percolação) de água;

- d) Todos os topos de platibandas e paredes devem ser protegidos por chapins. Todos os beirais devem ter pingadeiras e os encontros a diferentes níveis devem ser protegidos por rufos.

A NBR 6118 (2014), no item 7.3 ainda cita outras recomendações que são importantes na busca da durabilidade de uma estrutura, no que diz respeito à forma arquitetônica das estruturas:

- a) Disposições arquitetônicas ou construtivas que possam reduzir a durabilidade da estrutura devem ser evitadas;
- b) Deve ser previsto em projeto o acesso para inspeção e manutenção de partes da estrutura com vida útil inferior ao todo, tais como aparelhos de apoio, caixões, insertos, impermeabilizações e outros.

2.3.3 Vida útil de uma estrutura

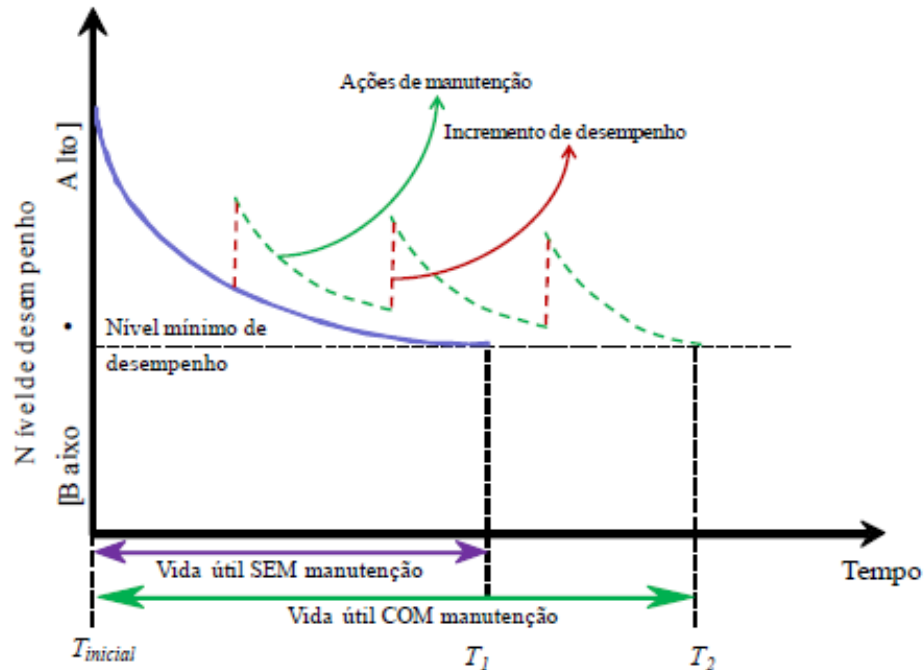
A NBR 6118 (2014) define vida útil de uma estrutura ou projeto como o período de tempo no qual se mantém as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

De maneira geral, vida útil consiste em mensurar a expectativa de duração de uma estrutura ou suas partes, dentro de limites de projeto admissíveis, durante seu ciclo de vida, sendo definida por Possan e Demoliner (2013, *apud* ISO 13823, 2008), como o período efetivo de tempo durante o qual uma estrutura ou qualquer de seus componentes satisfazem os requisitos de desempenho do projeto, sem ações imprevistas de manutenção ou reparo. De forma mais simples a NBR 15575 (2013) define vida útil como uma medida temporal da durabilidade de um edifício ou de suas partes.

Souza e Ripper (1998) enfatizam que a construção durável implica na adoção de um conjunto de decisões e procedimentos que garantam à estrutura e os materiais que a compõem, um desempenho satisfatório ao longo de sua vida útil de construção. Dessa maneira, entende-se vida útil como o período de tempo compreendido entre o início de operação e uso de uma edificação até o momento em que o seu desempenho deixa de atender às exigências do usuário, sendo diretamente influenciada pelas atividades de manutenção e reparo e pelo ambiente de exposição. No gráfico 2, Possan e Demoliner

(2013) ilustram a verificação da influência das ações de manutenção em uma edificação, as quais são necessárias para garantir ou prolongar a vida útil de projeto.

Gráfico 2 - Comparativo entre desempenho e vida útil com e sem manutenção.



Fonte: Possan e Demoliner (2013).

2.4 MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO

2.4.1 Fissuras

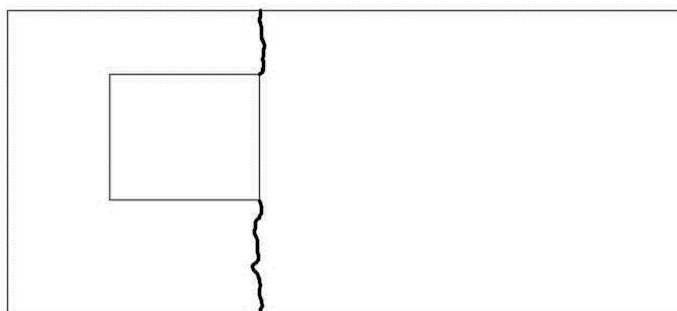
Segundo Corsini (2011) as fissuras são um tipo comum de manifestação patológica nas edificações podendo interferir na estética, na durabilidade e nas características estruturais da obra. O autor ainda enfatiza que tanto em alvenaria, quanto em estruturas de concreto, a fissura é originada por conta da atuação de tensões nos materiais, ou seja, quando a sollicitação é maior do que a capacidade de resistência do material, a fissura tem a tendência de aliviar suas tensões. Filho e Carmona (2013) citam que, ainda há diversos outros fatores que podem levar ao aparecimento de fissuras, tais como:

- a) Assentamento plástico e movimentação das formas, que pode ocorrer quando há erros no escoramento de formas ou mesmo na ordem errada da desforma. Fatores esses que podem gerar o aparecimento de fissuras.
- b) Retração, que tem como principal mecanismo para que ocorra, a perda de água por evaporação em estado fresco ou endurecido do concreto;

- c) Temperatura, Onde as variações volumétricas podem ocorrer em estado fresco, decorrente das altas temperaturas que acontecem durante as reações exotérmicas na hidratação do cimento e a posterior contração diferencial pelo resfriamento;
- d) Deslocamentos impostos, quando há recalques diferencial devido à heterogeneidade do solo ou dos próprios elementos de apoio;
- e) Fenômenos químicos deletérios, os quais acontecem devido esforços gerados por expansão do concreto endurecido em função da existência em excesso na massa, por penetração de sulfatos ou pela utilização de agregados reativos com os álcalis do cimento (reação álcali-agregado).

De acordo com Thomaz (2002), um caso particularmente importante de fissuração provocada por retração do concreto é aquele que se tem verificado em edificações constituídas por paredes monolíticas de concreto moldadas *in loco*, com emprego de formas metálicas. Segundo o autor, essas paredes são bastante susceptíveis à fissuração pela retração do concreto, que geralmente ocorrem em seções enfraquecidas pela presença de aberturas de portas e janelas (Figura 4), devido as características do concreto empregado (auto adensável, com relação água/cimento bastante elevada), pela grande relação verificada entre área exposta e o volume das paredes, pelas baixas taxas de armadura empregada e pela inobservância de detalhes construtivos apropriados como juntas de controle.

Figura 4 - Fissura de retração em parede monolítica de concreto, na seção enfraquecida pela presença de vão de janela.



Fonte: Thomaz (2002).

Filho e Carmona (2013), ainda dissertam que a influência da fissuração na durabilidade das estruturas de concreto é bem preocupante, pois a fissura aberta é um caminho fácil para a penetração de agentes agressivos, e que não resta dúvidas que havendo viabilidade técnica e econômica, é sempre recomendado que as fissuras, de qualquer ordem, sejam tratadas por meio de metodologia adequada, ou que seja adotada alguma estratégia de proteção, a fim de minimizar a penetração desses agentes agressivos.

2.4.2 Corrosão de Armaduras

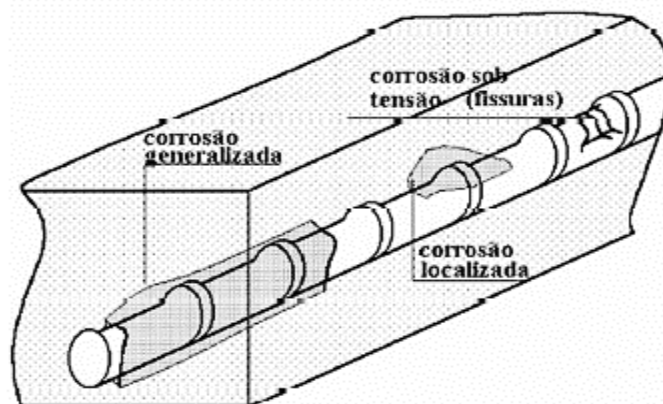
Souza e Ripper (1998, apud Gentil, 1987) refere que, de maneira geral, a corrosão poderá ser entendida como a deterioração de um material, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos. No caso das barras de aço imersas em no meio concreto, a corrosão é caracterizada pela destruição da película passivante existente ao redor de toda a superfície exterior das barras. Esta película é formada como resultado do impedimento da dissolução do ferro pela elevada alcalinidade da solução aquosa que existe no concreto, como ainda enfatiza Sousa e Ripper (1998).

Figueiredo e Meira (2013) citam que o processo de corrosão do aço no concreto envolve uma fase inicial, na qual os agentes agressivos alteram as condições do concreto no entorno da barra, ocasionando a despassivação da armadura, seguindo-se da formação de uma célula de corrosão, responsável pela propagação da corrosão.

Souza e Ripper (1998) ainda nos apresentam os três principais tipos de corrosão nas quais as barras de aço, imersas no concreto, podem vir a sofrer com a despassivação das mesmas. Estes, são listadas abaixo e ilustradas na figura 5:

- a) Corrosão por tensão fraturante, o qual as barras de aço são submetidas a grandes esforços mecânicos, e que, em presença do meio agressivo, pode sofrer fratura frágil, resultando na perda de sua condição de utilização;
- b) Corrosão pela presença de hidrogênio atômico, que fragiliza e fratura os aços;
- c) Corrosão por Pite, que pode revelar-se como: Localizada e/ou generalizada.

Figura 5 - Tipos de corrosão em uma barra de aço imersa no concreto.



Fonte: Sousa e Ripper (1998).

Desta maneira, Sousa e Ripper (1998), enfatiza que o processo de corrosão é um fenômeno que ocorre avançando de sua periferia para o interior, havendo troca de seção de

aço resistente por ferrugem, sendo esse o principal aspecto patológico da corrosão, ou seja, a diminuição da capacidade resistente da armadura, por diminuição de área de aço, o qual pode ainda ocasionar perda de aderência entre o aço e o concreto, desagregação da camada de concreto que envolve a armadura e ainda fissuração pela própria continuidade do sistema de desagregação do concreto.

2.4.3 Carbonatação

A Carbonatação resulta diretamente da ação do gás carbônico (CO_2), presente no ar atmosférico, sobre o cimento hidratado, com a formação de carbonato de cálcio e a consequente redução do pH do concreto até valores inferiores a 9. Quanto maior for a concentração de CO_2 presente, menor será o pH, por outro lado, mais espessa será a camada de concreto carbonatado, como reza Sousa e Ripper (1998).

Ainda segundo Sousa e Ripper (1998), a carbonatação em si, se ficasse restrita a uma espessura inferior à da camada de cobrimento das armaduras, seria até benéfica para o concreto, pois aumentaria as suas resistências químicas e mecânicas. A questão é que, em função da concentração de CO_2 na atmosfera e da porosidade e nível de fissuração do concreto, a carbonatação pode atingir a armadura, quebrando o filme óxido que a protege, corroendo-a, como apresentado na figura 6.

Figura 6 - Representação esquemática do avanço da frente de carbonatação no concreto armado.



Fonte: Tula (2000).

Os danos causados pela corrosão das armaduras por carbonatação manifestam-se sob a forma de expansão, fissuração, destacamentos do cobrimento, perda da aderência e redução significativa de seção da armadura, subtraindo o comportamento da vida em serviço da estrutura para qual foi projetada, elevando assim os custos de manutenção e reparo (CUNHA E HELENE, 2001).

Neto (2011) ainda cita que o avanço da carbonatação é tanto maior quanto menor é a qualidade do concreto, especialmente quanto à porosidade e a fissuração, que se deve evitar através de um bom projeto e uma boa execução. Outra forma de retardar o avanço da carbonatação é aumentar o cobrimento das armaduras superficiais, pois o tempo para a total carbonatação e início da corrosão será tanto maior quanto maior essa camada de cobrimento (NETO 2011). Desta forma, a NBR 6118 (2014) apresenta especificações para delimitação de cobrimentos nominais de acordo com a classe de agressividade do ambiente em torno na estrutura, como pode-se observar no quadro 1.

Quadro 1 - Classe de Agressividade Ambiental.

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

^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 (2014).

2.5 PAREDES DE CONCRETO ARMADO MOLDADAS *IN LOCO*

Nos últimos anos, com o crescimento do mercado imobiliário e o lançamento do PMCMV, houve uma grande demanda por construções em larga escala que pudessem ampliar a oferta de moradias reduzindo o déficit habitacional do país. Desta forma, Corsini (2012) relata que o mercado de construções brasileiro, viu-se obrigado a dinamizar seus métodos construtivos, diminuindo o tempo de construção e construindo em larga escala, o que caracteriza o método construtivo em paredes de concreto armado moldadas *in loco*, que se executado corretamente, traz rapidez, dinamismo e qualidade ao produto final.

Corsini (2012) cita que esta técnica vinha sendo utilizada por poucas construtoras no Brasil, as quais usavam seus próprios procedimentos, tendo que passar pela aprovação de um órgão certificador que, caso aprovado, tinham concedido às mesmas um documento de avaliação técnica (DATec), o qual era um certificado particular para aquela empresa.

Em suma, Nunes (2011) relata que o sistema de paredes de concreto moldadas *in loco* oferece diversas vantagens através de uma metodologia construtiva que visa à produção de edificações em larga escala e, devido a isso, vem conquistando o mercado brasileiro. O autor ainda afirma que o sistema de paredes de concreto armado é recomendado para empreendimentos de alta rapidez de execução como edifícios residenciais (Figura 7) e empreendimentos com mais de 1000 unidades habitacionais. Esses empreendimentos exigem curtos prazos de entrega, economia e otimização da mão de obra.

Figura 7 - Construção de edifício de 5 pavimentos em paredes de concreto armado moldadas *in loco*.



Fonte – Cichinelli (2015).

2.5.1 Requisitos da qualidade da estrutura

Para o atendimento dos requisitos de qualidade da estrutura de parede de concreto, a NBR 16055 (2012) orienta que uma estrutura deve ser construída e projetada de modo que:

- a) Resista todas as ações que sobre ela produzam efeitos significativos tanto na sua construção quanto durante a sua vida útil;

- b) Sob as condições ambientais previstas na época de projeto e quando utilizada conforme preconizado em projeto, conserve sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente a sua vida útil;
- c) Contemple detalhes construtivos que possibilitem manter a estabilidade pelo tempo necessário à evacuação quando da ocorrência de ações excepcionais localizadas previsíveis, conforme a NBR 6118 (2014).

2.5.2 Requisitos de qualidade do projeto

Para o atendimento dos requisitos de qualidade de projeto de uma estrutura de concreto armado, o projeto deve ser elaborado adotando-se (NBR 16055, 2012):

- a) Sistema estrutural adequado à função desejada para a edificação;
- b) Combinações de ações compatíveis e representativas;
- c) Dimensionamento e verificação de todos os elementos estruturais presentes;
- d) Especificação de materiais de acordo com os dimensionamentos efetuados;
- e) Modulação coordenada conforme NBR 15873 (2010).

2.5.3 Características do sistema

2.5.3.1 Armadura

No sistema construtivo em paredes de concreto armado moldadas *in loco*, em edificações baixas usualmente utilizam-se telas soldadas posicionadas no eixo das paredes (figuras 9 e 10), ou, em caso de edificações altas, nas duas faces conforme especificação de projeto. Misurelli e Massuda (2009) citam que as bordas das paredes, vãos e janelas, são reforçados com telas ou barras de armaduras convencionais.

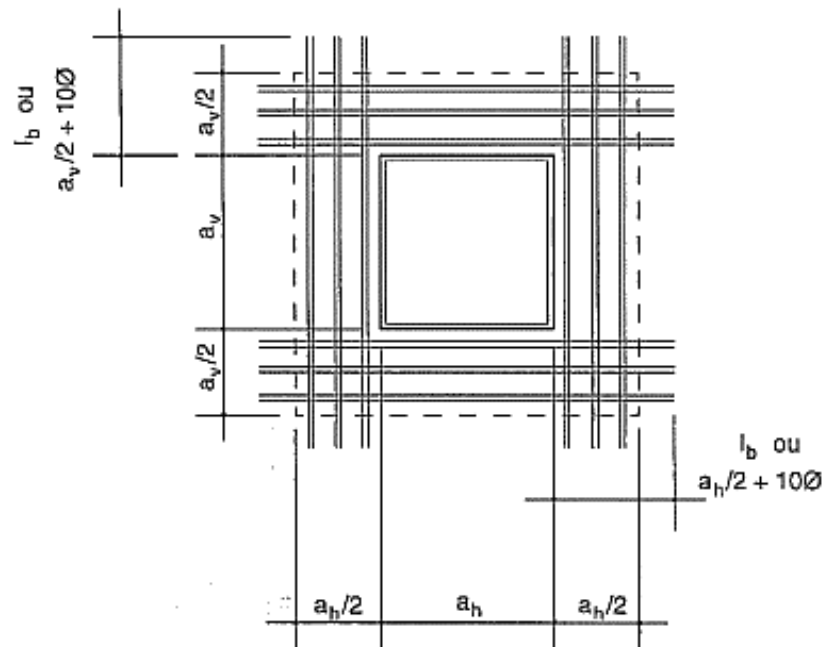
Os autores ainda destacam que as armaduras devem atender a três requisitos básicos: resistir a esforços de flexotorção nas paredes, controlar a retração do concreto e estruturar e fixar as tubulações de elétrica, hidráulica e gás. Acerca da montagem das armaduras das paredes, os autores apresentam uma sequência de execução padrão:

- a) montagem da armadura principal, em tela soldada;
- b) montagem das armaduras de reforços e inserção de ancoragens de cantos e cintas;
- c) colocar os espaçadores plásticos, que são imprescindíveis para garantir o posicionamento das telas e a geometria dos painéis.

Em caso de reforços, a NBR 16055 (2012) orienta que, em paredes com borda superior livre, é necessário executar, em toda sua extensão, armadura horizontal com valor mínimo de $0,5 \text{ cm}^2$, dispostas na região da seção transversal junto a borda livre à uma distância de no máximo duas vezes a espessura da parede.

A norma ainda enfatiza que todas as aberturas com dimensão horizontal maior ou igual a 40 cm, devem ser reforçadas em suas faces superior e inferior das aberturas e devem ser distribuídas em faixas com dimensões de $a_h/2$ e devem ter como comprimento mínimo, além da abertura, o maior valor entre: $(a_h/2 + 10\varnothing)$ e l_b ; onde l_b é o comprimento de ancoragem, expresso em metros, como mostra a figura 8.

Figura 8 - Armaduras de reforço



Fonte – NBR 16055 (2012).

Figura 9 - Montagem das armaduras da estrutura (Vivacidade Tucuruí).



Fonte – Autores.

Figura 10 - Armadura de reforço em abertura da parede (Vivacidade Turucuí).



Fonte: Autores.

2.5.3.2 Elementos embutidos

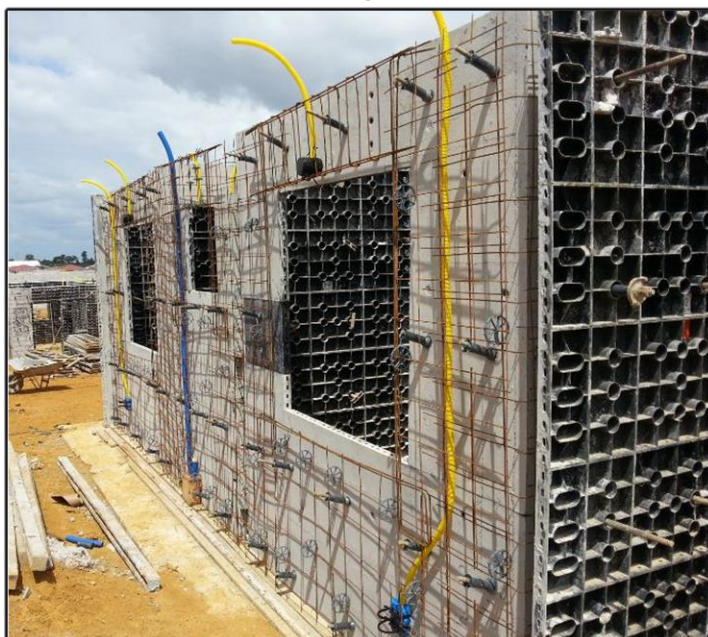
No sistema construtivo de paredes de concreto armado moldadas *in loco*, as instalações elétricas e hidráulicas são previamente embutidas nas paredes antes da concretagem, geralmente fixadas nas armaduras. A NBR 16055 (2012) orienta que as tubulações verticais podem ser embutidas nas paredes desde que atendam as seguintes condições:

- Quando a diferença de temperatura no contato entre a tubulação e o concreto não ultrapassar 15°C;
- Quando a pressão interna na tubulação for menor que 0,3 MPa;

- Quando o diâmetro máximo for de 50 mm;
- Quando o diâmetro da tubulação não ultrapassar 50 % da espessura da parede, restando espaço suficiente para, no mínimo, o cobrimento adotado e a armadura de reforço;
- Tubos metálicos galvanizados não encostem nas armaduras para evitar corrosão galvânica.

Ainda segundo a norma, as tubulações horizontais não são admitidas, a não ser que estas sejam instaladas em trechos de até um terço do comprimento da parede, não ultrapassando 1 metro, considerando que este trecho não seja estrutural. Corsini (2012), explica que esta restrição deve ser considerada devido à tubulação horizontal fazer com que o trecho deixe de se comportar como estrutural, dessa forma, o restante da parede terá que suportar toda a carga. A figura 11 mostra a instalação dos elementos embutidos no sistema.

Figura 11 - Fixação de eletroduto e caixa de passagem na armadura da parede (Vivacidade Tucuruí).



Fonte: Autores.

2.5.3.3 Sistema de Fôrmas

De acordo com a ABCP (2010), os tipos de formas mais utilizados no sistema de parede de concreto são: fôrmas metálicas, de madeira e de plástico (Figura 12). A escolha do tipo a ser adotado, depende de estudos de viabilidade técnica e econômica. Misurelli e Massuda (2012) citam que para escolher o sistema de fôrmas, devem-se considerar os seguintes aspectos:

- Produtividade da mão-de-obra na ação do conjunto;
- Peso/m² dos painéis;
- Número de peças do sistema;
- Durabilidade da chapa e possibilidade de reutilizações;
- Durabilidade da estrutura;
- Modulação dos painéis;
- Flexibilidade;
- Adequação à fixação;
- Análise econômica e facilidade de acesso ao sistema;
- Suporte técnico do fornecedor.

A ABCP (2010) orienta sobre a importância dos cuidados da limpeza e das fôrmas para garantia da vida útil e apresenta vantagens acerca da escolha do desmoldante adequado para cada sistema:

- Aumenta a vida útil dos painéis de fôrmas;
- Melhora a qualidade da superfície do concreto;
- Não compromete a aderência do revestimento final;
- Melhora a qualidade do produto final.

Figura 12 – Montagem de sistema de fôrmas plásticas (Vivacidade Tucuruí).



Fonte: Autores.

2.5.3.4 Concreto

Uma das principais características do sistema de parede de concreto é a moldagem *in loco* conjunta dos elementos da estrutura. Essa característica garante a esse sistema construtivo maior produtividade e diminui a necessidade de mão-de-obra para a execução.

De acordo com a NBR 16055 (2012), o concreto utilizado nas paredes de concreto pode ser preparado tanto no canteiro quanto por empresa de serviço de concretagem. Em ambos os casos, o concreto deverá cumprir as prescrições vigentes sobre produção de concreto. A ABCP (2008-2009) enfatiza a importância da boa trabalhabilidade do concreto adotado nesse sistema, requisito fundamental para o preenchimento completo da fôrma evitando segregações e garantindo um bom acabamento superficial. A associação recomenda quatro tipos de concreto para o sistema:

- Concreto celular (Tipo L1);
- Concreto com alto teor de ar incorporado até 9% (Tipo M);
- Concreto com agregados leves ou com baixa massa específica (Tipo L2);
- Concreto convencional ou concreto alto adensável (Tipo N).

O quadro 2, resume as tipologias do concreto adotado no sistema de parede de concreto:

Quadro 2 - Resumo das tipologias de concreto adotadas em paredes de concreto.

Tipo	Descrição	Massa Específica (Kg/m³)	Resist. mínima à compressão (MPa)	Tipologia usualmente utilizada
L1	Celular	1.500 a 1.600	4	Casa de até 2 pavimentos
L2	Com agregado leve	1.500 a 1.800	20	Qualquer tipologia
N	Com alto teor de ar incorporado	1.900 a 2.000	6	Casa de até 2 pavimentos
M	Convencional ou auto-adensável	2.000 a 2.800	20	Qualquer tipologia

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (2007/2008)

Segundo a ABCP (2010), A escolha do tipo de concreto a ser utilizado depende de vários fatores, inclusive de fornecimento e viabilidade técnica e econômica. Para a ABCP, a espessura dos elementos do sistema construtivo dificulta o lançamento e a vibração do concreto na forma, fator esse que torna o concreto auto-adensável a melhor opção, quando viável, para o sistema de parede de concreto.

O concreto auto-adensável possui dois atributos relevantes: a sua aplicação é muito rápida, feita por bombeamento, e a mistura é extremamente plástica, dispensando o uso de

vibradores. Eliminam-se problemas de segregação do material e custos de retrabalho tais como serviços de estucagem (ABCP, 2010).

Quando não utilizado concreto auto-adensável, a NBR 16055 (2012), recomenda que devem ser tomados os seguintes cuidados:

- a) O adensamento (manual ou mecânico) deve garantir que o concreto preencha todos os espaços da fôrma sem prejuízo da aderência das armaduras. Para tanto, é preciso que no processo não se toque na armadura, nem desloque os embutidos da fôrma;
- b) No caso de alta densidade das armaduras, cuidados especiais devem ser tomados para que o concreto seja distribuído em todo o volume da peça e o adensamento se processe de forma homogênea;
- c) O enchimento da fôrma deve ser realizado sem a ocorrência de falhas por ar aprisionado. O sistema de fôrmas deve prever dispositivos que garantam a saída desse ar durante a concretagem, em especial nas regiões logo abaixo das janelas ou outros locais propícios a formação de vazios. Deve-se também acompanhar o enchimento das fôrmas por meio de leves batidas com martelo de borracha nos painéis.

2.5.3.5 Cura

O procedimento de cura em paredes de concreto armado moldadas *in loco*, segue o mesmo procedimento para as estruturas de concreto armado convencional. De acordo a NBR 16055 (2012) A cura e a proteção, devem ser executadas enquanto o concreto não atingir o endurecimento satisfatório para:

- a) Evitar a perda de água pela superfície exposta;
- b) Assegurar uma superfície com a resistência adequada;
- c) Assegurar a formação de uma capa superficial durável.

Dessa forma, protege-se o concreto contra agentes prejudiciais, tais como: [...] mudanças drásticas de temperaturas, secagem rápida, chuva forte, água torrencial, congelamento, agentes químicos, bem como choques e vibrações de intensidade tal que possam produzir fissuras superficiais devido à grande área exposta (NBR 16055, 2012).

A NBR 16055 (2012), ainda preconiza que para que se desenvolva a resistência e durabilidade adequada, a cura do concreto deve sempre ser executada, evitando-se a secagem prematura. A cura [...] deve ocorrer logo após a desforma das paredes e, no caso de lajes, logo após o acabamento do concreto, [...]. Quanto mais cedo for feita a cura, menor a possibilidade de surgirem fissuras superficiais devido à grande área exposta (NBR 16055, 2012).

2.6 ESPECIFICAÇÃO NORMATIVA

2.6.1 NBR 7584 (1995)

Este documento estabelece o método para avaliar a dureza superficial do concreto endurecido pelo uso do esclerômetro de reflexão, sendo um método não destrutivo. O modelo mais utilizado é denominado Martelo de *Schmidt*, o qual consiste fundamentalmente de uma massa-martelo que, impulsionada por uma mola, se choca, através de uma haste, com forma de calota esférica, com a área de ensaio. Sendo o índice esclerométrico o valor obtido através desta ação, podendo ser aferido no próprio aparelho.

Para a execução do ensaio a NBR 7584 (1995) recomenda que as superfícies devam ser secas ao ar, limpas e, preferencialmente, planas; as áreas de concreto devem estar localizadas, preferencialmente, nas faces verticais dos elementos, componentes de concreto como pilares, paredes, cortinas e vigas; distar no mínimo 50mm dos cantos e arestas dos elementos estruturais; efetuar, no mínimo, 9 leituras em cada área; usar distância mínima entre os centros dos impactos de 3 cm.

Recomenda-se ainda, nunca efetuar ensaio em peças com menos de 14 dias de concretagem, sendo ideal ensaio em peças com idade superior a 28 dias; devem ser evitados impactos sobre armaduras, bolhas e áreas similares, que não representem o concreto em avaliação; o esclerômetro deve ser aplicado preferencialmente na posição horizontal e conseqüentemente sobre superfícies verticais. Sendo necessário aplicar em posições diversas, o índice esclerométrico deve ser corrigido com os coeficientes fornecidos pelo fabricante dos aparelhos.

Para obtenção dos resultados, a norma citada acima recomenda que deva ser calculada a média aritmética da quantidade de pontos de impactos adotados dos índices esclerométrico correspondentes a uma única área de ensaio, sendo que se deve desprezar todo índice esclerométrico individual que esteja afastado em mais de 10% do valor médio obtido e calcular a nova média aritmética. O índice esclerométrico médio final deve ser obtido no mínimo com 5 valores individuais; caso não seja possível, tal área deve ser

desconsiderada, sendo que de cada área de ensaio, obtém-se um único índice esclerométrico médio.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 BREVE HISTÓRICO

O Residencial Cristo Vive está localizado na estrada do Aeroporto – Km 1, no município de Tucuruí, sudeste do estado do Pará. O empreendimento faz parte do programa habitacional do governo federal - Minha Casa Minha Vida – e foi projetado para beneficiar 1000 famílias através da construção das unidades habitacionais de baixo padrão utilizando o sistema construtivo de paredes de concreto armado moldadas *in loco* (figura 13).

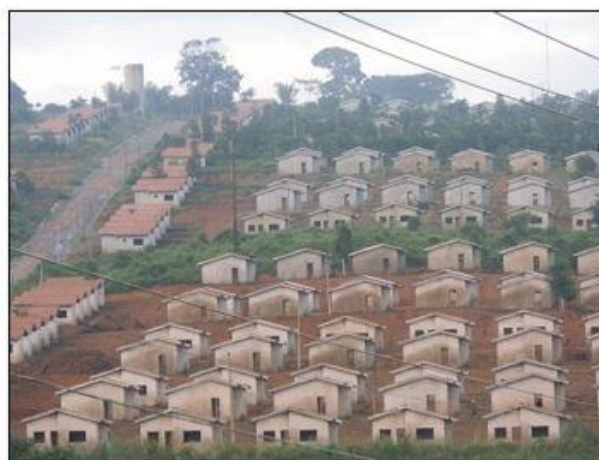
Orçada em 60 milhões de reais, a construção do empreendimento teve início em 2012 pela construtora EFECE LTDA, empresa vencedora do certame licitatório, e foi interrompida meses depois, após uma vitória da equipe de engenharia da Caixa Econômica Federal constatar diversas irregularidades no empreendimento, como problemas de infraestrutura e o quadro de manifestações patológicas das unidades habitacionais, ocasionando a paralisação da obra e o afastamento da então empresa responsável.

Em janeiro de 2015, por consequência de uma notificação do Ministério Público Federal, a Caixa Econômica Federal autorizou a retomada das obras do residencial, sendo a empresa TechCasa - Incorporação e Construção LTDA, a responsável pela continuidade da construção do empreendimento. Todavia, em setembro de 2015, as obras do residencial foram mais uma vez paralisadas, dessa vez, devido à ocupação ilegal das unidades habitacionais pela população da cidade sob a alegação de demora na entrega das residências. Situação que perdura até hoje.

Figura 13 - Residencial Cristo Vive.

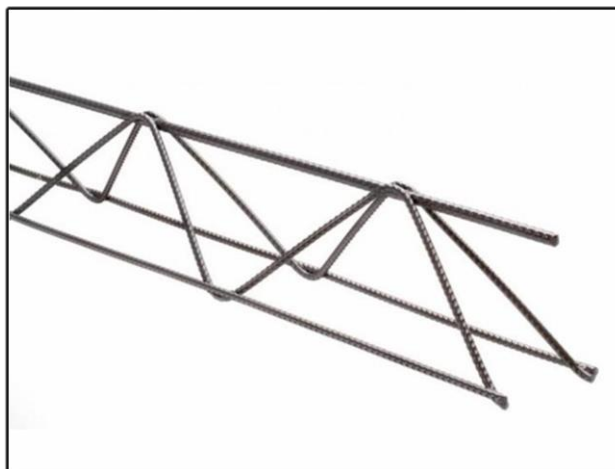


Fonte: Google Earth (2016).



Fonte: Autores.

Figura 15 - Treliza Gerdau TG 8M.



Fonte: Gerdau - Catálogo Construção Civil (2016).

3.3 MÉTODOS ADOTADOS

Para a elaboração desse trabalho, no intuito de caracterizar os problemas no empreendimento, foram realizadas inspeções locais para identificação das manifestações patológicas registrando-as através de levantamento fotográfico. Após a caracterização das manifestações observadas, buscou-se identificar suas possíveis causas e propor soluções de reparos para cada caso.

Devido à grande extensão do empreendimento, optou-se por concentrar as pesquisas nos locais onde foi observada uma diferença significativa nos aspectos de qualidade das unidades habitacionais e, conseqüentemente, maior incidência de manifestações patológicas nas estruturas. Tais habitações estão localizadas nas quadras 53, 54, 62, 63, 70, 71, 76 e 77.

O projeto de implantação do empreendimento e a planta baixa arquitetônica, utilizados como auxílio para elaboração deste trabalho, foram obtidos junto à empresa Techcasa – Incorporação e Construção LTDA. Sendo utilizados para identificação das características geométricas das residências e indicação dos locais onde foram realizados os ensaios.

3.3.1 Métodos de detecção

Para a detecção das manifestações patológicas na obra e realização dos ensaios, foram utilizados os métodos a seguir:

- Inspeção visual das manifestações patológicas e erros executivos identificados registrados através de levantamento fotográfico;
- Ensaio com solução alcoólica de fenolftaleína para detecção de carbonatação na estrutura;
- Ensaio para determinação da dureza superficial do concreto utilizando o Esclerômetro de Reflexão.

Os pontos definidos para a execução das inspeções visuais e ensaios, são mostrados na planta do projeto de implantação do empreendimento (figura 16), com a indicação das unidades habitacionais alvos de estudo.

Figura 16 - Indicações dos locais de análise.



Fonte: Adaptado da planta do projeto de implantação original (2016).

3.3.2 Procedimentos de ensaio

3.3.1.1 Determinação da profundidade de carbonatação

Para a determinação da profundidade de carbonatação nas estruturas, é necessário a utilização de um marcador químico indicativo de pH. Neste trabalho, utilizou-se uma solução alcoólica de fenolftaleína a 1%, através da adição de 2g de fenolftaleína a 200 ml de álcool etílico hidratado 92,8° INPM (Instituto Nacional de Pesos e Medidas). Utilizou-se também, ferramentas como marreta, talhadeira e pincel (figura 17), para abertura e limpeza do local de ensaio, régua para mensurar a frente de carbonatação e um borrifador para aplicar a solução. O ensaio de carbonatação foi realizado em três unidades habitacionais (12; 15 e 09), localizadas nas quadras 62, 70 e 77.

Figura 17 - Materiais utilizados no ensaio de carbonatação.



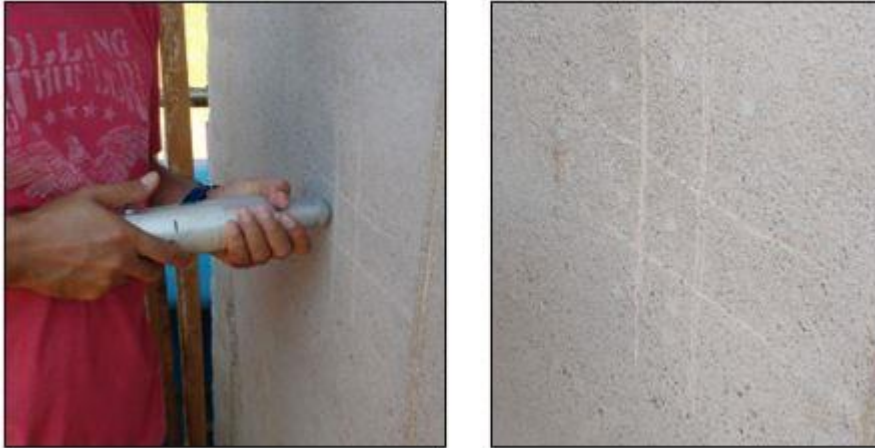
3.3.1.2 Determinação da dureza superficial do concreto

Os ensaios de esclerometria foram realizados de acordo com a NBR 7584 (2012), com o objetivo de obter dados acerca da resistência do concreto da estrutura, com o auxílio de um esclerômetro de reflexão.

Para a realização do ensaio foram escolhidas quatro residências, sendo que as três primeiras foram as mesmas onde foram realizados os testes de carbonatação, e outra localizada na quadra 50; lote 03. Em cada residência foram escolhidos três pontos com superfície plana e limpa, atentando para que a armadura e agregados na estrutura não interferissem no resultado. Em cada ponto foi desenhado uma grade com espaçamento

padrão para a aplicação dos nove impactos recomendados por norma, conforme mostra a figura 18. Os ensaios foram realizados pelo mesmo operador, posicionando o aparelho perpendicular à superfície do concreto.

Figura 18 - Detalhes da execução do ensaio de esclerometria.



4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 IDENTIFICAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

4.1.1 Carbonatação no concreto

Os ensaios *in loco* possibilitaram a mensuração da frente de carbonatação, caracterizada por zonas com pH distintos, sendo zona neutra (incolor) e básica (coloração variando entre lilás e roxo escuro). Os pontos ensaiados apresentados nas figuras a seguir, mostram a variação de coloração nas paredes de concreto devido a penetração de CO₂.

No primeiro local de ensaio (figura 19), observa-se a mudança de coloração no concreto a partir de 3,7 cm, o que caracteriza a penetração de CO₂ até este ponto. No segundo local de ensaio (figura 20), pode-se constatar uma coloração escura no concreto, característica da presença de umidade no local, fator que se relaciona a porosidade do concreto. Além disso, pode-se observar a armadura exposta, decorrente de erros executivos, sofrendo processo de corrosão. Após o teste de carbonatação no local, constatou-se também a penetração de CO₂ com 3,2 cm de profundidade.

No terceiro local de ensaio, constataram-se além da penetração de CO₂, outras manifestações patológicas, como: fissuras na marca das formas e nas juntas de concretagem, além de erros executivos de concretagem e perfurações no concreto decorrentes de desforma inadequada, como mostra a Figura 21. Neste local realizou-se o teste de carbonatação em dois pontos: no primeiro ponto (Figura 22), constatou-se a penetração de CO₂ no concreto com 5 cm de profundidade. No segundo ponto (Figuras 23a e 23b), realizou-se o teste de carbonatação na marca da forma onde constatou-se a presença de fissura, indicada por setas vermelhas. Neste ponto não foi possível mensurar a profundidade exata da frente de carbonatação no concreto, porém, constatou-se que a mesma ultrapassou 6,3 cm.

Figura 19 - a) limpeza do local de aplicação da solução; b) mensuração da frente de carbonatação.

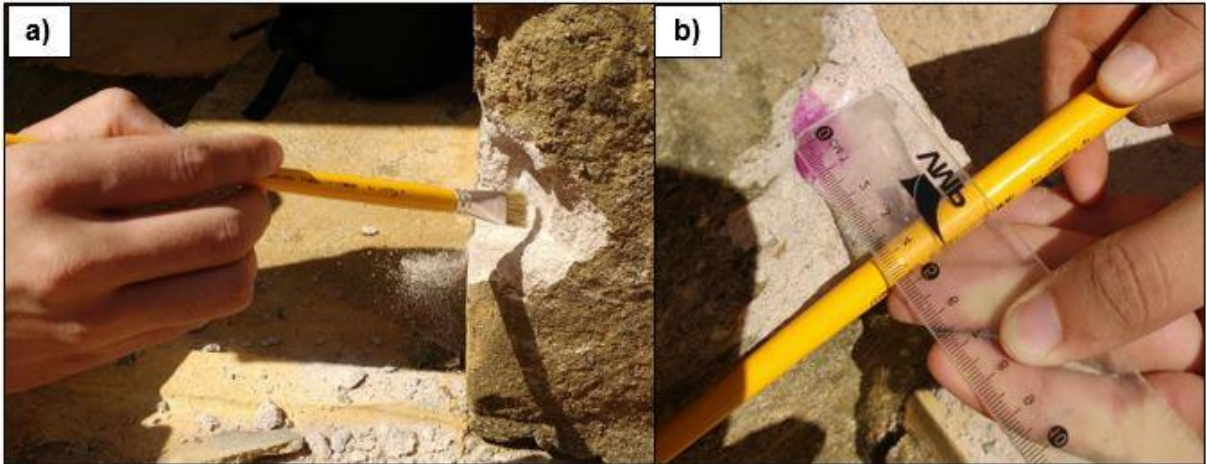


Figura 20 - Mensuração da frente de carbonatação em dois pontos próximos.



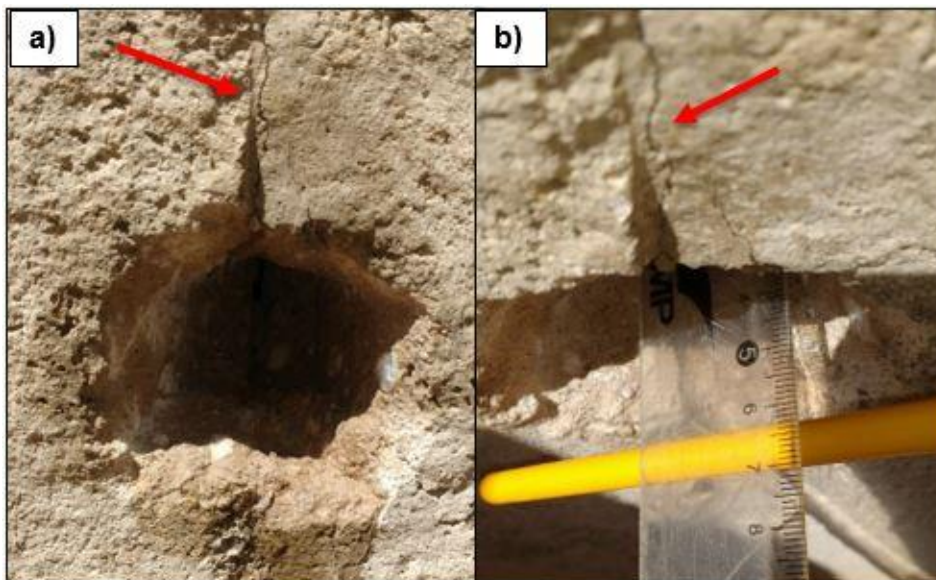
Figura 21 - Parede com juntas de concretagem, fissura e perfurações no concreto.



Figura 22 – Frente de carbonatação medindo 5 cm.



Figura 23 – a) Não se identificou mudança de coloração no local; b) profundidade da frente de carbonatação superior a 6,3 cm.



4.1.2 Fissuras, trincas e rachaduras

O aparecimento de fissuras nas estruturas de concreto armado caracteriza-se em um tipo comum de manifestação patológica nas edificações e há diversos fatores que influenciam para a incidência desse tipo de manifestação patológica. No residencial, pode-se observar que o aparecimento de fissuras e trincas, em sua maioria, ocorrem nos vãos das paredes que servem de sustentação para a caixa d'água de 500 litros, localizada na circulação das residências. O aparecimento de fissuras neste local, torna-se um motivo de preocupação devido à sobrecarga exercida pelo peso da caixa d'água nas paredes. As

figuras a seguir, apresentam de forma geral, as fissuras e trinças identificadas nessas paredes em várias residências.

Figura 24 - a) trinca vertical localizada na parede entre o quarto e circulação; b) trinca vertical abaixo da estrutura da caixa d'agua.



Figura 25 - rachaduras localizadas na parede da circulação vista por diferentes ângulos.



Figura 26 - rachaduras na junção das paredes dos vãos centrais.



Figura 27 – Indicação de fissura e trinca no vão da parede.



4.1.3 Corrosão da armadura

O processo de corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado ocorre em locais mais expostos à umidade e agentes agressivos. Os principais tipos de manifestações patológicas observadas em armaduras em processo corrosivo são: perda de aderência entre o aço e o concreto, desagregação da camada de concreto que envolve a armadura e ainda a fissuração ocasionada pela continuidade do sistema de desagregação do concreto.

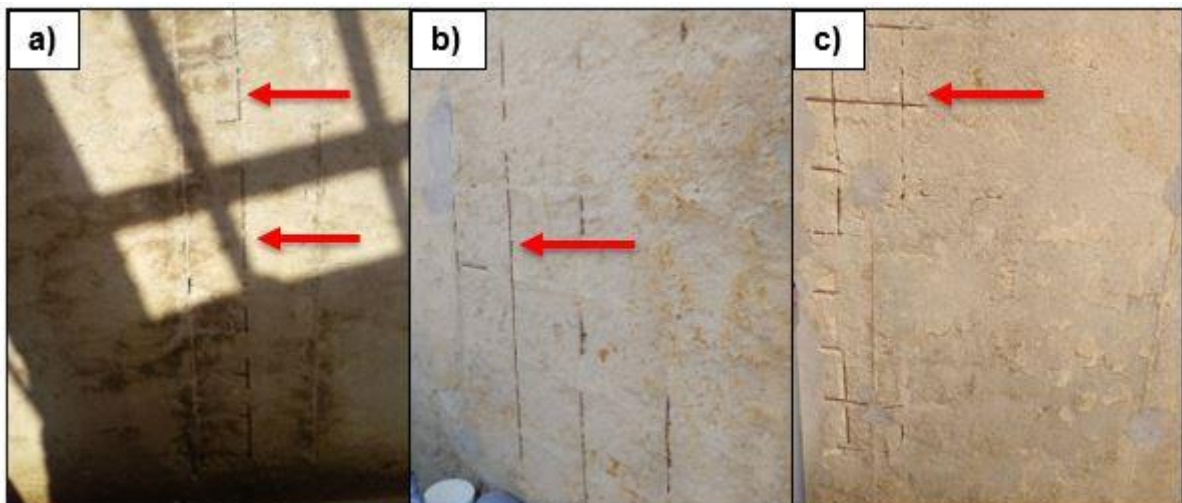
Nas figuras 28a e 28b, observa-se que as armaduras da estrutura de uma mesma residência estão expostas e sofrendo processo avançado de corrosão. Na figura 28a, pode-se constatar que, além do processo de corrosão, ocorreu também o deslocamento do concreto do local. Em ambas imagens observa-se que o cobrimento insuficiente das armaduras, oriundos de erros no processo executivo é o principal fator causador dessa manifestação patológica.

Figura 28 - a) corrosão avançada na armadura e deslocamento do concreto; b) armadura exposta e com cobrimento insuficiente sofrendo corrosão.



Na Figura 29, observa-se mais uma vez em três residências diferentes as armaduras expostas sofrendo o processo de corrosão, devido ao mesmo erro no processo executivo citado acima.

Figura 29 – a) armadura exposta em parede interna; b) e c) armaduras expostas em paredes externas.



4.1.4 Falhas de concretagem e ninhos de concreto

Os fatores que influenciam na deterioração do concreto podem estar relacionados tanto na fase de concepção de projeto quanto na execução da estrutura. Neste segundo, os motivos são diversos e podem ocorrer desde a escolha dos materiais a serem empregados na fabricação à escolha do método executivo. As figuras a seguir, mostram as manifestações patológicas decorrentes de falhas no processo executivo da estrutura e escolha de materiais inadequados.

Nas figuras 30 e 31, observa-se falhas na concretagem abaixo das janelas de uma mesma residência expondo parte da armadura da parede. Esta falha tem causa provável pela utilização de concreto com baixo *slump* ou insuficiência de vibração, impedindo que o material preencha todos os espaços da forma. Além disso, percebe-se uma coloração escura e excesso de umidade nas paredes, fatores relacionados à alta porosidade do concreto, que pode ter sido provocado por uma elevada relação a/c, na dosagem do mesmo.

Figura 30 – Em uma mesma residência: a) Falha de concretagem abaixo da janela do quarto e balancim do banheiro; b) falha abaixo da janela da cozinha.

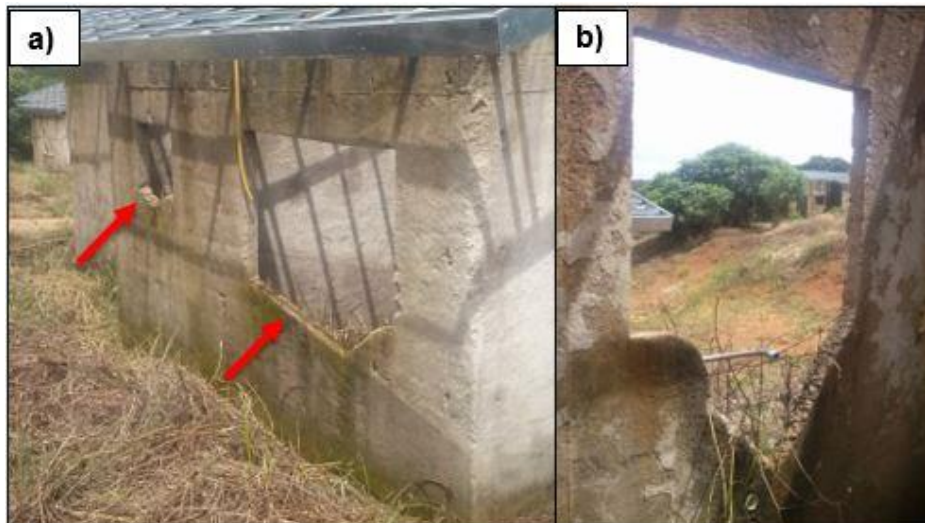
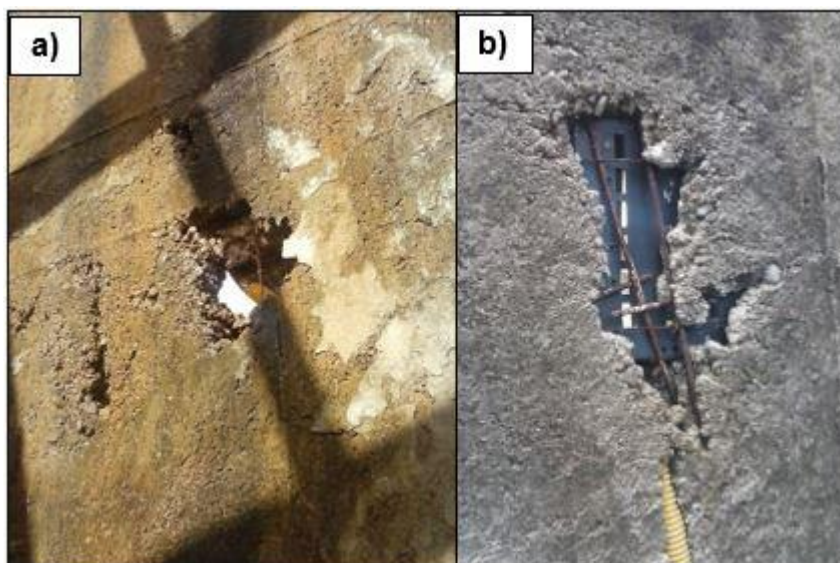


Figura 31 - a) falha de concretagem abaixo da janela do quarto; b) falha abaixo da janela da cozinha.



A figura 32 mostra ninhos de concretagem em dois locais distintos deixando parte da armadura exposta. Este tipo de manifestação patológica apresentou baixa incidência nos locais inspecionados.

Figura 32 – a) ninho de concreto em parede; b) ninho de concreto atrás do quadro elétrico.



4.2 ERROS EXECUTIVOS

Apesar do sistema construtivo de paredes de concreto armado moldado *in loco* ser considerado um sistema industrializado, ou seja, aplicado em larga escala e com menor incidência de falhas executivas devido a padronização dos processos, pode-se constatar durante as inspeções locais, além das manifestações patológicas apontadas anteriormente, diversos erros executivos, tais como: eletrodutos e tubulações hidráulicas expostos; caixas

de passagem elétrica concretada sem a devida proteção; falhas na desforma, deslocamento da armadura durante a concretagem e ausência de armadura de reforço. Tais inconformidades acabam por comprometer o desempenho e a durabilidade da estrutura.

4.2.1 Ausência de armadura de reforço

No sistema construtivo de parede de concreto armado moldado in loco, além das telas soldadas posicionadas no eixo das paredes, utilizam-se também armaduras de reforços nas bordas das paredes, vãos e janelas, com o emprego de telas ou barras de armaduras convencionais. No memorial descritivo do empreendimento, constata-se a indicação de treliças Tg8m da Gerdau ou similar para o combate das deformações estruturais. Entretanto, pode-se constatar através de registros fotográficos em diferentes residências, que essa exigência não foi atendida, ou seja, foi constatado que não houve o emprego de armaduras de reforço nas estruturas, sendo observado somente o emprego das telas soldadas.

As figuras 33 e 34 mostram aberturas nas paredes dos vãos centrais em duas residências feitas pela construtora com o intuito de identificar a armação das residências nesses locais. Pode-se constatar nessas aberturas a ausência de armaduras de reforço, sendo empregadas somente as telas soldadas.

Figura 33 - a) Abertura no vão da parede entre a sala e cozinha da residência; b) abertura na parede do vão de circulação.



Figura 34 - Aberturas nos vãos centrais com ausência de armadura de reforço.



A ausência de armadura de reforço ocorre também nos vãos de janelas, como mostra a figura 35, onde percebe-se nas falhas de concretagem o emprego apenas de telas soldadas.

Figura 35 - Falha de concretagem em duas residências abaixo das janelas das cozinhas.



Como observado nas figuras acima, nos pontos indicados, apenas telas soldadas foram empregadas na estrutura, ficando os vãos e janelas sem a aplicação de armaduras de reforço. Com isto, estes locais tornam-se suscetíveis ao surgimento de fissuras devido as

ações exercidas tanto nas etapas de construção (desforma) quanto durante a vida útil, como observado nos requisitos de qualidade da estrutura.

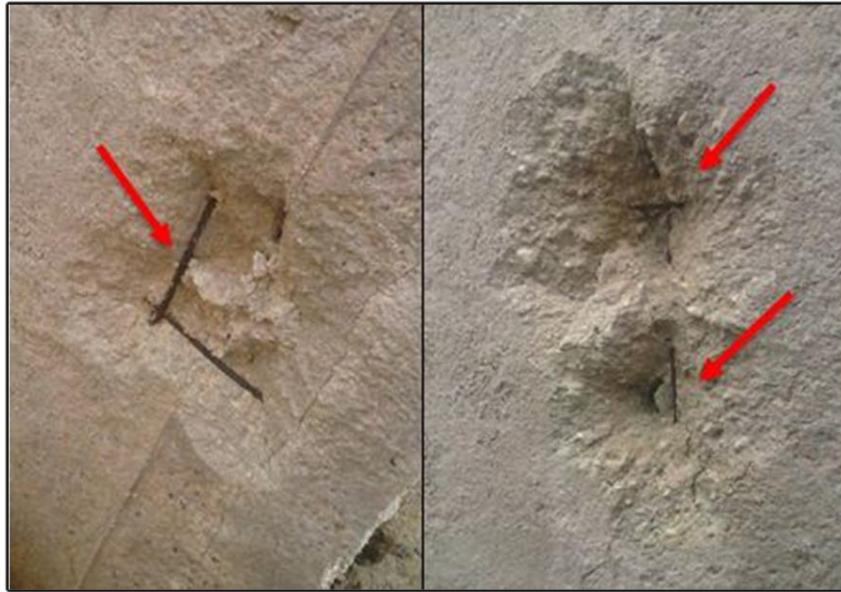
4.2.2 Falha na desforma

Uma das vantagens da parede de concreto armado, é a dispensa de etapas que visam à regularização das superfícies, a exemplo da alvenaria convencional tem-se: chapisco, emboço e reboco. Nas paredes de concreto, a escolha de um sistema de formas e desmoldante adequado, seguido de uma boa execução, melhora a qualidade da superfície do concreto, tornando-o apto a receber o acabamento final sem a necessidade de regularização. Entretanto, observa-se que em alguns pontos do residencial essa característica não é atendida, podendo-se constatar diversas falhas originadas no processo de desforma, tais como: perfurações no concreto e superfícies irregulares, como mostrado nas figuras 36 e 37.

Figura 36 - Perfurações nas paredes originadas na desforma inadequada.



Figura 37 – indicação de armaduras expostas devido ao arrancamento do concreto no local.



4.2.3 Eletrodutos e tubulações hidráulicas expostas

Os elementos embutidos na parede de concreto, instalações hidráulicas e elétricas, devem ser fixados nas armaduras para que o cobrimento mínimo estipulado às armaduras de reforço seja garantido. Quando não atendido essas características, como nas imagens a seguir, os elementos ficam expostos comprometendo a estética das paredes a exemplo das figuras 38 e 39. Além disso, quando o cobrimento é insuficiente, podem surgir fissuras no local devido à dilatação térmica dos componentes, conforme mostra a figura 40.

Figura 38 - Eletrodutos expostos devido a erros no processo executivo.



Figura 39 - Eletrodutos expostos nas paredes.

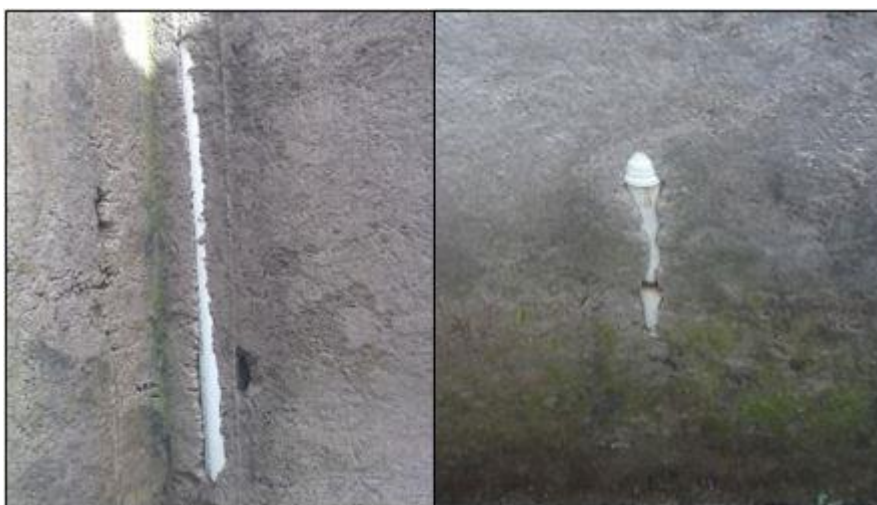


As figuras 40 e 41 mostram falhas de cobertura das tubulações de água fria e esgoto. Na primeira, observa-se o surgimento de fissura paralela ao tubo disposto na horizontal, característica relacionada ao cobrimento insuficiente do elemento que, além de comprometer a estética da estrutura, facilitando ainda a penetração de CO₂ no concreto.

Figura 40 - Tubulação de água fria exposta apresentando fissuras paralelas à tubulação (à direita).



Figura 41 - Tubulação de esgoto exposta.



Observa-se na figura 42, em alguns locais, não foi levada em consideração a proteção de quadros e caixas de passagem durante a concretagem da estrutura. Devido a isso, além da necessidade de retrabalho para a remoção do concreto das caixas e quadro, durante a execução desse serviço, há a probabilidade de danificação desses elementos.

Figura 42 - Quadros de distribuição e caixa de passagem preenchidos com concreto.



4.3 ANÁLISE DOS ENSAIOS

Como mencionado anteriormente, realizou-se os ensaios nos locais onde os aspectos visuais relacionados à qualidade da estrutura eram ruins, como por exemplo, a constatação de erros executivos e manifestações patológicas, objetivando dessa forma, obter dados críticos acerca dos resultados encontrados.

4.3.1 Ensaio de Carbonatação

O processo de carbonatação em si não é prejudicial a estrutura e até aumenta a dureza superficial do concreto, desde que se restrinja a uma camada inferior ao cobrimento das armaduras. Ao atingir a armadura, ocorre a despassivação do aço tornando-o vulnerável e, dependendo das condições de umidade, pode causar danos a estrutura através da corrosão da armadura e, por consequência disto, causar a expansão do aço, fissuração e destacamento do concreto, perda da aderência entre o aço e o concreto e redução da seção da armadura.

O ensaio de carbonatação no concreto foi realizado em três residências localizadas em diferentes pontos do residencial. Nas duas primeiras residências realizou-se o ensaio em um único local. Na terceira residência o ensaio foi realizado em dois pontos, sendo que, no segundo local de aplicação a presença de fissura favoreceu a penetração de CO₂ na parede, não sendo possível identificar a profundidade dessa penetração. Os três locais de ensaio apresentaram penetração de CO₂ no concreto, como apresentado na tabela 1.

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de carbonatação.

Local	Espessura carbonatada (cm)
Residência 1	3,7
Residência 2	3,2
Residência 3	5
Média	3,97

O avanço da carbonatação relaciona-se inversamente à qualidade do concreto, especialmente quanto a porosidade. A espessura carbonatada nos locais de ensaio possui em média 3,97 cm, o que permite concluir que o concreto possui baixa qualidade, considerando que, passados aproximadamente 5 anos desde o início da construção, a frente carbonatada já tenha atingido aproximadamente 79% do recobrimento da armadura. Considerando um crescimento linear da frente de carbonatação a despassivação da armadura em zonas não fissuradas e onde não ocorre o deslocamento da armadura em decorrência de erros executivos, pode levar tempo inferior a 2 anos.

4.3.2 Ensaio de Esclerometria

Com base nos dados obtidos no ensaio, a tabela 2 mostra os valores do índice esclerométrico verificados em cada ponto analisado. A tabela 3, apresenta os valores de índice esclerométrico médio (IE médio) e o índice esclerométrico efetivo (IE efetivo), obtidos

através da multiplicação pelo coeficiente de correção ($k = 0,93$) para cada local de ensaio, desprezando os valores que apresentam variações de $\pm 10\%$ em relação ao IE médio da tabela 2, conforme recomendado pela NBR 7584 (2012).

A tabela 4 apresenta os valores de resistência à compressão equivalente obtidos através da curva de conversão (Gráfico 3), entre o IE efetivo e a resistência à compressão equivalente.

Tabela 2 - Valores do índice esclerométrico para os pontos analisados.

Residência 1			Residência 2			Residência 3			Residência 4		
Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
24	28	26	27	28	27	27	26	27	28	26	29
28	28	26	28	27	27	26	26	28	25	26	27
24	26	27	27	26	26	27	27	26	30	26	27
28	27	28	26	28	27	25	29	26	27	28	29
27	28	26	26	25	27	26	24	26	30	26	27
23	28	27	27	25	27	27	27	27	24	30	27
27	27	27	27	25	30	25	26	27	27	29	28
25	26	26	27	25	26	26	26	26	27	29	26
25	25	26	26	25	25	26	27	26	25	28	27
Médias											
25,67	27,00	26,56	26,78	26,00	26,89	26,11	26,44	26,56	27,00	27,56	27,44

Tabela 3 - Valores do índice esclerométrico médio para os pontos analisados.

Residência 1			Residência 2			Residência 3			Residência 4		
Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
24	28	26	27	28	27	27	26	27	28	26	29
28	28	26	28	27	27	26	26	28	25	26	27
24	26	27	27	26	26	27	27	26		26	27
28	27	28	26	28	27	25	29	26	27	28	29
27	28	26	26	25	27	26	24	26		26	27
	28	27	27	25	27	27	27	27		30	27
27	27	27	27	25		25	26	27	27	29	28
25	26	26	27	25	26	26	26	26	27	29	26
25	25	26	26	25	25	26	27	26	25	28	27
IE médio e IE efetivo (corrigido)											
26,00	27,00	26,56	26,78	26,00	26,50	26,11	26,44	26,56	26,50	27,56	27,44

Gráfico 3 - Curva de conversão: maior e menor valores obtidos para resistência à compressão equivalente (MPa).

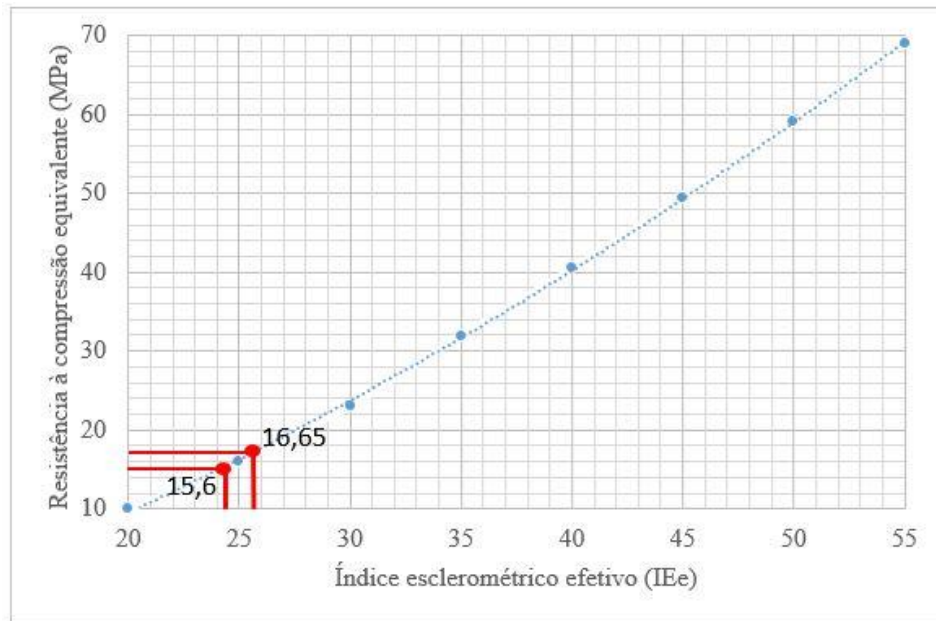
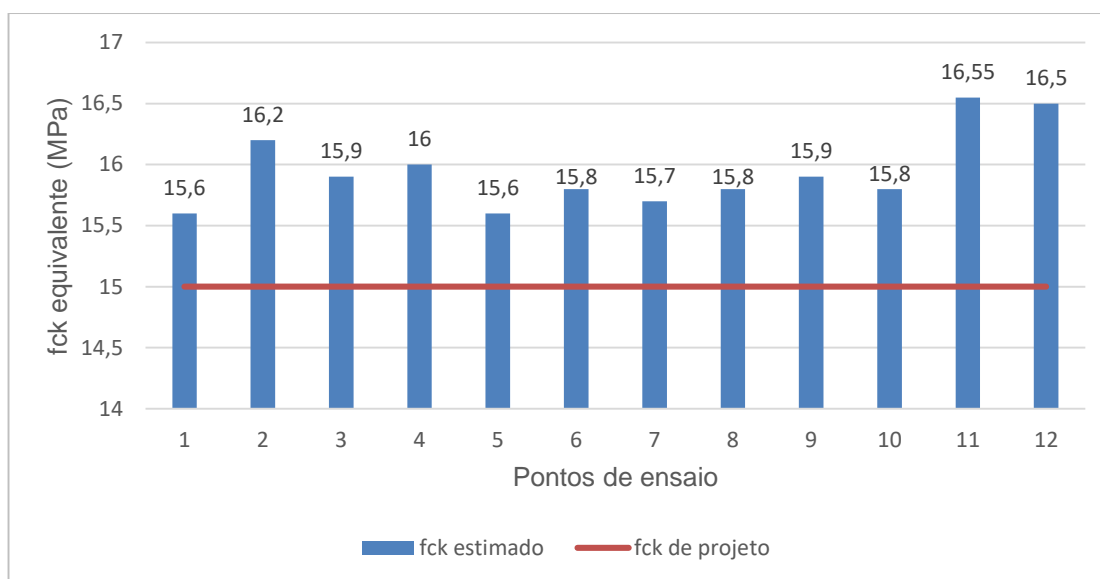


Tabela 4 - Valores obtidos de resistência à compressão equivalente (MPa) em função do IE efetivo.

Residência 1			Residência 2			Residência 3			Residência 4		
Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
IEe:											
24,18	25,11	24,70	24,90	24,18	24,65	24,28	24,59	24,70	24,65	25,63	25,52
fckest (MPa)											

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que o menor e o maior valor equivalem a 15,6 e 16,55 MPa respectivamente, apresentando variação de 0,95 MPa. Segundo o memorial descritivo do empreendimento, a resistência mínima à compressão do concreto a ser empregado na estrutura das paredes de concreto é de 15 MPa. Verifica-se então, conforme apresentado na tabela acima, que os resultados obtidos nos ensaios atendem a resistência exigida para o concreto da estrutura. Todavia, sabe-se que a carbonatação promove o endurecimento da camada superficial do concreto através da formação de carbonato de cálcio (CaCO_3) o que pode ter influenciado nos resultados obtidos no ensaio de esclerometria. O gráfico 4 mostra a variação dos resultados obtidos nos ensaios em relação ao f_{ck} considerado para as estruturas.

Gráfico 4 - Variação dos resultados para o fck equivalente (MPa).



4.4 ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

As estruturas das paredes de concreto do residencial, apesar de serem relativamente jovens (com aproximadamente 5 anos de idade), já apresentam diversas manifestações patológicas em decorrência da falta do controle de qualidade na fase de execução. Pode-se destacar como ponto crítico dessas manifestações, as fissuras e trincas presentes nos vãos centrais das residências, como mostram as figuras 24 a 27 do item 4.1.2.

Apesar das inspeções *in loco* terem se concentrado em uma parcela do residencial, como mencionado no capítulo 4, pode-se constatar que a incidência dessas manifestações abrange todas as quadras do residencial, sendo, portanto, uma manifestação patológica generalizada.

As falhas de concretagem, ninhos de concreto e corrosão das armaduras, apresentaram baixa incidência nas estruturas das paredes do residencial. Observou-se durante as inspeções *in loco* que a incidência dessas manifestações patológicas ocorreu em poucas residências localizadas nas quadras 62, 63, 70, 76 e 77, sendo, portanto, manifestações patológicas com incidências pontuais.

4.4.1 Identificação das possíveis causas

Com base nas manifestações patológicas identificadas, pode-se concluir que a incidência dessas manifestações se caracteriza por causas intrínsecas, ou seja, as que têm origem nos materiais e peças estruturais durante as fases de execução e/ou utilização das estruturas, por falhas humanas e por questões próprias ao material do concreto, como reza Sousa e Ripper (1998). Os itens a seguir apresentam as possíveis causas das manifestações patológicas identificadas, de acordo com a definição acima.

4.4.1.1 Fissuras e trincas

As fissuras e trincas identificadas nas paredes localizam-se onde há a presença de aberturas de esquadrias e vãos centrais. Como apresentado anteriormente, nesses locais não foi empregado armadura de reforço, sendo constatado somente o emprego da tela soldada.

De acordo com Thomaz (2002), as paredes de concreto armado moldado *in loco*, são bastante suscetíveis à fissuração pela retração do concreto devido às características desse sistema construtivo, os quais se destacam: as características do concreto empregado (relação água/cimento bastante elevada), pela grande relação entre a área exposta e o volume das paredes e pelas baixas taxas de armadura empregadas. O autor destaca ainda que nesses casos, as fissuras de retração geralmente ocorrem em sessões enfraquecidas pela presença de aberturas de portas e janelas.

Dessa forma, a combinação dos fatores citados acima, podem ter sido as principais causas da incidência dessa manifestação patológica nas estruturas das paredes de concreto, sobretudo devido à ausência da armadura de reforço nas aberturas, diminuindo assim a taxa de armadura no local.

4.4.1.2 Corrosão das armaduras

Nos locais onde se observou o surgimento desta manifestação patológica, pode-se constatar que o cobrimento insuficiente e a exposição das armaduras foram os principais fatores responsáveis para o aparecimento da mesma. Este fator relaciona-se principalmente a erros no processo executivo das estruturas, como por exemplo: ausência de espaçadores para assegurar o cobrimento necessário ou vibração inadequada durante a concretagem, causando o deslocamento da armadura deixando-as desprotegidas das ações de agentes agressivos responsáveis pelo processo de corrosão.

4.4.1.3 Falhas de concretagem e ninhos de concreto

Como apresentado pela ABCP (2010), a espessura dos elementos desse sistema construtivo dificulta o lançamento e a vibração do concreto na forma, fator que torna o concreto auto adensável a melhor opção para esse sistema. A aplicação do concreto auto adensável dispensa o uso de vibradores, eliminando problemas de segregação do material.

Quando não utilizado o concreto auto adensável, a NBR 12055 (2012) apresenta dois pontos importantes acerca dos cuidados a serem adotados durante a concretagem:

- O adensamento (manual ou mecânico) deve garantir que o concreto preencha todos os espaços da fôrma sem prejuízo da aderência das armaduras. Para tanto, é preciso que no processo não se toque na armadura, nem desloque os embutidos da fôrma;
- O enchimento da fôrma deve ser realizado sem a ocorrência de falhas por ar aprisionado. O sistema de fôrmas deve prever dispositivos que garantam a saída desse ar durante a concretagem, em especial nas regiões logo abaixo das janelas ou outros locais propícios à formação de vazios. Deve-se também acompanhar o enchimento das fôrmas por meio de leves batidas com martelo de borracha nos painéis.

De acordo com as especificações do memorial descritivo, o concreto empregado nas estruturas é do tipo celular com f_{ck} de 15 MPa. Dessa forma, as causas da incidência das falhas de concretagem e dos ninhos de concreto identificados nas estruturas, podem ter sido ocasionadas devido à falta de controle nas etapas de lançamento e adensamento do concreto, conforme apresentado nos itens supracitados.

4.5 SUGESTÕES PARA TRATAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Seja por razões econômicas ou ambientais, quando uma edificação tem o desempenho estrutural comprometido, o procedimento natural é buscar recuperá-la, e não reconstruí-la como citado por Nakamura (2004). No entanto, com o aprimoramento das técnicas de reforço, apesar da grande variedade de lesões às quais estão sujeitas, já é possível afirmar que quase sempre há uma solução para reparar estruturas danificadas. Os desafios, porém, são grandes, e frequentemente o serviço de recuperação é mais complicado do que uma nova construção. Isso porque deve haver a compatibilização do material existente, quase sempre deteriorado, com o de recuperação. Listam-se a seguir, as

principais manifestações patológicas identificadas nas paredes de concreto moldadas *in loco* do residencial Cristo Vive e sugestões para reparo das mesmas.

4.5.2 Carbonatação

Uma das medidas que pode ser adotada para inibir o avanço da frente de carbonatação, seria a execução do acabamento final das paredes de concreto, pois grande parte das residências ainda se encontra com o concreto aparente. Sendo que, como já citado anteriormente, por apresentarem um concreto com características de alta porosidade, essa medida poderia diminuir ou mesmo findar o avanço da frente de carbonatação.

O memorial descritivo do empreendimento especifica a aplicação de pintura com textura acrílica nos ambientes internos e externos. Porém, devido às condições das paredes das residências, indica-se também a aplicação de selador acrílico para a correção da absorção das paredes deixando-a em melhores condições para receber a textura acrílica, bem como gerar menor consumo e economia na aplicação do segundo produto.

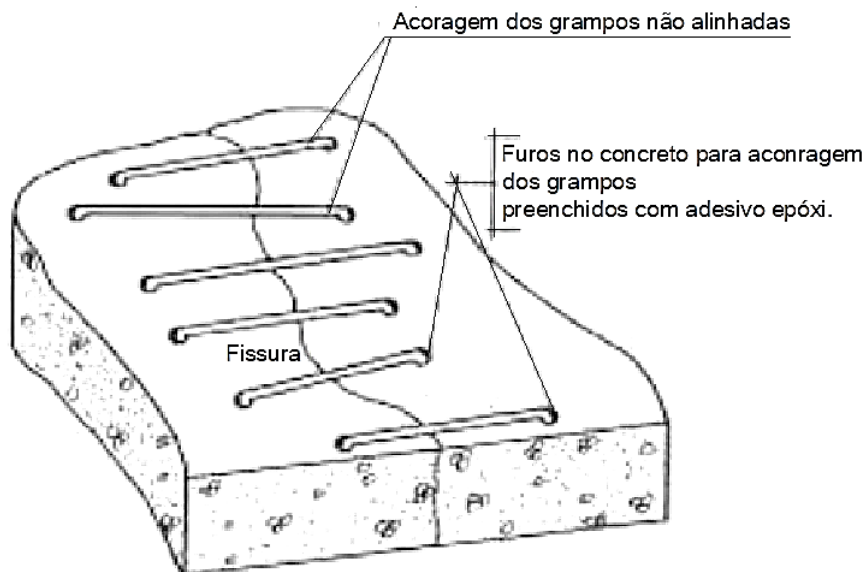
4.5.1 Fissuras e Trincas

Dentre os procedimentos recomendados para o tratamento de trincas e fissuras, decorrente da retração do concreto devido à baixa taxa de armadura, o grampeamento é o tratamento mais apropriado a esse fim (SOUZA RIPPER, 1998).

Sendo que o grampeamento, como sugerido por Souza e Ripper (1998), deve ser realizado de forma desalinhada, tendo inclinações diferentes ao eixo da fissura e ter o comprimento variável (figura 43). Os autores ainda descrevem como proceder a todas etapas da execução de grampeamento:

- Descarregar a estrutura, quando possível, pois o processo em questão não deixa de ser um esforço;
- Execução de furação de concreto para amarração e assentamentos das extremidades dos grampos, sendo estes buracos preenchidos com adesivo à base de epóxi apropriado;
- Na opção por adesivo, injetar na fenda resina epóxi ou cimentícia, fazendo selagem a um nível inferior ao berço executado. É necessário que o grampeamento seja executado após a injeção;
- Fazer a colocação dos grampos com o mesmo adesivo usado na selagem.

Figura 43 - Reparo de fissura por grampeamento.



Fonte: Sousa e Ripper (1998)

Vale ressaltar ainda, a necessidade de um estudo das características estruturais das residências para que sejam propostas alternativas de reforço nos locais necessários, como por exemplo, nas aberturas das esquadrias e vão central das residências, o qual recebe o carregamento das caixas d'água.

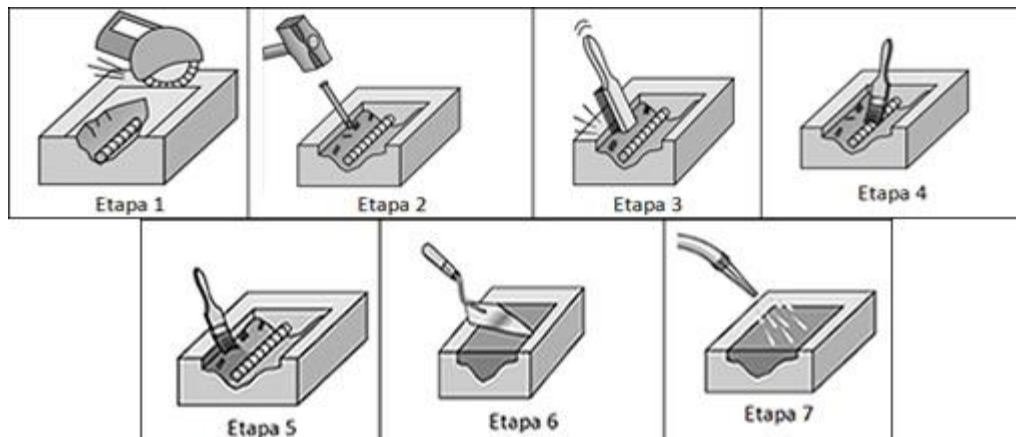
4.5.2 Corrosão das armaduras

As etapas de recuperação abordadas neste trabalho são referentes ao tratamento baseado na reconstituição do concreto deteriorado ou contaminado e a limpeza das armaduras corroídas. De acordo com Medeiros (2012), o principal objetivo da recomposição estrutural, no caso da corrosão de armaduras, é restaurar a proteção às armaduras reestabelecendo as propriedades físicas e características estéticas e geométricas do componente de concreto. A sequência de atividades, consideradas ideais para a prática da recuperação, de acordo com o autor citado, é mostrada na figura 44. O passo a passo adotado para esse tratamento consiste em:

- (1) Delimitação de contorno do reparo com serra circular;
- (2) Escarificação do concreto solto e deteriorado;
- (3) Limpeza do produto de corrosão formado, que pode ser feito de forma manual, com jato de areia ou jato de água;
- (4) Aplicação de revestimento polimérico inibidor de corrosão nas armaduras;

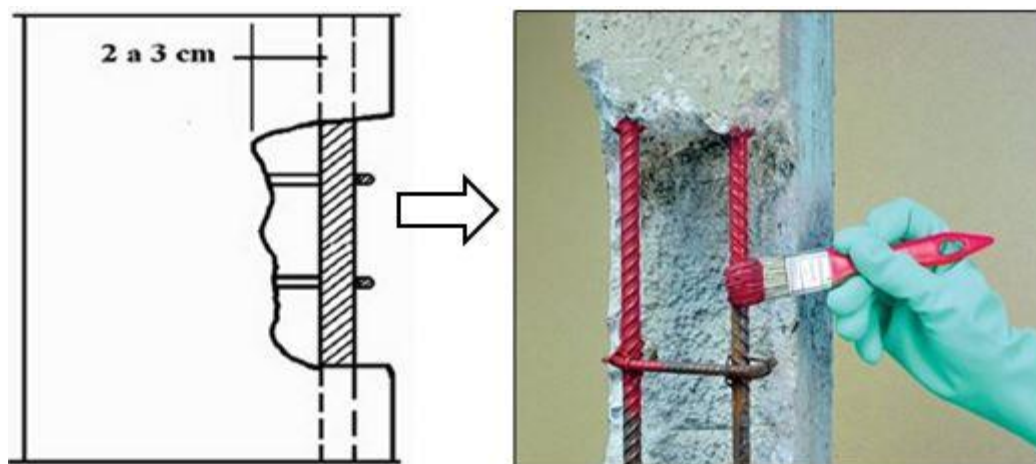
- (5) Aplicação de uma ponte de aderência, garantindo a aderência do concreto novo ao antigo;
- (6) Preenchimento com argamassa de reparo e dar acabamento na superfície;
- (7) Cura da argamassa de reparo.

Figura 44 - Resumo das principais etapas para recuperação de armaduras danificadas por corrosão.



Fonte: Medeiros (2012).

Figura 45 - Distância de escarificação e remoção do concreto e aplicação de revestimento polimérico inibidor de corrosão das armaduras.



Fonte: Adaptado de Sousa e Ripper (1998) e Nakamura (2012).

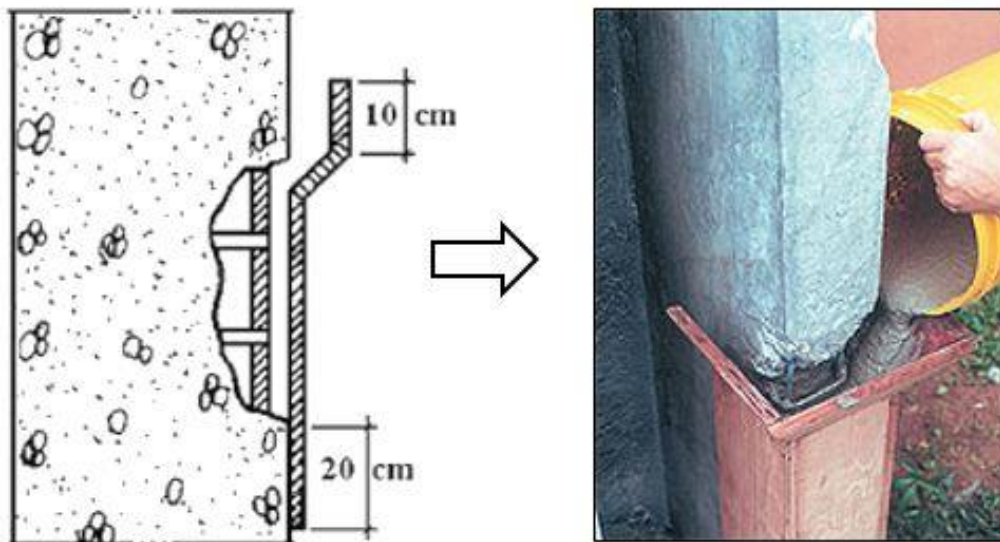
4.5.3 Falha de concretagem e ninhos de concreto

A recuperação dessas falhas, como Nakamura (2009) cita, pode ser dada pelo tratamento e recomposição dos locais afetados (figura 46), através das seguintes etapas:

- Executa-se a escarificação do concreto solto e deteriorado;

- Executa-se a limpeza do produto de corrosão formado nas armaduras, que pode ser feito de forma manual, com jato de areia ou jato de água;
 - Montagem de formas auxiliares, analisando caso a caso a ser recuperado;
 - Aplicação da ponte de aderência, garantindo a aderência do concreto novo ao antigo;
- Para recomposição geométrica dos elementos danificados, recomenda-se utilizar argamassas pré-dosadas, argamassa tixotópica (graute) ou concretos aditivados.

Figura 46 - Procedimento de reparo estrutural.



Fonte: Adaptado de Sousa e Ripper (1998) e Nakamura (2009).

5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÃO

Uma das características que viabilizam a utilização do sistema construtivo de paredes de concreto armado moldado *in loco*, refere-se à padronização do processo construtivo, o que garante rapidez na execução, economia, qualidade ao produto final, menor número de falhas e conseqüentemente reduz a incidência de manifestações patológicas. Entretanto, para que essas características sejam atingidas, essa metodologia construtiva exige o atendimento aos requisitos de qualidade nas etapas de elaboração de projeto e execução, visando garantir o desempenho e durabilidade das estruturas durante sua vida útil.

Observa-se então que a ausência de controle nas etapas de execução das estruturas das unidades habitacionais do Residencial Cristo Vive, contribuiu significativamente para a incidência das manifestações patológicas identificadas nas paredes de concreto. Diversos problemas relacionados aos erros no processo executivo foram constatados no residencial, tais como: ausência de armadura de reforço, deslocamento das armaduras, falhas de concretagem, dentre outros. Essas inconformidades influenciaram no surgimento de manifestações patológicas sérias, que colaboram para o comprometimento da vida útil dessas estruturas.

A presença de fissuras e trincas localizadas nas aberturas da estrutura foi a principal manifestação patológica identificada, tendo sua provável causa a retração do concreto devido à ausência de armadura de reforço nesses locais. Além disso, a carbonatação do concreto, corrosão de armaduras, falhas e ninhos de concretagem, também são manifestações patológicas com suas incidências relacionadas a erros no processo executivo e a utilização de materiais de baixa qualidade.

A avaliação da carbonatação do concreto nas residências evidenciou o emprego de material de baixa qualidade nas estruturas analisadas. Apesar da pouca idade das estruturas, com aproximadamente 5 anos, a frente de carbonatação já atingiu aproximadamente 79% da espessura de cobrimento, nível que é condizente com o emprego de concreto de baixa qualidade, especialmente quanto ao nível de porosidade, o que colabora para a eliminação da camada protetora das armaduras.

A avaliação dos resultados dos ensaios de esclerometria permitiu constatar que o f_{ck} equivalente obtido nos ensaios atenderam a resistência especificada no memorial descritivo

para o concreto da estrutura (f_{ck} 15 MPa), apresentando como maior e menor valor, 16,55 e 15,6 MPa, respectivamente. Entretanto, cabe ressaltar que a frente de carbonatação constatada nas estruturas provocam o endurecimento da camada superficial do concreto, o que pode ter influenciado nos resultados do ensaio de esclerometria.

Nessa perspectiva, foram sugeridas medidas de tratamento das inconformidades identificadas, como por exemplo: grampeamento de fissuras, tratamento de corrosão das armaduras e recuperação de falhas de concretagem através da aplicação de argamassas e concretos adequados, ressaltando a necessidade de se realizar reforços nas aberturas das estruturas.

Em função disso, faz-se necessário realizar reparos economicamente viáveis, levando em consideração o número de unidades habitacionais onde há a incidência de manifestações patológicas. Para isso é necessário realizar um mapeamento dessas incidências quantificando-as, visto que o tratamento de estruturas de concreto é muitas vezes oneroso e esse fator não foi considerado neste trabalho. Além disso, a presença de moradores no local reforça a necessidade de se realizar reparos nessas edificações, uma vez que as fissuras e trincas identificadas estão localizadas principalmente, nos vãos de apoio da caixa d'água das residências, o que gera uma sobrecarga nesses pontos, podendo ocasionar o colapso dessas estruturas.

Dessa forma, este trabalho objetiva dar apoio a constatação da necessidade de se realizar manutenções imediatas e periódicas nas estruturas das paredes de concreto do Residencial Cristo Vive, fundamentais para garantir o bom desempenho dessas estruturas, gerando conforto e segurança aos moradores do local.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como mencionado anteriormente, realizar a manutenção das estruturas do residencial é indispensável para melhoria da durabilidade e desempenho dessas estruturas. Além disso, monitorar as manifestações patológicas identificadas nesse trabalho torna-se importante para que se possa tomar providências acerca do agravamento do quadro patológico e orientar os moradores sobre o uso e os cuidados necessários para a utilização dessas edificações, uma vez que foram ocupadas de forma desordenada e, para isso, é importante que se façam alguns estudos como:

- Análise do comportamento estrutural e proposta de reforço para a abertura dos vãos;

- Mapeamento das manifestações e estudo de viabilidade econômica dos tratamentos sugeridos;
- Estimativa de vida útil das estruturas com e sem manutenção periódica de acordo com os resultados apresentados nesse trabalho;
- Análise do dimensionamento das unidades deste residencial, revisão dos projetos estruturais e análise computacional das unidades.

6 REFERÊNCIAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONCRETO PORTLAND. **Coletânea de ativos - parede de concreto**. 2009 - 2010.

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DA PREFEITURA DE CURUTIBA. **Futuros moradores visitam apartamentos no santa cândida**. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/futuros-moradores-visitam-apartamentos-no-santa-candida/32368>>. Acesso em: 02 ago. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRALISEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7584: Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRALISEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-1: Edificações habitacionais - desempenho, parte 1: requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRALISEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16055: paredes de concreto moldadas no local para a construção de edificações - requisitos e procedimentos**. Rios de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRALISEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118: projeto de estruturas de concreto - procedimento**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2014.

CASADO, JOSÉ. Atrasos, abandono e prejuízos emolduram o Minha Casa, Minha Vida. **O GLOBO**, RIO DE JANEIRO, fev. 2015. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/brasil/atrasos-abandono-prejuizos-emolduram-minha-casa-minha-vida-15211184>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

CICHINELLI, Gisele C. Paredes de concreto Sistema construtivo cresce entre opções para habitação popular. **CONSTRUÇÃO MERCADO**, São Paulo - SP, n. 166, set. 2011. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/166/parede-de-concreto-cresce-entre-opcoes-de-sistema-construtivo-para-345046-1.aspx>>. Acesso em: 11 jul. 2016.

CORSINI, RODNEI. PAREDES NORMATIZADAS. **TÉCHNE**, São Paulo, SP, n. 183, dez. 2011.

CUNHA, Ana Carias Quintas Da; HELENE, Paulo R. L. DESPASSIVAÇÃO DAS ARMADURAS DE CONCRETO POR AÇÃO DA CARBONATAÇÃO. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil**, São Paulo, 2001.

D`AMICO, FABIANO. **O programa minha casa, minha vida e a caixa econômica federal**. Curitiba –PR, 2011.

ÉPOCA. **Prédios do minha casa, minha vida no rio ameaçam cair e terão que ser demolidos**. Disponível em: <<http://revistaepoca.globo.com/sociedade/noticia/2013/03/predios-do-minha-casa-minha-vida-no-rio-ameacam-cair-e-terao-que-ser-demolidos.html>>. Acesso em: 03 ago. 2016.

FIGUEIREDO, Ênio; MEIRA, Gbson. **Corrosão das armaduras das estruturas de concreto**. ALCOPAT, Merida, México, mar. 2013. Disponível em: <<http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B6-Corros%C3%A3o-das-armaduras-das-estruturas-de-concreto.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

FILHO, Antônio Carmona; CARMONA, Thomas. Fissuração das estruturas de concreto. **Boletim Técnico**, Merida - Mexico, mar. 2013. Disponível em: <<http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B3-Fissuração-nas-estruturas-de-concreto.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2016.

HELENE, Paulo R. L; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo - SP: PINI, 1992.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Jairo José De O.; MEDEIROS, Marcelo Henrique F. De. **Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto**, 2011.

MEDEIROS, MARCELO H. F. Corrosão do concreto é causada por umidade e gases nocivos. **ARQUITETURA, ENGENHARIA E CONSTRUÇÃO - AECWEB**, jan. 2012. Disponível em: <http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/corrosao-do-concreto-e-causada-por-umidade-e-gasesnocivos_6412_0_1>. Acesso em: 05 dez. 2016.

MISURELLI, Hugo; MASSUDA, Clovis. Paredes de concreto. **TÉCHNE**, [S.L], jun. 2009. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/147/artigo285766-2.aspx>>. Acesso em: 10 set. 2016.

NAKAMURA, Juliana. Minha casa na mira, Prefeituras e Ministério Público Federal fecham o cerco a habitações com problemas construtivos do Minha Casa, Minha Vida. **CONSTRUÇÃO MERCADO**, jul. 2012. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/132/artigo284024-1.aspx>>. Acesso em: 09 ago. 2016.

NAKAMURA, Juliana. Recuperação estrutural - Sistemas, técnicas e materiais para reabilitar estruturas de concreto. **TÉCHNE**, SP, dez. 2004. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/84/artigo286279-1.aspx>>. Acesso em: 01 dez. 2016.

NAKAMURA, Juliana. Reparo, reforço e recuperação de concreto. **TÉCHNE**, SP, Maio 2009. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/146/artigo285462-1.aspx>>. Acesso em: 06 dez. 2016.

NETO, Egydio Hervé. Estruturas de Concreto Armado. **PORTAL METÁLICA - CONSTRUÇÃO CIVIL**, [S.L], mar. 2011. Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/estruturas-de-concreto-armado-a-protecao-do-aco-pelo-concreto>>. Acesso em: 11 ago. 2016.

NUNES, Valmiro Quéfren Gameleira. **Análise estrutural de edifícios de paredes de concreto armado**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

LAPA, José Silva. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**: Monografia (especialista em construção civil) - universidade federal de minas gerais (UFMG). Belo Horizonte - MG, 2008.

NOGUEIRA, F. A. D. et al. **Paredes de concreto em edifícios de interesse social**. São Paulo - SP, 2011.

PORTAL METÁLICA. **Estruturas de concreto armado - a proteção do aço pelo concreto**. Disponível em: <<http://wwwo.metlica.com.br/estruturas-de-concreto-armado-a-protecao-do-aço-pelo-concreto>>. Acesso em: 21 out. 2016.

POSSAN, Edna; DEMOLINER, Carlos Alberto. **Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral**, 2013.

SILVA, Fernando Benigno Da. Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil. **TÉCHNE**, São Paulo - SP, n. 174, set. 2011. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/174/patologia-das-construcoes-uma-especialidade-na-engenharia-civil-285892-1.aspx>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

SILVA, Fernando Benigno Da. Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civil. **TÉCHNE**, set. 2011. Disponível em: <<http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2011/07/Artigo-Techne-174-set-2011-Prof.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2016.

SOUZA, Roberto; MEKBEKIAN, Geraldo. **Qualidade na aquisição de materiais e execução de obras**. São Paulo: PINI, 1996.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira De; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1 ed. São Paulo: PINI, 1998.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em Edifícios causas, prevenção e recuperação**. 1 ed. PINI, 2002.

TULA, Leonel S. **Contribuição ao estudo da resistência à corrosão das armaduras de aço inoxidável**. São Paulo, 2000. 259p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.