



**DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS DAS FISSURAS IDENTIFICADAS EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DAS EDIFICAÇÕES DE
TERMINAL LOGÍSTICO MULTIMODAL**

SÃO PAULO
2020



DIOGO MARQUES SABETTA

**DETERMINAÇÃO DAS CAUSAS DAS FISSURAS IDENTIFICADAS EM
ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DAS EDIFICAÇÕES DE
TERMINAL LOGÍSTICO MULTIMODAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Patologia das Obras Cíveis, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Cíveis.

Orientador: Prof. Msc. Luís César De Luca.

SÃO PAULO
2020

AGRADECIMENTOS

Ao engenheiro civil Prof. Msc. Luís César De Luca, pelas orientações direcionadas ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos engenheiros civis e colegas Cynthia Victoria Brock Maida e Sérgio Renato Marques de Nobrega, pela convivência e incentivo ao longo do curso de Pós Graduação em Patologias nas Obras Civas.

Ao engenheiro civil Eduardo Eiji Araki, por me oferecer oportunidade de iniciar carreira profissional no campo de Patologias nas Obras Civas.

Ao engenheiro civil Prof. Msc. Esp. Alexandre Tomazeli, pelo respeito como colega de profissão a mim demonstrado e possibilidade de estender meus aprendizados além do curso de Pós Graduação em Patologias nas Obras Civas.

À minha namorada, Flávia Cristina Breternitz, e sua família, pela compreensão, suporte, momentos de descontração e carinho ao longo desta jornada.

À minha família, em especial, aos meus pais, Maria Angélica Marques Sabetta e Gilmar Sgurskoy Sabetta, e irmão, Daniel Marques Sabetta, pelos exemplos de vida e referência que são e pela educação, apoio e carinho a mim dedicados.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo determinar a causa das fissuras constatadas na estrutura em concreto de construção existente, apresentada em estudo de caso, pois a correta identificação da causa de anomalias, especialmente, os fenômenos patológicos, é ferramenta fundamental para que as edificações possuam desempenho esperado ao longo de sua vida útil ou além. A construção estudada é um terminal logístico multimodal composto por três armazéns, por sua vez, compostos por treze boxes, localiza-se no município catarinense de São Francisco do Sul e está inserida em macroambiente e microambiente de classes de agressividade ambiental III e IV, respectivamente. Para tal determinação, especificaram-se atividades programadas e aplicadas através de plano de inspeção específico, que contemplam coleta de dados e históricos, inspeção física, mapeamento de anomalias e ensaios tecnológicos. Por meio da análise das informações obtidas e constatações realizadas, a partir deste plano de inspeção, e confrontação destas com fundamentação teórica realizada previamente sobre os mecanismos de degradação do concreto, com foco nas que possibilitam o surgimento de fissuras, concluiu-se que as fissuras existentes na estrutura de concreto da edificação estudada são causadas por assentamento plástico, corrosão de armaduras, sobrecargas e expansão por reação com sulfato.

Palavras chave: concreto, fissuras, causas, desempenho, vida útil, estudo de caso, classe de agressividade ambiental, plano de inspeção, mecanismos de degradação.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Quantidades de tipologias de fissuras em percentual	87
Gráfico 2. Quantidades de tipologias de fissuras em módulo.....	87
Gráfico 3. Quantidades de fissuras por armazém em percentual.....	88
Gráfico 4. Quantidades de fissuras por armazém em módulo	88
Gráfico 5. Quantidades de tipologias de fissuras em percentual	89
Gráfico 6. Quantidades de tipologias de fissuras em módulo.....	89
Gráfico 7. Quantidades de causas de fissuras em percentual	99
Gráfico 8. Quantidades de causas de fissuras em módulo	100
Gráfico 9. Quantidades de causas de fissuras por assentamento plástico em percentual	100
Gráfico 10. Quantidades de causas de fissuras por assentamento plástico em módulo.....	101
Gráfico 11. Quantidades de causas de fissuras por corrosão de armaduras em percentual.....	101
Gráfico 12. Quantidades de causas de fissuras por corrosão de armaduras em módulo	102
Gráfico 13. Quantidades de causas de fissuras por sobrecarga em percentual.....	102
Gráfico 14. Quantidades de causas de fissuras por sobrecarga em módulo	103
Gráfico 15. Quantidades de causas de fissuras por sulfatos em percentual.....	103
Gráfico 16. Quantidades de causas de fissuras por sulfatos em módulo	104

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Fissuras ocasionadas por tração simples	26
Figura 2. Fissuras ocasionadas por compressão simples	26
Figura 3. Fissuras ocasionadas por compressão composta	27
Figura 4. Fissuras ocasionadas por compressão composta	27
Figura 5. Fissuras ocasionadas por compressão composta	27
Figura 6. Fissuras por assentamento plástico impedido pela armadura	31
Figura 7. Fissuras por assentamento plástico impedido por agregados	31
Figura 8. Configurações típicas de fissuras por dessecação superficial	32
Figura 9. Fissuração por dessecação superficial em lajes contínuas .	33
Figura 10. Fissura interna devido ao movimento da fôrma	33
Figura 11. Fissura na superfície do concreto devido ao movimento da fôrma	34
Figura 12. Fissura na superfície do concreto devido à deformação da base da fôrma	34
Figura 13. Fissura típica em laje causada por retração hidráulica	35
Figura 14. Fissura típica por retração hidráulica em pórtico de pilares de grande rigidez	35
Figura 15. Fissura típica por retração hidráulica em pórtico de pilares de pequena rigidez	35
Figura 16. Fissura típica por retração hidráulica em pórtico de pilares com diferentes taxas de armadura	36
Figura 17. Fissura em laje causada pela expansão térmica das vigas de apoio	37
Figura 18. Fissura típica por corrosão de armaduras em viga	38
Figura 19. Fissura típica e destacamento por corrosão de armadura .	39

Figura 20. Fissura típica por ataque de sulfato	40
Figura 21. Fissuras típicas por reação álcali-agregado	41
Figura 22. Fissuras típicas a 45° por recalque diferencial de fundações	44
Figura 23. Mapa do município catarinense de São Francisco do Sul	49
Figura 24. Vista superior, via satélite, da localização da edificação estudada	49
Figura 25. Implantação da construção estudada com Armazéns AZ01, AZ02 e AZ03	51
Figura 26. Elementos que compõem o sistema de fundações.....	52
Figura 27. Elementos que compõem o sistema de pavimentação	53
Figura 28. Elementos que compõem o sistema de vedação e estrutural	54
Figura 29. Elementos que compõem o sistema de pavimentação	55
Figura 30. Elementos que compõem o sistema de cobertura	55
Figura 31. Vista do acesso principal e fachada posterior do AZ01 da construção estudada	56
Figura 32. Vista frontal do AZ01, compostos pelos Boxes 01 a 04....	56
Figura 33. Vista frontal do AZ02, compostos pelos Boxes 05 a 09 ...	57
Figura 34. Vista posterior do AZ02, compostos pelos Boxes 05 a 09	57
Figura 35. Vista frontal do AZ03, compostos pelos Boxes 10 a 13 (AUTOR, 2019).....	58
Figura 36. Vista posterior do AZ03, compostos pelos Boxes 10 a 13.	58
Figura 37. Fluxograma de atividades que compõem o plano de inspeção	60
Figura 38. Operação de abastecimento do Box 02, do AZ01	62
Figura 39. Operação de desabastecimento do Box 07, do AZ02	62
Figura 40. Detalhe de máquina ensacadeira	63

Figura 41. Detalhe de bags aguardando retirada para distribuição	63
Figura 42. Detalhe de lonas sobre parede e produto estocado no Box 03, do AZ01	64
Figura 43 Detalhe de lonas sobre parede e produto estocado no Box 03, do AZ01	64
Figura 44. Detalhe de janela de inspeção em pilar pré moldado do AZ01	67
Figura 45. Detalhe de janela de inspeção em painel pré moldado do AZ01	67
Figura 46. Tipologia de fissuras identificadas pelo número “1” (um) em legenda convencionada	69
Figura 47. Tipologia de fissuras identificadas pelo número “2” (dois) em legenda convencionada	70
Figura 48. Tipologia de fissuras identificadas pelo número “3” (três) em legenda convencionada	70
Figura 49. Tipologia de fissuras identificadas pelo número “4” (quatro) em legenda convencionada	71
Figura 50. Tipologia de fissuras identificadas pelo número “5” (cinco) em legenda convencionada	71
Figura 51. Fissuras em pilar pré moldado por assentamento plástico	93
Figura 52. Fissuras em painel vertical pré moldado devido à corrosão de armadura	94
Figura 53. Detalhe de abertura de janela de inspeção em painel vertical pré moldado com fissuras e destacamento devido ao processo de corrosão de armaduras	94
Figura 54. Fissuras diagonais registradas em painéis verticais a partir de seus vértices por excesso de carga	95
Figura 55. Fissuras em laje por excesso de carga	96

Figura 56. Detalhe de esmagamento de juntas entre pilares e painéis verticais.....	96
Figura 57. Diagrama de momento com empuxo de 3 kg.cm, demonstrando a aplicação de esforços acima das admissíveis pela estrutura.....	97
Figura 58. Fissuras tipo pele de crocodilo em pilar pré moldado.....	98
Figura 59. Fissuras tipo pele de crocodilo em pilar pré moldado.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA) ...	23
Tabela 2. Tabela 7.1 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e a qualidade do concreto	24
Tabela 3. Tabela 7.2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal	24
Tabela 4. Tabela 13.4 – Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção de armadura, em função das classes de agressividade – NBR 6118	28
Tabela 5. Parte 1 – Causas das fissuras dentro das etapas do processo de construção civil	44
Tabela 5. Parte 2 - Causas das fissuras dentro das etapas do processo de construção civil	45
Tabela 5. Parte 3 - Causas das fissuras dentro das etapas do processo de construção civil	45
Tabela 5. Parte 4 - Causas das fissuras dentro das etapas do processo de construção civil	46
Tabela 5. Parte 5 - Causas das fissuras dentro das etapas do processo de construção civil	46
Tabela 5. Parte 6 - Causas das fissuras dentro das etapas do processo de construção civil	47
Tabela 6. Relação de produtos químicos estocados no terminal logístico	65
Tabela 7. Janelas de inspeção em elementos pré moldados e dados referentes	66
Tabela 8. Legenda numérica convencionada para apresentação de fissuras identificadas na edificação estudada e mapeadas através de respectivos croquis ou fotos	69

Tabela 9. Quantidades de tipologias de fissuras constatadas nos armazéns AZ01, AZ02 e AZ 03	86
Tabela 10. Quantidades de fissuras por elemento em concreto armado constatadas nos armazéns AZ01, AZ02 e AZ 03	86
Tabela 11. Quantidades de tipologias de fissuras constatadas nos armazéns AZ01, AZ02 e AZ 03	86
Tabela 12. Apresentação de dados referentes ao ensaio de teor de cloreto e sulfato	91
Tabela 13. Apresentação de dados referentes ao ensaio de resistência à compressão	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Apresentação de fissuras identificadas no Box 01 (AZ01) e respectivos croquis ou fotos	72
Quadro 2. Apresentação de fissuras identificadas no Box 02 (AZ01) e respectivos croquis ou fotos	74
Quadro 3. Apresentação de fissuras identificadas no Box 03 (AZ01) e respectivos croquis ou fotos	76
Quadro 4. Apresentação de fissuras identificadas no Box 04 (AZ01) e respectivos croquis ou fotos	78
Quadro 5. Apresentação de fissuras identificadas no Box 05 (AZ02) e respectivos croquis ou fotos	80
Quadro 6. Apresentação de fissuras identificadas no Box 06 (AZ02) e respectivos croquis ou fotos	81
Quadro 7. Apresentação de fissuras identificadas no Box 07 (AZ02) e respectivos croquis ou fotos	82
Quadro 8. Apresentação de fissuras identificadas no Box 08 (AZ03) e respectivos croquis ou fotos	83
Quadro 9. Apresentação de fissuras identificadas no Box 10 (AZ03) e respectivos croquis ou fotos	84
Quadro 10. Apresentação de fissuras identificadas no Box 11 (AZ03) e respectivos croquis ou fotos	84
Quadro 11. Apresentação de fissuras identificadas no Box 13 (AZ03) e respectivos croquis ou fotos	85

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA	15
1.2. OBJETIVOS.....	16
1.2.1. Objetivo Geral	16
1.2.2. Objetivos Específicos	16
1.3. JUSTIFICATIVAS	16
1.3.1. Tecnológicas	16
1.3.2. Econômicas	17
1.3.3. Sociais	17
1.3.4. Ecológicas	18
1.4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	18
1.5. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	19
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1. FISSURAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO	25
2.2. MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO DO CONCRETO	30
2.2.1. Assentamento plástico.....	31
2.2.2. Dessecação superficial	32
2.2.3. Movimentação das fôrmas	33
2.2.4. Retração por secagem.....	34
2.2.5. Movimentação térmica.....	36
2.2.6. Corrosão de armadura	37
2.2.7. Reações expansivas por sulfatos	39
2.2.8. Reações expansivas com álcali-agregados	40
2.2.9. Sobrecargas	42
2.2.10. Detalhes construtivos	42
2.2.11. Fundações.....	43
3. ESTUDO DE CASO.....	48

3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE AMBIENTES (MACRO E MICRO).....	48
3.2. CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	50
3.3. PLANO DE INSPEÇÃO: MODELO E APLICAÇÃO	59
3.4. COLETA DE DADOS E HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO.....	60
3.5. INSPEÇÃO FÍSICA.....	65
3.6. JANELAS DE INSPEÇÃO.....	66
3.7. CADASTRAMENTO ESTRUTURAL E MAPEAMENTO DE ANOMALIAS.....	67
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	90
4.1. ENSAIOS TECNOLÓGICOS	90
4.2. ASSENTAMENTO PLÁSTICO.....	93
4.3. CORROSÃO EM ARMADURAS.....	93
4.4. SOBRECARGAS.....	95
4.5. REAÇÕES EXPANSIVAS POR SULFATOS	97
4.6. APRESENTAÇÃO GRÁFICA DA DISTRIBUIÇÃO DAS INCIDÊNCIAS DOS MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO CONSTATADOS.....	99
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	105
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105
5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108

1. INTRODUÇÃO

A temática principal deste trabalho é a determinação das causas das fissuras ocorridas na estrutura em concreto armado de um terminal logístico multimodal.

Preservar as edificações ao longo do tempo, a fim de que atinjam a vida útil para a qual foram projetadas, atendendo aos seus pré requisitos de segurança, uso e conforto, ou, até mesmo, superem esta vida útil, é um dos grandes desafios da engenharia (GUTIERREZ; MACCAGNAN, 2017).

De acordo com a NBR 6118, Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, “*por vida útil de projeto, entende-se o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor.*” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, 15 p.).

Para tanto, tornam-se necessários, além de execução adequada, cuidados e ações relativas ao correto uso e manutenção das construções.

Busca-se, pelo presente trabalho acadêmico de conclusão de curso, demonstrar, através de apresentação de estudo de caso, situação prática de identificação, análise e determinação quanto às causas de anomalias em edificação existente, que denunciam a ausência e/ou falha em relação aos cuidados supramencionados, relativos à execução, uso e manutenção desta, e tendem a prejudicar seu desempenho durante o transcorrer de sua vida útil, talvez, de forma a impedir seu cumprimento.

Dentre as anomalias relacionadas, será dado enfoque às fissuras em estruturas de concreto armado, em virtude de sua maior relevância no âmbito técnico e acadêmico que norteiam este trabalho e sua significância em relação a sua recorrência na construção em estudo.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Quais as causas das fissuras identificadas na estrutura de concreto armado de terminal logístico apresentado em estudo de caso?

1.2. OBJETIVOS

Neste item, apresentam-se os objetivos gerais e específicos do trabalho a ser desenvolvido.

1.2.1. Objetivo Geral

Determinar as causas das fissuras identificadas na estrutura em concreto armado da edificação apresentada em estudo de caso, um terminal logístico multimodal.

1.2.2. Objetivos Específicos

Determinar a incidência das causas das fissuras na estrutura de concreto armado do caso em estudo.

1.3. JUSTIFICATIVAS

Neste item apresentam-se as justificativas para este trabalho, a saber: tecnológicas, econômicas, sociais e ecológicas.

1.3.1. Tecnológicas

A correta identificação das causas de anomalias, patológicas ou não, é essencial para que sejam determinadas as corretas técnicas utilizadas durante as fases de elaboração de projetos, planejamento e construção de edificações, e, também, de procedimentos para sua operação e uso, que incluem manutenção preventiva e corretiva, como reparos e recuperações, se necessários, visando o adequado desempenho da construção durante sua vida útil ou além.

O sistema construtivo estrutural em concreto armado é ampla e comumente utilizado no Brasil e em escala mundial, sendo a fissura uma das principais anomalias que comprometem seu desempenho ao longo do tempo.

Consequentemente, tem-se a correta determinação das causa de fissuras em estruturas do concreto armado, como uma ferramenta de fundamental importância à preservação e adequado desempenho das edificações, neste trabalho, em específico, da edificação estudada.

1.3.2. Econômicas

A aplicação das corretas técnicas durante as fases de elaboração de projetos, planejamento e construção de edificações, e, também, de procedimentos para sua operação e uso, que incluem manutenção preventiva e corretiva, como reparos e recuperações, se necessários, possibilitam o adequado desempenho da construção ao longo de sua vida útil ou além. Tais técnicas, conforme já explicitado, são baseadas também nos conhecimentos obtidos a partir da correta identificação das causas de anomalias em sistemas construtivos, destacando-se no presente trabalho, as fissuras em estruturas de concreto armado, em especial, do terminal logístico multimodal.

Desta forma, torna-se mais econômico o uso e manutenção da edificação, quando aplicadas tais técnicas. Não obstante, o uso de edificação que fornece desempenho adequado com finalidade de obtenção ou geração de renda, seja através de sua comercialização ou utilização em atividades comerciais, industriais e afins, tende a ser mais bem sucedido.

1.3.3. Sociais

O desempenho esperado de uma edificação corresponde, não somente, a suas características, comportamentos e durabilidade, mas, também, ao atendimento das necessidades e exigências de seus usuários, as quais compreendem basicamente segurança, salubridade e habitabilidade. Construções executadas e preservadas adequadamente propiciam tais condições a seus usuários. Para tal, a determinação das causas das anomalias nas edificações faz-se necessária, sendo foco deste trabalho as fissuras evidenciadas em estrutura de concreto armado da edificação apresentada em estudo de caso.

Considerando-se, também, as justificativas econômicas, imóveis utilizados para geração de renda causam impacto direto nas sociedades.

1.3.4. Ecológicas

A presente e crescente preocupação mundial em relação à preservação do meio ambiente e execução de atividades de maneira sustentável envolve, notoriamente, os setores de construção e infraestrutura.

Estima-se que a construção civil responda por, aproximadamente, 75% dos recursos naturais extraídos, sendo o maior consumidor de recursos naturais dentre as atividades econômicas, causando, assim, um grande impacto no meio ambiente (TRIANA, 2007, apud GUTIERREZ; MACCAGNAN, 2017).

A escassez de determinados materiais e os impactos sobre o meio ambiente para obtenção destes e outros, bem como as consequências do uso e ocupação do solo por construções são questões de grande significância neste cenário.

Assim sendo, ao contribuir para a correta execução de novas edificações e preservação das já existentes, de forma a atingir ou superar sua vida útil atendendo ao desempenho esperado, elimina ou reduz a necessidade de execução de novas obras, de forma a colaborar com a preservação do meio ambiente.

1.4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O procedimento metodológico adotado neste trabalho é estudo de caso.

Para a execução deste trabalho, preliminarmente, elaborou-se fundamentação teórica, baseada em trabalhos de conclusão de curso, livros, artigos técnicos e normas elaboradas por instituições nacionais e internacionais.

Quanto ao estudo de caso, foi realizada a apresentação de tipo e uso de edificação, sua localização, ambiente ao qual está inserida, características construtivas, bem como, as informações e dados obtidos a partir da aplicação de plano de inspeção desenvolvido especificamente para esta edificação.

1.5. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Neste item apresenta-se, resumidamente, o conteúdo de cada um dos capítulos que compõem o trabalho, sendo:

O **Capítulo 1** apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como delinea as principais justificativas para a realização deste estudo e os procedimentos metodológicos a serem adotados.

O **Capítulo 2** discorre sobre a fundamentação teórica preliminar referente a causas do surgimento de fissuras em elementos de concreto.

O **Capítulo 3** introduz os elementos que compõem o caso estudado, caracterizando a edificação e determinado os ambientes, macro e micro, em que está inserida, além de apresentar o plano de inspeção da edificação e constatações, informações e dados obtidos através de sua aplicação, com enfoque em fissuras existentes nos elementos em concreto armado.

O **Capítulo 4** apresenta a análise das constatações, informações e dados apresentados contidos no Capítulo 3.

O **Capítulo 5** apresenta as considerações finais acerca do trabalho e as recomendações para trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para que haja o correto entendimento sobre os mecanismos de degradação do concreto, em especial, os que podem gerar sua fissuração, anteriormente, faz-se necessária a apresentação de alguns conceitos importantes sobre anomalias, mencionadas constantemente neste trabalho, e outros relacionados a estas,

Anomalia é qualquer irregularidade ou anormalidade de um corpo, objeto, fenômeno, estrutura, formação, etc.. De acordo com Knapp e Olivan (2019), as anomalias em construções podem ser classificadas em:

- a) Anomalia endógena ou congênita: originária por fatores inerentes à própria edificação, como projetos, materiais empregados e execução;
- b) Anomalia natural: originária de fenômenos da natureza, previsíveis ou não;
- c) Anomalia funcional: originária do seu uso;
- d) Anomalia exógena: originárias por fatores externos à edificação, provocados por agentes terceiros.

Heuko e Klassen (2019), determinam que o desempenho de uma edificação é a premissa de que o empreendimento atenderá a todas as necessidades do público para o qual foi projetado, que incluem, além de segurança, durabilidade, economia, habitabilidade e salubridade, o dever de exercer a sua função principal como moradia, hospital, escola, etc..

Segundo Gutierrez e Maccagnan (2017), a patologia das construções civis é a área que estuda qualquer fenômeno que afeta o desempenho de uma edificação. Tais fenômenos causam manifestações patológicas ou irregularidades, também denominadas anomalias, ou seja, sintomas resultantes de falhas em algumas das etapas do processo construtivo da edificação e mecanismos de degradação (RODRIGUES, 2013, apud GUTIERREZ;MACCAGNAN, 2017).

Assim, por analogia com a ciência médica, a patologia das construções é o ramo da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos de ocorrência, as causas e origens das doenças ou defeitos que ocorrem nas construções, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema (HELENE, 2011).

As estruturas e o seu material constituinte, concreto armado ou concreto protendido, assim como as criaturas humanas podem padecer de males congênitos e adquiridos, bem como podem sofrer acidentes ao longo da sua vida (NORONHA, 1980, apud TOMAZELI, 2019).

O tratamento das estruturas exige, do técnico dele encarregado, atributos e conhecimentos semelhantes daqueles exigidos do médico. Antes que qualquer outro atributo, o profissional que se propõe a “curar” estruturas deve a elas dedicar carinho, amizade e respeito. Ainda é indispensável, ao mesmo, que conheça a fundo as manifestações patológicas que ocorrem nas estruturas, em função do meio inserido e dos efeitos mecânicos que ela sofre, as causas geradoras dos males, e que saiba, também, através dos sintomas visíveis ou auscultáveis por meio de ensaios tecnológicos, emitir um diagnóstico seguro (TOMAZELI, 2019).

Conforme preconiza a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme projetado, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil.

O item 6.3 da NBR 6118 considera os principais mecanismos de envelhecimento e deterioração, seguir relacionados:

a) Mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto:

- a.1) Lixiviação: decorrentes da ação na superfície do concreto, carreando os compostos cimentícios por ação de águas puras, carbônicas agressivas, ácidas e outras;
- a.2) Expansão: decorrente do ataque por águas ou solos que contenham ou que estejam contaminados por sulfatos, resultando em reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado. A prevenção pode ser feita pelo uso de cimento resistente a sulfatos;
- a.3) Reação álcali-agregado: é uma expansão por ação das reações entre os álcalis do concreto e agregados reativos. O projetista deve identificar no projeto o tipo de elemento estrutural e sua situação quanto à presença de água, bem como deve recomendar as medidas preventivas, quando necessárias.

b) Mecanismos preponderantes de deterioração relativos a amadura:

- b.1) Despassivação por carbonatação: é a despassivação por carbonatação, ou seja, por ação do gás carbônico da atmosfera sobre o aço da armadura. As medidas preventivas consistem em dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto. O cobrimento das armaduras e o controle da fissuração minimizam este efeito, sendo recomendável um concreto de baixa porosidade.
- b.2) Despassivação por ação de cloretos: consistente na ruptura local da camada de passivação, causada por elevado teor de íons-cloreto. As medidas preventivas consistem em dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto. O cobrimento de armaduras e o controle da fissuração minimizam este efeito, sendo recomendado o uso de um concreto de pequena porosidade. O uso de cimento composto com adição de escória ou material pozzolânico é também recomendável nestes casos.

c) Mecanismos de deterioração da estrutura propriamente dita:

São todos aqueles relacionados às ações mecânicas, movimentações térmicas, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação, bem como as diversas ações que atuam sobre a estrutura.

d) Agressividade do meio ambiente:

A agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origens térmicas, da retração hidráulica e de outras previstas no dimensionamento das estruturas.

Conforme preconiza a Norma Brasileira através da NBR 6118, Projeto de estruturas de concreto – Procedimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), em seu item 6.4, Agressividade do ambiente, a agressividade ambiental deve ser classificada e pode ser avaliada, simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Ainda segundo a NBR 6118, item 6.4, a agressividade do meio ambiente ao qual está inserida uma construção e sua estrutura está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre

estas, independentemente de ações mecânicas, variações volumétricas de origem, retrações hidráulicas e demais ações previstas no dimensionamento de estruturas em concreto armado.

Considerando tais fatores, a referida norma dispõe em sua Tabela 6.1, Classes de Agressividade Ambiental (CAA), tais classes de dividas em níveis I, II, III e IV, e suas respectivas agressividade, classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto e risco de deterioração da estrutura, apresentada através da Tabela 1.

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

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

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

c - Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia.

Tabela 1. Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA) (ABNT NBR 6118, 2014).

De acordo com Tomazeli (2019), para o caso de concretos aparentes a ação do meio ambiente é mais agressiva, portanto, cuidados especiais devem ser tomados quanto à qualidade do projeto, da execução, da proteção e manutenção ao longo da vida útil da edificação. Pode-se elencar que os principais mecanismos de deterioração para estes tipos de concreto são:

- a) Carbonatação;
- b) Lixiviação;
- c) Retração;
- d) Fuligem e fungos;
- e) Ataque químico por cloretos, sulfatos ou outro tipo de contaminante.

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentadas recomendações constantes na norma brasileira NBR 6118, relativas à qualidade do concreto e ao cobrimento nominal da armadura, ambos em função da classe de agressividade ambiental, para que seu comportamento seja adequado a esta agressividade e mecanismos de deterioração nesta presentes.

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

Tabela 2. Tabela 7.1 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e a qualidade do concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de Agressividade			
		I	II	III	IV
		Cobrimento Nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55
a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado. b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ^c 15 mm. c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV. d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ^c 45 mm.					

Tabela 3. Tabela 7.2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

2.1. FISSURAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

A existência de fissuras em estruturas de concreto armado é um problema de elevada importância, não somente pelo ponto de vista econômico, ao gerar custos relativos à recuperação e diminuição da vida útil das edificações, mas também por impactar o usuário sob o ponto de vista de conforto (MOLIN, 1988). A fissuração, dentre os inúmeros fenômenos patológicos que ocorrem no concreto armado ou protendido, é a anomalia mais corrente e identificável pelos usuários de uma edificação (TOMAZELI, 2019). Thomas (1980, apud MOLIN, 1988) salienta que os usuários nem sempre são especialistas em segurança das estruturas e que, para muitos, uma pequena fissura pode significar o perigo de ruína imediata de seu abrigo.

Segundo Molin (1988), a fissuração do concreto é um fenômeno tão antigo quanto às próprias edificações das quais faz parte, sendo que, em muitas obras cujo material básico é o cimento, fissuras podem aparecer depois de anos, meses ou, até mesmo, poucas horas após a aplicação do material. Conforme AZEVEDO (2011, apud TOMAZELI, 2019), as fissuras são manifestações patológicas que surgem nas estruturas de concreto sempre que ocorrem tensões de tração que superam a capacidade resistente do concreto, podendo ocorrer com o concreto ainda no estado fresco ou no endurecido. Portanto, a formação de fissuras em estruturas de concreto armado deve ser analisada tanto na primeira idade quanto ao longo do tempo, sendo necessária, para tanto, aplicação de corretas técnicas que resultem em inspeção condizente ao nível adequado, de acordo com as condições e características da edificação a ser inspecionada.

De acordo com Norma de Inspeção Predial Nacional elaborada pelo Instituto Brasileiro de Perícias e Avaliações (IBAPE), inspeção predial “é a análise isolada ou combinada das condições técnicas, de uso e manutenção da edificação” (IBAPE, 2012), devendo ser dividida em três níveis:

- a) NÍVEL 1: Identificação das anomalias e falhas aparentes, elaborada por profissional habilitado;
- b) NÍVEL 2: Vistoria para a identificação de anomalias e falhas aparentes eventualmente identificadas com o auxílio de equipamentos e/ou aparelhos, bem como análises de documentos técnicos específicos, consoante à complexidade dos sistemas construtivos existentes. A Inspeção Predial nesse nível é elaborada por profissionais habilitados em uma ou mais especialidades.

- c) NÍVEL 3: Equivalente aos parâmetros definidos para a inspeção de NÍVEL 2, crescida de auditoria técnica conjunta ou isolada de aspectos técnicos, de uso ou de manutenção predial empregada no empreendimento, além de orientações para a melhoria e ajuste dos procedimentos existentes no plano de manutenção.

Noronha (1980) destaca que as estruturas em concreto armado ou protendido podem sofrer solicitações maiores do que as avaliadas analiticamente, mesmo aquelas projetadas no estágio III, estágio em que a zona comprimida encontra-se plastificada e o concreto está na iminência de ruptura, tais como peças fletidas com limitação de fissuras. Estas solicitações podem ser de várias naturezas, dentre as quais se lembra:

- a) Tração: causando fissuramento inaceitável, vide Figura 1;

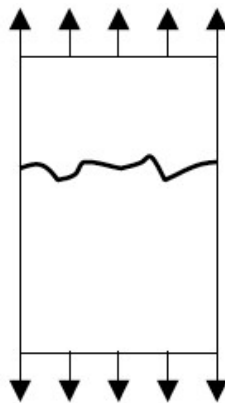


Figura 1. Fissuras ocasionadas por tração simples (NORONHA, 1980).

- b) Cisalhamento: causando fissuramento, vide Figura 2;

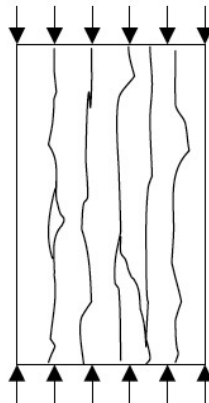


Figura 2. Fissuras ocasionadas por cisalhamento (NORONHA, 1980).

- c) Compressão: causando esmagamento ou fissuração em direção paralela à dos esforços atuantes, vide Figura 3;

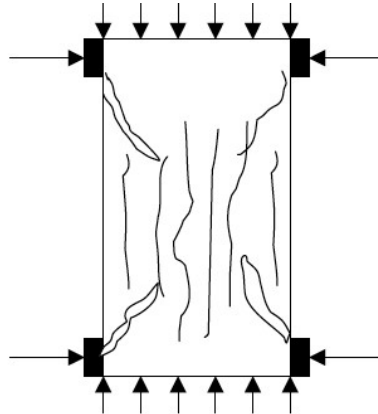


Figura 3. Fissuras ocasionadas por compressão composta (NORONHA, 1980).

- d) Torção, vide Figuras 4 e 5.

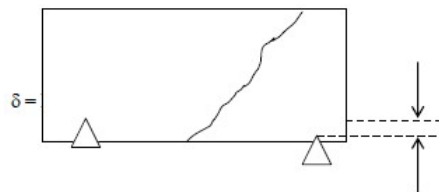


Figura 4. Fissuras ocasionadas por torção (NORONHA, 1980).

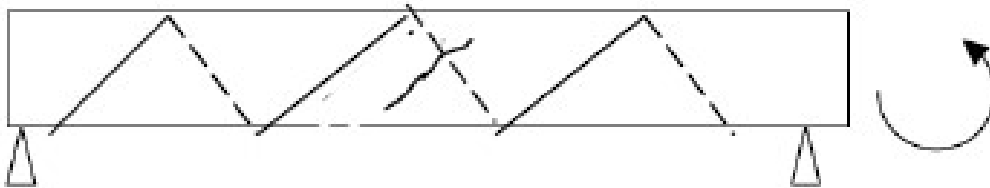


Figura 5. Fissuras ocasionadas por compressão composta (NORONHA, 1980).

Cumprir frisar que a NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece limites para as aberturas de fissura na estrutura de concreto, os quais não devem ser superados, pois trata-se de meio que facilita a penetração de agentes agressivos externos, bem como, o início do processo de corrosão das armaduras. Estes limites são apresentados através da Tabela 13.4 da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), em que são determinados os tipos de concreto estrutural, a classe de agressividade do ambiente, (CAA) e tipo de protensão, as exigências relativas à abertura das fissuras e a combinação de serviços a utilizar, conforme Tabela 4, a seguir.

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e de protensão	Exigências relativas à fissuração	Cobinações de ações em serviços a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	-
Concreto armado	CAA I	ELS-W $W_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $W_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $W_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e CAA II	ELS-W $W_k \leq 0,2$ mm	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e CAA IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D ^a	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 2 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e CAA IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D ^a	Combinação frequente

^a A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com $s_r = 50$ mm (Figura 3.1).

NOTAS

1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.

2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV, exige-se que as cordoalhas não aderentes

3 No projeto de lajes lisas e cogumelo protendidas, basta ser atendido o ELS-F para a combinação frequente das ações, em todas as classes de agressividade ambiental.

Tabela 4. Tabela 13.4 – Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção de armadura, em função das classes de agressividade – NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

Segundo Molin (1988), é preciso compatibilizar o grau de fissuração dos concretos em relação à influência deste grau sobre os aspectos de durabilidade, deformabilidade, estanqueidade e estética adequados às condições de utilização previstas originalmente, pois:

a) Influência da fissuração na durabilidade das estruturas:

A existência de fissuras nos elementos de concreto armado compromete a durabilidade destes por facilitar a penetração de agentes agressivos à armadura e ao próprio concreto. Desta forma, tanto a abertura das fissuras, quanto o ambiente em que está inserida a estrutura, são fatores determinantes das consequências do fenômenos de fissuração.

b) Influência da fissuração na deformabilidade das estruturas:

A deformabilidade dos diversos elementos de uma estrutura é responsável por sua configuração final e pela distribuição interna de esforços. No entanto, o surgimento de fissuras em um componente de concreto armado altera fundamentalmente sua deformabilidade, podendo, com isso, causar um relaxamento ou uma redistribuição de esforços internos.

c) Influência da fissuração na perda de estanqueidade das estruturas:

A perda da estanqueidade de uma edificação é uma das consequências da existência de fissuras em seus elementos de concreto. Não há dúvida de que, tanto a água exterior, nos seus vários estados, pode penetrar através de fissuras existentes nos componentes da estrutura, como pode ocorrer sua perda pela fissuração eventualmente existente em regiões de sua contenção. Deste fenômeno pode decorrer o surgimento de manchas de umidade, formação de eflorescência, desenvolvimento de bolor e a deterioração de revestimentos aplicados.

d) Influência da fissuração na estética das estruturas:

A fissuração do concreto, muitas vezes, afeta a estética e aparência das estruturas, não podendo-se negligenciar o efeito psicológico de perda de segurança que a fissura transmite aos usuários de uma edificação.

Canôvas (1988), relata que a fissuração do concreto se deve, na maioria das vezes, quase que exclusivamente às seguintes causas:

- a) Cura deficiente;
- b) Retração;
- c) Expansão;
- d) Variações de temperatura;
- e) Ataques químicos;
- f) Excesso de carga;
- g) Erros de projetos e execução;
- h) Recalques diferenciais.

Paralela e similarmente, Molin (1988), divide as manifestações de fissuras no concreto em estado fresco e endurecido, de acordo com as seguintes causas:

a) Concreto fresco:

- a.1) Assentamento plástico;
- a.2) Dessecação superficial;
- a.3) Movimentação de fôrmas;

b) Concreto endurecido:

- b.1) Retração por secagem;
- b.2) Movimentação térmica: influências internas e externas;
- b.3) Corrosão da armadura;
- b.4) Reações expansivas com sulfatos;
- b.5) Reações expansivas com alcali-agregados;
- b.6) Sobrecargas;
- b.7) Detalhes construtivos;
- b.8) Fundações.

2.2. MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO DO CONCRETO

As fissuras que ocorrem no concreto armado podem ser resultados de diferentes mecanismos e podem se manifestar antes, estado fresco, ou após o endurecimento do concreto.

O estado fresco do concreto é caracterizado pela possibilidade de remoldar o concreto, mesmo após o lançamento (antes do início da pega). Costuma variar de uma a doze horas, dependendo da temperatura e umidade do concreto e do uso de aditivos, como modificadores de tempo de pega, aceleradores ou retardadores, por exemplo (RIPPER, 1980, apud MOLIN, 1988).

As fissuras no concreto armado em seu estado fresco, anterior a seu endurecimento, podem ser decorrentes de assentamento plástico, dessecação superficial ou ainda pela movimentação de elementos de contenção, fôrmas.

As fissuras que ocorrem no concreto após seu endurecimento têm sua causa, normalmente, em fenômenos físicos, térmicos, químicos e estruturais.

2.2.1. Assentamento plástico

Durante as primeiras horas após o lançamento e adensamento do concreto, as partículas sólidas da mistura tendem a se movimentar para baixo devido à ação da gravidade, a sedimentação, havendo um deslocamento do ar aprisionado e da água para a superfície, a exsudação (MOLIN, 1998).

A perda de ar e água que pode ocorrer durante o assentamento do concreto causa uma redução do volume da massa ainda em estado plástico, não endurecido, que se desloca para baixo. Se um obstáculo impede a homogeneidade deste assentamento, por exemplo, as armaduras, Figura 6, e/ou os agregados de maiores dimensões, Figura 7, bem como, a própria fôrma, poderão ser produzidas fissuras por este assentamento plástico (MOLIN, 1998).

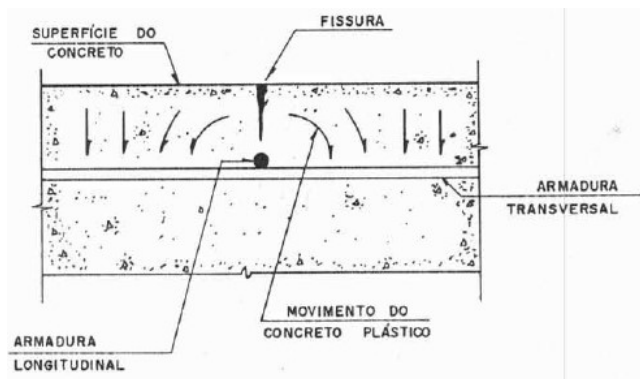


Figura 6. Fissuras por assentamento plástico impedido pela armadura (MOLIN, 1988).

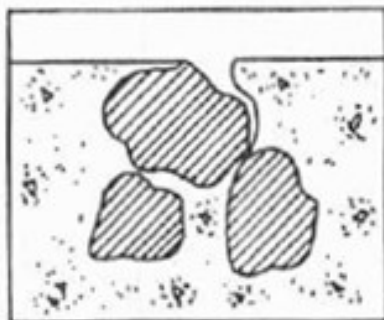


Figura 7. Fissuras por assentamento plástico impedido por agregados (MOLIN, 1988).

2.2.2. Dessecação superficial

A formação de fissuras devido à dessecação superficial ocorre pela evaporação demasiada de água de amassamento do concreto ou por exagerada absorção dos agregados ou das fôrmas. Uma vez que o efeito causado pela absorção dos agregados ou das fôrmas de fácil eliminação pela saturação destes, pode-se considerar que, preponderantemente, tal tipo de fissuração ocorre quando a velocidade de evaporação da água de amassamento for maior que a velocidade de percolação da água até a superfície do concreto, por efeito de exsudação (MOLIN, 1998).

O grau de evaporação depende da temperatura, velocidade e umidade relativa do ar, da qualidade da cura realizada e da temperatura superficial do concreto (MOLIN, 1998).

De acordo com Molin (1998), em lajes cuja armadura esteja muito próxima da superfície, as fissuras tendem a se deslocar sobre as barras (Detalhe A da Figura 51). Caso contrário, as fissuras se distribuem, conforme o Detalhe B da Figura 8. Nota-se que nestes casos de fissuras aleatórias, estas se cortam quase sempre com ângulos aproximadamente retos, o que se deve ao fato da superfície do concreto estar sujeita a equitrações, anteriormente ao surgimento de fissuras.

Outra forma típica de fissuração em lajes por dessecação é aquela formada por uma série de fissuras paralelas a, aproximadamente, 45° do canto da laje, espaçada irregularmente e em distância que variam de 0,2 a 1,0 m (MOLIN, 1998), conforme Figura 9.

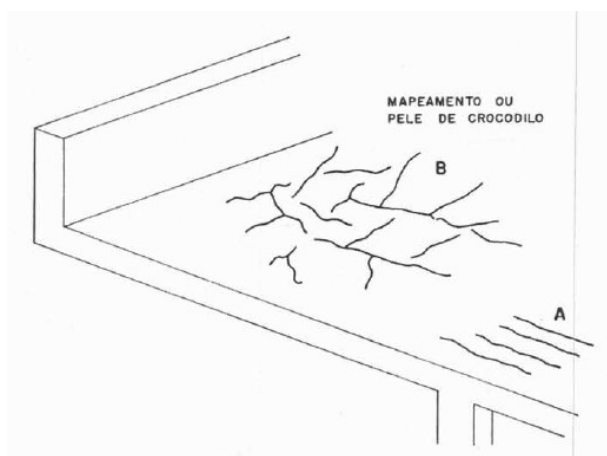


Figura 8. Configurações típicas de fissuras por dessecação superficial (MOLIN, 1988).

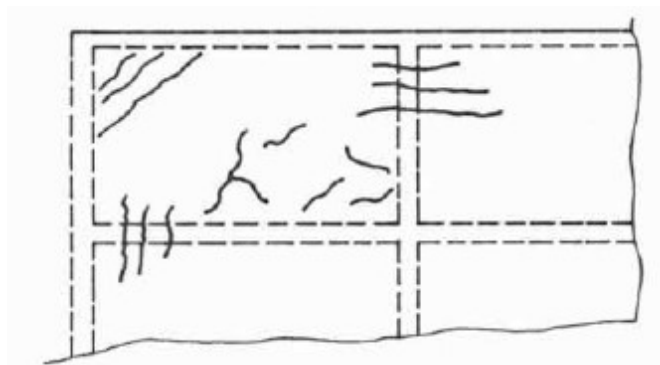


Figura 9. Fissuração por dessecação superficial em lajes contínuas (MOLIN, 1988).

2.2.3. Movimentação das fôrmas

Para construir uma estrutura de concreto, é necessária a utilização de moldes através dos quais o concreto plástico, lançado, toma a forma e dimensões desejadas. Todo o movimento das fôrmas que se produzir entre o momento de lançamento do concreto até o início da pega pode provocar o aparecimento de fissuras. As causas deste movimento podem estar ligadas a diversos fatores, dentre eles, suporte a sobrecargas, falhas de escoramento, detalhes construtivos inadequados, mão de obra desqualificada e lançamento de concreto de forma indevida (MOLIN, 1998).

As fissuras causadas pela deformação ou movimentação das fôrmas podem ser internas, Figura 10, e na superfície do concreto, Figuras 11 e 12. As fissuras internas constituem um perigo potencial, pois propiciam a formação de bolsa de água na massa do concreto que pode facilitar o processo de corrosão das armaduras (MOLIN, 1998).

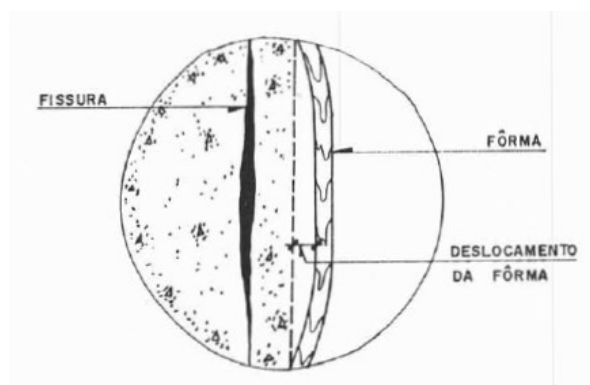


Figura 10. Fissura interna devido ao movimento da fôrma (MOLIN, 1988).

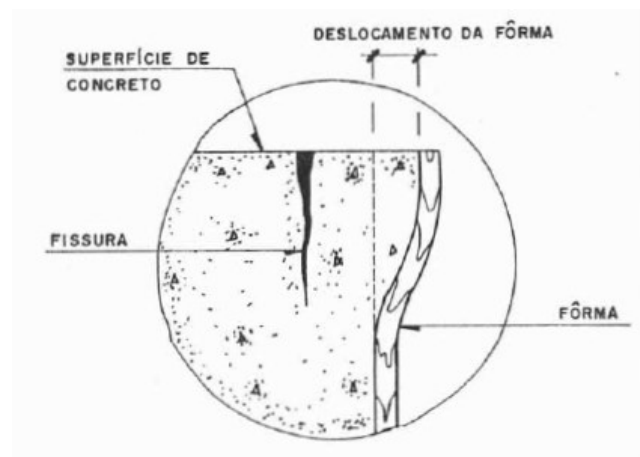


Figura 11. Fissura na superfície do concreto devido ao movimento da fôrma (MOLIN, 1988).

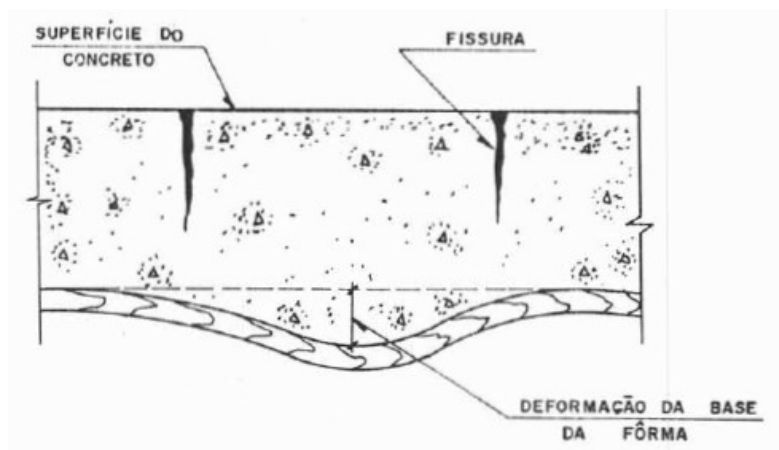


Figura 12. Fissura na superfície do concreto devido à deformação da base da fôrma (MOLIN, 1988).

2.2.4. Retração por secagem

A retração por secagem, ou hidráulica, ocorre a partir da contração volumétrica da pasta pela perda de água do concreto conservado em ar não saturado. Uma parte dessa retração é irreversível e deve ser diferenciada das variações devidas à umidade causada pela conservação alternada em ambientes secos e úmidos (retração reversível). Fissuras típicas decorrentes da retração por secagem são apresentadas nas Figuras 13 a 16.

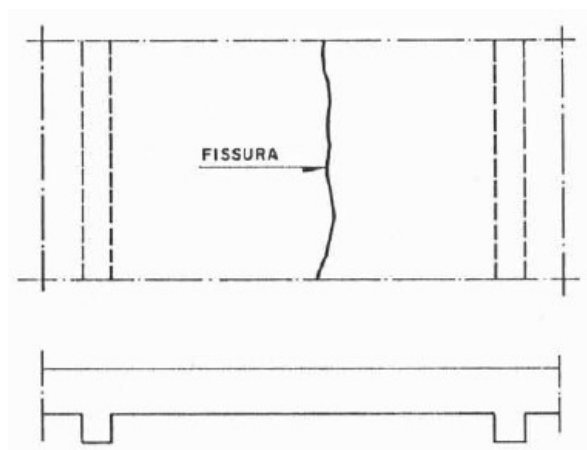


Figura 13. Fissura típica em laje causada por retração hidráulica (MOLIN, 1988).

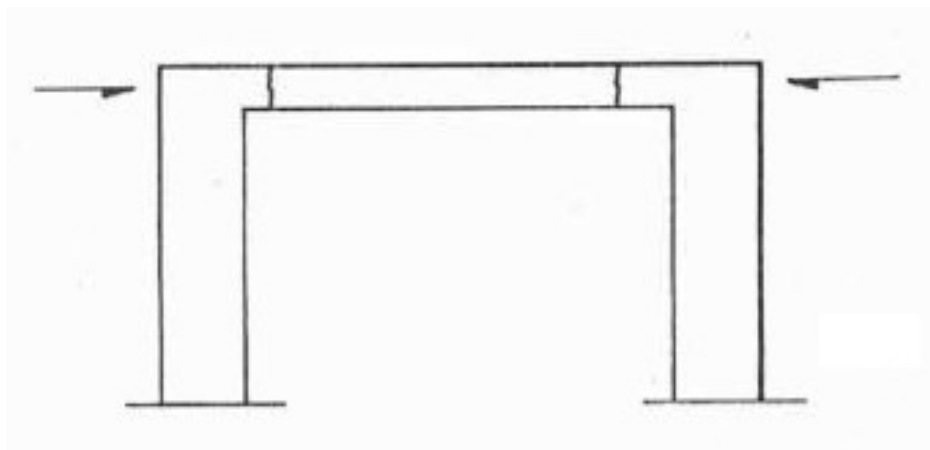


Figura 14. Fissura típica por retração hidráulica em pórtico de pilares de grande rigidez (MOLIN, 1988).

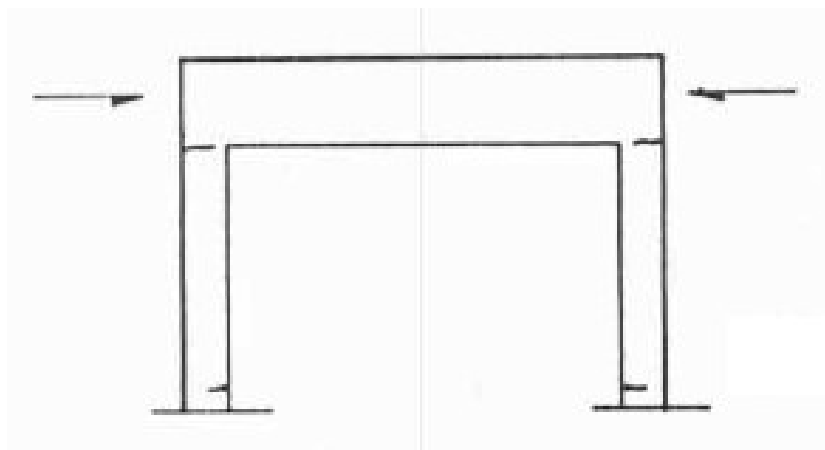


Figura 15. Fissura típica por retração hidráulica em pórtico de pilares de pequena rigidez (MOLIN, 1988).

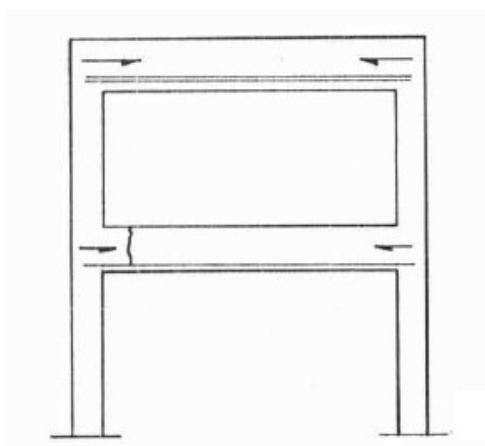


Figura 16. Fissura típica por retração hidráulica em pórtico de pilares com diferentes taxas de armadura (MOLIN, 1988).

2.2.5. Movimentação térmica

Conforme Molin (1998), as variações de temperatura em sua estrutura de concreto podem ocorrer devido a diversas circunstâncias, relacionadas a:

a) Influências externas:

- a.1) mudanças nas condições ambientais;
- a.2) incêndios.

b) Influências internas:

- b.1) calor de hidratação do cimento, com elevação da temperatura do concreto.

A importância das variações térmicas se relaciona à contração das peças estruturais, representando um esforço de tração sobre o concreto, podendo resultar em fissuras, conforme a apresentada na Figura 17, se, em algum momento, estas tensões originadas forem superiores à resistência à tração do concreto. Já os danos causados pela dilatação térmica, em geral, não possuem tamanha relevância, pois induzem esforços de compressão aos quais o concreto possui maior resistência. (MOLIN, 1998).

As principais propriedades do concreto a serem consideradas sob o aspecto de sua movimentação térmica são sua condutividade térmica, difusibilidade térmica, calor específico e coeficiente de dilatação térmica.

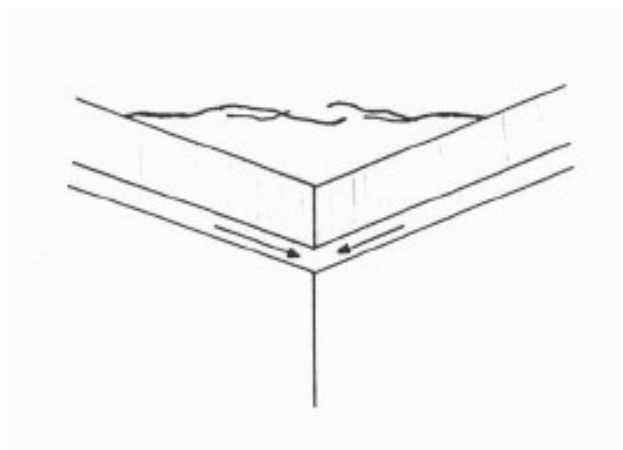


Figura 17. Fissura em laje causada pela expansão térmica das vigas de apoio (MOLIN, 1988).

2.2.6. Corrosão de armadura

A maioria dos concretos possui um pH superior a 12, um caráter altamente alcalino. Nesta condição, forma-se uma camada passivadora e protetora de armadura que é de ferrato de cálcio, resultante da combinação da ferrugem superficial da armadura com o hidróxido de cálcio contido no concreto. Quando esta situação se altera e a passividade da armadura desaparece, as armaduras se corroem mediante a um processo eletroquímico. Para que a corrosão ocorra, porém, são necessárias as presenças de oxigênio, de umidade e de uma diferença de potencial elétrico entre dois pontos da barra da armadura (MOLIN, 1998).

Agentes agressivos na atmosfera, dentre os quais destaca-se o cloreto, presente, por exemplo, em ambientes marinhos, despassivando a armadura através de íons cloretos. Segundo Pereira e Cincotto (2006), considera-se um baixo risco de corrosão, quando associado a um valor limite de cloreto por massa de cimento em estrutura de concreto armado entre 0,15 % e 0,4 %, baseando-se em normas emitidas por organismos internacionais. A determinação do teor de cloreto em uma estrutura de concreto é possível através da elaboração de ensaio para determinação de teor de cloreto (Cl) e sulfato (trióxido de enxofre, SO_3), em acordo com as normas do órgão estadunidense American Society for Testing and Materials, ASTM International, ASTM C 12188, Water – Soluble Chloride in Mortar and Concrete, de 1999, e da ABNT, NBR 9917, Agregado para concreto – Determinação de sais cloretos e sulfatos solúveis, de 2009.

A seguir, destacam-se as principais circunstâncias que podem gerar alteração nas condições apresentadas acima, que resultam na perda da proteção que o concreto às armaduras:

- a) Carbonatação do concreto e consequente redução de seu pH;
- b) Meio ambiente, em função da temperatura, umidade e da, já mencionada, presença de agentes agressivos;
- c) Cobrimento do concreto, quanto à sua espessura e qualidade, de formar a permitir a ocorrência de processos que se dão por difusão de elementos químicos, como a carbonatação e penetração de íons agressivos;
- d) Fissuração, através das quais a penetração de agentes se dá forma mais veloz e intensa.

Os produtos da corrosão da armadura ocupam um volume significativamente maior que o volume original das barras de aço que a compõem, teoricamente, até seis vezes maior, podendo gerar pressões de expansão (tração) superiores a 15 MPa, causando o surgimento de fissuras e destacamento do concreto, apresentando-se, geralmente, em linhas paralelas e seguindo a direção das armaduras, situação detalhada através da Figura 18 e situação registrada e apresentada na Figura 19.

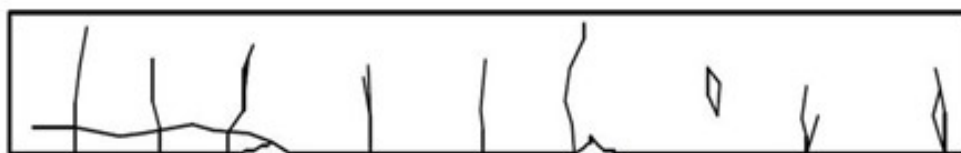


Figura 18. Fissura típica por corrosão de armaduras em viga (AUTOR, 2019).



Figura 19. Fissura típica e destacamento por corrosão de armadura (FELSKE et al., 2016).

2.2.7. Reações expansivas por sulfatos

O ataque de sulfatos a concretos pode acontecer através da reação química entre estes e o hidróxido de cálcio livre proveniente da reação de hidratação do cimento ou com o aluminato tricálcio hidratado, formando sulfato de cálcio ou sulfato aluminato de cálcio, respectivamente. Estas reações, normalmente, são expansivas, promovendo a expansão do concreto e consequentes tensões internas, desenvolvendo fissuras que facilitam o acesso para penetração de novos agentes agressivos, até que este ciclo gere a desagregação do elemento (MOLIN, 1998).

Os principais sulfatos, como os de magnésio e sódio, podem ser encontrados nas águas marinhas, em muitos solos e águas subterrâneas e em águas residuais industriais.

MOLIN (1998), determina que os principais parâmetros que influenciam a reação expansiva com sulfatos são:

- a) Condições de exposição à disponibilidade de sulfatos solúveis;
- b) Permeabilidade do concreto;
- c) Tipo de cimento utilizado na composição do concreto, pois existem cimentos classificados de acordo com sua resistência a sulfatos, que pode ser elevada, por exemplo, através da adição de pozolanas.

Segundo Mazer (2014, apud ARAÚJO, 2016), o teor de sulfato encontrado no concreto depende do consumo de cimento e do teor de gesso deste cimento. Em um concreto com massa específica de 2.300 kg/m^3 com 350 kg de cimento por metro cúbico, amassado com um cimento de

3% de gesso, ter-se-á um teor máximo de sulfato de 0,46 % por peso total do concreto, sendo este, portanto, considerado como o teor limite de íons sulfatos no concreto.

A determinação de teor de sulfato em uma estrutura de concreto, assim como o de cloreto, é possível através da elaboração de ensaio para determinação de teor de cloreto (Cl) e sulfato (trióxido de enxofre, SO_3), em acordo com as normas do órgão estadunidense American Society for Testing and Materials, ASTM International, ASTM C 12188, Water – Soluble Chloride in Mortar and Concrete, de 1999, e da ABNT, NBR 9917, Agregado para concreto – Determinação de sais cloretos e sulfatos solúveis, de 2009.

As fissuras desenvolvidas são similares às aquelas que ocorrem pela dessecação superficial do concreto, chamadas como mapeadas, pele de crocodilo ou em redes, possuindo aberturas mais pronunciadas, conforme apresentada a Figura 20, e, normalmente, tornando-se visíveis a partir de seis meses de seu lançamento (MOLIN, 1998).



Figura 20. Fissura típica por ataque de sulfato (FELSKE et al., 2016).

2.2.8. Reações expansivas com álcali-agregados

De acordo com Molin (1988), quando se refere a reações álcali-agregados, na realidade, está se referindo a reações álcali-sílica, que é a mais conhecida e ocorre com maior frequência, devendo-se, no entanto, distinguir-se claramente entre esta e a reação que ocorre com agregados calcários dolomíticos, a reação álcali-carbonato.

A reação álcali-sílica é resultado da combinação dos álcalis do cimento com a sílica reativa eventualmente presente em alguns agregados reativos que contém minerais, como opala,

calcedônia, ágata, tridimita e outros mais raros, na forma de sílica amorfa ou microcristalizada (ANDRIOLO, 1984, apud MOLIN, 1998).

O resultado é um gel de sílica alcalina do tipo expansão ilimitada, em que há absorção de água com consequente tendência de aumento de volume (NEVILLE, 1982 apud MOLIN, 1998). Como este gel está confinado pela pasta do concreto que o envolve, o surgimento do gel pode gerar decorrentes pressões internas e expansão, fissuração e desagregação da pasta de cimento, vide Figura 21.



Figura 21. Fissuras típica por reação álcali-agregado (WIKIPEDIA, 2020).

A reação álcali-carbonato é semelhante à reação álcali-sílica. A reação entre os álcalis e a dolomita produz carbonato alcalino que combina com o hidróxido de cálcio do cimento, regenerando os álcalis, de forma a permitir o prosseguimento da reação, através do processo de desdolomitização, dando origem ao hidróxido de magnésio que, por sua vez, é uma substância potencialmente expansiva. As reações álcali-carbonato não são muito frequentes, existindo ainda divergências sobre o provável mecanismo de expansão (MOLIN, 1988).

Dentre os principais fatores que podem influenciar as reações expansivas álcali-agregados, tem-se:

- a) Teor de álcalis no concreto;
- b) Quantidade de agregados reativos;
- c) Tamanho das partículas de agregados reativos, podendo haver reações expansivas a partir de um a 2 meses em caso de existência de partículas muito

finas (20 a 30 mm) ou somente depois de alguns anos a presença de partículas maiores (Neville, apud Molin p. 67);

d) Condições de exposição, relação água/cimento e cura.

2.2.9. Sobrecargas

A ação de cargas sobre os elementos de concreto podem produzir seu fissuramento sem que isso implique, necessariamente, em perda de estabilidade ou durabilidade da estrutura. Segundo Leonhardt (1979, apud MOLIN, 1988), a segurança é adequada quando a construção resiste, com suficiente margem do seu limite de ruína, às diversas ações e solicitações, garantindo capacidade de carga e estabilidade adequadas, capacidade de utilização em relação ao uso previsto e durabilidade suficiente.

A seguir, relacionam-se alguns dos esforços comumente aplicados sobre elementos de concreto, cuja sobrecarga pode gerar sua fissuração, vide Figuras 44 a 48, apresentadas anteriormente:

- a) Tração: causando fissuramento inaceitável;
- b) Compressão: causando esmagamento ou fissuração em direção paralela à dos esforços atuantes;
- c) Cisalhamento: causando fissuramento;
- d) Torção.

2.2.10. Detalhes construtivos

A norma brasileira NBR 6118 determina uma série de restrições e exigências quando se refere ao detalhamento de projetos estruturais, corrigindo distorções que, normalmente, ocorreriam por falta de detalhamento de uma estrutura de concreto armado. Entretanto, uma série de equívocos na concepção e execução destes detalhes ocorre, por muitas vezes, causando a fissuração. Por ser inviável uma classificação completa, dada à multiplicidade de situações possíveis, procura-se relacionar os detalhes em que as falhas ocorrem com maior frequência (MOLIN, 1988):

- a) Consoles e mísulas;
- b) Esforços devidos a mudanças de direção de peças tracionadas ou comprimidas;
- c) Transmissão indireta de cargas;
- d) Estribos de pilares;
- e) Aberturas em lajes e vigas;
- f) Lajes em balanço;
- g) Ancoragem inadequada da armadura;
- h) Eletrodutos embutidos em lajes.

2.2.11. Fundações

Sob a ação de cargas externas, todos os solos se deformam, em maior ou menor proporção. Caso estas deformações sejam diferenciadas ao longo do plano das fundações de uma edificação, serão introduzidas tensões em sua estrutura, podendo gerar o aparecimento de fissuras. O recalque admissível de uma estrutura depende de vários fatores, dentre eles, seu tipo de estrutura, altura, rigidez, função e localização, e a magnitude, velocidade e distribuição do recalque (MOLIN, 1988).

Os recalques de edificações podem ter várias origens, das quais as mais frequentes são as quatro mencionadas a seguir, segundo Vargas (1982, apud MOLIN, 1988):

- a) Recalques normais, provenientes da compressão do solo;
- b) Recalques indeterminados, provenientes de escoamento visco plástico do solo;
- c) Recalques por deterioração das fundações, oriundos da degradação de seus elementos constituintes, como sapatas, estacas, tubulões, blocos de fundação e demais;
- d) Recalques imprevisíveis, gerados por construção ou escavação vizinha.

Tais recalques tendem a formar fissuras típicas a 45^a em sentido paralelo ao do reclaque ocorrido, conforme demonstra a Figura 22.

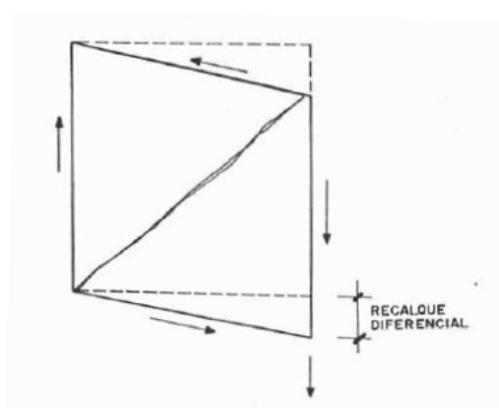


Figura 22. Fissuras típica a 45° por recalque diferencial de fundações (MOLIN, 1988).

Para melhor visualização dos mecanismos de degradação do concreto apresentados e sua interação com o surgimento de fissuras neste, segue Tabela 5, que apresenta planilha elaborado por Molin (1988), relacionando-os às fases do processo de construção de uma edificação, que são planejamento e projeto, uso de materiais e execução, bem como, à fase de sua utilização.

ETAPAS DO PROCESSO TIPOS DE MANIFESTAÇÕES	PLANEJAMENTO E PROJETO	MATERIAIS	EXECUÇÃO	USO
Assentamento plástico	Falha na especificação da correta composição do concreto (elevada relação a/c, baixo consumo de cimento, falta de finos, etc.); Armaduras com diâmetros excessivos e/ou malhas densas.	Cimento com finura inadequada (maior finura - menor assentamento plástico); Areia com falta de finos, grãos achatados, etc.; Agregado com diâmetro muito elevado.	Vibração prolongada; Cura inadequada; Concretagens com temperaturas ambientais muito baixas; Falta de estanqueidade das fôrmas.	
Dessecação superficial	Falha na especificação da correta composição do concreto (alto consumo de cimento, elevada relação a/c, mistura com muitos agregados finos, seja pela areia ou por conter argila, cimento de alta finura e alta resistência, etc.).	Cimento com finura elevada; Cimento com alto teor de C ₃ A.	Cura inadequada; Concretagens em tempo com baixa umidade relativa do ar e/ou com vento na superfície de concreto e/ou temperaturas ambientais elevadas; Falta de proteção da superfície de concreto da ação direta do sol; Excesso de vibração; Falha na execução do concreto quanto à correta composição, teor de água e densidade da mistura; Agregados e fôrmas não saturados, resultando em absorção elevada.	

Tabela 5. Parte 1 – Causas das fissuras dentro das etapas do processo de construção civil (MOLIN, 1988).

ETAPAS DO PROCESSO TIPOS DE MANIFESTAÇÕES	PLANEJAMENTO E PROJETO	MATERIAIS	EXECUÇÃO	USO
Formas	Falha no projeto das fôrmas (cargas verticais e horizontais subdimensionadas); Falha na comunicação projeto/execução (projetos mal detalhados, falta de dados).	Agregados com peso específico superior ao projetado; Material utilizado para confecção das fôrmas e escoramento com resistências inferior à admitida em projeto.	Falha no escoramento (escora fora de prumo, apoiada sobre base instável ou deformável, com pequena área de apoio, etc.); Lançamento inadequado do concreto; Confecção das fôrmas e escoramento em desacordo com o projeto; Vibração excessiva; Amarração ineficaz de cantos e detalhes construtivos.	
Retração por secagem	Falta de previsão de juntas de controle e dilatação; Falha na especificação da correta composição do concreto (elevada relação a/c, grande consumo de cimento e de água, menor teor de agregado resultando numa mistura mais rica, etc.); Grande superfícies dos elementos em contato com o ambiente; Detalhamento incorreto da armadura, utilizando barras de grandes diâmetros muito espaçadas.	Cimento com finura elevada; Cimentos que apresentam desenvolvimento rápido das resistências (tipo ARI); Agregados com pequeno módulo de deformação; Presença de argila no agregado.	Concretos com elevado abatimento (muito fluídos ou plásticos); Cobrimentos inadequados da armadura; Concretagens em tempo com baixa umidade relativa do ar e/ou temperaturas elevadas.	Baixa umidade relativa do ar.

Tabela 5. Parte 2 – Causas das fissuras dentro das etapas do processo de construção civil (MOLIN, 1988).

ETAPAS DO PROCESSO TIPOS DE MANIFESTAÇÕES	PLANEJAMENTO E PROJETO	MATERIAIS	EXECUÇÃO	USO
Movimentação térmica interna (calor de hidratação)	Falha na especificação da correta composição química do cimento (elevadas proporções de C_3A e C_3S); Previsão incorreta de juntas de dilatação; Falha na especificação da correta composição do concreto (maior consumo de cimento, aditivos aceleradores de cura,...); Preponderância do volume sobre a superfície exposta do elemento concretado.	Cimentos com finura elevada; Cimentos de alto calor de hidratação; Agregados de baixa difusibilidade térmica.	Concretagem com temperatura ambiente elevada; Cura inadequada; Condições de aeração do ambiente insuficientes; Temperatura inicial do concreto muito elevada.	
Movimentação térmica externa (condições ambientais)	Previsão incorreta de juntas de dilatação e armaduras para absorver as movimentações térmicas; Projeto inadequado em relação à cor das superfícies, rugosidade e emissância; Falha na especificação da correta composição do concreto (agregado com coeficiente de dilatação térmica muito inferior ao da pasta aglomerante,...); Ineficiente consideração da orientação da superfície de concreto em relação à incidência de raios solares.		Insolação precoce.	Utilização de ar condicionado.

Tabela 5. Parte 3 – Causas das fissuras dentro das etapas do processo de construção (MOLIN, 1988).

ETAPAS DO PROCESSO TIPOS DE DE CONSTRUÇÃO MANIFESTAÇÕES	PLANEJAMENTO E PROJETO	MATERIAIS	EXECUÇÃO	USO
Corrosão da armadura	Detalhes construtivos que favorecem o acúmulo de água; Detalhamento inapropriado da armadura, não permitindo uma concretagem e compactação bem realizada; Falha na composição do concreto (elevadas relações água/cimento, tipo de cimento empregado não compatível com a permeabilidade e resistência a agentes agressivos requerida, uso indiscriminado de aditivos aceleradores de pega e endurecimento,...); Cobrimentos mal especificados; Limitação da abertura de fissura incorreta; Incorreta avaliação das condições higrotérmicas e agentes agressivos do local da obra.	Agregados contendo substâncias agressivas (cloretos, sulfatos,...); Água de amassamento contaminada; Barras de aço excessivamente corroídas.	Falta de homogeneidade do concreto. Cobrimento não uniforme ou insuficiente; Falha na execução do concreto quanto à correta composição, lançamento, adensamento e cura.	Tratamentos de limpeza (com ácido muriático, por exemplo).

Tabela 5. Parte 4 – Causas das fissuras dentro das etapas do processo de construção (MOLIN, 1988).

ETAPAS DO PROCESSO TIPOS DE DE CONSTRUÇÃO MANIFESTAÇÕES	PLANEJAMENTO E PROJETO	MATERIAIS	EXECUÇÃO	USO
Reações com sulfatos	Falha na especificação da correta composição do concreto (elevada relação a/c, baixo consumo de cimento,...); Avaliação inadequada das condições de exposição do concreto aos sulfatos.	Cimentos com alto conteúdo de C_3A .	Cura inadequada; Adensamento insuficiente.	Absorção de águas residuais industriais não tratadas.
Reações álcali/agregados	Altas relações água/cimento (permeabilidade); Misturas muito ricas.	Cimento com álcalis em excesso; Agregados reativos.	Cura inadequada.	
Sobrecargas	Não atendimento às normas técnicas (NBR 6118 e NBR 6120/80) Projeto mal concebido; Avaliação incorreta das cargas. Erros de cálculo.		Má interpretação do projeto estrutural.	Carregamento excessivo; Mudança de uso do edifício (solicitações não previstas).

Tabela 5. Parte 5 – Causas das fissuras dentro das etapas do processo de construção (MOLIN, 1988).

ETAPAS DO PROCESSO TIPOS DE DE CONSTRUÇÃO MANIFESTAÇÕES	PLANEJAMENTO E PROJETO	MATERIAIS	EXECUÇÃO	USO
Detalhes construtivos	Desconhecimento do real funcionamento das estruturas ao projetá-las e detalhá-las; Falta de clareza nos projetos.	Emprego de aços de diferentes características mecânicas dentro de um mesmo elemento.	Falta de cuidado na montagem dos elementos; Desconhecimento do desenvolvimento das tensões e resistências no concreto; Erro na interpretação dos projetos.	
Fundações	Falta de investigação do subsolo (sondagens, amostras indeformadas,...); Erros de cálculo; Utilização de fundações de tipos diferentes na mesma edificação; Adoção de tipos inadequados de fundação.	Qualidade insatisfatória dos materiais.	Dificuldade de concretagem abaixo do nível d'água subterrâneo; Falha no sistema de esgotamento de água do terreno; Compactação não uniforme do terreno.	Sobrecargas provenientes de construção vizinha; Presença e desenvolvimento de árvores próximas às edificações; Escavações realizadas sem o necessário cuidado; Deterioração de sapatas, estacas, tubulões ou blocos de fundação sob a ação de solos ou águas agressivas; Efeito de vibrações; Sobrecargas provenientes de adições ao projeto inicial (coberturas, piscinas, etc.).

Tabela 5. Parte 6 – Causas das fissuras dentro das etapas do processo de construção (MOLIN, 1988).

3. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será apresentada e caracterizada a edificação estudada, bem como, os ambientes, macro e micro, nos quais se insere.

Optou-se por determinada edificação, por esta apresentar características que possibilitam a análise de estrutura submetida a condições desfavoráveis e com anomalias que denunciam sua afetação por tais condições, a fim de melhor referenciar os objetivos do presente trabalho.

Por tratar-se de construção utilizada para fins comerciais, buscou-se preservar o nome da empresa que utiliza suas instalações e algumas informações relacionadas ao uso. Entretanto, destaca-se não ter havido alteração de dados da construção, como especificações de materiais, métodos construtivos e localização.

3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE AMBIENTES (MACRO E MICRO)

A edificação a ser estudada localiza-se no município catarinense de São Francisco do Sul. São Francisco do Sul, que geograficamente é uma ilha, é a terceira cidade mais antiga do Brasil e tem seu descobrimento por colonizadores europeus datado de 1504 (WIKIPEDIA, 2020).

O Produto Interno Bruto (PIB) de São Francisco do Sul é o oitavo maior de Santa Catarina, sendo o maior PIB per capita do estado. A economia da ilha gira em torno de seu porto, com algum espaço para atividades ligadas ao turismo e indústrias. O Porto de São Francisco do Sul transporta em maior volume, dentre outros materiais, madeira, bobinas metálicas, em especial, aço, e produtos para distribuição a granel, como grãos e produtos químicos.

A Figura 23 apresenta o mapa de São Francisco do Sul, para visualização de sua posição geográfica.

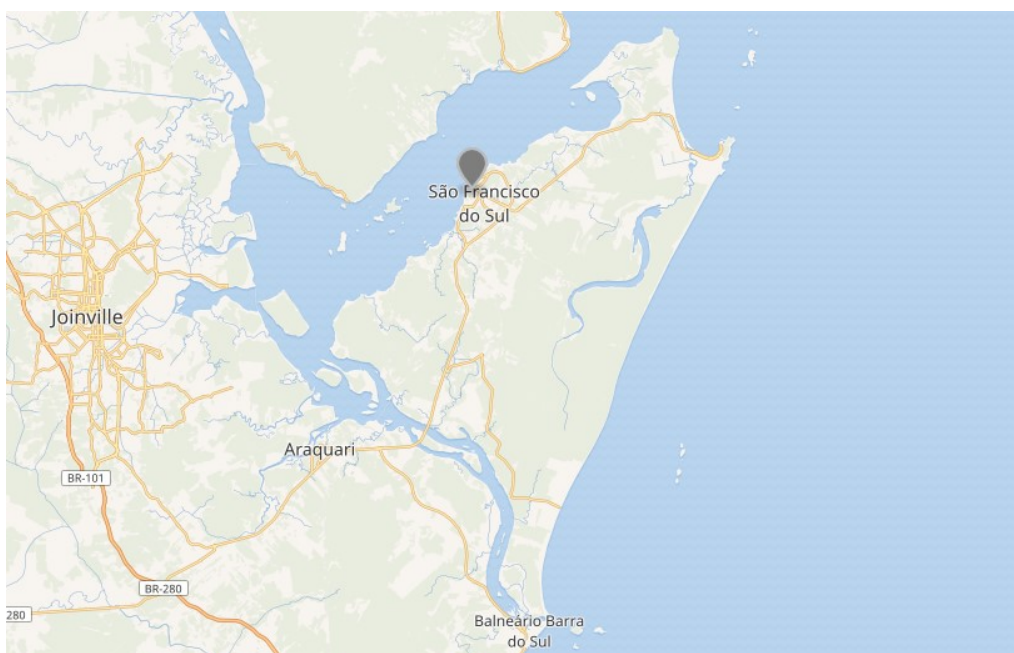


Figura 23. Mapa do município catarinense de São Francisco do Sul (WIKIPEDIA, 2020).

A localização da construção estudada, mais precisamente, fica próxima a uma das rodovias que cortam o município, Rodovia Duque de Caxias, em região de mata e distante, cerca de, três quilômetros da costa, conforme vista superior, via satélite, vide Figura 24.



Figura 24. Vista superior, via satélite, da localização da edificação estudada (GOOGLE EARTH, 2019).

Como será detalhado adiante, a edificação em questão acolhe um terminal logístico multimodal, composto por armazéns destinados à estocagem de produtos químicos a granel, utilizados na fabricação de ração animal e fertilizantes.

Baseando-se na NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), os ambientes, macro e micro, em que está inserido o terminal logístico multimodal que serve de estudo de caso, sendo:

- a) Macroambiente ou macroclima: Classe de agressividade ambiental III, caracterizada por tratar-se de ambiente marinho, em função da presença de névoa marinha, presença cuja agressividade é forte e o risco de deterioração da estrutura é grande;
- b) Microambiente ou microclima: Classe de agressividade ambiental IV, caracterizada pela atividade comercial e industrial a que se destina com presença de ambientes quimicamente agressivos, devido aos materiais armazenados, cuja agressividade ambiental é muito forte e, conseqüentemente, o risco de deterioração da estrutura elevado.

Tal classificação tem significativa importância, pois, em sua função, deverão ser determinados critérios de projeto e execução que visam à durabilidade da estrutura da construção, que depende altamente das características do concreto e da espessura e qualidade do concreto de cobrimento das armaduras.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

A construção selecionada para embasar este trabalho, como informado, é utilizada para a operação de um terminal logístico multimodal. Esta atividade comercial está fortemente ligada à principal fonte de renda do município. O termo multimodal é utilizado em função da forma de abastecimento e escoamento dos produtos armazenados no terminal. Estes produtos, em sua grande maioria, são importados através de transporte marítimo, posteriormente transferidos do porto ao terminal por caminhões que transitam em rodovias locais e, por último, distribuídos nacionalmente, também, por meio de transporte rodoviário. Existe projeto para a construção de linha ferroviária que

cortaria o terreno no qual se localiza o terminal, integrando mais esta solução logística, em futuro breve, ao sistema de abastecimento do terminal, a partir do porto.

A área construída dos boxes varia de 625,12 m² a 1.800,00 m². Somando-se a área de todos os boxes, tem-se área construída total de 18.953,37 m².

Basicamente, a construção é composta por três armazéns denominados AZ01, AZ02 e AZ03, como também serão referenciados no decorrer do trabalho, e um pátio comum a estes. Cada um dos armazéns, por sua vez, é composto por boxes, totalizando treze boxes, estando os boxes 01 a 04 contidos no AZ01, os boxes 05 a 09 no AZ02 e, por fim, os boxes 10 a 13 no AZ03, conforme implantação detalhada na Figura 25.

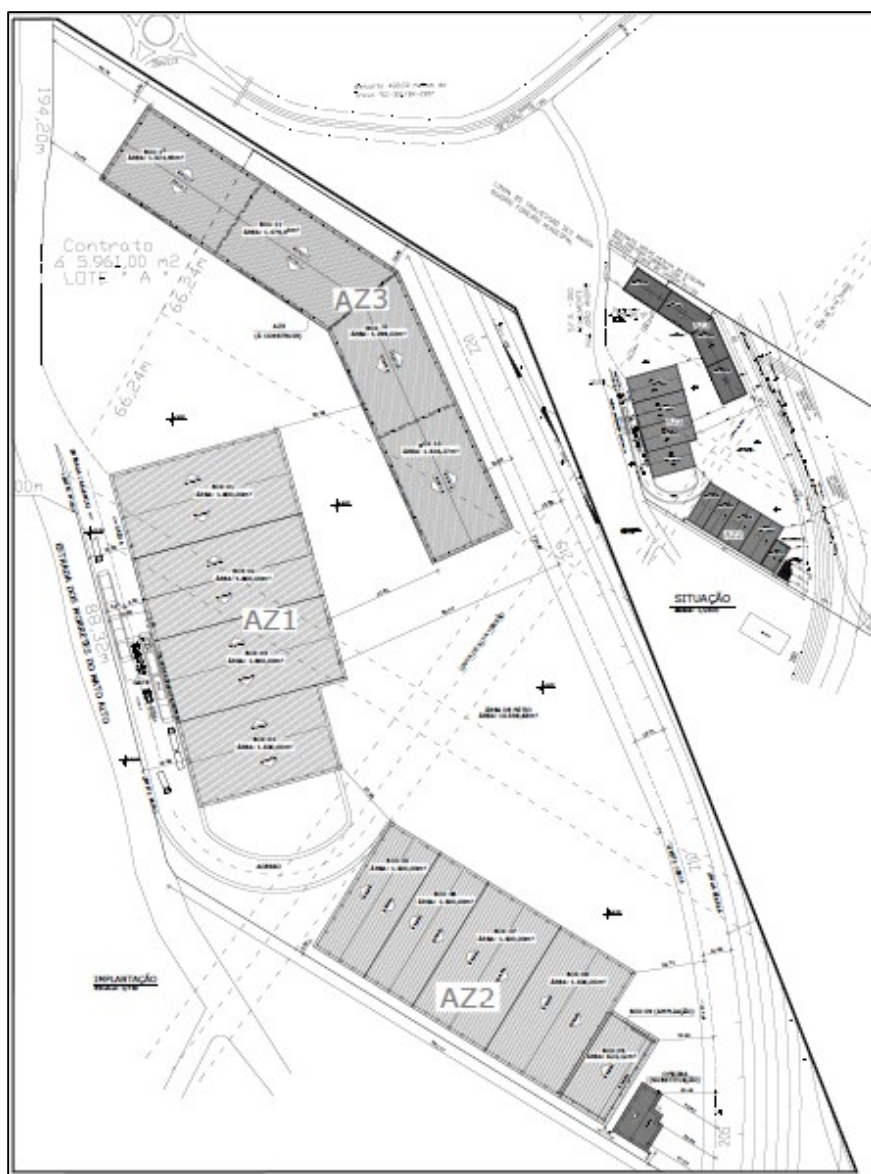


Figura 25. Implantação da construção estudada com Armazéns AZ01, AZ02 e AZ03 (AUTOR, 2019).

Não há informações precisas quanto à idade das construções, entretanto, sua aparência é de uma construção recente e relatos verbais informam que suas obras tiveram início em 2012 e conclusão em 2014, ou seja, a idade estimada das construções é, aproximadamente, seis anos. A execução das construções ocorreu para a finalidade à qual efetivamente se destina, ou seja, à operação de terminal logístico. Para composição dos armazéns, foram adotados os seguintes sistemas construtivos principais:

- a) Fundações profundas em estacas de concreto e blocos de transição em concreto armado;
- b) Contenções em cortinas de concreto armado;
- c) Estrutura em pilares, painéis verticais e vigas pré moldados em concreto armado;
- d) Vedação e estrutura em alvenaria de blocos de concreto estruturada por pilaretes e cintas de concreto armado;
- e) Pavimento em concreto armado;
- f) Cobertura composta por estrutura metálica e telhas metálicas ou em fibrocimento nos armazéns;
- g) Portões de acesso em aço.

Visando melhor entendimento acerca destes sistemas construtivos, serão apresentados detalhes esquemáticos de cada um destes, exceção feita aos portões de acesso em aço.

Os elementos básicos do sistema de fundação são: estacas (pré moldadas ou moldadas in loco), blocos de fundação e cofre/cálice, vide Figura 26.

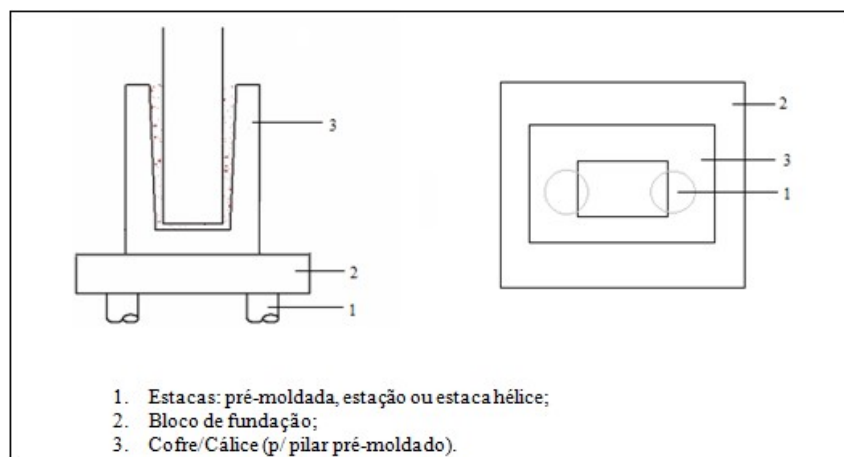


Figura 26. Elementos que compõem o sistema de fundações (AUTOR, 2019).

Os elementos básicos do sistema de estrutura em concreto pré moldados são: pilares e lajes (painéis verticais) π , “pi”, vide Figura 27.

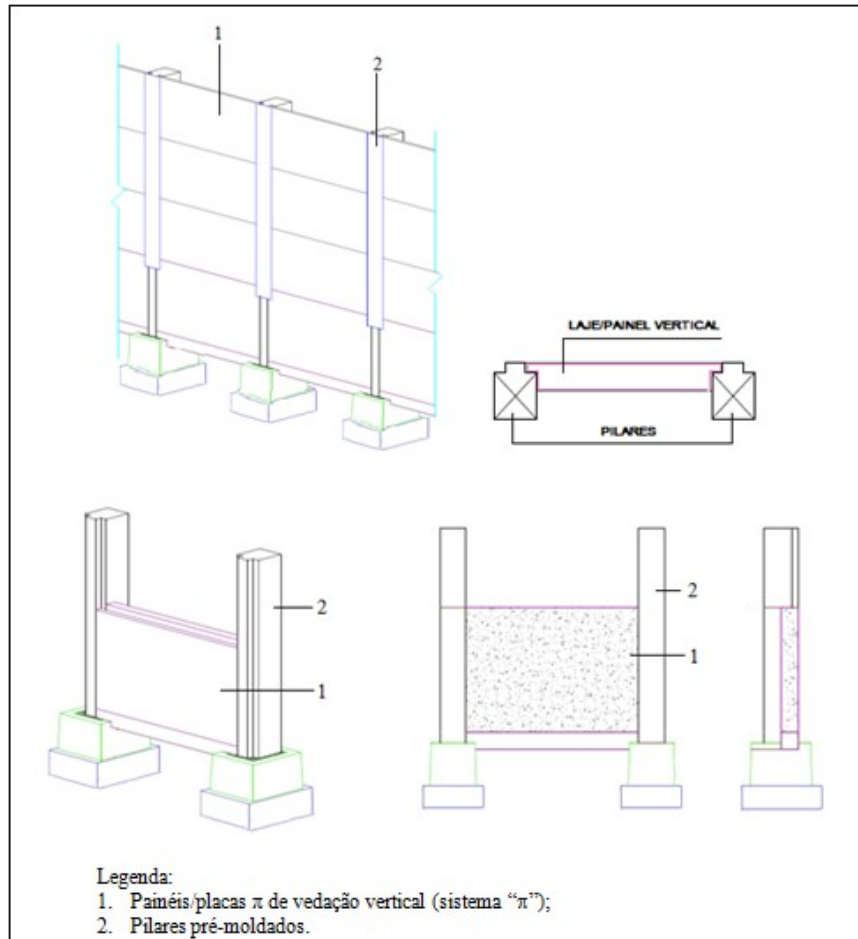


Figura 27. Elementos que compõem o sistema estrutural (e vedações) (AUTOR, 2019).

Os elementos básicos do sistema de vedação vertical e estrutural são: vedação vertical em concreto pré-moldado ou moldado in loco, vedação vertical em alvenaria estruturada (blocos de concreto), pilaretes verticais de estruturação e cintas horizontais de estruturação, vide Figura 28.

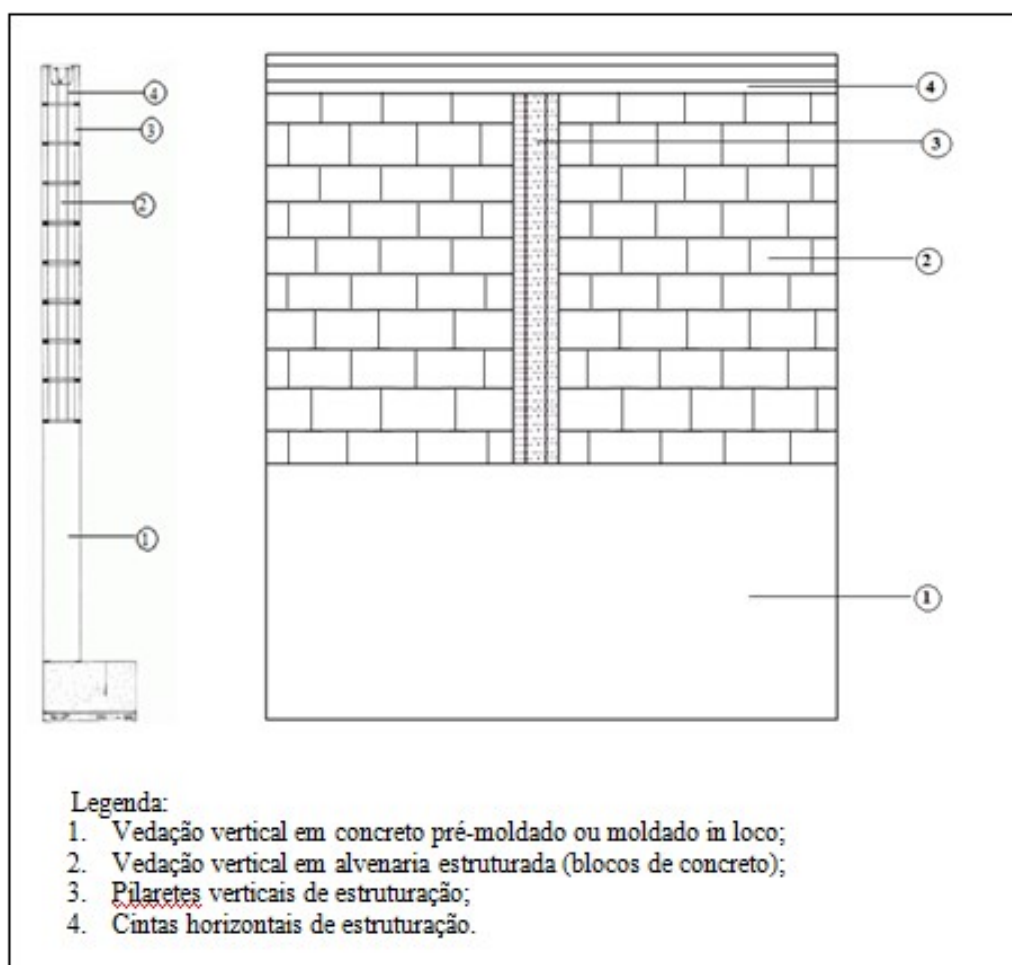


Figura 28. Elementos que compõem o sistema de vedação e estrutural (AUTOR, 2019).

Os elementos básicos do sistema do pavimento em concreto armado são: camada de concreto, junta de dilatação, camada de brita/bica corrida compactada, armadura inferior em tela soldada, armadura superior em tela soldada e barra de transferência, vide Figura 29.

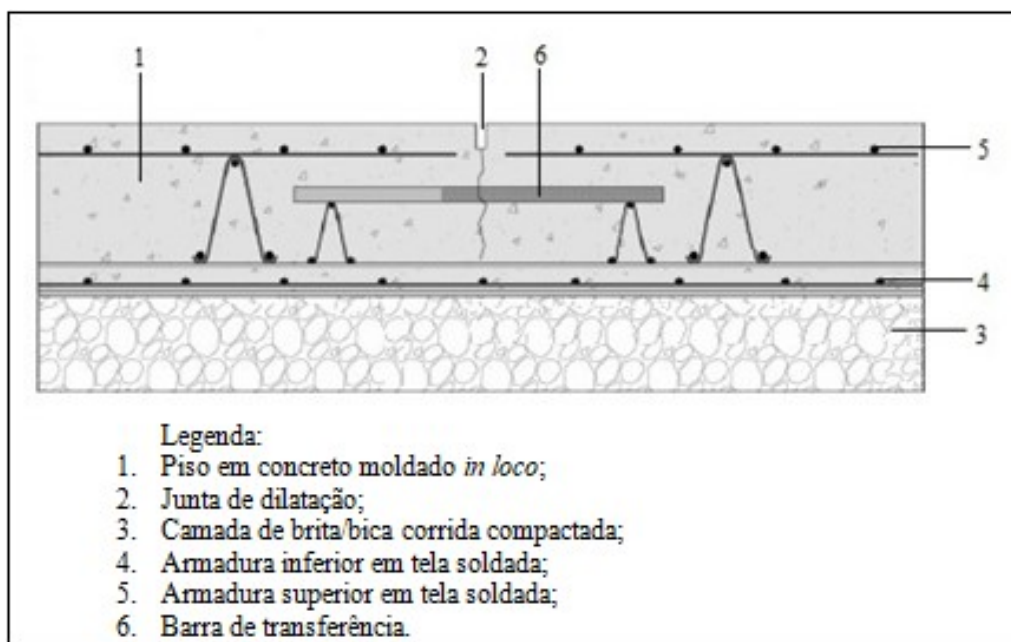


Figura 29. Elementos que compõem o sistema de pavimentação (AUTOR, 2019).

Os elementos básicos do sistema de cobertura em estrutura metálica são: estrutura treliçada (composta por banzo inferior, banzo superior, diagonais e montantes), terças, tirantes, telhas e sistemas de fixação (parafusos, ganchos e demais), vide Figura 30.

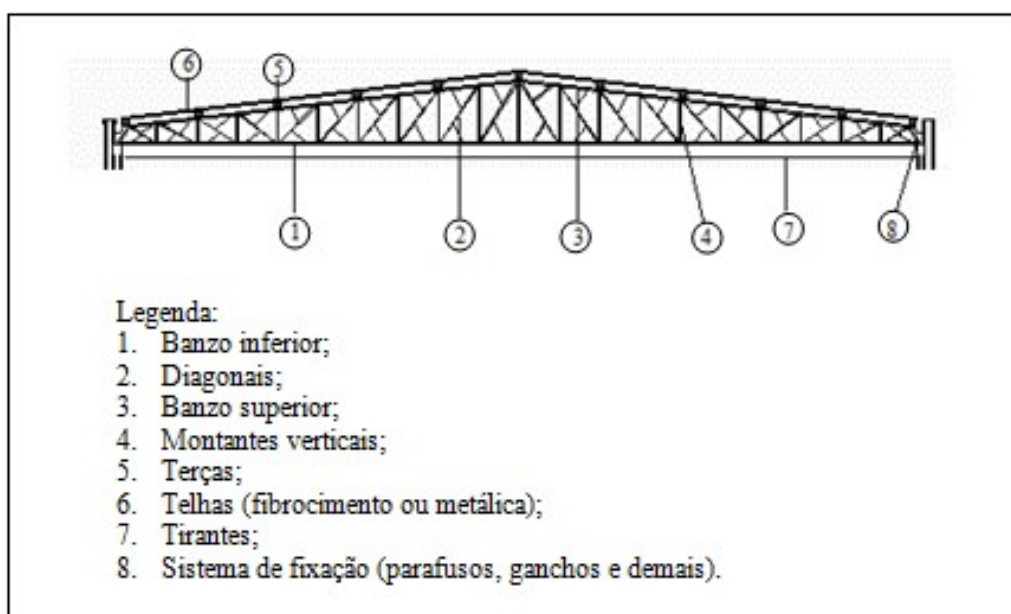


Figura 30. Elementos que compõem o sistema de cobertura (AUTOR, 2019).

As imagens a seguir do terminal logístico multimodal permitem a visualização da aplicação em sua construção dos sistemas construtivos descritos anteriormente.

A Figura 31 apresenta a fachada posterior do Armazém 01, composta por elementos pré moldados em concreto armado, utilizados como sistema estrutural e de vedação, bem como, o sistema de cobertura em estrutura metálica.



Figura 31. Vista do acesso principal e fachada posterior do AZ01 da construção estudada (AUTOR, 2019).

A fachada frontal do Armazém 01 também é composta por elementos pré moldados em concreto armado, utilizados como sistema estrutural e de vedação, vide Figura 32. Nesta figura também pode-se notar a agressividade do ambiente no qual está inserida a edificação em estudo pode ser verificada através do processo de corrosão avançado dos elementos metálicos que compõem o sistema de cobertura e portões de acesso aos boxes do Armazém 01.



Figura 32. Vista frontal do AZ01, compostos pelos Boxes 01 a 04 (AUTOR, 2019).

A Figura 33 apresenta a fachada frontal do Armazém 02, composta por elementos pré moldados em concreto armado, utilizados como sistema estrutural e de vedação, bem como, o sistema de cobertura em estrutura metálica e os portões de acesso também metálicos. Na Figura 02 ainda é possível verificar parte do pátio externo de circulação de caminhões e equipamentos.



Figura 33. Vista frontal do AZ02, compostos pelos Boxes 05 a 09 (AUTOR, 2019).

Na fachada posterior do Armazém 02, verifica-se, além dos elementos pré moldados, trecho inferior dos sistemas de vedação e estrutural em parede ou cortina de concreto moldado in loco, conforme Figura 34.



Figura 34. Vista posterior do AZ02, compostos pelos Boxes 05 a 09 (AUTOR, 2019).

Na fachada frontal do Armazém 03, exibida na Figura 35, similarmente aos AZs 01 e 02, identificam-se os elementos pré moldados estruturais e de vedação e as estruturas metálicas utilizadas para sistema de cobertura e portões de acesso aos boxes que o compõem.



Figura 35. Vista frontal do AZ03, compostos pelos Boxes 10 a 13 (AUTOR, 2019).

A Figura 36 apresenta a posterior do Armazém 03, composta por elementos pré moldado e trecho inferior em concreto moldado in loco para sistemas de vedação e estrutural.



Figura 36. Vista posterior do AZ03, compostos pelos Boxes 10 a 13 (AUTOR, 2019).

3.3. PLANO DE INSPEÇÃO: MODELO E APLICAÇÃO

Serão apresentadas as atividades planejadas para inspeção das edificações apresentadas e caracterizadas anteriormente para constatação da ocorrência de comportamentos anômalos em seus sistemas construtivos, a fim de identificar suas causas. Também serão apresentados os resultados obtidos e informações a partir da implementação destas ações.

Para efeito de estudo de caso, adotou-se o NÍVEL 2, de acordo com Norma de Inspeção Predial Nacional elaborada pelo Instituto Brasileiro de Perícias e Avaliações (IBAPE), para inspeção do terminal logístico. O plano de inspeção elaborado determinou, então, o desenvolvimento das seguintes atividades:

- a) Coleta de dados e histórico: obtenção de informações a partir de diálogos e entrevistas dos usuários das construções, bem como, recolhimento de registros relativos à execução, como projetos, diários e relatórios de obra e controles tecnológicos, e ao uso das edificações, como registros e ou planos de manutenção, relação de produtos armazenados, etc.;
- b) Inspeção visual dos elementos aparentes dos sistemas construtivos;
- c) Execução de janelas de inspeção para inspeção de elementos ocultos;
- d) Cadastramento estrutural: verificação geométrica dos elementos estruturais para elaboração de projetos “*as built*” (como construído);
- e) Mapeamento das anomalias constatadas: registro das anomalias através de detalhamentos incrementados aos projetos realizados para cadastramento estrutural;
- f) Ensaios tecnológicos: elaboração de ensaios que visam à constatação de características dos elementos estruturais.

O fluxo das atividades que compõem o plano de inspeção elaborado pode ser verificado na Figura 37, a seguir.

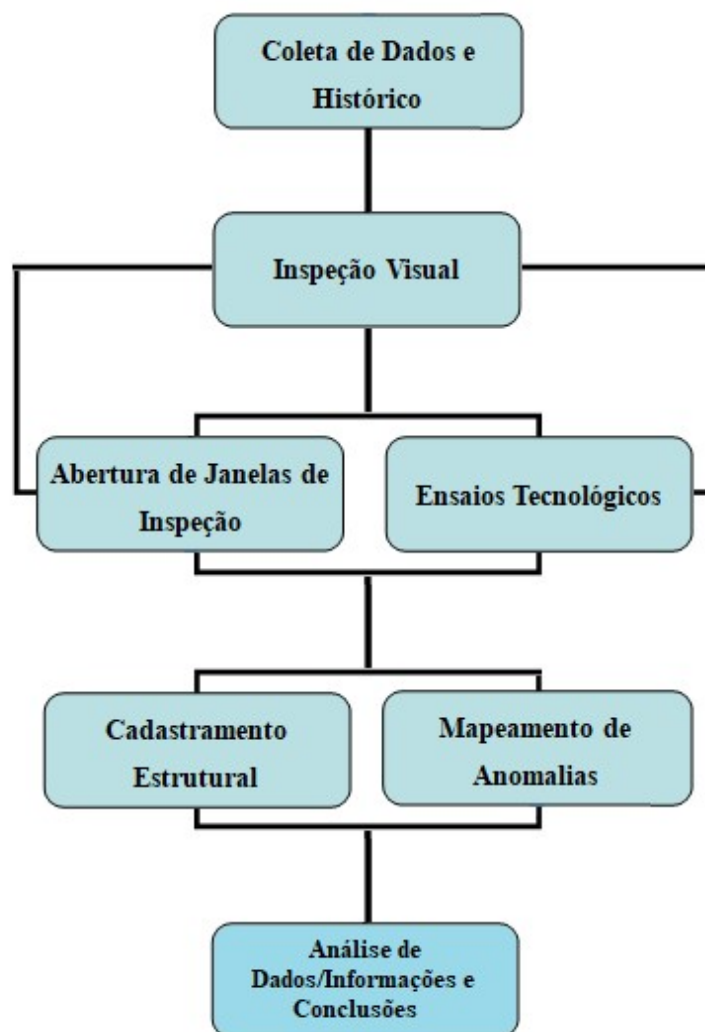


Figura 37. Fluxograma de atividades que compõem o plano de inspeção (AUTOR, 2020).

3.4. COLETA DE DADOS E HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO

Apesar de atuarem na operação e administração do terminal logístico usuários que participaram de parte das obras de execução do mesmo, as informações disponíveis referentes a esta são escassas e rasas.

Apenas alguns projetos e detalhamentos estavam disponíveis, sendo, parte destes, divergentes da realidade das construções. Por exemplo, certos projetos dos elementos pré moldados em concreto armado divergem quanto suas dimensões reais executadas.

Não há qualquer registro quanto ao desenvolvimento das obras, diários de obra e documentos relativos ao controle de sua qualidade, como fichas de verificações de serviços ou

materiais e ensaios técnicos. Nem mesmo os projetos utilizados para execução das obras foram arquivados e mantidos.

Referentes ao AZ01, foram fornecidos os seguintes projetos e detalhamentos:

- a) Cortes AA e BB – Sem indicações de folha, data e revisão;
- b) Planta – Sem indicações de folha, data e revisão;
- c) Planta de Cobertura – Sem indicações de folha, data e revisão.

Os detalhamentos e projetos do AZ02 disponibilizados são:

- a) Detalhes de Armaduras – Pré Moldados – Sapatas – Folha 1/1 – Janeiro/2013 – Revisão não informada;
- b) Detalhes de Armaduras – Pré Moldados – Viga Baldrame – Folha 1/1 – Janeiro/2012 – Revisão não informada;
- c) Detalhes de Armaduras – Pré Moldados – Lajes Verticais – Folha 1/1 – Janeiro/2013 – Revisão não informada;
- d) Detalhes de Armaduras – Pré Moldados – Pilares – Folha 1/1 – Janeiro/2013 – Revisão não informada;
- e) Detalhes de Armaduras – Pré Moldados – Sistema (Baldrames, Lajes e Pilares) – Folha 1/1 – Janeiro/2013 – Revisão não informada;
- f) Locação de Estacas – Outubro/2012, sem indicações de folha e revisão;
- g) Paginações de Lajes Verticais – Sem indicações de folha, data e revisão;
- h) Cortes AA e BB – Sem indicações de folha, data e revisão;
- i) Planta – Sem indicações de folha, data e revisão;
- j) Planta de Cobertura – Sem indicações de folha, data e revisão;
- k) Detalhamentos simplificados de treliças de metálicas de cobertura – Sem indicações de folha, data e revisão.

Apenas um projeto relativo ao AZ03 foi disponibilizado:

- a) Cortes AA e B. B / Planta – Sem indicações de folha, data e revisão.

Em contrapartida, importantes dados relativos às operações logísticas realizadas no terminal foram obtidos através de informações repassadas por colaboradores e observações realizadas em campo.

Constatou-se que o processo de abastecimento dos boxes dos armazéns é realizado por caminhões que basculam os produtos transportados a granel junto ao portão de acesso dos boxes. Este material é, então, distribuído e amontoado por equipamentos dotados de pás carregadeiras, alguns destes com braços prolongadores, apelidados de “girafa”, para que os montes possam ser executados de modo a atingir a altura desejada, alguns chegando a dez metros de altura, como pode ser verificado na Figura 38.



Figura 38. Operação de abastecimento do Box 02, do AZ01 (AUTOR, 2019).

O processo de esvaziamento dos boxes se dá por procedimento semelhante, porém, neste os caminhões destinados ao transporte não são basculantes e seu carregamento é realizado através de embalagens de grande capacidade conhecidas por “*bag*”, saco, em inglês, vide Figura 39.



Figura 39. Operação de desabastecimento do Box 07, do AZ02 (AUTOR, 2019).

Os *bags* são cheios dos produtos a granel, depositados em uma máquina ensacadeira pelos mesmos equipamentos com pá carregadeira utilizados na operação de abastecimento dos boxes, vide Figuras 40 e 41.



Figura 40. Detalhe de máquina ensacadeira (AUTOR, 2019).



Figura 41. Detalhe de *bags* aguardando retirada para distribuição (AUTOR, 2019).

Entre as operações de desabastecimento e novo abastecimento de um boxe deve-se realizar limpeza do piso e paredes em nível inferior através de hidrojateamento de baixa pressão. Também é usual a instalação de lonas plásticas sobrepondo-se às paredes verticais dos boxes e produtos. Ambas as operações visam evitar a contaminação de um novo produto a ser estocado, pelo armazenado anteriormente, conforme apresentam as Figuras 42 e 43.



Figura 42. Detalhe de lonas sobre parede e produto estocado no Box 03, do AZ01(AUTOR, 2019).



Figura 43. Detalhe de lonas sobre parede e produto estocado no Box 03, do AZ01 (AUTOR, 2019).

Os boxes não são destinados ao armazenamento de um determinado produto, dependendo exclusivamente de sua disponibilidade, a qual material será destinado seu próximo uso, ou seja, todos os boxes podem ter recebido ou, provavelmente, receberão a gama total de produtos armazenados no terminal.

Dentre os produtos estocados no terminal, conforme informado no capítulo anterior referente à caracterização do microclima da construção em estudo, grande parte ou praticamente sua totalidade, refere-se a produtos destinados ao uso por indústria química, em especial, para a fabricação de fertilizantes e ração animal, como sulfato, fosfato e nitrato, por exemplo.

A Tabela 6, a seguir, apresenta a relação de produtos estocados nos boxes dos armazéns AZ01, AZ02 e AZ03.

Número de Identificação	Nome do Produto	Empresa Fornecedora
02	Cloreto de Potássio (KCl)	Yara Brasil Fertilizantes S/A
14	Enxofre (S)	Araucária Nitrogenados S/A
09	Fosfócio (Fosfato Bicalcico Hidrogenofosfato de cálcio)	Vale Fertilizantes S/A
15	Fosfato Diamônio	Proenol - Indústria Biotecnológica, LDA
12	Fosfato Monoamônico MAP	Vale Fertilizantes S/A
20	Nitrato de Amônio Cálcico 27N	EuroChem Agro GmbH
27	Sulfato de Amônio	Vale Fertilizantes S/A
23	Superfosfato Simples (SSP)	Vale Fertilizantes S/A
23	Superfosfato Simples Amoniado	Vale Fertilizantes S/A
10	Superfosfato Simples Granulado	Anglo American Fosfatos do Brasil Ltda.
11	Superfosfato Triplo (TSP)	Vale Fertilizantes S/A
08	Superfosfato Triplo Granulado (TSP)	Copebrás Ltda.

Tabela 6. Relação de produtos químicos estocados no terminal logístico (AUTOR, 2019).

3.5. INSPEÇÃO FÍSICA

A inspeção física dos armazéns AZ01 a AZ03 foi realizada através de inspeção visual, auxiliadas por equipamentos simples de medição, como paquímetro e trena métrica, dos elementos aparentes dos sistemas construtivos, ou seja, elementos pré moldados em concreto, piso em concreto armado, sistemas de cobertura composta por elementos metálicos, e portões de acesso aos armazéns, cujos comportamentos anômalos foram registrados fotograficamente e através de croquis.

A partir da vistoria e inspeção física das construções dos armazéns AZ01, AZ02 e AZ03, constatou-se a ocorrência de diversas anomalias, relacionadas a seguir.

- a) Corrosão de armaduras de elementos pré moldados;
- b) Destacamento da camada de cobrimento em elementos pré moldados;
- c) Fissuras em elementos pré moldados e moldados *in loco*;
- d) Esborcinamento de borda dos elementos pré moldados em região de juntas construtivas e de dilatação;
- e) Deformações permanentes em painéis verticais pré moldados;
- f) Ruptura de bordas em elementos pré moldados;
- g) Umidade e infiltração em contenção de concreto armado moldada *in loco*;
- h) Segregação do concreto formando ninhos de pedra em juntas de concretagem de painéis de concreto moldado *in loco*;
- i) Esmagamento de juntas entre elementos pré moldados;

- j) Ausência de vedação em juntas de dilatação do piso em concreto armado moldado *in loco*;
- k) Desagregação de camada de cobrimento e exposição de armaduras e agregados em trechos do piso em concreto armado moldado *in loco*;
- l) Corrosão de elementos que compõem o sistema de cobertura metálico, como perfis, tirantes, parafusos, ganchos e telhas;
- m) Corrosão de elementos que compõem os portões metálicos de acesso, como rolamentos, perfis e telhas de fechamento.

Como já informado anteriormente, este trabalho visa à identificação e causa das fissuras em elementos de concreto armado. Portanto, apenas as anomalias relativas a fissuras serão apresentadas com maior grau de detalhamento no decorrer do trabalho, não havendo aprofundamento quanto às demais anomalias acima relacionadas.

3.6. JANELAS DE INSPEÇÃO

Para auxílio à melhor investigação das anomalias nos elementos pré moldados de concreto armado, criaram-se algumas janelas de inspeção nestes com profundidade equivalente à da cama de cobrimento da armadura, que possibilitaram averiguar o diâmetro nominal das armaduras longitudinais, transversais e estribos, a espessura da camada de cobrimento destas, a profundidade de fissuras, se existentes, e a resistência aparente superficial do concreto, vide Tabela 7.

PILARES EM CONCRETO PRÉ MOLDADO						
Inspeção Nº	Local	♠ Longitudinal (mm)	♠ Estribo (mm)	Cobrimento (mm)	Profundidade da Fissura (mm)	Resistência Superficial
PIL1	AZ-01 - Face Posterior - Pilar 22	15,90	3,93	59,90	Superficial	Ok
PIL2	AZ-01 - Face Posterior - Pilar 3	16,00	3,97	63,40	Superficial	Ok
PIL3	AZ-01 - Face Posterior - Pilar 2	16,00 / 12,50	4,10	83,80	Superficial	Ok
PIL4	AZ-01 - Face Posterior - Pilar 17	12,50	4,30	52,00	Superficial	Ok
PIL5	AZ-01 - Face Lat. Esquerda - Pilar 2	16,00	3,90	29,30	Superficial	Ok
PAREDES EM CONCRETO PRÉ MOLDADO						
Inspeção Nº	Local	♠ Longitudinal (mm) Inf/Int/Sup	♠ Estribo (mm)	Cobrimento (mm) Inf/Sup/Transv	Profundidade da Fissura (mm)	Resistência Superficial
PAR1	AZ-01 - Face Posterior - Vão 22	-	-	-	93,40	Ok
PAR2	AZ-01 - Face Posterior - Vão 20	-	-	-	42,02	Ok
PAR3	AZ-01 - Face Posterior - Vão 17	16,00/11,50/16,00	4,00	50,59/19,60/11,90	Superficial	Ok
PAR4	AZ-01 - Face Posterior - Vão 11	12,50/16/12,50	4,40	31,80/44,60/14,70	Superficial	Ok
PAR5	AZ-01 - Face Posterior - Vão 11	-	-	-	67,17	Ok
PAR6	AZ-01 - Face Posterior - Vão 7	12,03/12,05/16,42	4,20	17,68/46,58/13,30	Superficial	Ok
PAR7	AZ-01 - Face Posterior - Vão 6	12,00/12,02/12,02	4,02	23,71/46,14/17,10	Superficial	Ok
PAR8	AZ-01 - Face Posterior - Vão 6	16,32	-	80,75	4,20	Ok
PAR9	AZ-01 - Face Posterior - Vão 6	-	-	-	20,99	Ok
PAR10	AZ-01 - Face Posterior - Vão 10	16,10	-	44,90	17,16	Ok

Tabela 7. Janelas de inspeção em elementos pré moldados e dados referentes (AUTOR, 2019).

A Figura 44 apresenta abertura de janela de inspeção em pilar, no qual identificou-se a ocorrência de fissuras mapeadas.



Figura 44. Detalhe de janela de inspeção em pilar pré moldado do AZ01 (AUTOR, 2019).

A Figura 45 apresenta abertura de janela de inspeção em painel pré moldado em que constatou-se a ocorrência de fissuras sobrepostas à armadura e destacamento da camada de cobrimento.



Figura 45. Detalhe de janela de inspeção em painel pré moldado do AZ01 (AUTOR, 2019).

3.7. CADASTRAMENTO ESTRUTURAL E MAPEAMENTO DE ANOMALIAS

Em virtude da ausência de projetos e detalhamentos dos armazéns AZ01, AZ02 e AZ03, necessários à análise e determinação das possíveis causas das anomalias identificadas, determinou-

se a realização de serviço de cadastramento técnico de estruturas de concreto e metálicas, que consiste no levantamento de dimensões, componentes e locação de elementos que compõem alguns dos sistemas construtivos destes armazéns, para posterior elaboração de projeto “*as built*”, ou seja, conforme construído.

O serviço de cadastramento técnico contemplou o desenvolvimento das seguintes etapas, a saber:

- a) Análise dos projetos disponibilizados;
- b) Análise de informações obtidas através de inspeção física, incluindo as conseguidas através das janelas de inspeção;
- c) Cadastramento técnico da estrutura, que envolve as tarefas de medição técnica das dimensões dos elementos estruturais em concreto armado e metálicos do sistema de cobertura e redesenho em planta e elevação destes elementos.

Para melhor visualização e entendimento das anomalias constatadas nas edificações, em virtude da quantidade e diversidade destes, considerou-se adequado, além de seu registro fotográfico, mapeamento e indicação em projeto.

A fim de simplificar e reduzir a quantidade de documentos provenientes dos trabalhos de cadastramento estrutural e mapeamento de anomalias, optou-se pela elaboração de projetos para cada um dos treze boxes que compõem os AZ01, AZ02 e AZ03, de forma a concentrar estas duas atividades, cadastramento estrutural e mapeamento de anomalias.

Para melhor visualização do mapeamento das anomalias elaborado, serão apresentados trechos dos projetos elaborados através dos Quadros 1 a 11, nos quais os tipos de fissuras constatadas e mapeadas são identificadas através de legenda numérica convencionada, conforme Tabela 8.

LEGENDA NUMÉRICA – TIPOLOGIAS DE FISSURAS MAPEADAS	
1	Fissuras sobrepostas à armadura dos elementos de concreto
2	Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de destacamento de camada de cobrimento
3	Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de manchas oriundas do processo de corrosão da armadura
4	Fissuras com direções bem definidas, sem sobreposição às armaduras
5	Fissuras sem direções específicas, usualmente denominadas como mapeadas, em rede ou pele de crocodilo

Tabela 8. Legenda numérica convencionada para apresentação de fissuras identificadas na edificação estudada e mapeada através de respectivos croquis ou fotos (AUTOR, 2019).

A Figura 46, apresenta tipologia de fissura sobreposta à armadura dos elementos de concreto, identificada em legenda convencionada pelo número “1” (um).



Figura 46. Tipologia de fissuras identificadas pelo número “1” (um) em legenda convencionada (AUTOR, 2019).

A Figura 47 apresenta tipologia de fissura sobreposta à armadura dos elementos de concreto, acompanhada de destacamento de espessura de cobrimento, identificada em legenda convencionada pelo número “2” (dois).



Figura 47. Tipologia de fissuras identificadas pelo número “2” (dois) em legenda convencionada (AUTOR, 2019).

A Figura 48 apresenta tipologia de fissura sobreposta à armadura dos elementos de concreto, acompanhadas de manchas oriundas do processo de corrosão da armadura, identificada em legenda convencionada pelo número “3” (três).



Figura 48. Tipologia de fissuras identificadas pelo número “3” (três) em legenda convencionada (AUTOR, 2019).

A Figura 49, apresenta tipologia de fissura com direção bem definida, sem sobreposição à armadura dos elementos de concreto, identificada em legenda convencionada pelo número “4” (quatro).



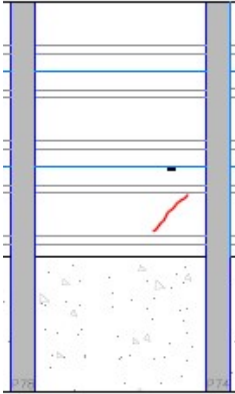
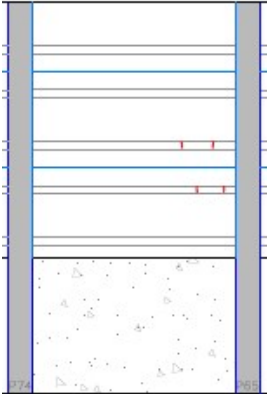
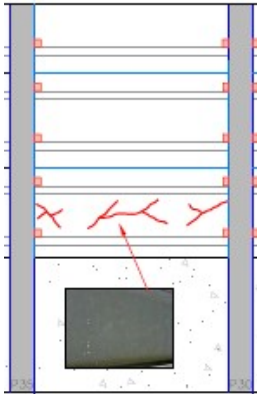
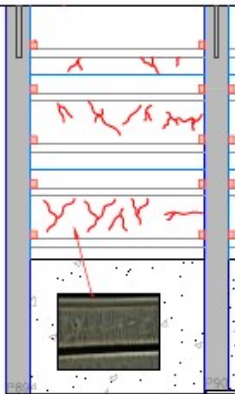
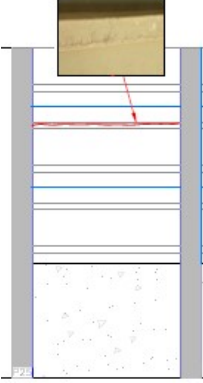
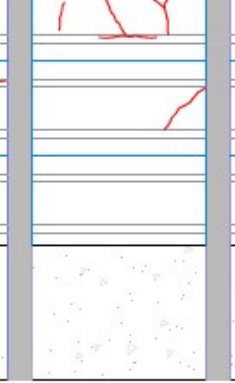
Figura 49. Tipologia de fissuras identificadas pelo número “4” (quatro) em legenda convencionada (AUTOR, 2019).

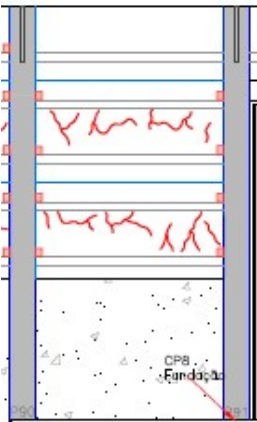
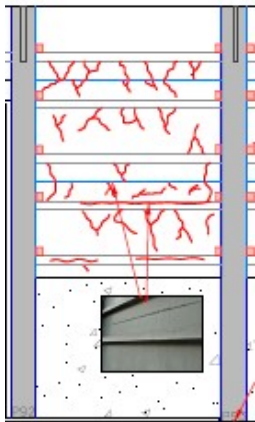
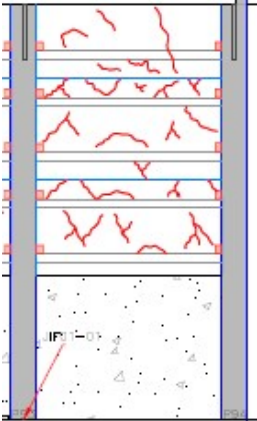
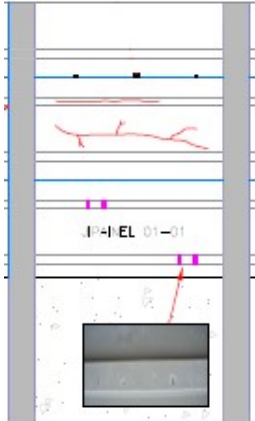
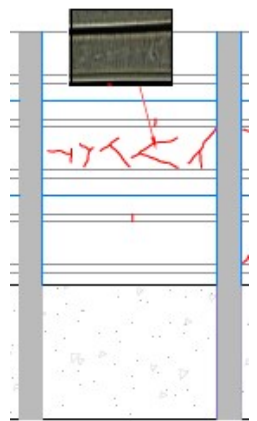
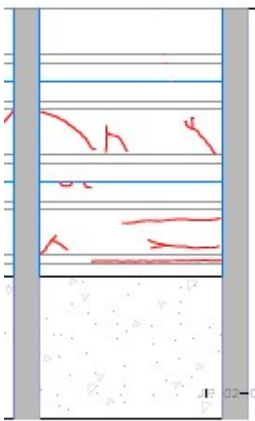
A Figura 50 apresenta tipologia de fissura sem direções específicas (mapeadas, pele de crocodilo ou em rede), identificada em legenda convencionada pelo número “5” (cinco).



Figura 50. Tipologia de fissuras identificadas pelo número “5” (cinco) em legenda convencionada (AUTOR, 2019).

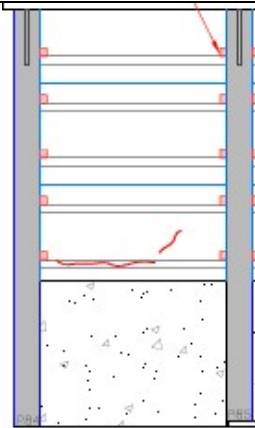
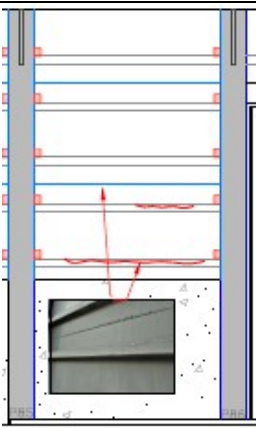
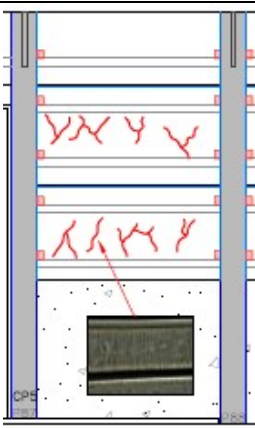
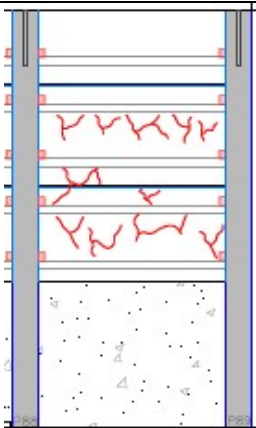
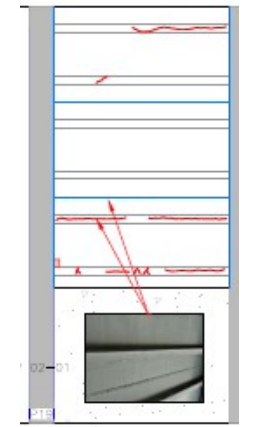
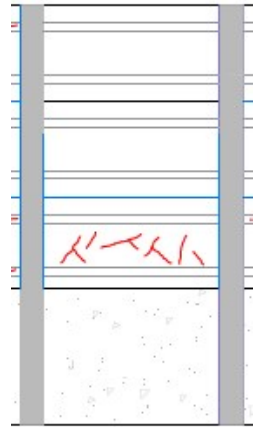
O Quadro 1 apresenta as fissuras identificadas e mapeadas nos elementos em concreto armado do Boz 01, do Amrazém AZ01.

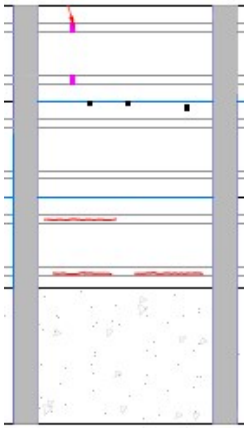
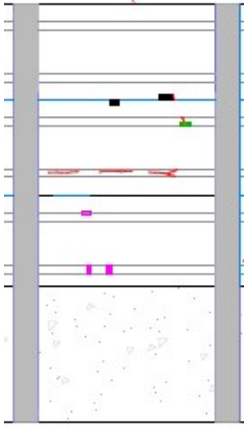
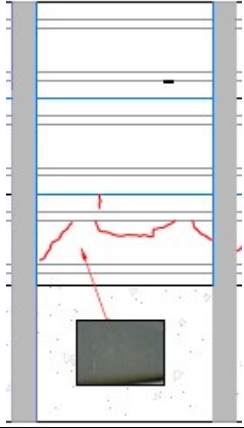
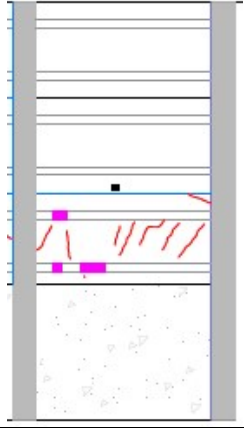
FISSURAS IDENTIFICADAS NO BOX 01 - ARMAZÉM 01			
Elemento – Painel Pré Moldado 78-74		Elemento – Painel Pré Moldado 74-65	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	4		3
Elemento – Painel Pré Moldado 35-30		Elemento – Painel Pré Moldado 89-90	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	5		5
Elemento – Painel Pré Moldado 24-25		Elemento – Painel Pré Moldado 23-24	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	2		4

Elemento – Painel Pré Moldado 90-91		Elemento – Painel Pré Moldado 92-93	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	5		2 e 5
Elemento – Painel Pré Moldado 93-94		Elemento – Painel Pré Moldado 23-22	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	5		3 e 5
Elemento – Painel Pré Moldado 21-20		Elemento – Painel Pré Moldado 20-19	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	5		2 e 4
Convenção de anomalias: 1 - Fissuras sobrepostas à armadura dos elementos de concreto; 2 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de destacamento de camada de cobrimento; 3 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de manchas oriundas do processo de corrosão da armadura; 4 - Fissuras com direções bem definidas, sem sobreposição às armaduras; 5 - Fissuras sem direções específicas, usualmente denominadas como mapeadas, em rede ou pele de crocodilo.			

Quadro1. Apresentação de fissuras identificadas no Box 01 (AZ01) e respectivos croquis ou fotos (AUTOR, 2019).

O Quadro 2 apresenta as fissuras identificadas e mapeadas nos elementos em concreto armado do Boz 02, do Amrazém AZ01.

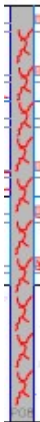
FISSURAS IDENTIFICADAS NO BOX 02 - ARMAZÉM 01			
Elemento – Painel Pré Moldado 84-85		Elemento – Painel Pré Moldado 85-86	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	2 e 4		2
Elemento – Painel Pré Moldado 87-88		Elemento – Painel Pré Moldado 88-89	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	5		5
Elemento – Painel Pré Moldado 19-18		Elemento – Painel Pré Moldado 18-17	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	2		5

Elemento – Painel Pré Moldado 17-16		Elemento – Painel Pré Moldado 16-15	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	2 e 3		2 e 3
Elemento – Painel Pré Moldado 14-13		Elemento – Painel Pré Moldado 23-22	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	3 e 4		3 e 4
Elemento – Painel Pré Moldado 21-20		Elemento – Painel Pré Moldado 20-19	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
Convenção de anomalias: 1 - Fissuras sobrepostas à armadura dos elementos de concreto; 2 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de destacamento de camada de cobertura; 3 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de manchas oriundas do processo de corrosão da armadura; 4 - Fissuras com direções bem definidas, sem sobreposição às armaduras; 5 - Fissuras sem direções específicas, usualmente denominadas como mapeadas, em rede ou pele de crocodilo.			

Quadro 2. Apresentação de fissuras identificadas no Box 02 (AZ01) e respectivos croquis ou fotos (AUTOR, 2019).

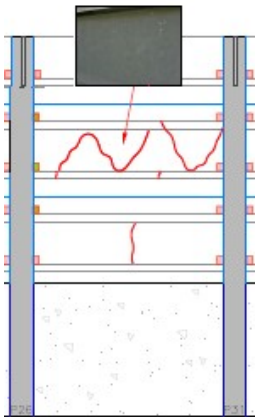
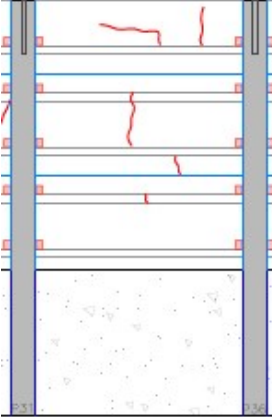
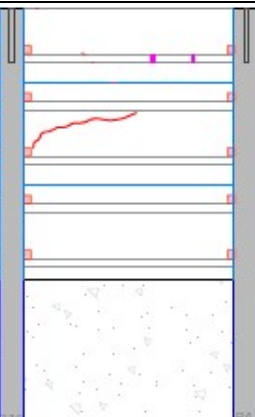
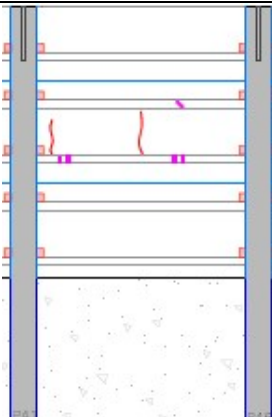
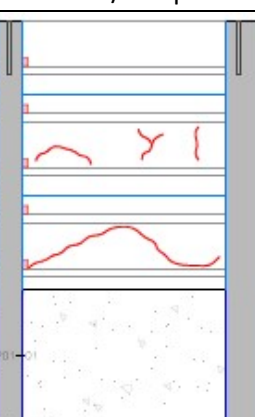
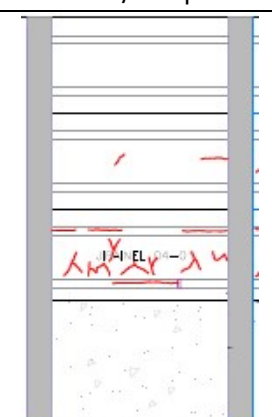
O Quadro 3 apresenta as fissuras identificadas e mapeadas nos elementos em concreto armado do Boz 03, do Amrazém AZ01.

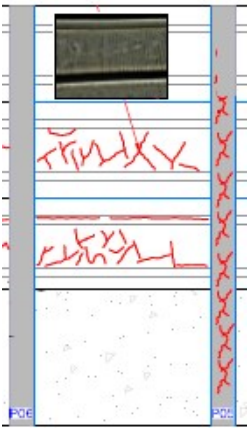
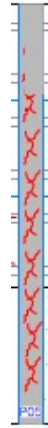
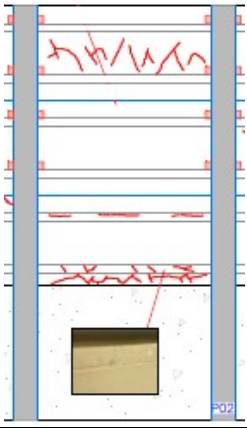
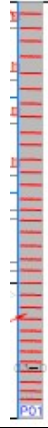
FISSURAS IDENTIFICADAS NO BOX 03 - ARMAZÉM 01			
Elemento – Painel Pré Moldado 82-83		Elemento – Painel Pré Moldado 83-84	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	4		5
Elemento – Painel Pré Moldado 75-79		Elemento – Painel Pré Moldado 12-11	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	4		2 e 5
Elemento – Painel Pré Moldado 10-9		Elemento – Painel Pré Moldado 9-8	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	2		2 e 5

Elemento – Painei Pré Moldado 8-7		Elemento – Pilar Pré Moldado 8	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	2 e 5		5
Convenção de anomalias: 1 - Fissuras sobrepostas à armadura dos elementos de concreto; 2 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de destacamento de camada de cobrimento; 3 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de manchas oriundas do processo de corrosão da armadura; 4 - Fissuras com direções bem definidas, sem sobreposição às armaduras; 5 - Fissuras sem direções específicas, usualmente denominadas como mapeadas, em rede ou pele de crocodilo.			

Quadro 3. Apresentação de fissuras identificadas no Box 03 (AZ01) e respectivos croquis ou fotos (AUTOR, 2019).

O Quadro 4 apresenta as fissuras identificadas e mapeadas nos elementos em concreto armado do Boz 04, do Amrazém AZ01.

FISSURAS IDENTIFICADAS NO BOX 04 - ARMAZÉM 01			
Elemento – Pannel Pré Moldado 26-31		Elemento – Pannel Pré Moldado 31-36	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	4		4
Elemento – Pannel Pré Moldado 36-41		Elemento – Pannel Pré Moldado 41-56	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	4		3 e 4
Elemento – Pannel Pré Moldado 61-66		Elemento – Pannel Pré Moldado 7-6	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	4		2 e 5

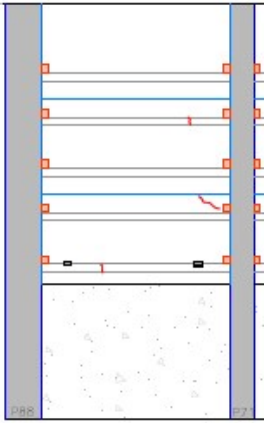
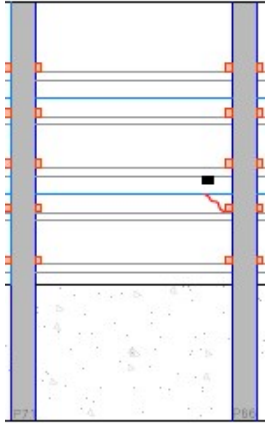
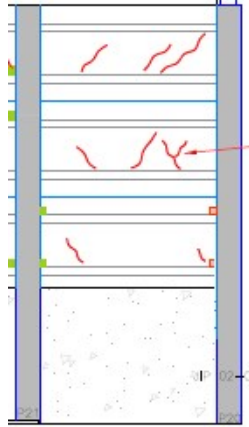
Elemento – Painel Pré Moldado 6-5		Elemento – Pilar Pré Moldada 92-93	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	5		5
Elemento – Painel Pré Moldado 93-94		Elemento – Pilar Pré Moldado 1	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	2 e 5		1
Convenção de anomalias: 1 - Fissuras sobrepostas à armadura dos elementos de concreto; 2 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de destacamento de camada de cobrimento; 3 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de manchas oriundas do processo de corrosão da armadura; 4 - Fissuras com direções bem definidas, sem sobreposição às armaduras; 5 - Fissuras sem direções específicas, usualmente denominadas como mapeadas, em rede ou pele de crocodilo.			

Quadro 4. Apresentação de fissuras identificadas no Box 04 (AZ01) e respectivos croquis ou fotos (AUTOR, 2019).

Através do Quadros 1 a 4, referentes aos Box 01 a 04, é possível verificar que há maior incidência no Armazém 01 de fissuras em seus painéis pré moldados em comparação aos seus pilares pré moldados e cortinas moldadas in loco, sendo as fissuras identificadas pela legenda “5” (fissuras sem direções específicas, usualmente denominadas como mapeadas, em rede ou pele de crocodilo), as identificadas em maior quantidade.

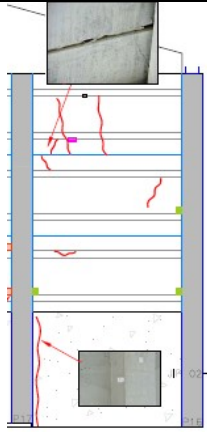
Destaca-se a ocorrência das 5 tipologias de fissuras identificadas no Armazém 01.

O Quadro 5 apresenta as fissuras identificadas e mapeadas nos elementos em concreto armado do Box 05, do Amrazém AZ02.

FISSURAS IDENTIFICADAS NO BOX 05 - ARMAZÉM 02			
Elemento – Painei Pré Moldado 88-71		Elemento – Painei Pré Moldado 71-66	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	3 e 4		4
Elemento – Painei Pré Moldado 21-20			
Foto/Croqui	Tipo de Fissura		
	4		
Convenção de anomalias: 1 - Fissuras sobrepostas à armadura dos elementos de concreto; 2 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de destacamento de camada de cobrimento; 3 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de manchas oriundas do processo de corrosão da armadura; 4 - Fissuras com direções bem definidas, sem sobreposição às armaduras; 5 - Fissuras sem direções específicas, usualmente denominadas como mapeadas, em rede ou pele de crocodilo.			

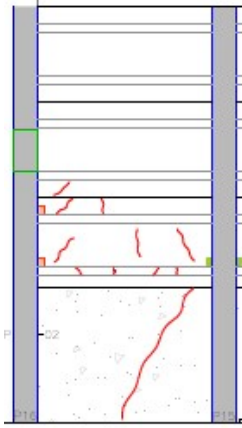
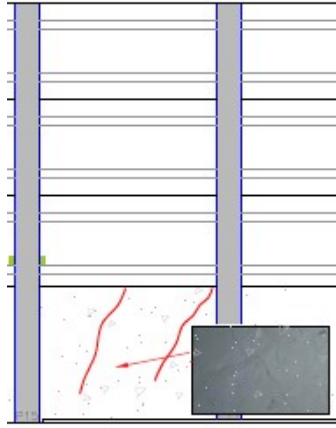
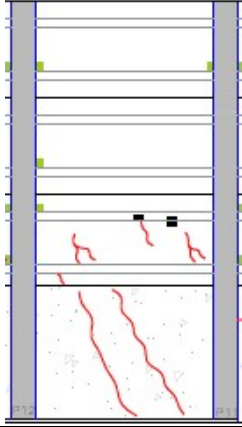
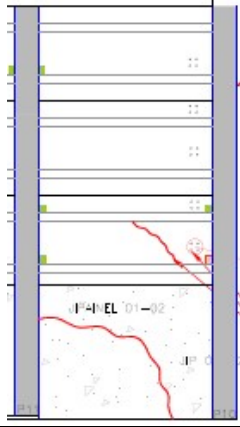
Quadro 5. Apresentação de fissuras identificadas no Box 05 (AZ02) e respectivos croquis ou fotos (AUTOR, 2019).

O Quadro 6 apresenta as fissuras identificadas e mapeadas nos elementos em concreto armado do Box 06, do Amrazém AZ02.

FISSURAS IDENTIFICADAS NO BOX 06 - ARMAZÉM 02			
Elemento – Painel Pré Moldado e Cortina 88-71			
Foto/Croqui	Tipo de Fissura		
	2 e 4		
Convenção de anomalias: 1 - Fissuras sobrepostas à armadura dos elementos de concreto; 2 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de destacamento de camada de cobrimento; 3 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de manchas oriundas do processo de corrosão da armadura; 4 - Fissuras com direções bem definidas, sem sobreposição às armaduras; 5 - Fissuras sem direções específicas, usualmente denominadas como mapeadas, em rede ou pele de crocodilo.			

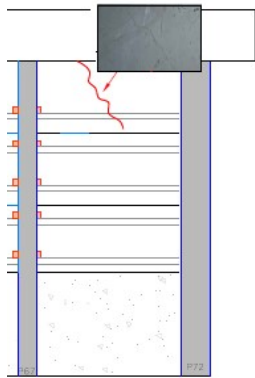
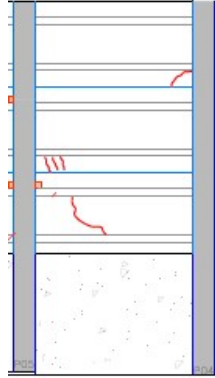
Quadro 6. Apresentação de fissuras identificadas no Box 06 (AZ02) e respectivos croquis ou fotos (AUTOR, 2019).

O Quadro 7 apresenta as fissuras identificadas e mapeadas nos elementos em concreto armado do Box 07, do Amrazém AZ02.

FISSURAS IDENTIFICADAS NO BOX 07 - ARMAZÉM 02			
Elemento – Painei Pré Moldado e Cortina 16-15		Elemento – Painei Pré Moldado e Cortina 15-14	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	4		4
Elemento – Painei Pré Moldado e Cortina 12-11		Elemento – Painei Pré Moldado e Cortina 11-10	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	4		4
Convenção de anomalias: 1 - Fissuras sobrepostas à armadura dos elementos de concreto; 2 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de destacamento de camada de cobrimento; 3 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de manchas oriundas do processo de corrosão da armadura; 4 - Fissuras com direções bem definidas, sem sobreposição às armaduras; 5 - Fissuras sem direções específicas, usualmente denominadas como mapeadas, em rede ou pele de crocodilo.			

Quadro 7. Apresentação de fissuras identificadas no Box 07 (AZ02) e respectivos croquis ou fotos (AUTOR, 2019).

O Quadro 8 apresenta as fissuras identificadas e mapeadas nos elementos em concreto armado do Box 08, do Armazém AZ02.

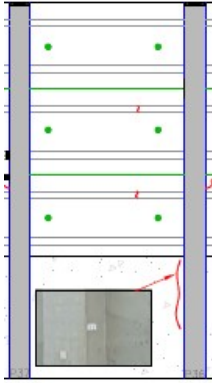
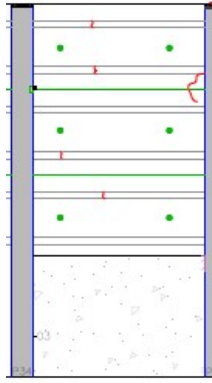
FISSURAS IDENTIFICADAS NO BOX 08 - ARMAZÉM 02			
Elemento – Painel Pré Moldado 67-72		Elemento – Painel Pré Moldado 5-4	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	4		3 e 4
Convenção de anomalias: 1 - Fissuras sobrepostas à armadura dos elementos de concreto; 2 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de destacamento de camada de cobrimento; 3 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de manchas oriundas do processo de corrosão da armadura; 4 - Fissuras com direções bem definidas, sem sobreposição às armaduras; 5 - Fissuras sem direções específicas, usualmente denominadas como mapeadas, em rede ou pele de crocodilo.			

Quadro 8. Apresentação de fissuras identificadas no Box 08 (AZ02) e respectivos croquis ou fotos (AUTOR, 2019).

Através do Quadros 5 a 8, referentes aos Box 05 a 08, é possível verificar que há maior incidência no Armazém 02 de fissuras em seus painéis pré moldados em comparação aos seus pilares pré moldados e cortinas moldadas in loco, sendo as fissuras identificadas pela legenda “4” (fissuras com direções bem definidas, sem sobreposição às armaduras), as identificadas em maior quantidade.

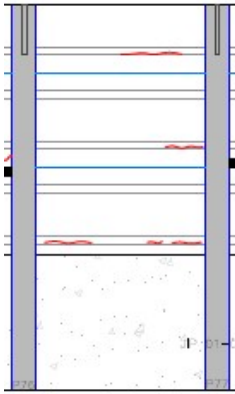
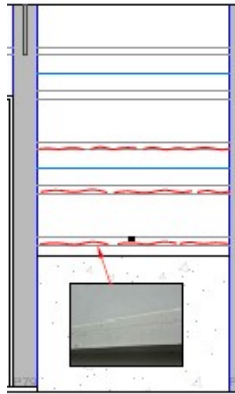
Destaca-se que as tipologias de fissuras identificadas pela legenda “1” (fissuras sobrepostas à armadura dos elementos de concreto) e “5” (fissuras sem direções específicas, usualmente denominadas como mapeadas, em rede ou pele de crocodilo) ocorrência não ocorrem no Armazém 02.

O Quadro 9 apresenta as fissuras identificadas e mapeadas nos elementos em concreto armado do Boz 10, do Amrazém 03.

FISSURAS IDENTIFICADAS NO BOX 10 - ARMAZÉM 03			
Elemento – Painel Pré Moldado e Cortina 37-36		Elemento – Painel Pré Moldado e Cortina 34-33	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	3 e 4		3 e 4
Convenção de anomalias: 1 - Fissuras sobrepostas à armadura dos elementos de concreto; 2 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de destacamento de camada de cobrimento; 3 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de manchas oriundas do processo de corrosão da armadura; 4 - Fissuras com direções bem definidas, sem sobreposição às armaduras; 5 - Fissuras sem direções específicas, usualmente denominadas como mapeadas, em rede ou pele de crocodilo.			

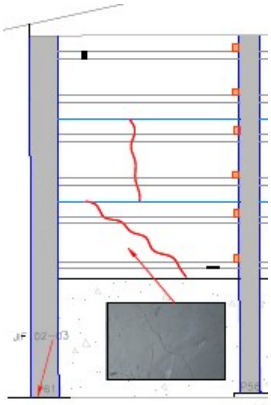
Quadro 9. Apresentação de fissuras identificadas no Box 10 (AZ03) e respectivos croquis ou fotos (AUTOR, 2019).

O Quadro 10 apresenta as fissuras identificadas e mapeadas nos elementos em concreto armado do Boz 11, do Amrazém 03.

FISSURAS IDENTIFICADAS NO BOX 11 - ARMAZÉM 03			
Elemento – Painel Pré Moldado e Cortina 76-77		Elemento – Painel Pré Moldado e Cortina 79-80	
Foto/Croqui	Tipo de Fissura	Foto/Croqui	Tipo de Fissura
	2		2
Convenção de anomalias: 1 - Fissuras sobrepostas à armadura dos elementos de concreto; 2 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de destacamento de camada de cobrimento; 3 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de manchas oriundas do processo de corrosão da armadura; 4 - Fissuras com direções bem definidas, sem sobreposição às armaduras; 5 - Fissuras sem direções específicas, usualmente denominadas como mapeadas, em rede ou pele de crocodilo.			

Quadro 10. Apresentação de fissuras identificadas no Box 11 (AZ03) e respectivos croquis ou fotos (AUTOR, 2019).

O Quadro 11 apresenta as fissuras identificadas e mapeadas nos elementos em concreto armado do Boz 13, do Armazém 03.

FISSURAS IDENTIFICADAS NO BOX 13 - ARMAZÉM 03			
Elemento – Painel Pré Moldado 61-56			
Foto/Croqui	Tipo de Fissura		
	4		
Convenção de anomalias: 1 - Fissuras sobrepostas à armadura dos elementos de concreto; 2 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de destacamento de camada de cobrimento; 3 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de manchas oriundas do processo de corrosão da armadura; 4 - Fissuras com direções bem definidas, sem sobreposição às armaduras; 5 - Fissuras sem direções específicas, usualmente denominadas como mapeadas, em rede ou pele de crocodilo.			

Quadro 11. Apresentação de fissuras identificadas no Box 13 (AZ03) e respectivos croquis ou fotos (AUTOR, 2019).

Através do Quadros 9 a 11, referentes aos Box 10, 11 e 13, é possível verificar que há maior incidência no Armazém 03 de fissuras em seus painéis pré moldados em comparação aos seus pilares pré moldados e cortinas moldadas in loco, sendo as fissuras identificadas pela legenda “3” (fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de manchas oriundas do processo de corrosão da armadura), as identificadas em maior quantidade.

Destaca-se que as tipologias de fissuras identificadas pela legenda “1” (fissuras sobrepostas à armadura dos elementos de concreto) e “5” (fissuras sem direções específicas, usualmente denominadas como mapeadas, em rede ou pele de crocodilo) ocorrência não ocorrem no Armazém 02.

Observa-se não haver tabelas referentes aos Boxes 09 e 12, pois, durante inspeção visual, não foram constatadas fissuras nestes.

A partir do mapeamento das fissuras, tornou-se possível a compilação dos dados relativos às fissuras constatadas na edificação em estudo, organizados e apresentados através de tabelas e gráficos que seguem.

A Tabela 9 apresenta a quantidade total de elementos em concreto armado que compõem o sistema estrutural e de vedação dos armazéns AZ01, AZ02 e AZ03.

QUANTIDADES DE ELEMENTOS EM CONCRETO ARMADO	AZ01	AZ02	AZ03	TOTAL
Totais de Painéis Pré Moldados	85	77	79	241
Totais de Pilares Pré Moldados	94	88	88	270
Totais de Cortinas	85	77	79	241
TOTAL	264	242	246	752

Tabela 9. Quantidades de elementos em concreto armado que compõem os armazéns AZ01, AZ02 e AZ 03 (AUTOR, 2019).

A Tabela 10 apresenta a quantidade de fissuras constatadas por tipo de elemento em concreto armado existentes da edificação estudada, a saber, painéis pré moldados, pilares pré moldados e cortinas moldadas *in loco*.

QUANTIDADES DE FISSURAS DETECTADAS POR TIPO DE ELEMENTO EM CONCRETO ARMADO	AZ01	AZ02	AZ03	TOTAL
Fissuras detectadas em Painéis Pré Moldados	78	18	14	110
Fissuras detectadas em Pilares Pré Moldados	3	0	0	3
Fissuras detectadas em Cortinas	0	4	1	5
TOTAL	81	22	15	118

Tabela 10. Quantidades de fissuras por elemento em concreto armado constatadas nos armazéns AZ01, AZ02 e AZ 03 (AUTOR, 2019).

A Tabela 11 apresenta a quantidade de cada um dos tipos de fissuras constatadas em cada um dos três armazéns que compõem a edificação em estudo.

QUANTIDADES DE TIPOLOGIAS DE FISSURAS	AZ01	AZ02	AZ03	TOTAL
1 - Fissuras sobrepostas à armadura dos elementos de concreto	1	0	0	1
2 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de destacamento de camada de cobrimento	19	1	5	25
3 - Fissuras sobrepostas à armadura, acompanhadas de manchas oriundas do processo de corrosão da armadura	10	4	6	20
4 - Fissuras com direções bem definidas, sem sobreposição às armaduras	17	17	4	38
5 - Fissuras sem direções específicas, usualmente denominadas como mapeadas, em rede ou pele de crocodilo	34	0	0	34
TOTAL	81	22	15	118

Tabela 11. Quantidades de tipologias de fissuras constatadas nos armazéns AZ01, AZ02 e AZ 03 (AUTOR, 2019).

Os Gráficos 1 e 2 apresentam a distribuição das quantidades de cada um dos elementos em concreto armado que compõe os armazéns AZ01, AZ02 e AZ03, com e sem fissuras,

percentualmente, tendo como referência o total de elementos em concreto, e em módulo, respectivamente.

Por meio dos gráficos 1 e 2 é possível verificar que 118 elementos em concreto armado, equivalentes 15,59% do total de elementos 752, possuem fissuras, com maior incidência em painéis.

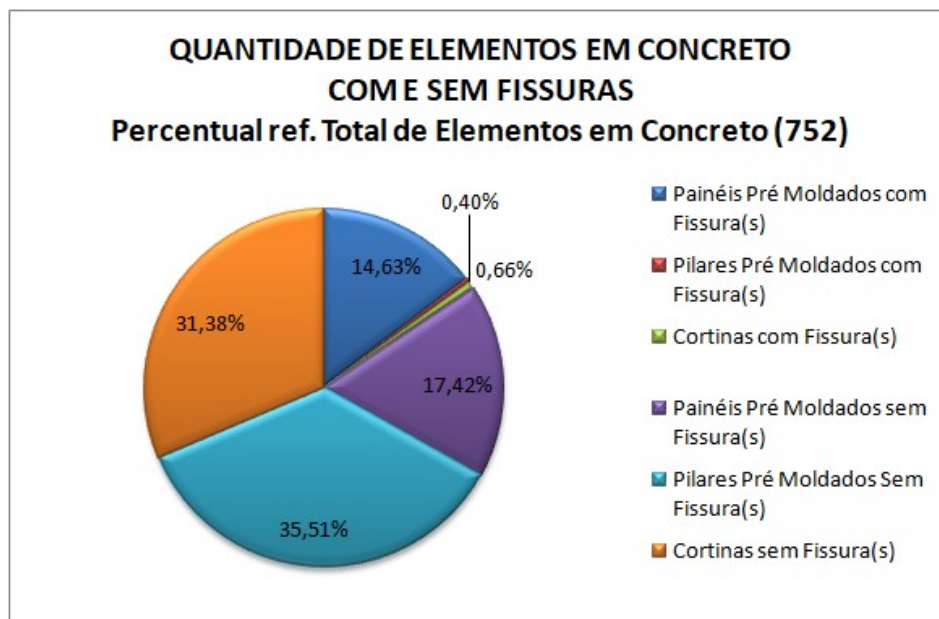


Gráfico 1. Quantidades de elementos com e sem fissuras em percentual (AUTOR, 2020).

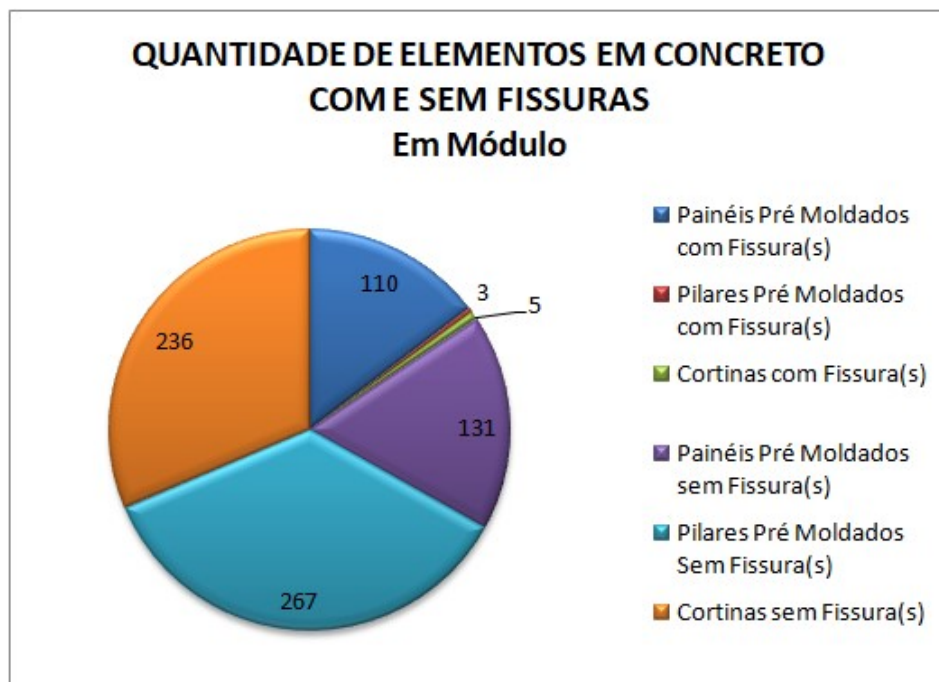


Gráfico 2. Quantidades de elementos com e sem fissuras em módulo (AUTOR, 2020).

Os Gráficos 3 e 4 apresentam a distribuição das fissuras por armazém percentualmente, tendo como referência o total de fissuras detectadas, e em módulo, respectivamente.

Por meio dos gráficos 3 e 4 é possível verificar que o Armazém mais problemático é o AZ01, que concentra 69% do total de fissuras, seguido pelo AZ02, com 19% destas e, por fim, AZ03, com 13% do total de fissuras.

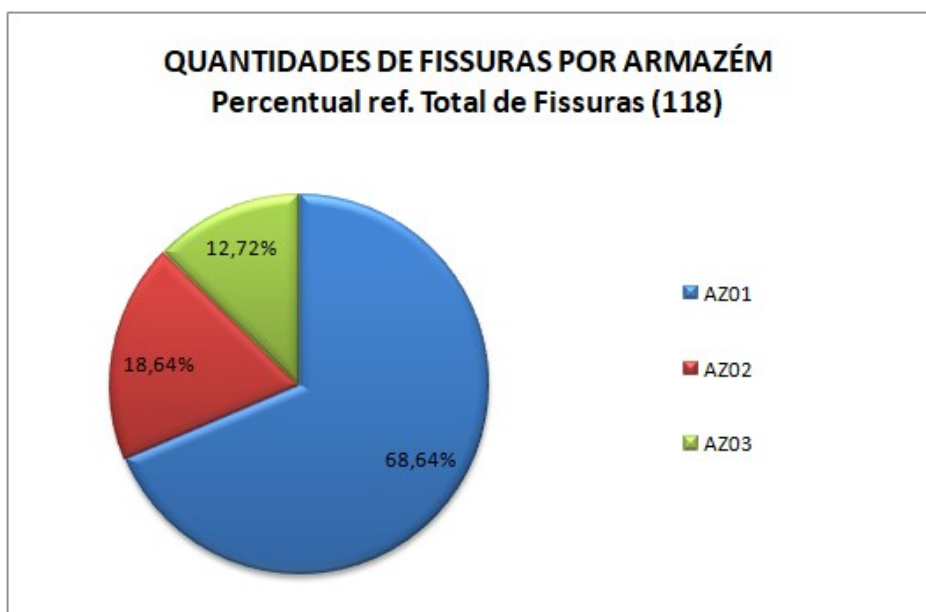


Gráfico 3. Quantidades de fissuras por armazém em percentual (AUTOR, 2020).



Gráfico 4. Quantidades de fissuras por armazém em módulo (AUTOR, 2020).

Os Gráficos 5 e 6 apresentam a distribuição das tipologias das fissuras percentualmente, tendo como referência o total de fissuras detectadas, e em módulo, respectivamente.

Por meio dos gráficos 5 e 6 é possível verificar que a tipologia de fissura com maior incidência, considerando-se os AZ01, AZ02 e AZ03 somados, é a tipo “4”, seguido em ordem decrescente pelas fissuras tipo “5”, “2”, “3” e “1”.

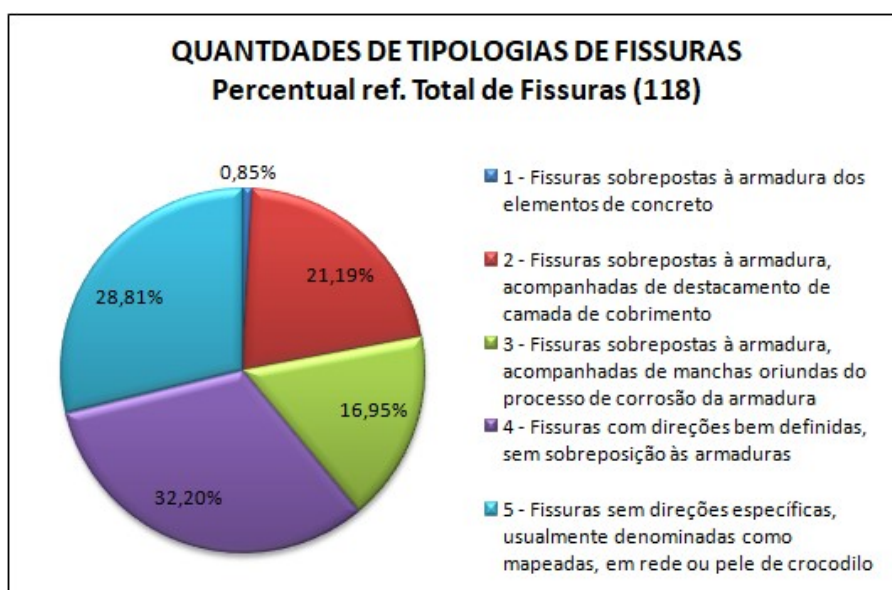


Gráfico 5. Quantidades de tipologias de fissuras em percentual (AUTOR, 2020).

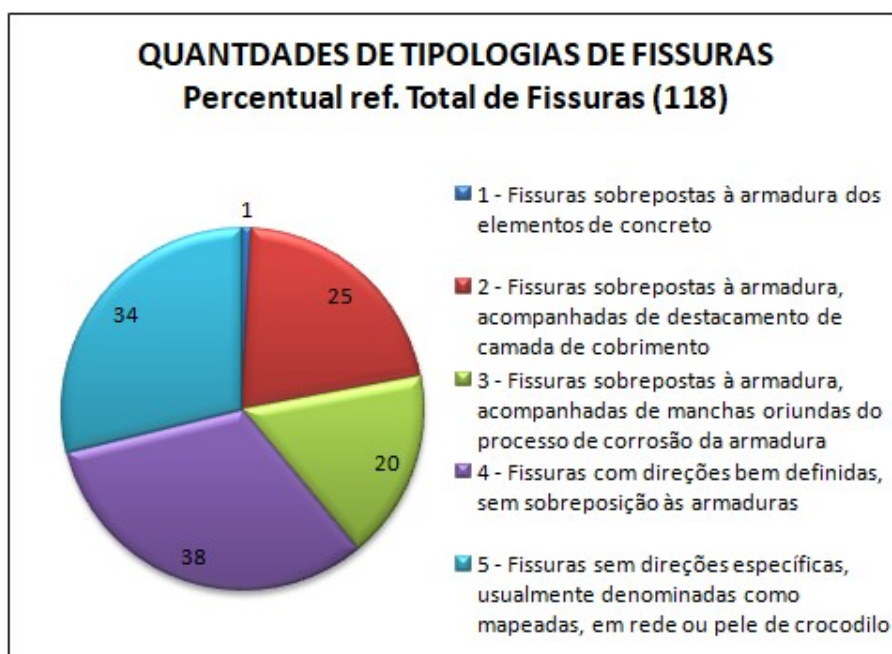


Gráfico 6. Quantidades de tipologias de fissuras em módulo (AUTOR, 2020).

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo pretende-se, através da análise das informações e dados obtidos em estudo de caso, correlacionar as tipologias de fissuras constatadas no terminal logístico aos mecanismos de degradação apresentados na sua fundamentação teórica.

A seguir, serão apresentados resultados dos ensaios tecnológicos elaborados, cuja determinação possui base nas informações obtidas a partir da aplicação do plano de inspeção, bem como, relacionar estas informações e resultados de ensaios aos mecanismos de mecanismos de degradação que atuaram ou atuam na construção estudada, causando o surgimento de fissuras constadas em sua inspeção.

4.1. ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Para a análise das condições do concreto com vista à durabilidade e resistência mecânica potencial, providenciou-se a realização de alguns ensaios tecnológicos. Observa-se que a elaboração dos ensaios teve limitações impostas pela empresa proprietária e responsável por administrar e operar o terminal logístico, relativas a questões operacionais, para que se evitassem interferências à logística dos produtos já planejada, e, em especial, financeiras.

Em virtude do macro e microambientes que envolvem a edificação em estudo e consequente probabilidade de contaminação da estrutura de concreto por estes, determinou-se a elaboração de ensaio para determinação de teor de cloreto (Cl) e sulfato (trióxido de enxofre, SO_3), em acordo com as normas do órgão estadunidense American Society for Testing and Materials, ASTM International, ASTM C 12188, Water – Soluble Chloride in Mortar and Concrete, de 1999, e da ABNT, NBR 9917, Agregado para concreto – Determinação de sais cloretos e sulfatos solúveis, de 2009.

Uma vez que, os projetos fornecidos são incompletos e com informações inconsistentes e duvidosas, determinou-se também a realização de ensaios de resistência à compressão, através da extração de corpos de prova e ensaio laboratorial, de acordo com as normas da ABNT, NBR 7680-1, Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto – Parte 1: Resistência à compressão axial, de 2015, e NBR 5739, Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos, de 2007.

A seguir, apresentação de resultados obtidos através dos ensaios tecnológicos realizados para determinação de teor de cloreto (Cl) e sulfato (trióxido de enxofre, SO₃), vide Tabela 12.

Identificação das Amostras		Teor (% em massa)	
ABCP	Interessado	SO ₃	Cl
220806	AZ2-P01-CAMADA 01	0,41	0,02
220807	AZ2-P01-CAMADA 02	0,40	0,02
220808	AZ2-P02-CAMADA 01	0,40	0,02
220809	AZ2-P02-CAMADA 02	0,37	0,02
220810	AZ2-P03-CAMADA 01	0,36	0,01
220811	AZ2-P03-CAMADA 02	0,45	0,01
220812	AZ2-P04-CAMADA 01	0,39	0,02
220813	AZ2-P04-CAMADA 02	0,37	0,01
220814	AZ2-P05-CAMADA 01	0,35	0,02
220815	AZ2-P05-CAMADA 02	0,37	0,03
220816	AZ3-P01-CAMADA 01	0,38	0,02
220817	AZ3-P01-CAMADA 02	0,41	0,02
220818	AZ3-P02-CAMADA 01	0,53	0,02
220819	AZ3-P02-CAMADA 02	0,45	0,02
220820	AZ3-P03-CAMADA 01	0,42	0,02
220821	AZ3-P03-CAMADA 02	0,50	0,02
220822	AZ3-P04-CAMADA 01	0,42	0,02
220823	AZ3-P04-CAMADA 02	0,43	0,02
220824	AZ3-P05-CAMADA 01	0,44	0,02
220825	AZ3-P05-CAMADA 02	0,35	0,02
220826	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P01 CAMADA 02	0,36	0,02
220827	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P01	0,46	0,01
220828	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P02 CAMADA 02	0,46	0,02
220829	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P02	0,49	0,02
220830	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P03 CAMADA 02	0,50	0,02
220831	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P03	0,50	0,02
220832	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P04 CAMADA 02	0,41	0,02
220833	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P04	0,50	0,02
220834	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P05 CAMADA 02	0,44	0,02
220835	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P05	0,44	0,02
220836	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P06 CAMADA 02	0,48	0,02
220837	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P06	0,37	0,02
220838	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P07 CAMADA 02	0,45	0,02
220839	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P07	0,55	0,03
220840	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P08 CAMADA 02	0,50	0,02
220841	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P08	0,51	0,02
220842	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P09 CAMADA 02	0,60	0,02
220843	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P09	0,51	0,03
220844	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P10 CAMADA 02	0,50	0,02
222845	AZ2 CORRIGIDO AZ1-P10	0,45	0,02

Tabela 12. Apresentação de dados referentes ao ensaio de teor de cloreto e sulfato (AUTOR, 2019).

A seguir, apresentação de resultados obtidos através dos ensaios tecnológicos realizados para determinação de resistência à compressão axial, vide Tabela 13.

Amostra 01			Amostra 02			Amostra 03		
Galpão:	AZ-02		Galpão:	AZ-02		Galpão:	AZ-02	
Box:	7		Box:	5		Box:	8	
El. Est.:	Pilar 79		El. Est.:	Pilar 61		El. Est.:	Cortina entre P62 E P67	
h (mm)	116,8		h (mm)	163,8		h (mm)	97,81	
d (φ)mm	75,3		d (φ)mm	75,9		d (φ)mm	76,04	
Direção Extração	Ortogonal ao Lançamento		Direção Extração	Ortogonal ao Lançamento		Direção Extração	Ortogonal ao Lançamento	
Estrutura	Seca		Estrutura	Seca		Estrutura	Seca	
Peso Cp (g)	1116		Peso Cp (g)	1688		Peso Cp (g)	1034,00	
Massa Esp. Aparente	2,15		Massa Esp. Aparente	2,28		Massa Esp. Aparente	2,328	
h/d	1,55		h/d	2,16		h/d	1,29	
K ₁	-0,04		K ₁	0,00		K ₁	-0,07	
K ₂	0,09		K ₂	0,09		K ₂	0,09	
K ₃	0,05		K ₃	0,05		K ₃	0,05	
K ₄	-0,04		K ₄	-0,04		K ₄	-0,04	
Carga	12,7		Carga	11,3		Carga	13,3	
Resultado Ruptura (MPa)	28,4		Resultado Ruptura (MPa)	25,0		Resultado Ruptura (MPa)	29,2	
Resultado corrigido	30,1		Resultado corrigido	27,5		Resultado corrigido	30,3	
Amostra 04			Amostra 05			Amostra 06		
Galpão:	AZ-02		Galpão:	AZ-01		Galpão:	AZ-01	
Box:	6		Box:	2		Box:	4	
El. Est.:	BI Coroamento P82		El. Est.:	Pilar Interno		El. Est.:	Pilar 03 Externo	
h (mm)	129,69		h (mm)	149,78		h (mm)	144,35	
d (φ)mm	75,97		d (φ)mm	75,93		d (φ)mm	75,96	
Direção Extração	Sentido do Lançamento		Direção Extração	Ortogonal ao lançamento		Direção Extração	Ortogonal ao lançamento	
Estrutura	Seca		Estrutura	Seca		Estrutura	Seca	
Peso Cp (g)	1446,00		Peso Cp (g)	1496,00		Peso Cp (g)	1444,00	
Massa Esp. Aparente	2,460		Massa Esp. Aparente	2,206		Massa Esp. Aparente	2,208	
h/d	1,71		h/d	1,97		h/d	1,90	
K ₁	-0,02		K ₁	0,00		K ₁	-0,01	
K ₂	0,09		K ₂	0,09		K ₂	0,09	
K ₃	0,00		K ₃	0,05		K ₃	0,05	
K ₄	-0,04		K ₄	-0,04		K ₄	-0,04	
Carga	16,9		Carga	9,0		Carga	7,4	
Resultado Ruptura (MPa)	37,3		Resultado Ruptura (MPa)	19,8		Resultado Ruptura (MPa)	16,3	
Resultado corrigido	38,4		Resultado corrigido	21,8		Resultado corrigido	17,8	
Amostra 07			Amostra 08			Amostra 09		
Galpão:	AZ-01		Galpão:	AZ-01		Galpão:	AZ-03	
Box:	4		Box:	1		Box:	13	
El. Est.:	Painel entre P2 e P3		El. Est.:	BI Coroamento		El. Est.:	Pilar Extremidade	
h (mm)	117,1		h (mm)	134,2		h (mm)	114,98	
d (φ)mm	75,9		d (φ)mm	75,9		d (φ)mm	75,78	
Direção Extração	Ortogonal ao Lançamento		Direção Extração	Sentido do Lançamento		Direção Extração	Ortogonal ao Lançamento	
Estrutura	Seca		Estrutura	Seca		Estrutura	Seca	
Peso Cp (g)	1188		Peso Cp (g)	1496		Peso Cp (g)	1198,00	
Massa Esp. Aparente	2,24		Massa Esp. Aparente	2,46		Massa Esp. Aparente	2,310	
h/d	1,54		h/d	1,77		h/d	1,52	
K ₁	-0,04		K ₁	-0,02		K ₁	-0,04	
K ₂	0,09		K ₂	0,09		K ₂	0,09	
K ₃	0,05		K ₃	0,00		K ₃	0,05	
K ₄	-0,04		K ₄	-0,04		K ₄	-0,04	
Carga	8,3		Carga	8,5		Carga	9,8	
Resultado Ruptura (MPa)	18,4		Resultado Ruptura (MPa)	18,8		Resultado Ruptura (MPa)	21,6	
Resultado corrigido	19,5		Resultado corrigido	19,4		Resultado corrigido	22,9	
Amostra 10			Amostra 11			Amostra 12		
Galpão:	AZ-03		Galpão:	AZ-03		Galpão:	AZ-03	
Box:	10		Box:	10		Box:	11	
El. Est.:	Pilar		El. Est.:	BI Coroamento Posterior		El. Est.:	Cortina Fachada Posterior	
h (mm)	126,16		h (mm)	121,18		h (mm)	114,05	
d (φ)mm	75,59		d (φ)mm	75,84		d (φ)mm	75,96	
Direção Extração	Ortogonal ao Lançamento		Direção Extração	Sentido do Lançamento		Direção Extração	Ortogonal ao lançamento	
Estrutura	Seca		Estrutura	Seca		Estrutura	Seca	
Peso Cp (g)	1350,00		Peso Cp (g)	1302,00		Peso Cp (g)	1192,00	
Massa Esp. Aparente	2,185		Massa Esp. Aparente	2,379		Massa Esp. Aparente	2,306	
h/d	1,67		h/d	1,60		h/d	1,50	
K ₁	-0,03		K ₁	-0,03		K ₁	-0,04	
K ₂	0,09		K ₂	0,09		K ₂	0,09	
K ₃	0,05		K ₃	0,00		K ₃	0,05	
K ₄	-0,04		K ₄	-0,04		K ₄	-0,04	
Carga	10,2		Carga	7,1		Carga	11,1	
Resultado Ruptura (MPa)	22,6		Resultado Ruptura (MPa)	15,6		Resultado Ruptura (MPa)	24,6	
Resultado corrigido	24,2		Resultado corrigido	15,9		Resultado corrigido	26,1	

Tabela 13. Apresentação de dados referentes ao ensaio de resistência à compressão (AUTOR, 2019).

4.2. ASSENTAMENTO PLÁSTICO

Em um dos pilares que compõem o Box 04, do AZ01, constatou-se a ocorrência de fissuras cujas direções se sobrepõem exatamente às armaduras longitudinais e transversais (estribos), condição confirmada após abertura de janela de inspeção do mesmo.

A estrutura dos armazéns, praticamente em sua totalidade, é composta por elementos pré moldados. A face do pilar na qual as fissuras em questão ocorrem, no momento de sua execução, posicionavam-se na face superior da peça moldada, porém, após o posicionamento (verticalmente) do pilar para montagem da estrutura do galpão, passaram a se localizar na face lateral do pilar. Isto, pois pilares pré moldados, comumente, são fabricados com sua maior dimensão paralela à base de apoio no estagio de sua moldagem; esta dimensão, maior, após sua montagem e correto posicionamento, se torna a altura dos pilares e, conseqüentemente, uma de suas faces laterais,.

Tais fatores denunciam e confirmam a ocorrência de fissura em pilar pré moldado por assentamento plástico, vide Figura 51.



Figura 51. Fissuras em pilar pré moldado por assentamento plástico (AUTOR, 2019).

4.3. CORROSÃO EM ARMADURAS

Constatou-se, em determinadas áreas da estrutura pré moldada, principalmente nas nervuras transversais dos painéis verticais, fissuração e destacamento do concreto em direções paralelas às barras de aço da armadura, conforme Figura 52.



Figura 52. Fissuras em painel vertical pré moldado devido à corrosão de armadura (AUTOR, 2019).

Nestas áreas pôde-se, também, verificar a porosidade superficial do concreto e, ao criar-se janelas de inspeção, constatou-se espessura insuficiente de camada de cobrimento, em alguns pontos, praticamente inexistente, bem como, armaduras em processo de corrosão. À execução falha de detalhes construtivos nas etapas de projeto e/ou execução, em especial, detalhes relacionados à baixa qualidade do concreto e espessura insuficiente da camada de cobrimento da armadura, atribuiu-se a causa do processo de corrosão das armaduras e consequente fissuração e destacamento do concreto.

Por tratar-se de construção em local de classe de agressividade ambiental IV, a estrutura deveria possuir espessura de camada de cobrimento entre 45 e 50 mm, muito superior à camada de cobrimento verificada em diversos pontos através da abertura de janelas de inspeção em elementos estruturais, conforme demonstrado na Figura 53.



Figura 53. Detalhe de abertura de janela de inspeção em painel vertical pré moldado com fissuras e destacamento devido ao processo de corrosão de armaduras (AUTOR, 2019).

Em relação à qualidade do concreto, em função da classe de agressividade ambiental, este deveria ter relação água/cimento igual ou superior a 0,45 e fck igual ou superior a 40 MPa. Entretanto, nenhum dos corpos de prova extraídos da estrutura e ensaiados em laboratório apresentam fck equivalente ou superior, variando entre 15,9 e 38,4 MPa.

Não obstante, foram realizados ensaios para determinação do teor de cloretos por massa de cimento. Os resultados obtidos através dos ensaios apresentados variam entre 0,01 % e 0,03%, ou seja, bem inferiores aos limites (entre 0,15% e 0,4%), refutando-se a contaminação da estrutura por íons cloretos como um dos fatores responsáveis pelo processo de corrosão de armaduras e decorrentes fissuração e destacamento do concreto.

4.4. SOBRECARGAS

Inspecionando-se os armazéns que compõem o terminal logístico estudado, identificou-se a ocorrência de fissuras nos painéis verticais de vedação pré moldados semelhantes às que se verificam em painéis de lajes por excesso de carga, vide Figura 54.



Figura 54. Fissuras diagonais registradas em painéis verticais a partir de seus vértices por excesso de carga (AUTOR, 2019).

Os painéis verticais utilizados são do tipo π , “pi”, encaixados aos pilares, funcionando exatamente como uma laje simplesmente apoiada, porém, em plano vertical. Como tais painéis atuam, não somente, como vedação e elementos estruturais dos demais sistemas que compõem os

armazéns, sistema de cobertura, por exemplo, mas, também, exercem função de contenção dos produtos a granel armazenados dentro dos boxes dos armazéns, estes painéis estão sujeitos ao mesmo tipo de esforço sofrido por lajes simplesmente apoiadas e sobrecarregadas em sua face superior, como detalhe apresentado na Figura 55.



Figura 55. Fissuras em laje por excesso de carga (TOMAZELI, 2019).

Outra indício da possível sobrecarga, além dos limites suportáveis pelos elementos pré moldados, é o esmagamento de juntas entre pilares e painéis verticais, vide Figura 56.



Figura 56. Detalhe de esmagamento de juntas entre pilares e painéis verticais (AUTOR, 2019).

Para uma correta análise sobre tal situação, solicitou-se, a uma empresa que atua no ramo de fabricação e montagem de estruturas pré moldadas em concreto, a elaboração de verificação da capacidade estrutural dos armazéns e boxes que os compõem, considerando a situação mais crítica

de armazenamento, ou seja, o abastecimento de um box em sua capacidade máxima por produto a granel, com maior densidade dentre os estocados no terminal, e os boxes adjacentes vazios. Tal verificação foi realizada através de simulações por softwares destinados ao cálculo e projeto de estruturas em concreto. Após esta verificação, concluiu-se quanto à incapacidade dos painéis verticais, bem como, dos pilares que compõe a estrutura pré moldada, de resistir aos esforços exercidos sobre estes, em virtude do estoque de produtos a granel, nas condições informadas.

Segundo tal análise, a área de aço em relação à área do concreto da seção dos pilares deveria ser aumentada de 2,06% para 3,07%, ou seja, a área de aço necessária é, aproximadamente, um terço superior à área de aço utilizada na confecção dos pilares.

Quanto aos painéis pré moldados, sua armação principal, para resistir aos esforços solicitantes, deverá ser majorada em 0,12%.

A Figura 57 apresenta diagrama de esforços da simulação realizada.

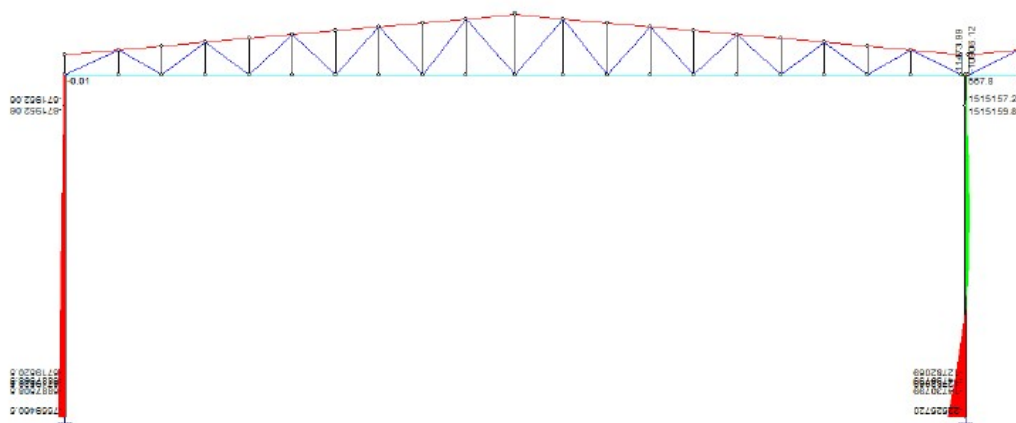


Figura 57. Diagrama de momento com empuxo de 3 kg.cm, demonstrando a aplicação de esforços acima das admissíveis pela estrutura (AUTOR, 2019).

4.5. REAÇÕES EXPANSIVAS POR SULFATOS

A fissuração decorrente da reação expansiva com sulfatos é caracterizada por formações sem direção específica, comumente chamadas pele de crocodilo, mapeadas ou em redes. Durante a vistoria da edificação estudada, verificou-se, em alguns de seus pilares, estado de fissuração com tais características, de modo a levantar a hipótese da ocorrência de ataque por sulfatos à estrutura, vide Figuras 58 e 59. Destaca-se que parte dos materiais armazenados no terminal possuem sulfatos em sua composição.



Figura 58. Fissuras tipo pele de crocodilo em pilar pré moldado (AUTOR, 2019).

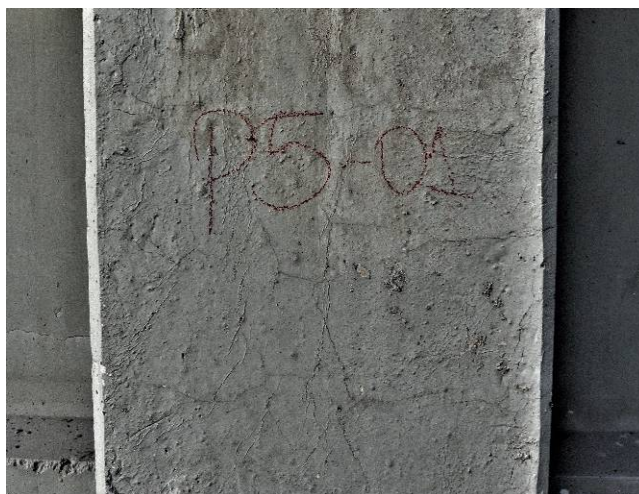


Figura 59. Fissuras tipo pele de crocodilo em pilar pré moldado (AUTOR, 2019).

Buscando-se o correto entendimento sobre a ocorrência ou não da contaminação do concreto por sulfatos, providenciou-se coleta de amostras para elaboração de ensaio destinado à verificação do teor de sulfatos (trióxido de enxofre) por massa de cimento.

Vide resultados dos ensaios de teor de sulfatos, parte das amostras possuem teor de sulfatos acima do limite (0,46%), variando estes teores entre 0,35 % e 0,60 %, confirmando-se a hipótese de contaminação do concreto por sulfatos e a possibilidade de sua fissuração em virtude de reações expansivas decorrentes desta contaminação. Observa-se, também, que a maioria dos resultados cujo teor de sulfato ultrapasse o limite são referentes a amostras extraídas do armazém AZ01, no qual concentram-se as fissuras com características iguais às da reações expansivas por sulfatos em

concreto, fator que corrobora para a confirmação destas reações como causa da ocorrência destas fissuras.

4.6. APRESENTAÇÃO GRÁFICA DA DISTRIBUIÇÃO DAS INCIDÊNCIAS DOS MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO CONSTATADOS

A seguir, são apresentadas distribuições gráficas dos mecanismos de degradação que causam as fissuras constatadas em estudo de caso.

Os Gráficos 7 e 8 apresentam a distribuição das causas das fissuras percentualmente, tendo como referência o total de fissuras detectadas, e em módulo, respectivamente.

Por meio dos gráficos 7 e 8 é possível verificar que a causa de fissura com maior incidência, somando-se os Armazéns AZ01, AZ02 e AZ03, é corrosão por armaduras, seguida em ordem decrescente por sobrecarga, reação expansiva por sulfatos e assentamento plástico.

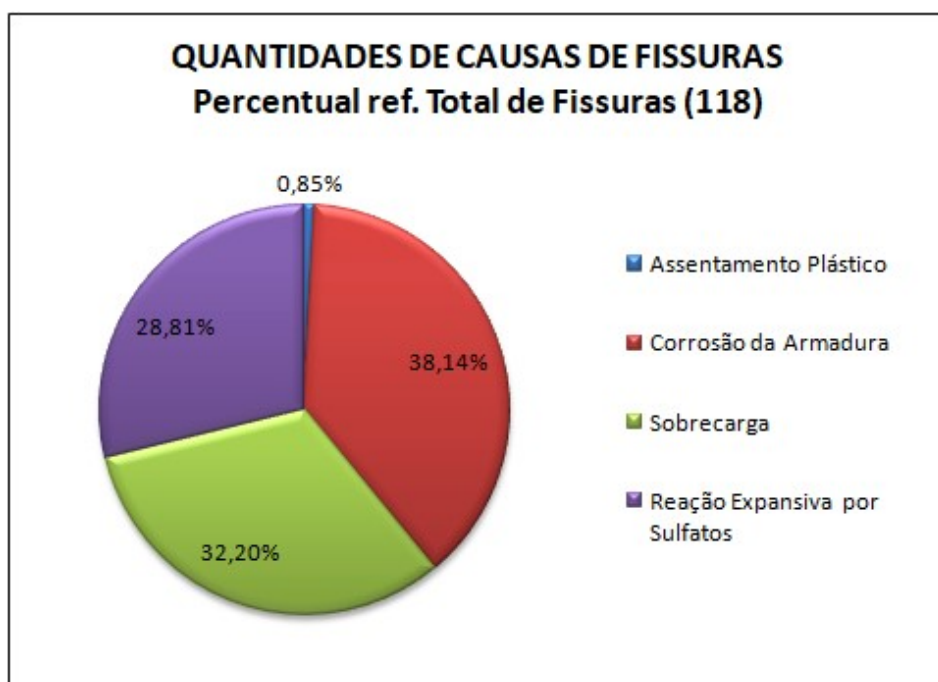


Gráfico 7. Quantidades de causas de fissuras em percentual (AUTOR, 2020).

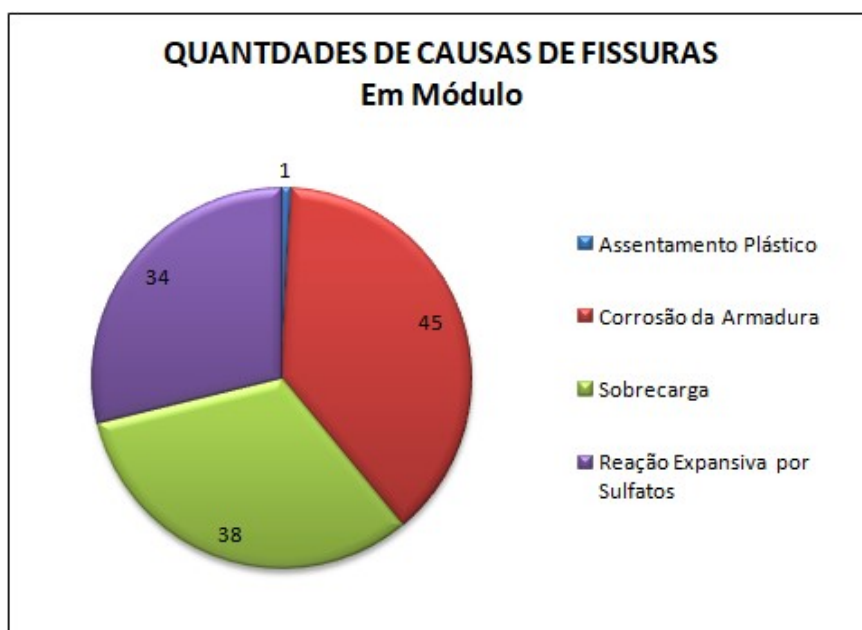


Gráfico 8. Quantidades de causas de fissuras em módulo (AUTOR, 2020).

Os Gráficos 9 e 10 apresentam a distribuição das fissuras por assentamento plástico percentualmente, tendo como referência o total de fissuras por assentamento plástico, e em módulo, respectivamente.

Por meio dos gráficos 9 e 10 é possível verificar que a fissura por assentamento plástico ocorre exclusivamente no Armazém AZ01.



Gráfico 9. Quantidades de causas de fissuras por assentamento plástico em percentual (AUTOR, 2020).

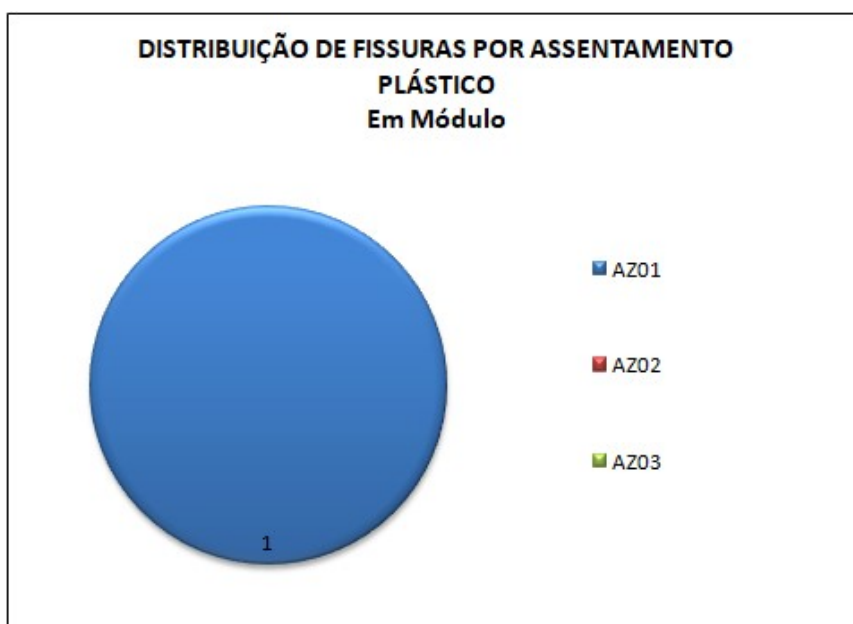


Gráfico 10. Quantidades de causas de fissuras por assentamento plástico em módulo (AUTOR, 2020).

Os Gráficos 11 e 12 apresentam a distribuição das fissuras por corrosão de armaduras percentualmente, tendo como referência o total de fissuras por corrosão, e em módulo, respectivamente.

Por meio dos gráficos 11 e 12 é possível verificar que as fissuras por corrosão de armaduras possuem maior incidência no Armazém AZ01, seguido em ordem decrescente pelos AZ02 e AZ03.

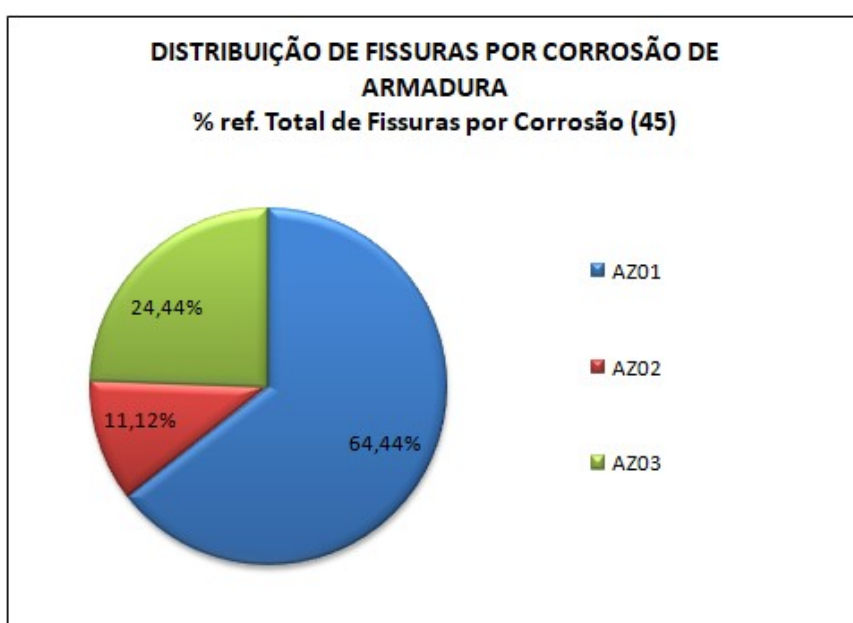


Gráfico 11. Quantidades de causas de fissuras por corrosão de armaduras em percentual (AUTOR, 2020).

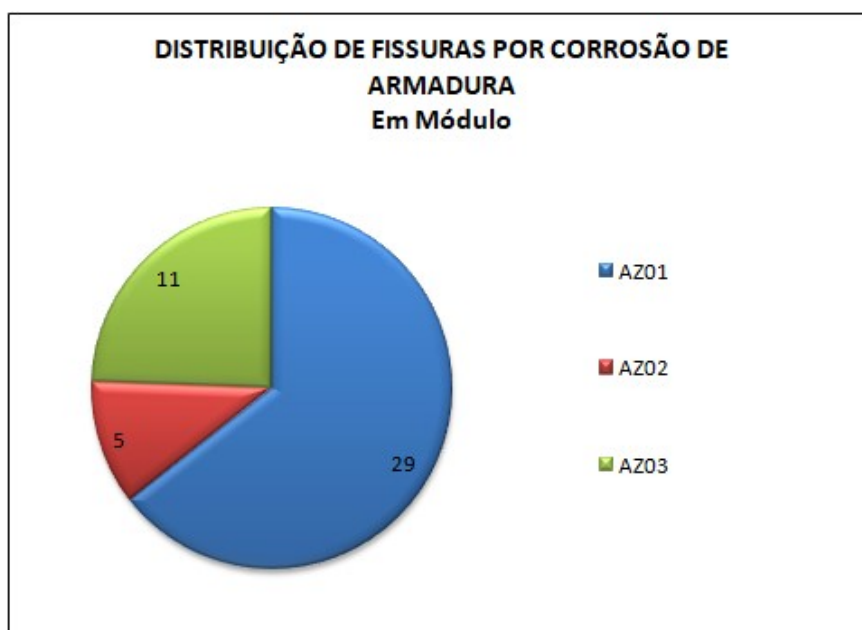


Gráfico 12. Quantidades de causas de fissuras por corrosão de armaduras em módulo (AUTOR, 2020).

Os Gráficos 13 e 14 apresentam a distribuição das fissuras por sobrecarga percentualmente, tendo como referência o total de fissuras por sobrecarga, e em módulo, respectivamente.

Por meio dos gráficos 13 e 14 é possível verificar que as fissuras por sobrecarga armaduras possuem maior incidência nos Armazéns AZ01 e AZ02, seguidos pelo AZ03.

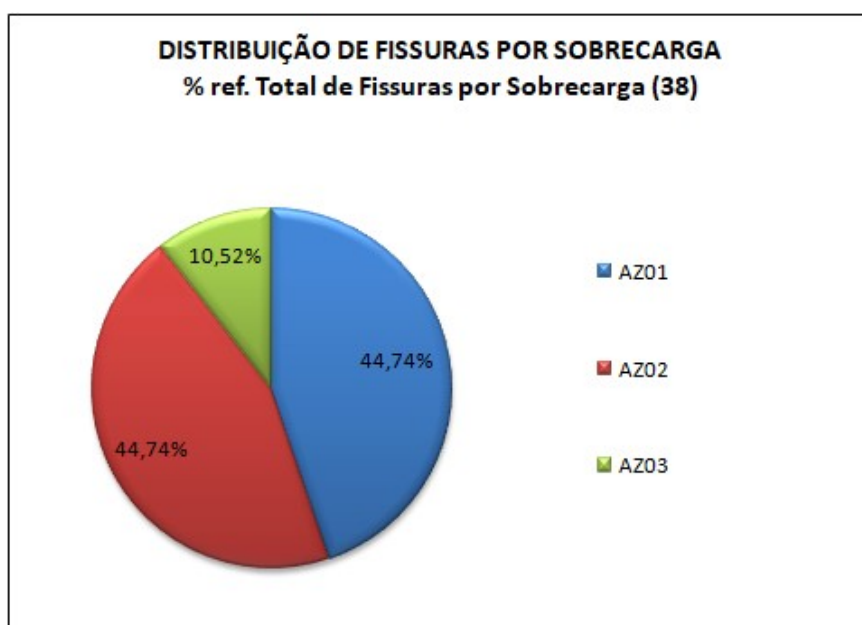


Gráfico 13. Quantidades de causas de fissuras por sobrecarga em percentual (AUTOR, 2020).



Gráfico 14. Quantidades de causas de fissuras por sobrecarga em módulo (AUTOR, 2020).

Os Gráficos 15 e 16 apresentam a distribuição das fissuras por reações expansivas por sulfatos percentualmente, tendo como referência o total de fissuras por reações expansivas por sulfatos, e em módulo, respectivamente.

Por meio dos gráficos 15 e 16 é possível verificar que as fissuras por reação por sulfatos ocorrem unicamente no Armazém AZ01.



Gráfico 15. Quantidades de causas de fissuras por sulfatos em percentual (AUTOR, 2020).



Gráfico 16. Quantidades de causas de fissuras por sulfatos em módulo (AUTOR, 2020).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo, apresentar-se-ão considerações finais sobre o presente trabalho, como confirmação da hipótese considerada em seu início e conclusão, bem como, sugestões para sua sequência e aprofundamento em trabalhos futuros.

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considera-se que foram atingidos os objetivos propostos no início deste trabalho.

Ao longo do trabalho, através das atividades programadas e aplicadas por meio de plano de inspeção, tornou-se possível, confrontando-os à fundação teórica realizada previamente, identificar, caracterizar e determinar os mecanismos de degradação do concreto que causam as fissuras constatadas nos elementos de concreto da edificação estudada, terminal logístico multimodal, podendo-se constatar que, das peças em concreto armado que compõem os Armazéns AZ01, AZ02 e AZ03, 752 peças ao todo, 118 peças ou 16% estão fissuradas, estando distribuídas da seguinte forma:

- a) Fissuras ocorrem em 110 painéis pré moldados de concreto armado;
- b) Fissuras ocorrem em 3 pilares pré moldados de concreto armado;
- c) Fissuras ocorrem em 5 cortinas de concreto armado moldadas in loco.

Quanto à causa das fissuras constatadas, foi possível determinar que:

- a) 1% das fissuras possui como causa provável assentamento plástico;
- b) 38% das fissuras possuem como causa provável processo de corrosão de armaduras;
- c) 32% das fissuras possuem como causa provável sobrecargas que geram esforços acima dos admissíveis pela estrutura;
- d) 29% das fissuras possuem como causa provável reações expansivas por sulfatos.

A organização e compilação destes dados também possibilitou a seguinte conclusão em relação à distribuição das causas supramencionadas:

- a) As fissuras por possível assentamento plástico ocorrem em único elemento, localizado no Armazém AZ01;
- b) As fissuras por possível corrosão de armaduras ocorrem nos três armazéns AZ01, AZ02 e AZ03, com os seguintes percentuais, respectivamente, 64%, 11% e 28%;
- c) As fissuras por possíveis sobrecargas excessivas ocorrem nos três armazéns AZ01, AZ02 e AZ03 com os seguintes percentuais, respectivamente, 45%, 45% e 10%;
- d) As fissuras por possíveis reações expansivas por sulfatos ocorrem única e exclusivamente no armazém AZ01.

As atividades que compõem o plano de inspeção e foram desempenhadas de modo a permitir a obtenção de dados e informações foram divididas em coleta de dados e histórico, inspeção física, cadastramento estrutural, mapeamento das anomalias constatadas e ensaios tecnológicos.

Os ensaios tecnológicos realizados apresentaram os seguintes resultados:

- a) Ensaio quanto ao teor de cloretos: nenhuma das amostras apresentou teor de cloreto superior ao limite, 0,15%, possuindo, as amostras, teor de cloreto entre 0,01% e 0,03%, indicando a inexistência da contaminação por cloretos da estrutura de concreto do terminal logístico estudado e a descartando como fator gerador da corrosão de armaduras;
- b) Ensaio quanto ao teor de sulfatos (trióxido de enxofre SO_3): as amostras apresentaram valores entre 0,30% e 0,60%, estando 15 das 40 amostras com teor de sulfatos acima do limite, 0,45%. Observa-se que, das 15 amostras com teores acima do limite, 13 amostras encontravam-se no AZ01, ressaltando que 20 amostras foram extraídas do AZ01, ou seja, 65% das amostras do AZ01 apresentaram teor de sulfatos superior dos limites. Convergindo com os resultados apresentados em ensaios, a inspeção visual identificou fissuras típicas

da expansão por sulfatos, 34 ao todo, somente no AZ01, de forma a reforçar a ocorrência desta causa;

- c) Ensaio de resistência à compressão axial: as 12 amostras extraídas apresentaram valores entre 15,9 MPa e 38,4 MPa, tendo apenas 03 destas amostras resistência superior à informada como determinada em projeto, 30 MPa, todas no AZ02. Tais resultados reforçam a constatação da ocorrência de fissuras por incapacidade de suporte de carga.

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para sequência e aprofundamento de questões apresentadas ao longo deste trabalho, apresentam-se, abaixo, proposições para novos trabalhos relacionados:

- a) Determinação dos procedimentos de manutenções corretivas (recuperação e reparo) e preventivas, relacionados às fissuras constatadas nos elementos de concreto da edificação estudada;
- b) Análise e estudo das demais anomalias, em especial, manifestações patológicas constatadas na edificação estudada;
- c) Identificação dos mecanismos de degradação que dão causam as demais anomalias constatadas na edificação estudada;
- d) Determinação dos procedimentos de manutenções corretivas (recuperação e reparo) e preventivas, relacionados demais anomalias constatadas na edificação estudada.

Mediante à realização de considerações finais e sugestões para trabalhos futuros relacionados, considera-se encerrado o presente trabalho acadêmico, restando, somente, a apresentação de suas referências bibliográficas, constantes no próximo e último capítulo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM INTERNATIONAL). **ASTM C 12188 – Water – Soluble Chloride in Mortar and Concrete**. West Conshohockende, 1999.

SILVA, F. H. R; TRINDADE, W. L. **Determinação do ICP do Pavimento de Concreto de Cimento Portland da Av. Iguaçu em Curitiba**. TCC (Graduação de Engenharia Civil) Universidade Positivo, Curitiba, 2008.

ARAÚJO, J, M. **Avaliação dos Efeitos Deletérios de Íons Sulfato em Estruturas de Concreto Armado de uma Estação de Tratamento de Esgoto**. TCC (Graduação de Engenharia Civil) Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2016.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7680-1 – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto – Parte 1: Resistência à compressão axial**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9917 – Agregado para concreto – Determinação de sais cloretos e sulfatos solúveis**. Rio de Janeiro, 2009.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado**. São Paulo: Pini, 1988.

CINCOTTO, M. A.; PEREIRA, L. F. L. C.. **Determinação de Cloretos em Concreto de Cimento Portland – Influência do Tipo de Cimento**. São Paulo: EPUSP, 2001.

CURCZ, A. L. S.; LUNARCON, G.; SICURO, R. R.. **Verificação da Influência da Inclinação da Pista de Rolagem no Valor do Índice de Condição de Pavimento Rígido**. TCC (Graduação de Engenharia Civil) Universidade Positivo, Curitiba, 2013.

FELSKE, V. S.; GUARENTI, J. L.; GUIMARÃES, A. T. C.; RODRIGUES, N. D.. **Estudo do Concreto Armado em uma Indústria de Fertilizantes Situada em Zona Marinha**. Disponível em: <<http://repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/1643/ESTUDO%20DO%20CONCRETO%20ARMADO.pdf?sequence=1>>. Acesso em 29/01/2020.

GUTIERREZ, F. S.; MACCAGNAN, R. S.. **Análise das Causas e Origens de Manifestações Patológicas em uma Edificação e como Repará-las – Estudo de Caso**. TCC (Pós Graduação em Engenharia de Avaliações e Perícias) Instituto IDD, Curitiba, 2017.

HEUKO, C.; KLASSEN, S.. **Avaliação de Custos Gerados por Não Conformidades em Obras de Arquitetura ou Engenharia**. TCC (Pós Graduação em Gestão Estratégica de Projetos de

Engenharia e Arquitetura com Colaboração BIM e Lean Construction) Instituto IDD, Curitiba, 2019.

HELENE, P.. **Análise da Resistência do Concreto em Estruturas Existentes para Fins de avaliação de Segurança**. Disponível em: <<http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/1964-3410-1-PB-pdf>> Acesso em: 27/01/2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS (IBAPE). **Norma de Inspeção Predial Nacional**. São Paulo, 2012.

KNAPP, L. M.; OLIVAN, L. I.. **Perícias em Estruturas Metálicas – Aplicação do Método GUT**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias (IBAPE), 2019.

MOLIN, D. C. C. D.. **Fissuras em Estrutura de Concreto Armado – Análise das Manifestações Típicas e Levantamento de Casos Ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Civil). Prof. Dr. Paulo Roberto do Lago Helene. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

NORONHA, M. A. A. **Diagnóstico dos males e terapia das estruturas – Apostila do curso de Patologia das Construções de Concreto**. São Paulo: Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1980.

TOMAZELI, A. **Estruturas Paralisadas de Concreto Armado de Edifícios – Inspeção, Análise e Aceitação**. São Paulo: Leud, 2019.