

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**INFLUÊNCIA DE PROJETOS E DETALHES  
ARQUITETÔNICOS EM PATOLOGIAS DE ESTRUTURAS:  
ESTUDOS DE CASO**

**JOÃO PAULO MATOS XAVIER**

**ORIENTADOR: ANTÔNIO ALBERTO NEPOMUCENO  
CO-ORIENTADOR: JOÃO CARLOS TEATINI S. CLÍMACO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E  
CONSTRUÇÃO CIVIL**

**PUBLICAÇÃO: E.DM – 007 A/10  
BRASÍLIA/DF: OUTUBRO – 2010**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**INFLUÊNCIA DE PROJETOS E DETALHES ARQUITETÔNICOS  
EM PATOLOGIAS DE ESTRUTURAS: ESTUDOS DE CASO**

**JOÃO PAULO MATOS XAVIER**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE  
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU  
DE MESTRE EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.**

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Antônio Alberto Nepomuceno, Dr. Ing. (ENC-UnB)  
(Orientador)**

---

**Prof<sup>a</sup>. Rosa Maria Sposto, DSc (ENC-UnB)  
(Examinadora Interna)**

---

**Prof. José Manoel Morales Sánchez, DSc (FAU-UnB)  
(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF, 29 DE OUTUBRO DE 2010**

## FICHA CATALOGRÁFICA

XAVIER, JOÃO PAULO MATOS

Influência de Projetos e Detalhes Arquitetônicos em Patologias de Estruturas: Estudos de Caso [Distrito Federal] 2010.

xvii, 155p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2010). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1.Elementos Arquitetônicos

3.Patologias de Estruturas

I. ENC/FT/UnB

2.Análise de Projetos

4.Influência da temperatura

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

XAVIER., J. P. M. (2010). Influência de Projetos e Detalhes Arquitetônicos em Patologias de Estruturas: Estudos de Caso. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-007A/10, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 155p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: João Paulo Matos Xavier.

TÍTULO: Influência de Projetos e Detalhes Arquitetônicos em Patologias de Estruturas: Estudos de Caso.

GRAU: Mestre

ANO: 2010

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

João Paulo Matos Xavier

Rua Alaíde da Escóssia n.º 300, Nova Betânia.

59.607-060 Mossoró – RN – Brasil.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por sempre guiar meus passos em todos os momentos da minha vida.

Agradeço, aos meus pais José Xavier e Maria Aline, por sempre terem me proporcionado as melhores condições de seguir meus estudos de forma satisfatória e com qualidade.

Ao meu irmão Segundo, pelo apoio e ajuda no início do curso, me dando condições de se estabelecer em Brasília.

A minha sincera gratidão ao Prof. Antônio Alberto Nepomuceno, pela compreensão e atenção nas diversas orientações durante o desenvolvimento deste trabalho que foram fundamentais para conclusão desta pesquisa.

Ao Prof. João Carlos Teatíni Clímaco pela co-orientação e ensinamentos repassados ao longo do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo apoio financeiro imprescindível para o desenvolvimento desta pesquisa.

A algumas pessoas especiais que passaram por minha vida, pela paciência, compreensão e apoio para que eu ingressasse neste curso. E outras especiais que me deu força e coragem para concluir este trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

Aos meus queridos e novos amigos, em especial à Hileana, Giselle, Alber, Galileu, Fábio e Fernanda pelo companheirismo, apoio e união durante esses anos de curso.

Enfim a todos que me ajudaram e me incentivaram para a conclusão deste trabalho.

*Dedicado aos meus pais,  
pelo apoio, base familiar e  
educação durante toda minha  
vida.*

## RESUMO

### INFLUÊNCIA DE PROJETOS E DETALHES ARQUITETÔNICOS EM PATOLOGIAS DE ESTRUTURAS: ESTUDOS DE CASO

**Autor:** João Paulo Matos Xavier

**Orientador:** Antônio Alberto Nepomuceno

**Co-Orientador:** João Carlos Teatini de Souza Clímaco

**Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil**

**Brasília, outubro de 2010**

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência de projeto e de elementos arquitetônicos no surgimento de manifestações patológicas, através de estudos de caso, com a análise de três edificações localizadas no Campus Darcy Ribeiro da UnB. Nessas análises foram avaliadas as diretrizes e critérios de projeto que visam à durabilidade incorporada à ABNT NBR 6118 (2003).

A metodologia se baseou na análise dos projetos de arquitetura das edificações tomadas como estudo de caso (prédio do Instituto de Química – IQ; prédio da Faculdade de Tecnologia – FT; prédio da Faculdade de Assuntos Sociais Aplicados – FA) onde se verificaram todos os detalhes e elementos arquitetônicos propícios ao surgimento de patologias. Posteriormente foi realizada uma vistoria “*in-loco*” para constatação dessas manifestações e após a verificação de várias patologias nas edificações, foi realizada uma modelagem computacional do edifício da FA para análise dos elementos fissurados.

A pesquisa permitiu constatar que o prédio da FT e o prédio da FA, construídos a aproximadamente quarenta anos, estavam em sua maioria em desacordo com as diretrizes e os critérios de projeto estabelecidos pela ABNT NBR 6118 (2003), como também que essas edificações apresentavam diversas manifestações patológicas sendo necessário, o mais breve possível, a realização de manutenções. O prédio do IQ estava em sua maioria de acordo com os critérios estabelecidos pela norma em estudo, mas foram encontradas algumas patologias devido à umidade, além de fissuras na laje do piso do primeiro pavimento que poderão no futuro comprometer a segurança da edificação por corrosão de pinos de ligação entre a estrutura metálica e a estrutura de concreto. Através da modelagem computacional dos elementos da FA verificou-se que a influência da temperatura foi fundamental para o surgimento das fissuras encontradas nos *sheds* da cobertura.

**Palavras chave:** Elementos Arquitetônicos; Análise de Projetos; Patologias de Estruturas; Influência da Temperatura.

## **ABSTRACT**

### **INFLUENCE OF ARCHITECTURAL DETAILS AND DESIGN OF STRUCTURES IN PATHOLOGY: CASE STUDIES**

**Author: João Paulo Matos Xavier**

**Supervisor: Antônio Alberto Nepomuceno**

**Co-Supervisor: João Carlos Teatini de Souza Clímaco**

**Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil**

**Brasília, October of 2010**

The objective of this work is to evaluate the project influence and of architectural elements in the appearance of pathological manifestations, through case studies, with the analysis of three located constructions in the UnB's Darcy Ribeiro Campus. In those analyses they were appraised the guidelines and project criteria that seek to the incorporate durability to ABNT NBR 6118 (2003).

The methodology based on the analysis of the architecture projects of the constructions taken as case study (building of the Institute of Chemistry - IQ; building of University of Technology - FT; building of University of Applied Social Subjects - FA) where all the details and favorable architectural elements were verified to the appearance of pathologies. Later an inspection "in-loco" was accomplished for verification of those manifestations and after the verification of several pathologies in the constructions, a modelling computational of the FA's building was accomplished for analysis of the eager elements.

The research allowed to verify that the building of FT and the building of the FA, built the approximately forty years, they were in its majority in disagreement with the guidelines and the project criteria established by ABNT NBR 6118 (2003), as well as that those constructions presented several pathological manifestations being necessary, the more possible abbreviation, the accomplishment of maintenances.

The building of IQ was in its majority in agreement with the established criteria for the norm in study, but some pathologies were found due to the humidity, besides fissures in the flagstone of the first pavement floor that will be able to in the future to commit the safety of the construction for corrosion of connection pins between the metallic structure and the concrete structure. Through the computational modelling of the elements of the FA it was verified that the influence of the temperature was fundamental for the appearance of the fissures found in the sheds of the covering.

**Keywords:** Architectural elements; Analysis of Projects; Pathologies of Structures; Influence of the Temperature.

# SUMÁRIO

<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 – OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>5</b>
<b>1.3 – JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>6</b>
<b>1.4 – ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2 – CONCEITOS INERENTES AO TEMA .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 – VIDA ÚTIL .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 – DESEMPENHO .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 – DURABILIDADE .....</b>	<b>14</b>
<b>2.4 – PATOLOGIA E REPARO DA CONSTRUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4.1 – Principais manifestações patológicas .....</b>	<b>17</b>
2.4.1.1 – Corrosão de armadura .....	21
2.4.1.2 – Eflorescência .....	27
2.4.1.3 – Bolor .....	28
<b>3 – DIRETRIZES E CRITÉRIOS DE PROJETO QUE VISAM À DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO SEGUNDO A ABNT NBR 6118 (2003).....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 – MECANISMOS de Deterioração das Estruturas .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1.1 – Mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto.....</b>	<b>30</b>
3.1.1.1 – Lixiviação .....	30
3.1.1.2 – Expansão por ação de águas e solos contendo sulfatos .....	32
3.1.1.3 – Reações álcali-agregado .....	33
3.1.1.4 - Reações deletérias .....	35
<b>3.2 – AGRESSIVIDADE DO AMBIENTE .....</b>	<b>35</b>
<b>3.3 – CRITÉRIOS DE PROJETO QUE VISAM A DURABILIDADE .....</b>	<b>36</b>
<b>3.3.1 – Drenagem.....</b>	<b>36</b>
<b>3.3.2 – Formas arquitetônicas e estruturais .....</b>	<b>41</b>
<b>3.3.3 – Qualidade do concreto de cobrimento .....</b>	<b>45</b>
3.3.3.1 – Controle da fissuração .....	47

<b>4 - ESTUDOS DE CASO .....</b>	<b>50</b>
<b>4.1 – INSTITUTO DE QUÍMICA (IQ).....</b>	<b>50</b>
<b>4.1.1 – Características gerais .....</b>	<b>50</b>
<b>4.1.2 – Sistema construtivo.....</b>	<b>51</b>
<b>4.1.3 – Análise dos detalhes arquitetônicos .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1.4 – Detalhes arquitetônicos propícios ao surgimento de manifestações patológicas .....</b>	<b>53</b>
4.1.4.1 – Detalhes arquitetônicos propícios a acumulação de água.....	53
4.1.4.2 – Detalhes sujeitos a corrosão.....	55
<b>4.1.5 – Detalhes arquitetônicos com manifestações patológicas .....</b>	<b>57</b>
4.1.5.1 – Manchas em concreto aparente.....	57
4.1.5.2 – Fissuras e trincas .....	59
<b>4.1.6 – Passarela metálica.....</b>	<b>60</b>
<b>4.1.7 – Considerações finais referente à análise do prédio (IQ) .....</b>	<b>65</b>
<b>4.2 – FACULDADE DE TECNOLOGIA (FT) .....</b>	<b>66</b>
<b>4.2.1 – Características gerais .....</b>	<b>66</b>
<b>4.2.2 – Análise dos detalhes arquitetônicos .....</b>	<b>68</b>
4.2.2.1 – Detalhes arquitetônicos da fachada .....	68
4.2.2.2 – Detalhes arquitetônicos do interior do prédio.....	69
4.2.2.3 – Detalhes arquitetônicos da cobertura.....	74
<b>4.2.3 – Considerações finais referente à análise do prédio (FT).....</b>	<b>76</b>
<b>4.3 – FACULDADE DE ESTUDOS SOCIAIS APLICADAS (FA) .....</b>	<b>77</b>
<b>4.3.1 – Características gerais .....</b>	<b>77</b>
<b>4.3.2 – Análise do projeto e detalhes arquitetônicos.....</b>	<b>78</b>
4.3.2.1 – Detalhes arquitetônicos da fachada .....	78
4.3.2.2 – Detalhes arquitetônicos da entrada do prédio.....	81
4.3.2.3 – Detalhes arquitetônicos do interior do prédio.....	82
4.3.2.4 – Detalhes da cobertura .....	89
<b>4.3.3 – Considerações finais referente à análise do prédio da FA .....</b>	<b>91</b>
<b>5 – ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS FRENTE À VARIAÇÃO DE TEMPERATURA USANDO O SOFTWARE SAP 2000</b>	<b>93</b>
<b>5.1 – CONCEPÇÃO ESTRUTURAL NO SAP 2000.....</b>	<b>93</b>

<b>5.2 – ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS TOMADOS COMO ESTUDO .....</b>	<b>94</b>
<b>5.2.1 – Os sheds da Faculdade de Estudos Sociais Aplicados .....</b>	<b>94</b>
5.2.1.1 – Concepção estrutural no SAP 2000 .....	95
5.2.1.2 – Condições de contorno adotadas .....	99
5.2.1.3 – Variações de temperatura.....	101
5.2.1.4 – Análise dos resultados obtidos.....	104
<b>6 – CONCLUSÕES.....</b>	<b>108</b>
<b>6.1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>108</b>
<b>6.2 – SOBRE OS CRITÉRIOS DE DURABILIDADE ACRESCIDOS À ABNT     NBR 6118 (2003) .....</b>	<b>108</b>
<b>6.3 – CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PRÉDIOS TOMADOS COMO ESTUDOS     DE CASO.....</b>	<b>109</b>
<b>6.3.1 – Prédio do Instituto de Química (IQ) .....</b>	<b>109</b>
6.3.1.1 – Recomendações para manutenções periódicas no prédio do IQ.....	110
<b>6.3.2 – Prédio da Faculdade de Tecnologia (FT).....</b>	<b>111</b>
6.3.2.1 – Recomendações para manutenções periódicas no prédio da FT .....	112
<b>6.3.3 – Prédio da Faculdade de Assuntos Sociais Aplicados (FA).....</b>	<b>113</b>
6.3.3.1 – Recomendações para manutenções periódicas no prédio da FA .....	114
<b>6.4 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>115</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>116</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>124</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>125</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>128</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>130</b>
<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>133</b>
<b>APÊNDICE E.....</b>	<b>136</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tipos de manifestações patológicas (Nince, 1996) .....	18
Tabela 2.2 – Tipos de manifestações patológicas (Nince, 1996) .....	19
Tabela 2.3 – Fontes de cloretos no concreto (Vieira, 2003).....	24
Tabela 3.1 – Classes de agressividade ambiental .....	36
Tabela 3.2 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto (ABNT NBR 6118, 2003) .....	46
Tabela 3.3 – Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c = 10\text{mm}$ (ABNT NBR 6118, 2003).....	47
Tabela 3.4 – Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e a proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental (ABNT NBR 6118, 2003).....	48
Tabela 5.1 – Temperaturas máximas e mínimas medidas com o uso do termômetro infravermelho de superfície (FONSECA 2007) .....	102
Tabela 5.2 – Temperaturas máximas e mínimas medidas com o uso do termômetro infravermelho de superfície (Fonseca, 2007) .....	103

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Vida útil das estruturas de concreto (Tuuti 1982, modificado por Castro <i>et al.</i> , 1995).....	10
Figura 2.2 – Conceituação da vida útil das estruturas de concreto (Helene, 1997).....	11
Figura 2.3– Desempenho e suas inter-relações (adaptada: CIB W80/RILEM 71-PSL, 1983) 13	
Figura 2.4 – Desempenho ao longo do tempo de um elemento, instalação ou sistema construtivo (ABNT NBR 15575 (2008) .....	14
Figura 2.5 – Fases do desempenho de uma edificação histórica (Lersch, 2003) .....	16
Figura 2.6 – Manifestações patológicas nas edificações – Brasília (Nince, 1996) .....	19
Figura 2.7 – Causa isolada das manifestações – Brasília (Nince, 1996).....	20
Figura 2.8 – Causas associadas das manifestações – Brasília (Nince, 1996).....	20
Figura 2.9 – Problemas de projeto – Brasília (Nince, 1996).....	20
Figura 2.10 – Corrosão de armadura (Gratão, 2008).....	23
Figura 2.11 – Esquema do mecanismo de corrosão por cloreto (Treadaway, 1988) .....	25
Figura 2.12 – Esquema representativo do processo de carbonatação (Bakker, 1988) .....	26
Figura 2.13 – Eflorescências em encontro de vigas em pavimento de garagem (Gratão, 2008).....	27
Figura 2.14 – Projeto no qual a ventilação está prejudicada (Adaptada de Alucci, Flauzino e Milano, 1985) .....	28
Figura 2.15 – Circulação do ar no ambiente comprometida pelo alinhamento de porta e janela (Adaptada de Alucci, Flauzino e Milano, 1985).....	29
Figura 2.16 – Bolor em pavimento de garagem (Boldo, 2002).....	29
Figura 3.1 – Detalhes arquitetônicos apresentando manchas de lixiviação, deterioração do concreto e corrosão de armaduras .....	31
Figura 3.2 – Acumulação de água sobre a laje de concreto armado do prédio da FT) .....	37
Figura 3.3 – Ponte com deterioração do concreto e corrosão de armadura (Borges, 2005)....	37
Figura 3.4 – Caimento inadequado do tabuleiro da ponte (Borges, 2005).....	38
Figura 3.5 – Detalhes de projeto do caimento do tabuleiro da ponte (Borges, 2005).....	38
Figura 3.6 – Junta de dilatação deteriorada (Lessa e Nóbrega, 2009).....	39
Figura 3.7 – Platibanda do prédio da FA deteriorada e com manchas de umidade (Lessa e Nóbrega, 2009) .....	40

Figura 3.8 – Detalhe do rufo localizado na cobertura do prédio da FT, evitando a penetração de umidade na parede do prédio.....	40
Figura 3.9 – Diagramas dos fluxos de água em pingadeiras com diferentes geometrias (Perez, 1988 e Thomaz, 1990).....	42
Figura 3.10 – Marquise do prédio da FT/UnB com manchas de umidade.....	43
Figura 3.11 – Trajetória do fluxo de água nas esquadrias a) com avanço e b) sem avanço (Thomaz, 1990) .....	43
Figura 3.12 – Fachada do prédio do DNIT com vários brises de concreto .....	44
Figura 3.13 - Brises de concreto do prédio da Biblioteca Central da UnB com a presença de manchas devido à umidade.....	45
Figura 4.1 – Localização do Instituto de Química - IQ (CEPLAN - UnB, 2009).....	51
Figura 4.2 – Instituto de Química – IQ.....	51
Figura 4.3 – Corredor central do pavimento térreo do IQ.....	52
Figura 4.4 – Corredor central do pavimento superior do IQ .....	52
Figura 4.5 – Detalhe da cobertura do IQ .....	53
Figura 4.6 – Detalhe do sistema de drenagem do IQ.....	54
Figura 4.7 – Detalhe da cobertura da entrada do prédio IQ .....	54
Figura 4.8 – Plano das vigas da Marquise (CEPLAN/UnB, 2009) .....	55
Figura 4.9 – Marquise localizada na entrada do prédio IQ .....	55
Figura 4.10 – Estrutura metálica localizada no interior do prédio do IQ .....	56
Figura 4.11 – Marquises das entradas do IQ com tirantes metálicos .....	57
Figura 4.12 – Manchas na fachada frontal do IQ devido à falta de pingadeira.....	57
Figura 4.13 – Manchas esbranquiçadas de lixiviação no interior do IQ .....	58
Figura 4.14 – Manchas localizadas em vigas localizadas no almoxarifado do IQ.....	58
Figura 4.15 – Manchas na cobertura do Almoxarifado do IQ.....	59
Figura 4.16 – <i>Sheds</i> da laje de cobertura do almoxarifado do IQ .....	59
Figura 4.17 – Passarela localizada no IQ .....	60
Figura 4.18 – Vigas e tirantes de aço da passarela do IQ.....	61
Figura 4.19 – Fissuras na região dos encontros da passarela com a estrutura do prédio .....	61
Figura 4.20 – Plano geral das vigas e pilares de concreto do prédio do IQ (CEPLAN - UnB, 2009) .....	62
Figura 4.21 – Plano geral da estrutura metálica da passarela, como também em destaque as regiões onde estão ocorrendo fissuras (CEPLAN - UnB, 2009).....	62

Figura 4.22 – Ligação entre a viga metálica da passarela e a viga de concreto do prédio.....	63
Figura 4.23 – Detalhe da ligação da viga metálica da passarela com a viga de concreto do prédio (CEPLAN - UnB, 2009).....	63
Figura 4.24 – Detalhe das armaduras negativas das lajes da passarela (CEPLAN - UnB, 2009).....	64
Figura 4.25 – Detalhe da armadura negativa na região da fissura (CEPLAN - UnB, 2009)...	64
Figura 4.26 – Faculdade de Tecnologia (FT) .....	66
Figura 4.27 – Localização da Faculdade de Tecnologia (FT) .....	67
Figura 4.28 – Fachadas da FT .....	67
Figura 4.29 – Esquadrias do prédio (FT).....	68
Figura 4.30 – Detalhe de projeto das marquises da fachada do FT (CEPLAN - UnB, 2009).	69
Figura 4.31 – Marquises localizadas na fachada do prédio (FT).....	69
Figura 4.32 – Entrada do FT desprovida de sistema de drenagem.....	70
Figura 4.33 – Tubulação vertical passando no plano principal da viga .....	70
Figura 4.34 – Furo em laje para a passagem de tubulação vertical .....	70
Figura 4.35 – Abertura vertical em vigas (ABNT NBR 6118, 2003) .....	71
Figura 4.36 – Marquise localizada no interior do FT .....	72
Figura 4.37 – Vigas apresentando manchas e deterioração do concreto .....	72
Figura 4.38 – Manchas de umidade em janelas e na alvenaria.....	73
Figura 4.39 – Viga apresentando destacamento do concreto e armadura exposta .....	73
Figura 4.40 – Corrosão de armadura de viga .....	74
Figura 4.41 – Detalhe de projeto dos <i>sheds</i> de concreto .....	74
Figura 4.42 – <i>Sheds</i> de concreto localizados na cobertura do prédio da FT .....	75
Figura 4.43 – Manchas devido à acumulação de água .....	75
Figura 4.44 – Manchas no interior da edificação .....	76
Figura 4.45 – Rufos metálicos nos encontros dos elementos da cobertura.....	76
Figura 4.46 – Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas .....	77
Figura 4.47 – Localização da FA.....	78
Figura 4.48 – Posicionamento dos brises e lajes de avanço (CEPLAN - UnB, 2009).....	79
Figura 4.49 – Manchas nos detalhes arquitetônicos (Lessa e Nóbrega, 2009).....	79
Figura 4.50 – Ausência de pingadeira na viga superior (Lessa e Nóbrega, 2009).....	80
Figura 4.51 – Manchas na laje de avanço devido à falta de pingadeira (Lessa e Nóbrega, 2009).....	80

Figura 4.52 – Trincas e deterioração total do concreto .....	81
Figura 4.53– Detalhe de projeto da entrada do FA (CEPLAN - UnB, 2009) .....	81
Figura 4.54 – Manchas e deterioração do concreto devido à ineficiência da pingadeira .....	82
Figura 4.55 – Dispositivo de drenagem na entrada da FA .....	82
Figura 4.56 – Presença de manchas nos brises de concreto .....	83
Figura 4.57 – Ligação dos brises com a estrutura através de cantoneiras metálicas .....	83
Figura 4.58 – Trincas no encontro dos elementos .....	84
Figura 4.59 – Demolição de dois brises .....	84
Figura 4.60 – Detalhe em projeto da passarela metálica .....	84
Figura 4.61 – Passarela Metálica .....	85
Figura 4.62 – Elementos da passarela em estado de corrosão .....	85
Figura 4.63 – Detalhe da cobertura da passarela .....	85
Figura 4.64 – Concreto da laje de piso com armadura exposta .....	86
Figura 4.65 – Trincas localizadas na laje de piso da passarela .....	86
Figura 4.66 – Junta de dilatação entre o prédio e a passarela (vista pela parte superior) .....	87
Figura 4.67 – Aberturas na junta favorecendo a passagem de água (vista pela parte inferior) .....	87
Figura 4.78 – Passagem da umidade pelo encontro laje-viga .....	88
Figura 4.69 – Escada que dá acesso a cobertura do prédio .....	88
Figura 4.70 – <i>Sheds</i> de concreto .....	89
Figura 4.71 – Impermeabilização entre os <i>sheds</i> .....	89
Figura 4.72 – Platibanda com manchas .....	90
Figura 4.73 – Junta de dilatação entre pilares sem nenhum material de enchimento .....	91
Figura 4.74 – Trincas na alvenaria ocasionadas pela movimentação da estrutura .....	91
Figura 5.1 – Manchas no interior do prédio ocasionada por infiltração nos <i>sheds</i> .....	94
Figura 5.2 – Modelo da Estrutura no SAP 2000 .....	95
Figura 5.3 – Visualização da Planta de Forma e detalhes da Cobertura da FA (CEPLAN - UnB, 2008) .....	96
Figura 5.4 – Visualização do corte A-A, do elemento <i>shed</i> (CEPLAN - UnB, 2008) .....	97
Figura 5.5 – Visualização do corte C-C, do elemento <i>shed</i> (CEPLAN - UnB, 2008) .....	98
Figura 5.6 – <i>Sheds</i> de concreto (Lessa e Nóbrega, 2009) .....	99
Figura 5.7 – Representação dos apoios nos elementos dos <i>sheds</i> no SAP 2000 .....	99
Figura 5.8 - Modelo estrutural dos <i>sheds</i> em “3D” no SAP 2000 .....	105
Figura 5.9 – Ponto com tensão superior a $f_{ctk,inf}$ .....	106

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	– American Society for Testing and Materials
BCE	– Biblioteca Central da UnB
CEPLAN	– Centro de Planejamento da UnB
DNIT	– Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
FA	– Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas
FT	– Faculdade de Tecnologia
ICC	– Instituto Central de Ciências
ICOLD	– International Committee on Large Dams
IQ	– Instituto de Química
RAA	– Reação álcali-agregado
RAC	– Reação álcali-carbonato
RAS	– Reação álcali-sílica
UnB	– Universidade de Brasília
$D_t$	– Diferença das temperaturas máximas e mínimas
$V_{tc}$	– Variação de temperatura do concreto
$\Delta c$	– Tolerância de execução para o cobrimento
$d_{máx}$	– Dimensão máxima característica do agregado graúdo
$c_{nom}$	– Espessura nominal do cobrimento
$w_k$	– Abertura máxima característica

# 1 – INTRODUÇÃO

## 1.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

O desenvolvimento na área da Arquitetura e Engenharia envolve muitos conhecimentos, sendo eles voltados para os materiais, as técnicas construtivas, a história, as teorias, os sistemas estruturais, merecendo destaque a construção propriamente dita dos edifícios.

Projetar uma estrutura significa resolver seu trinômio fundamental: segurança, funcionalidade e durabilidade, onde todos os termos são igualmente prioritários (Souza *et al.*, 1996).

Carrió (1985) define Arquitetura como a arte funcional, tendo o adjetivo funcional, na definição, um sentido de uso vital. O autor explica: “A Arquitetura – cada arquitetura – se cria, não só para ser vista, sim, sobretudo para ser vivida, para ser utilizada”. Os três aspectos básicos dessa funcionalidade, segundo o autor são Integridade, Habitabilidade e a Estética. Estes aspectos são embasados nos atributos da Arquitetura propostos pelo arquiteto romano Marco Vitruvius Polião (no primeiro século a.C.), sobre a formulação teórica da arquitetura ocidental, que seriam a *Utilitas* (Habitabilidade), *Venustas* (Estética) e *Firmitas* (Integridade).

A Habitabilidade constitui o aspecto básico da funcionalidade e relaciona-se a uma adequada distribuição interior e ao conforto ambiental criado pelo desempenho físico-químico de seus envolventes (CARRIÓ, 1985).

A *Estética exterior* da Arquitetura define o aspecto visual de um edifício e a parte do entorno físico e histórico em que se assenta; a *Estética interior*, afeta, diretamente, os usuários dos espaços internos e está intimamente ligada a habitabilidade (CARRIÓ, 1985).

A *Integridade* diz respeito à permanência do edifício que, para ser vivido, exige um mínimo de durabilidade, precisa cumprir o tempo previsto para sua duração sem degradações funcionais ou estéticas; a *integridade mecânica* relaciona-se a exigência de estrutura de suporte no edifício e a *integridade física* à necessidade de durabilidade das

edificações, isto é, suficiente resistência ante os agentes agressivos externos ao longo do tempo, conferindo à edificação permanência funcional e formal durante sua vida útil (Carrió, 1985).

Para que a Arquitetura cumpra os objetivos estéticos que sua funcionalidade requer, tanto nos aspectos interiores quanto nos exteriores, terá que lançar mão da tecnologia e da capacidade criativa, através da utilização de técnicas adequadas (de materiais e sistemas construtivos). A tecnologia deverá ser capaz de criar soluções que respondam, adequadamente, aos aspectos básicos da funcionalidade. Portanto, é importante ressaltar que a funcionalidade, tecnologia construtiva e criatividade são o suporte básico para a arte de construir e, a interdependência entre esses fatores é de fundamental importância, devendo ser transmitida na formação universitária e, posteriormente, na atuação profissional, cuja responsabilidade social exige uma permanente criatividade funcional, e, portanto, tecnológica (Carrió, 1985).

A evolução da tecnologia dos materiais de construção e das técnicas de projeto e execução de edifícios evoluiu no sentido de torná-los cada vez mais leves, com componentes estruturais mais esbeltos, menos contraventados. Como exemplo, pode-se destacar o concreto estrutural, que está apresentando cada dia uma resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ) mais elevada, reduzindo, assim, as seções dos elementos estruturais.

Do ponto de vista físico um edifício nada mais é do que a interligação racional entre diversos materiais e componentes; é muito comum especificarem-se nos projetos componentes “bons e resistentes”, não dando maior cuidado aos elementos de ligação e esquecendo-se, freqüentemente, de que um sistema de juntas às vezes é indispensável para que os componentes apresentem o desempenho presumido. Segundo Baker (1970), é uma falácia muito comum referir-se a materiais de construção como bons ou ruins, duráveis ou não duráveis e resistentes ou não resistentes, como se essas fossem propriedades inerentes dos materiais. Na realidade, esses termos são muito relativos: a durabilidade do material está, diretamente, relacionada às condições de aplicação e de exposição. Por outro lado, não existe nenhum material infinitamente resistente; todos eles irão trincar-se ou romper-se sob ação de um determinado nível de carregamento ou nível de agressividade ambiental,

nível este que não deverá ser atingido no caso de não se desejar, na edificação, componentes trincados ou rompidos.

Os edifícios protegem o homem contra a chuva, o sol, o vento, a umidade, a poluição atmosférica, as plantas, os microorganismos, a variação de temperatura, a radiação solar e as vibrações. Para tanto, esses edifícios necessitam de coberturas e paredes. Se as paredes fecham inteiramente o espaço interno, precisam de portas para a entrada e saída e janelas para acesso à luz. Neste sentido a “cobertura e paredes, portas e janelas são os elementos essenciais de um edifício” (Ivanóski, 2004). No entanto, para uma longa vida útil do edifício, o planejamento da fachada, no projeto arquitetônico, tanto das paredes, quanto das aberturas, é fundamental para bons resultados, tanto de conforto ambiental, quanto de manutenção da edificação e da salubridade do espaço interno.

Para Oliveira (2004), as edificações são formadas por materiais que quando em contato com o meio, sofrem ações, deteriorando-se. Agentes atmosféricos interferem e prejudicam a vida útil e, conseqüentemente, levam a uma redução do desempenho inicial, até atingir uma deficiência ou manifestação patológica.

Já Consoli e Repette (2006), complementam que com as diversas ações causadas pelo tempo e o próprio desgaste, começam a surgir algumas patologias. Conhecer essas patologias em edificações, suas origens e causas possibilita ações preventivas e corretivas eficazes durante o projeto e execução de uma obra.

Incompatibilidades entre projetos de arquitetura, estrutura e fundações normalmente conduzem a tensões que sobrepõem a resistência dos materiais em seções particularmente, desfavoráveis, originando problemas patológicos. No Brasil é ainda muito comum a falta de diálogo entre os autores dos projetos mencionados e os fabricantes dos materiais e componentes da construção. Assim, projetam-se fundações sem levar-se em conta se a estrutura é rígida ou flexível, calculam-se estruturas sem considerarem-se os sistemas de vinculação e as propriedades elásticas dos componentes de vedação, projetam-se vedações e sistemas de piso sem a consideração da ocorrência de recalques diferenciados e das acomodações da estrutura.

Partindo-se muitas vezes de projetos incompatíveis ou mal detalhados, considerando-se ainda a interferência de todos os projetos das instalações, as falhas de planejamento, a carência de especificações técnicas, a ausência de mão-de-obra bem treinada, a deficiência de fiscalização e, muitas vezes, as imposições políticas de prazos e preços, chega-se finalmente à execução da obra, onde uma série de improvisações e malabarismos deverá ser adotada para tentar-se produzir um edifício de boa qualidade.

É importante lembrar que a ocorrência de manifestações patológicas pode ocorrer nas fases de planejamento, projeto, fabricação de materiais e/ou componentes, execução ou uso. Tal ocorrência está relacionada com o nível de controle de qualidade realizado em cada uma destas fases e também pode ser um problema intrínseco do material, ou ainda ação do meio ou alteração do meio.

O conhecimento das incidências contribui para a melhoria continua dos processos construtivos, na medida em que as informações sobre as mesmas são tratadas e divulgadas.

A falta do registro e divulgação de dados sobre problemas patológicos retarda o desenvolvimento das técnicas de projetar e de construir, cerceando, principalmente, aos profissionais mais jovens a possibilidade de evitarem erros repetidos inúmeras vezes no passado (Thomaz, 1996).

Segundo o Comitê Euro-Internacional Du Béton (1993, apud Lersch, 2003) as estruturas devem ser projetadas, construídas e operadas de tal forma que, sob condições ambientais esperadas, elas mantenham sua segurança, funcionalidade e aparência aceitável durante um período de tempo, implícito ou explícito, sem requerer altos custos para manutenção ou reparo.

Durante a concepção e execução de um edifício, é responsabilidade do projetista analisar as diversas fases do processo, ou seja, a fundação, a superestrutura, as vedações, os revestimentos, as instalações, entre outras. Devem ser previstos todos os cenários envolvidos na sua produção e, principalmente, o desempenho futuro dos seus elementos e componentes, objetivando um comportamento adequado à finalidade a que se destina (Consoli e Repette, 2006).

Conforme referido, projetar significa resolver um trinômio fundamental: segurança, funcionalidade e durabilidade. Entretanto, o que se tem visto na prática é totalmente contrário. Devido a isto, os problemas patológicos começam a surgir prematuramente desde a fase da concepção do projeto arquitetônico. É a partir deste, que se inicia a elaboração dos demais projetos.

É notório que pode-se evitar vários problemas patológicos quando se tem uma estrutura mais simples. E, o uso de detalhes arquitetônicos, muito rebuscados e sem funcionalidade leva a uma estrutura mais robusta, e quando não executada de maneira correta pode-se tornar instável e de custo elevado

## **1.2 – OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO**

O objetivo geral deste trabalho é analisar a influência de projetos e detalhes arquitetônicos no surgimento de manifestações patológicas, através de estudos de caso, em edificações localizadas no Campus Central da Universidade de Brasília (UnB).

Como objetivos específicos pretendem-se:

- a) Verificar nos projetos de arquitetura das edificações escolhidas como estudos de caso, a existência dos aspectos de durabilidade, incorporados pela ABNT NBR 6118:2003;
- b) Analisar a presença de manifestações patológicas ocasionadas por influência dos detalhes arquitetônicos;
- c) Verificar os aspectos de projeto favoráveis ao surgimento de problemas patológicos.
- d) Realizar modelagem computacional em detalhe arquitetônico com patologia a fim de obter suas possíveis causas.

### 1.3 – JUSTIFICATIVA

Os problemas patológicos podem começar a surgir, de forma congênita, logo na concepção do projeto arquitetônico da edificação. Deve-se, sem dúvida, dar importância à estética, à segurança, à higiene, à funcionalidade e ao custo inicial das obras. Não se deve esquecer, contudo, que projetar é também levar em conta alguns aspectos essenciais, como os custos de manutenção e durabilidade da obra, que são diretamente relacionados com o maior ou menor conhecimento que o projetista tem das propriedades tecnológicas dos materiais de construção a serem empregados.

Têm-se visto na prática o contrário, os projetos não estão levando em consideração esses aspectos citados no parágrafo anterior. Associado a isto, tem-se as incompatibilidades de projetos de arquitetura, fundações, instalações, ou seja, para uma mesma edificação têm-se projetos mal detalhados e elaborados por diferentes profissionais, não havendo um diálogo entre os autores dos projetos, para resultar numa melhor concepção e execução.

Pode-se ainda destacar as falhas de planejamento, a carência de especificações técnicas, a ausência de mão-de-obra bem treinada, a deficiência de fiscalização e, muitas vezes, as imposições políticas de prazos e preços, chega-se finalmente à execução da obra onde uma série de improvisações deverá ser adotada para tentar-se produzir uma edificação de boa qualidade.

É importante ressaltar ainda que há poucas publicações na bibliografia abordando a análise de projetos arquitetônicos tendo em vista a durabilidade. Pode-se destacar o CEB (1989), que apresenta alguns elementos e disposições arquitetônicas que podem favorecer o surgimento de manifestações patológicas.

Deve-se considerar também que, com a introdução de recomendações de durabilidade na norma ABNT NBR 6118: Projeto de Estruturas de concreto – Procedimento (2003) é importante avaliar se os projetos recentes já incorporam na sua concepção estes conceitos.

Com o intuito de resolver essas questões e poder contribuir para a melhoria dos futuros projetos de arquitetura é que o PECC/UnB (Programa de Pós-Graduação em Estruturas e

Construção Civil da UnB) através da linha de pesquisa Patologia, Recuperação e Manutenção de Estruturas, vêm realizando pesquisas voltadas para a análise da estrutura de vários monumentos de Brasília (PESSOA 2002, SANTOS JUNIOR 2004, SOUZA 2009, MATOS 2009).

Diante destes aspectos, é que há necessidade de estudos e trabalhos mais recentes sobre o assunto, de tal maneira que se possam evitar problemas patológicos durante a concepção dos projetos.

#### **1.4 – ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO**

A presente dissertação encontra-se dividida em 07 capítulos, bibliografia e anexos, conforme se descreve seguidamente:

O Capítulo 1, **Introdução**, introduz o tema, fazendo-se uma abordagem geral sobre o conceito e desenvolvimento da arquitetura aliado ao avanço tecnológico dos materiais, e, sua influência no surgimento de problemas patológicos nas edificações.

O Capítulo 2, **Conceitos de Vida Útil, Desempenho e Durabilidade**, sintetizam-se alguns conceitos inerentes ao estudo desta dissertação, fazendo-se uma correlação com os problemas patológicos. É ainda, abordado, a importância desses conceitos na elaboração dos projetos.

O Capítulo 3, **Principais Manifestações Patológicas**, aborda as principais manifestações patológicas, subdivididas de várias formas e, além, de serem classificadas de acordo com suas origens. É mostrado, para cada manifestação, suas causas e os aspectos observados, além de imagens ilustrativas.

O Capítulo 4, **Diretrizes e Critérios de projeto que visam à durabilidade das estruturas de concreto segundo a ABNT NBR 6118:2003**, apresenta e explica os aspectos de durabilidade incorporados pela ABNT NBR 6118:2003, exemplificando com detalhes de projeto e de elementos arquitetônicos que possam reduzir a durabilidade das estruturas.

O Capítulo 5, **Estudos de Caso**, apresenta as considerações referentes aos estudos de caso, realizados no Campus Central da Universidade de Brasília – UnB. Através de registro fotográfico foram analisadas três edificações da instituição (prédio do Instituto de Química - IQ; prédio da Faculdade de Tecnologia – FT; prédio da Faculdade de Assuntos Sociais Aplicados – FA), no qual se verificou a existência de manifestações patológicas e a influência dos detalhes arquitetônicos no surgimento dessas patologias.

O Capítulo 6, **Análise do Comportamento de Elemento Arquitetônico (*shed*) frente à variação de temperatura usando o software SAP 2000**, aborda um estudo da influência da temperatura desse elemento (*shed*) no surgimento de fissuras que levam à infiltração de água no interior do edifício (prédio da FA).

O Capítulo 7, **Conclusões**, apresenta uma análise final referente aos aspectos e critérios de durabilidade acrescidos à ABNT NBR 6118 (2003), além de considerações finais sobre as análises dos prédios tomados como estudo de caso e também algumas sugestões para trabalhos futuros relacionados ao tema.

## 2 – CONCEITOS INERENTES AO TEMA

### 2.1 – VIDA ÚTIL

A vida útil na construção civil, de acordo com a definição da ASTM E-632-82 (1996), é o período de tempo após a instalação de um material ou componente da edificação, durante o qual todas as suas propriedades excedem a um valor mínimo aceitável, tendo sofrido manutenção rotineira. É o período de tempo durante o qual o material, o componente ou toda a edificação atende aos objetivos para os quais foram construídos e pode ser definido a partir da durabilidade de seus componentes e subsistemas (obsolescência técnica), mas também pode ser resultante de uma mudança nestes objetivos (obsolescência funcional).

A obsolescência técnica das edificações pode ser estimada de observações dos agentes e mecanismos responsáveis pela deterioração progressiva de componentes e subsistemas e pode mesmo ser controlada através da programação de serviços de manutenção. Já a obsolescência funcional é consequência do longo período de uso das edificações construídas, durante o qual as necessidades dos usuários mudam em função de inovações tecnológicas e mudanças sociais.

Embora se possa, acompanhar temporariamente, tendências de mudanças, é impossível exigir do projeto das edificações obsoletas à perda de valores culturais representados fortemente pelas edificações, como uma das mais claras expressões da arte e da capacidade humana, além de resultar em elevados custos. Subjugar o desempenho em uso das edificações às restritas condições ambientais oferecidas por edificações funcionalmente obsoletas também é inaceitável face às progressivas perdas na eficiência dos usuários na realização de suas atividades normais. Para superar esse impasse é necessário que as edificações tenham a capacidade de atualização do seu desempenho, também conhecida por “upgradeability” ou “changeability”. (Bonin, 1998).

Tuutti (1982), citado por Castro *et al.* (1995) classifica a deterioração das estruturas em dois períodos: o de Iniciação e de Propagação. No primeiro, os agentes agressivos estão atuando, mas ainda não houve nenhuma manifestação de deterioração. Já no segundo, após

um limite de deterioração, a velocidade de degradação aumenta em função da ação conjunta dos agentes agressivos.

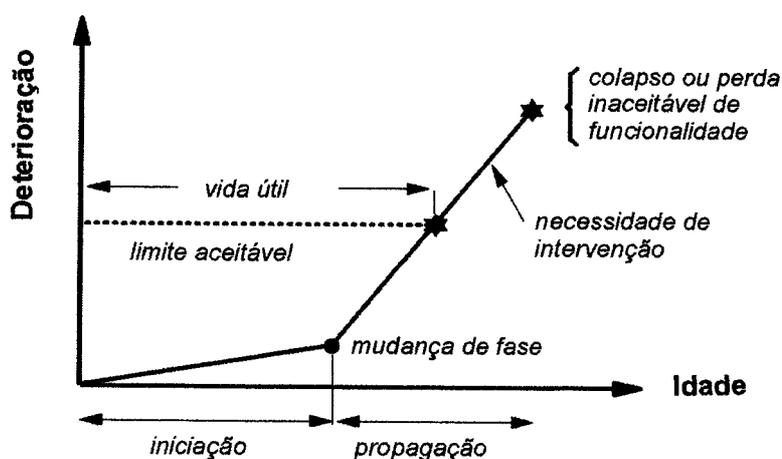


Figura 2.1 – Vida útil das estruturas de concreto (Tuuti 1982, modificado por Castro *et al.*, 1995).

A ABNT NBR 15575 (2008) - Edifícios habitacionais de até 05 pavimentos – Desempenho, define:

*Vida Útil*: Período de tempo durante o qual o produto pode ser utilizado sob condições satisfatórias de segurança, saúde e higiene. A partir do atual estado da arte é praticamente impossível estabelecer com precisão esse período. Recorrendo-se ao conhecimento disponível sobre os agentes agressivos, os diferentes processos degenerativos e as características físicas e químicas dos materiais constituintes de um produto, pode-se apenas estabelecer estimativas tecnicamente fundamentadas da vida útil de projeto. Entende-se como “atual estado da arte”, a “melhor técnica disponível no momento da elaboração do projeto e da execução da obra”. A vida útil subdivide-se em vida útil de projeto e vida útil residual.

*Vida Útil de Projeto*: Período estimado de tempo em que o componente, elemento, instalação ou sistema construtivo atende aos critérios previstos nesta norma, no respectivo nível de desempenho informado pelo fornecedor, devendo-se para tanto cumprir programa de manutenção por ele especificado, além das manutenções corretivas eventualmente necessárias. Para o atendimento à vida útil de projeto,

mantidas as condições de exposição inicialmente presentes, o produto deve ser aplicado, utilizado e mantido em estrita obediência às especificações do fornecedor.

*Vida útil residual:* Período de tempo, após a vida útil de projeto, em que o componente, elemento, instalação ou sistema construtivo vai apresentando decréscimo continuado do desempenho em função do uso e/ou do envelhecimento natural. Nesta fase, onde ainda são mantidas condições satisfatórias de segurança, saúde e higiene, para retomar-se a níveis adequados de estanqueidade, durabilidade, conforto térmico e acústico etc, há necessidade de manutenções e reformas mais dispendiosas.

*Vida total:* Período de tempo que compreende a vida útil de projeto, a vida útil residual e uma sobrevida na qual passa a existir a possibilidade de que os níveis de segurança comecem a ser perigosamente afetados. Na Figura 2.2, está representado o desempenho ao longo do tempo de um elemento, instalação ou sistema construtivo, indicando-se também a vida útil de projeto, vida útil residual, sobrevida e vida total.

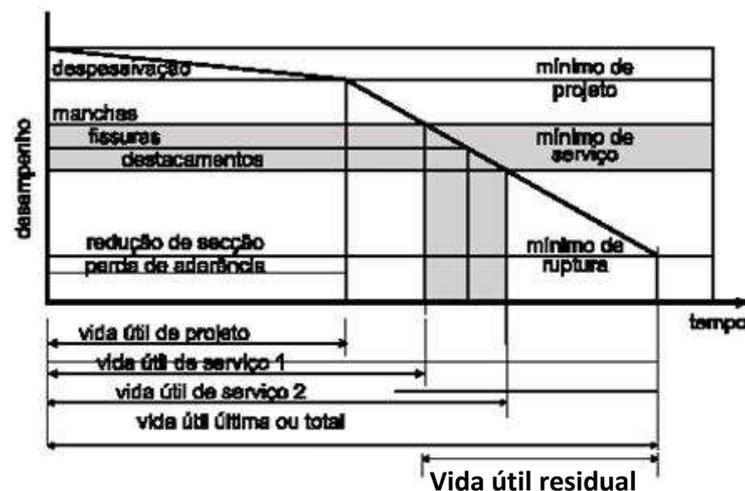


Figura 2.2 – Conceituação da vida útil das estruturas de concreto (Helene, 1997)

A vida útil de projeto deve ser consignada nos respectivos projetos ou manuais de fabricantes, sendo contada a partir da data de fabricação do produto ou da data de conclusão da obra. A expectativa de vida para orientar a fabricação de elementos e

sistemas construtivos, e também para orientar as avaliações de desempenho, deve ser norteada pela vida útil de projeto.

## **2.2 – DESEMPENHO**

O conceito de *Desempenho*, em seu sentido mais amplo significa comportamento em uso, ou seja, o produto deve apresentar certas propriedades para cumprir sua função quando sujeito a certas ações. No caso de se referir ao desempenho de uma edificação, inicialmente deve-se, definir muito bem as necessidades ou as exigências dos usuários. As condições normais de utilização envolvem diversos fatores atmosféricos, biológicos, de carga e de utilização (ASTM E-632-82, 1996).

Já Souza e Ripper (2001), definem desempenho como sendo o comportamento em serviço de cada produto, ao longo da vida útil, e sua medida relativa espelhará sempre o resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção. Perez (1998) complementa que o conceito de desempenho é definido para os materiais componentes e equipamentos em uso. A edificação antiga, como qualquer edificação, deve ter a capacidade de conservar ao longo do tempo o seu desempenho.

O ponto em que cada estrutura, em função da deterioração, atinge níveis de desempenho insatisfatórios varia de acordo com o tipo de estrutura. Algumas delas por falhas de projeto ou de execução, já iniciam suas vidas de forma insatisfatória, enquanto outras chegam ao final de suas vidas projetadas ainda mostrando um bom desempenho (Souza e Ripper, 2001).

Bonin (1998), ao analisar uma edificação pelo enfoque do desempenho, observa que esta deve apresentar uma resposta positiva aos usos e aos seus possíveis usuários em relação aos requisitos pré-estabelecidos. Ao aplicar o conceito de desempenho à edificação, implica-se necessariamente o pensar nas finalidades que a edificação precisa atender, independentemente dos materiais e componentes dos quais ela é constituída.

A utilização do conceito de desempenho na edificação exige uma abordagem sistêmica onde se considere não apenas características da edificação construída, mas também o seu processo de produção desde a concepção até a demolição de resíduos.

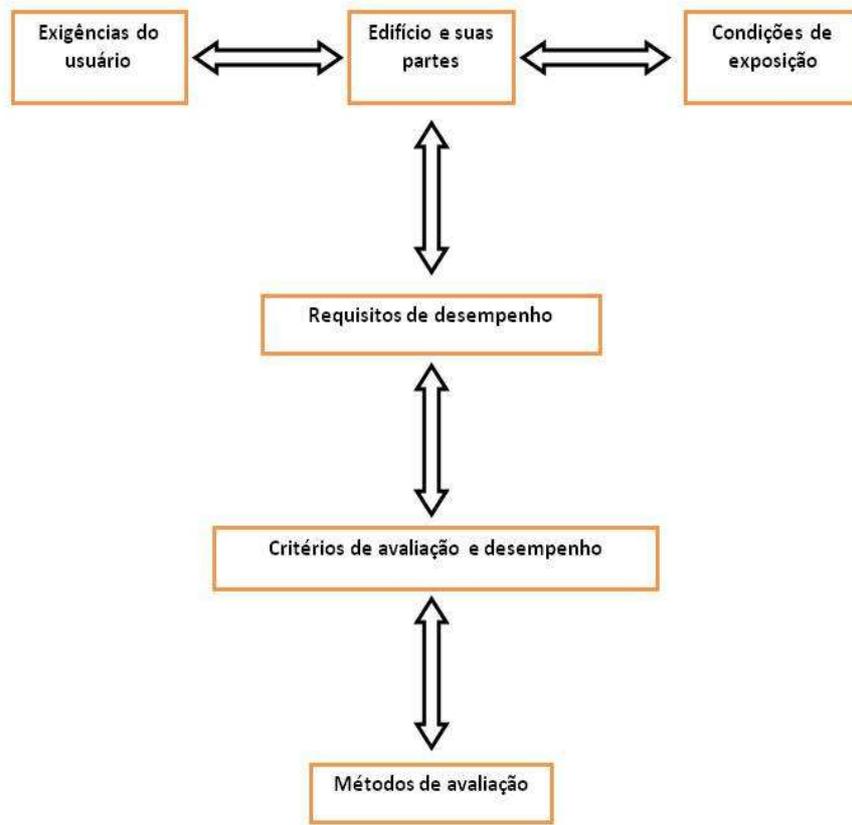


Figura 2.3– Desempenho e suas inter-relações  
(adaptada: CIB W80/RILEM 71-PSL, 1983).

Novas áreas de estudo passam a definir novos requisitos a serem atendidos agora não apenas pela edificação construída, mas pelos agentes envolvidos no processo de produção de edificações. São elas: a construtividade, que procura definir parâmetros de simplificação e integração nas atividades de construção e manutenção das edificações resultando em novas propriedades de componentes e subsistemas da edificação como multifuncionalidade, por exemplo. A outra área surgente é a manutenibilidade, que define parâmetros para a maior eficiência na realização de serviços de manutenção das edificações resultando em requisitos de segurança específicos para as atividades de manutenção, redefinição das exigências de programas de manutenção preventiva e corretiva. (Bonin, 1998)

As estruturas ao longo de suas vidas úteis têm diferentes desempenhos em função da ocorrência de fenômenos patológicos diversos, como mostra a Figura 2.4.

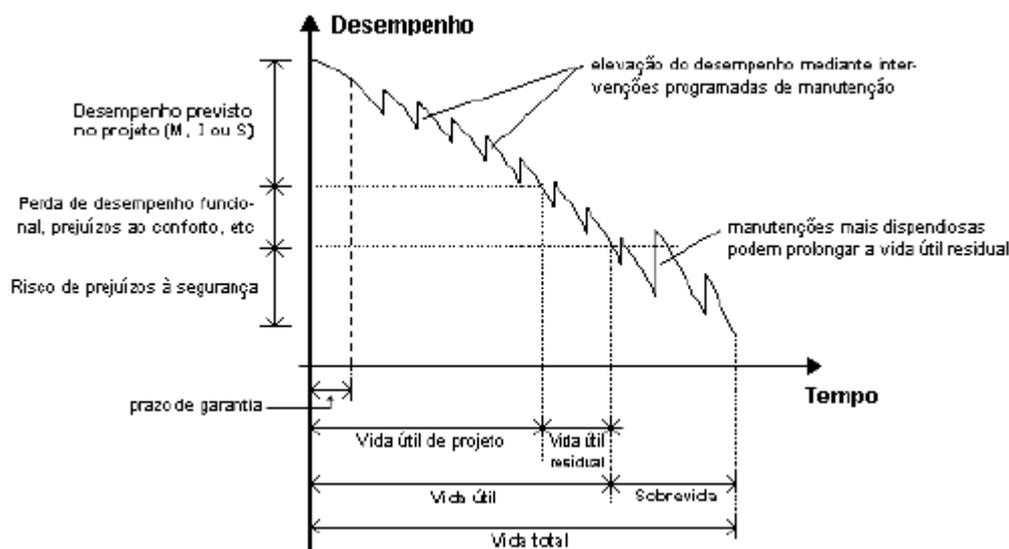


Figura 2.4 – Desempenho ao longo do tempo de um elemento, instalação ou sistema construtivo. Fonte: ABNT NBR 15575 (2008).

### 2.3 – DURABILIDADE

Segundo a ASTM E-632-82 (1996), *Durabilidade* é a capacidade de manter em serviço um produto, componente, montagem ou construção durante um determinado período de tempo especificado.

É a capacidade que um produto, componente ou construção possui de manter o seu desempenho acima de níveis mínimos especificados, de maneira a atender as exigências dos usuários, em cada situação específica (CIB W80/RILEM 71-PSL, 1983).

A concepção de uma construção durável implica a adoção de um conjunto de decisões e procedimentos que garantam à estrutura e aos materiais que a compõem um desempenho satisfatório ao longo da vida útil da construção (Souza e Ripper, 2001). Uma enorme quantidade de edifícios em todo o mundo tem problemas relacionados a um desempenho insatisfatório seja em termos globais, seja em termos de suas partes (Lichtenstein, 1986).

À necessidade de durabilidade das edificações se contrapõem ao envelhecimento. As edificações e seus componentes sofrem desgastes, que podem ser causados pelo homem e/ou pela natureza, visto que os materiais, até mesmo em estado natural, estão sujeitos com o decorrer do tempo a uma deterioração contínua resultante de processos físicos, químicos

e biológicos. O ciclo de vida das construções e materiais de construção está, diretamente, determinado pelas condições ambientais do entorno da edificação e ocorrerá mais ou menos lentamente, dependendo da agressividade do meio ambiente, todas as construções mudam com o tempo (Mostafavi; Leatherbarrow, 1993 *apud* Petrucci, 2000).

As condições do meio ambiente deverão ser estimadas no estágio do projeto, para assegurar significativa durabilidade e habilitar, adequadamente, provisões para proteção dos materiais.

Segundo o EUROCODE N° 2 (1989) alguns fatores devem ser considerados para efeito da durabilidade:

- O uso da estrutura;
- Os critérios requeridos para o desempenho;
- As condições de exposição no meio ambiente;
- As propriedades, composições e desempenho dos materiais;
- Tipos dos elementos e o detalhamento estrutural;
- A qualidade de mão de obra e nível de controle;
- As medidas particulares de proteção;
- A provável manutenção durante a pretendida vida útil.

A necessidade de reparos ou reforços ocorre quando a estrutura em decorrência de algum tipo de deterioração começa a perder a sua funcionalidade e segurança. A partir de reparos sucessivos, procura-se manter as condições de uso, segurança e estabilidade da edificação. Manutenção de uma estrutura é o conjunto de rotinas que tenham por finalidade o prolongamento da vida útil da edificação, isto é, garantam o seu desempenho satisfatório ao longo do tempo (Souza e Ripper, 2001).

Segundo Lersch (2003) para um universo de edificações históricas, os períodos compreendidos entre esses sucessivos reparos podem se apresentar de uma forma diferente. Após o período de manutenção e execução de pequenos reparos, pode ocorrer um período de abandono com a perda de um desempenho mínimo, levando a edificação à ruína, conforme indicado na figura 2.5. O período de abandono ocorre em função de vários

fatores, entre eles, pelo desinteresse do imóvel por parte de herdeiros, pela falta de recursos para manutenção ou até mesmo à perda do valor imobiliário do imóvel. A autora complementa que a partir de um estado de ruína, sendo esta considerada a pior situação, as ações de restauração e/ou reciclagem podem devolver à edificação condições de uso e desempenho.

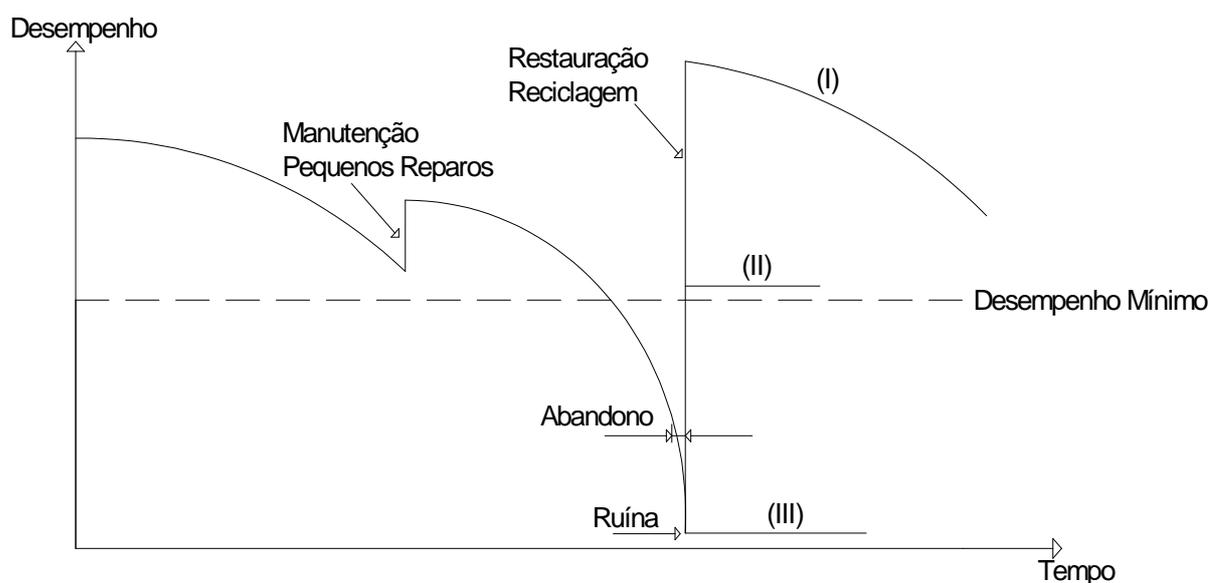


Figura 2.5 – Fases do desempenho de uma edificação histórica (Lersch, 2003).

Além da verificação de desempenho de uma dada solução de superfície quanto às condições técnicas necessárias de habitabilidade integridade estrutural e durabilidade de uma edificação, Atkinson (1997), ressalta a importância dos projetistas no que se refere à prevenção das mudanças na aparência das fachadas.

Os projetistas devem prever as mudanças na aparência das fachadas das edificações, entender, os efeitos que as decisões de projeto (geometrias, elementos arquitetônicos componentes das fachadas) terão na sua durabilidade e alteração de aparência. A inadequação de certas soluções, tanto estruturais como arquitetônicas, para o ambiente onde estão inseridas comprometem a longevidade e a resistência de inúmeras obras.

No capítulo 3 o conceito de durabilidade será detalhadamente abordado, tendo em vista a ABNT NBR 6118 (2003).

## **2.4 – PATOLOGIA E REPARO DA CONSTRUÇÃO**

O ramo da Engenharia que trata as “doenças” da construção, com o estudo das causas e dos danos, bem como do tratamento necessário denomina-se *Patologia da Construção*. Este termo, segundo Petrucci (2000), deve ser creditado a Henry Lossieur. A Patologia da Construção está, intimamente, ligada à qualidade e embora esta última, tenha avançado muito e continue progredindo cada vez mais, os casos patológicos não diminuíram, na mesma proporção, embora seja verdade que a diminuição tenha sido razoável.

O termo Patologia é empregado na Construção pela definição da Medicina que se apropria muito bem às obras. Patologia é a parte da Medicina que estuda as origens, sintomas e natureza das doenças, segundo o Dicionário da Língua Portuguesa da Porto Editora (2000). Tal como na Medicina, distingue-se claramente duas ciências preocupadas em prevenir e solucionar os danos nas edificações. A primeira denominada *Patologia das Construções* é a área da engenharia que estuda e identifica as origens, as causas, mecanismos de ocorrências, manifestações e conseqüências das situações em que os edifícios ou suas partes deixam de apresentar um desempenho mínimo estabelecido. A segunda, *Terapia das Construções* é a área da engenharia que trata da correção dos problemas apresentados na construção.

Helene (1988) apresenta uma definição mais detalhada e oportuna para *Patologia e Terapia das Construções*. “Patologia pode ser entendida como parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismo, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema”, enquanto que “Terapia estuda a correção e a solução desses problemas patológicos”.

### **2.4.1 – Principais manifestações patológicas**

Atualmente, vive-se uma constante preocupação com a qualidade da construção. Técnicos, construtores e poder público estão conscientes de que a qualidade é rentável a curto, e longos prazos. Com o aumento do desempenho das construções, evitando gastos com reparos e aumentando a vida útil das mesmas, há uma maior economia de recursos e

melhoria do prestígio nacional e internacional da construção. O aspecto da qualidade da construção tornou-se um tema de interesse internacional.

Na tentativa de racionalizar as construções, buscar o máximo de economia, e com maior conhecimento dos materiais, procura-se o limite que estes podem alcançar, aumentando as chances de ocorrência de manifestações patológicas.

De forma mais ampla, as manifestações patológicas podem ser classificadas conforme Ioshimoto (1988). São elas:

- Umidade;
- Fissuras e Trincas;
- Descolamento de Revestimento.

Nince (1996) relaciona diversas manifestações patológicas como também suas definições (Tabelas 2.1 e 2.2).

Tabela 2.1 – Tipos de manifestações patológicas (Nince, 1996).

<b>Tipos de manifestações patológicas</b>	<b>Definição</b>
Fungos e Bolor	Microorganismos que surgem em locais úmidos com pouca ventilação.
Recalque	Deslocamentos dos elementos de fundação produzindo efeitos na superestrutura.
Desaprumo	Elemento estrutural vertical não alinhado segundo seu eixo.
Fissuras	Fratura do concreto quando exercida sua resistência à tração, devido a uma ou mais causas: retração, sobrecarga, variação de temperatura, recalque, secagem superficial, assentamento plástico, movimentação de forma, reações químicas expansivas, detalhes construtivos, etc.
Eflorescências	Manchas superficiais brancas, na forma de véu, resultante de um processo físico (lixiviação) associado à presença de água que dissolve e remove, até a superfície dos elementos estruturais, principalmente o hidróxido de cálcio que, transformam-se em carbonato de cálcio devido à combinação de CO <sub>2</sub> .

Tabela 2.2 – Tipos de manifestações patológicas (Nince, 1996).

<b>Tipos de manifestações patológicas</b>	<b>Definição</b>
Desagregação	Perda da capacidade aglomerante do concreto endurecido com desprendimento de agregados, devido a algum tipo de ataque químico expansivo, baixa aderência pasta/agregado, traço pobre e/ou abrasão.
Esfoliação	Desprendimento de partes isoladas de concreto sadio, provenientes de choques, corrosão, etc.
Corrosão	Processo eletro-químico de formação sobre a armadura de óxidos e hidróxidos de ferro, provocadas por carbonatação do concreto e/ou contaminação por cloretos. Quando o processo atinge estágios avançados a armadura perde seção.
Segregação	Falhas e manchas decorrentes da falta de uniformidade do concreto durante sua execução. Vazios formados devido a dificuldade de penetração do concreto durante seu lançamento.
Carbonatação	Processo químico de reação do CO <sub>2</sub> da atmosfera com a portlandita (Ca(OH) <sub>2</sub> da pasta de cimento, em presença de água, formando o carbonato de cálcio que colmata os vazios e reduz o pH do concreto.

A autora citada no parágrafo anterior ainda apresenta vários dados referentes a um universo de 200 obras no Distrito Federal, onde foi efetuado o levantamento das principais manifestações patológicas encontradas, como também suas principais causas. Na Figura 2.6 é apresentado um gráfico das principais manifestações patológicas encontradas.

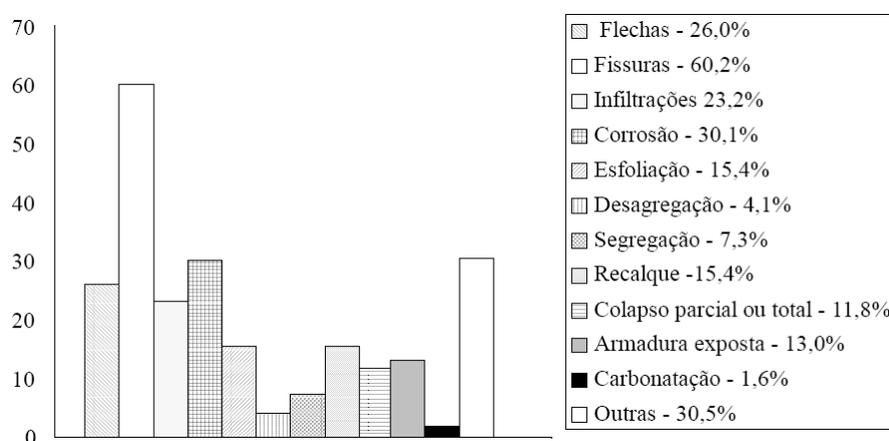


Figura 2.6 – Manifestações patológicas nas edificações – Brasília (Nince, 1996)

Nince (1996) ainda apresenta vários dados referentes às causas dessas patologias nas edificações (Figuras 2.7, 2.8, 2.8).

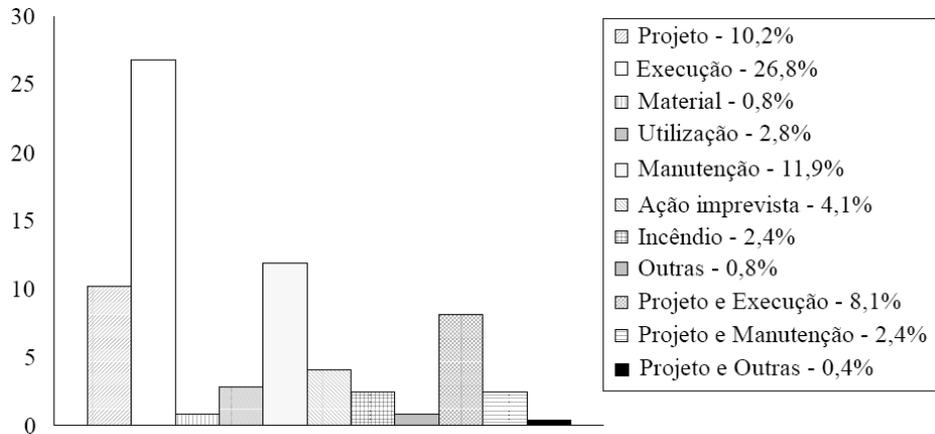


Figura 2.7 – Causa isolada das manifestações – Brasília (Nince, 1996)

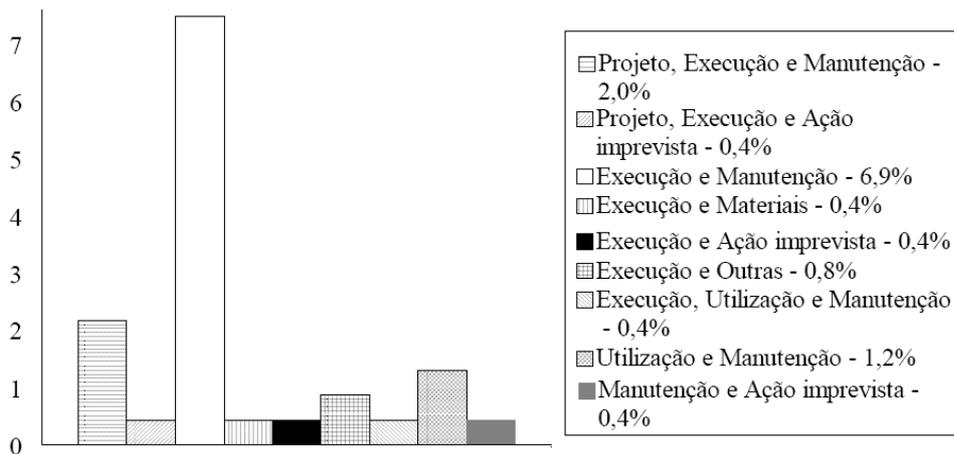


Figura 2.8 – Causas associadas das manifestações – Brasília (Nince, 1996)

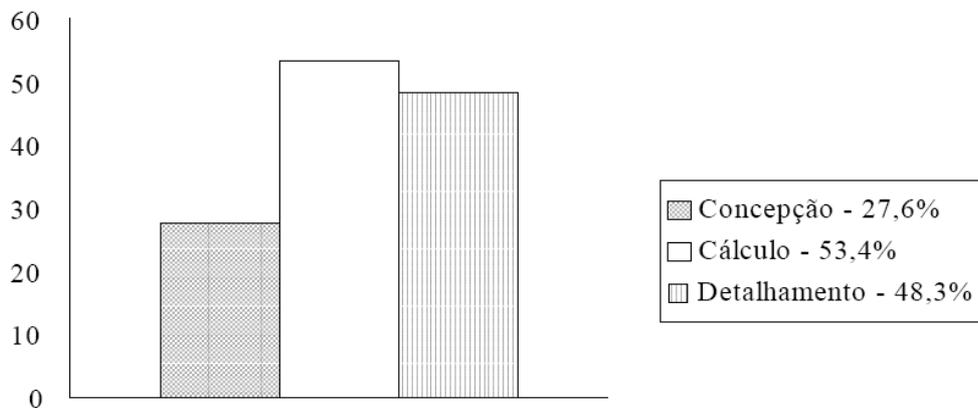


Figura 2.9 – Problemas de projeto – Brasília (Nince, 1996)

Com as pesquisas apresentadas anteriormente fica claro a importância dos projetos no surgimento de manifestações patológicas.

Neste capítulo serão estudadas em detalhe apenas algumas das manifestações patológicas citadas nas Tabelas 2.1 e 2.2, ou seja, a corrosão, eflorescência e bolor.

#### 2.4.1.1 – Corrosão de armadura

Gentil (1996) define corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. Como consequência da interação entre o material e o meio origina-se alterações prejudiciais indesejáveis que tornam o material inadequado para o uso.

Segundo Vieira (2003), a maioria dos metais, com exceção de alguns mais nobres, como o ouro, que pode ocorrer no estado elementar, encontra-se na natureza sob a forma de compostos (óxidos e sulfetos metálicos), considerados termodinamicamente estáveis por apresentarem conteúdo energético (energia de Gibbs) inferior ao dos metais. A extração do metal a partir de seus minérios requer a aplicação de certa quantidade de energia, que aumenta o nível energético do material final. Com um nível de energia superior, o metal tende a regressar ao seu estado original através de uma reação espontânea com líquidos ou gases do meio ambiente, caracterizando o processo de corrosão (Andrade, 2001). Dessa forma, Gentil (1996) coloca que, em alguns casos, podem-se admitir a corrosão como o inverso do processo metalúrgico, sendo muito freqüente a semelhança entre o produto de corrosão de um metal e o minério do qual foi originalmente extraído.

Existem dois processos de corrosão: oxidação direta e corrosão eletroquímica.

a) Oxidação direta: é uma reação gás-metal, onde forma-se uma película uniforme e contínua de óxido de ferro. Segundo Wexler e Wolynec, citados por Helene (1988), este processo é bastante lento à temperatura ambiente e não provoca alteração significativa do metal, a não ser que existam na atmosfera gases muito agressivos.

b) Corrosão eletroquímica, com reações de oxidação, reações de redução e a circulação de íons através de um eletrólito, formando-se sobre a superfície do metal zonas anódicas (reação de oxidação) e zonas catódicas (reação de redução) (Helene, 1993).

De acordo com Andrade (2001), no contexto da engenharia civil as conseqüências da corrosão estão relacionadas à redução da seção transversal da armadura, com decréscimo da resistência e ductilidade, à fissuração e/ou manchamento do concreto e à perda de aderência entre o aço e o concreto, afetando a segurança e estabilidade das estruturas.

Na Corrosão Eletroquímica a armadura pode perder a proteção oferecida pelo concreto (despassivação), geralmente, através da ação de elementos agressivos originários de fontes externas, que atuam sobre o concreto, reduzindo a alcalinidade ou quebrando a película protetora (Helene, 1993).

De acordo com Figueiredo (1994), para o caso das armaduras do concreto, os íons cloretos e a carbonatação do concreto são os principais iniciadores da corrosão. Fissuração, execução inadequada, ciclos de molhagem e secagem e atmosferas agressivas são outros fatores que contribuem para a perda da proteção natural ou para a aceleração de um processo corrosivo já iniciado.

Segundo o modelo clássico de corrosão proposto por Tuutti (1982), citado por Castro *et al.* (1995), a corrosão ocorre através de fenômenos que se processam em duas etapas distintas: **período de iniciação**, que depende do tempo para ocorrer a despassivação por íons de cloretos ou por carbonatação, e o **período de propagação** (deterioração), que depende da taxa de corrosão desenvolvida até alcançar um nível crítico de danos, onde é necessário reparos para que a vida útil de serviço da estrutura não seja atingida.

Segundo Helene (1993), uma vez despassivada a armadura, seja pela ação dos íons cloreto ou pela ação da carbonatação, ou ainda pela ação concomitante de ambos, a corrosão ocorre através de um processo eletroquímico, desde que exista um eletrólito, uma diferença de potencial e oxigênio, podendo ou não existir agentes agressivos.

De acordo com Vieira (2003), o mecanismo da corrosão eletroquímica é caracterizado pela formação de uma célula de corrosão, onde sobre a superfície do metal são geradas duas zonas, sendo uma que atua como ânodo, onde se produz a oxidação do metal (Equação 2.1), liberando elétrons, e outra que atua como cátodo, onde, em função da migração dos elétrons através do metal, acontece a redução do oxigênio dissolvido no eletrólito (Equação 2.2).



Os íons hidroxila se movem em direção ao ânodo e, após alguns estágios intermediários, combinam com os íons do metal, formando os produtos de corrosão, conforme a Equação 2.3.



Na Figura 2.10 é apresentada a laje da Biblioteca Central da UnB com corrosão de armadura.



Figura 2.10 – Corrosão de armadura (Gratão, 2008)

A corrosão da armadura desencadeada por íons cloretos é a principal causa da deterioração prematura das estruturas de concreto armado.

De acordo com Kropp (1995), dentre as diversas condições de exposição que as estruturas de concreto armado possam ser submetidas durante sua vida útil, a presença de cloretos representa um dos mais complexos e perigosos tipos de ataque, causando sério impacto no desempenho da estrutura.

Castro *et al.* (1995), colocam que a situação mais agressiva e comum que pode desencadear a corrosão localizada da armadura é a presença de íons de cloreto, sendo outros íons despassivantes, como o sulfato, por exemplo, bem menos freqüentes e perigosos. Conforme comentam González *et al.* (1985), para a previsão da vida útil de estruturas atacadas por íons cloreto, onde há perda da armadura de forma localizada, a verificação da profundidade dos pites (pequenas cavidades de profundidade considerável e significativa frente a espessura do material) tem mais importância do que a intensidade de corrosão média determinada.

A presença de cloretos no concreto pode ser decorrente tanto do meio externo, onde os íons penetram nos poros da estrutura por mecanismos de difusão ou absorção capilar, como proveniente da utilização de materiais contaminados ou aditivos aceleradores de pega (adicionados à massa de concreto), conforme ilustrado na Tabela 2.2.

Tabela 2.3 – Fontes de cloretos no concreto (Vieira, 2003)

<b>Fontes Externas</b>	<b>Cloretos adicionados à massa de concreto</b>
Maresia ou névoa de ambiente marinho	Aditivos aceleradores de pega a base $\text{CaCl}_2$
Água do mar (zonas de respingo e variação de maré)	Uso de água contaminada no amassamento
Sais de degelo	
Processos industriais	Agregados contaminados
Solos Contaminados	
Lavagens com ácido muriático	

Na Figura 2.11 é mostrada uma representação esquemática do processo de corrosão por cloreto.

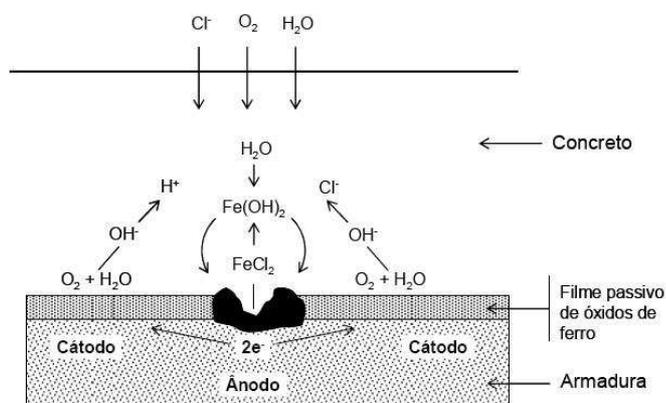
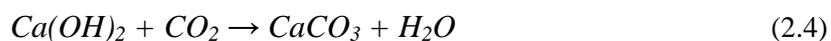


Figura 2.11 – Esquema do mecanismo de corrosão por cloreto (Treadaway, 1988)

O processo de corrosão também pode ser ocasionado pela carbonatação. A carbonatação do concreto representa um dos principais fatores desencadeantes do processo corrosivo das armaduras, visto que é responsável pela redução da alcalinidade do concreto, o que altera as condições de estabilidade química da película passivante da armadura, propiciando o início de um processo de corrosão generalizada (Vieira, 2003).

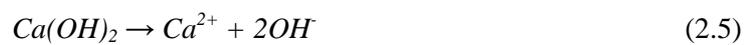
O fenômeno da carbonatação consiste na reação do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) presente na atmosfera com os compostos alcalinos da hidratação do cimento ( $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ), resultando, principalmente, a precipitação de carbonato de cálcio, sendo condição essencial para o seu desenvolvimento a presença de umidade. Como resultado dessa reação o pH, originalmente  $\geq 12,5$ , é reduzido para um valor  $\leq 9$  (Bakker, 1988).

Segundo Helene (1993), como a solubilidade do hidróxido de cálcio depende da concentração dos íons  $\text{OH}^-$  na solução dos poros, a reação de carbonatação começa através dos álcalis  $\text{NaOH}$  e  $\text{KOH}$ , que são mais solúveis. Assim, com a redução da concentração dos íons  $\text{OH}^-$ , o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) solubiliza-se e passa a ser carbonatado, segundo a reação simplificada na Equação (2.4).



O ingresso de CO<sub>2</sub> no concreto ocorre preponderantemente através de um mecanismo de difusão, pela diferença de concentração entre o ambiente e os poros do concreto. De acordo com Papadakis *et al.* (1991), o mecanismo do processo de carbonatação envolve as seguintes etapas:

- 1) Difusão do CO<sub>2</sub> na fase gasosa dos poros;
- 2) Dissolução dos cristais de hidróxido de cálcio na solução dos poros, segundo a Equação (2.5)



- 3) Dissolução do CO<sub>2</sub> na água dos poros, conforme as Equações (2.6) e (2.7).



- 4) Reação do CO<sub>2</sub> dissolvido com o hidróxido de cálcio dissolvido, formando o carbonato de cálcio, segundo a Equação (2.8).



A Figura 2.12 apresenta uma representação esquemática do processo de carbonatação

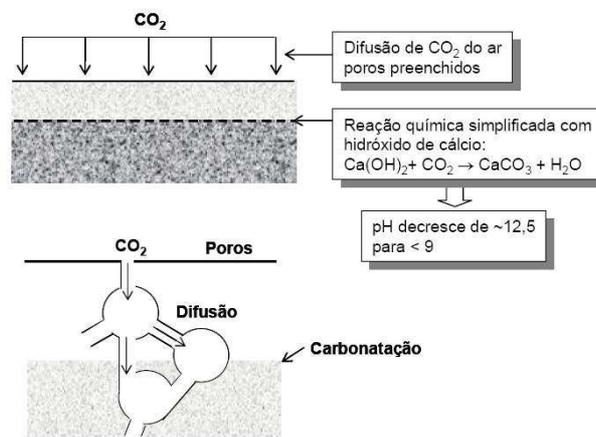


Figura 2.12 – Esquema representativo do processo de carbonatação (Bakker, 1988)

#### 2.4.1.2 – Eflorescência

Segundo Uemoto (1988), eflorescência significa formação de depósito salino na superfície dos materiais. Normalmente não causa danos maiores do que o mau aspecto resultante, mas há casos em que seus sais constituintes podem ser agressivos e causar degradação profunda. As modificações visuais são mais intensas quando há contraste entre o sal e a base sobre a qual se deposita, como por exemplo, a formação de eflorescência branca sobre bloco cerâmico.

A eflorescência é originada por três fatores, que possuem o mesmo grau de importância. São eles: o teor de sais solúveis presentes nos materiais ou componentes, a presença de água e a pressão hidrostática, que faz com que a migração da solução ocorra, indo para a superfície. Todos os três fatores devem existir e, caso algum deles não esteja presente, não haverá a formação desta patologia. Alguns fatores externos também ajudam para que este tipo de manifestação patológica ocorra, tais como: a quantidade de solução que irá aflorar; o aumento do tempo de contato que atua na solubilização de maior teor de sais; a elevação de temperatura, a qual aumenta a velocidade de evaporação e gera um favorecimento na solubilização dos sais; e fechando, a porosidade dos elementos, permitindo que esta migração da solução para a superfície ocorra.

Na Figura 2.13 é apresentada eflorescência em estágio bastante avançado no encontro de vigas no pavimento garagem da Biblioteca Central da UnB.



Figura 2.13 – Eflorescências em encontro de vigas em pavimento de garagem  
(Gratão, 2008)

### 2.4.1.3 – Bolor

Segundo Alucci *et al* (1988), o bolor é uma alteração observável macroscopicamente na superfície de diferentes materiais, sendo uma consequência do desenvolvimento de microorganismos pertencentes ao grupo dos fungos. Nas edificações promovem a decomposição de diferentes tipos de componentes, notadamente revestimentos, ou de material orgânico sobre estes depositados.

As condições ambientais afetam consideravelmente o desenvolvimento de todos os organismos vivos, como os fungos. Dentre os fatores que interferem no seu desenvolvimento, a umidade é fundamental. Os fungos necessitam sempre de um teor de umidade elevado no material onde se desenvolvem ou de uma umidade relativa bastante elevada no ambiente.

Para se evitar que o bolor aconteça nas edificações, já na fase de projeto, medidas devem ser tomadas. Essas medidas visam garantir uma ventilação, a iluminação e insolação adequada aos ambientes, assim como idealizar a diminuição de risco de condensação nas superfícies internas dos componentes e também evitar riscos de infiltração de água através de paredes, pisos e/ou tetos (Alucci *et al.*, 1988).

Na Figura 2.14, tem-se a ventilação do banheiro dando para uma área interna, ficando a retirada de ar e troca do mesmo (ventilação) prejudicado, principalmente em épocas de chuvas, quando as janelas permanecem fechadas.

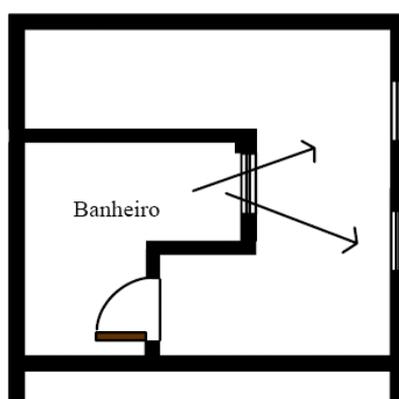


Figura 2.14 – Projeto no qual a ventilação está prejudicada  
(Adaptada de Alucci *et al*, 1988)

Na Figura 2.15 há o alinhamento de portas e janelas, dificultando a circulação do ar pelos ambientes. Deste modo, tem-se o surgimento de mofo/bolor em partes pouco ventiladas, no caso da imagem, canto dos quartos e atrás do armário.

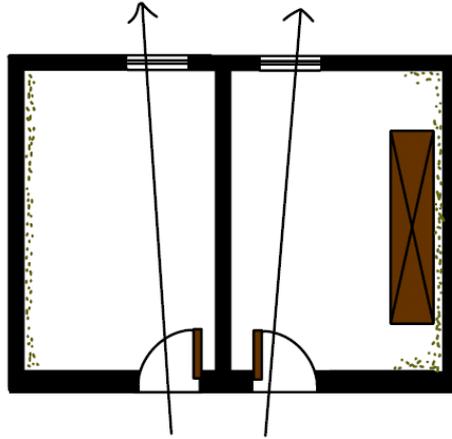


Figura 2.15 – Circulação do ar no ambiente comprometida pelo alinhamento de porta e janela (Adaptada de Alucci *et al*, 1988)

Na Figura 2.16 são apresentadas manchas de bolor em uma garagem de edifício.



Figura 2.16 – Bolor em pavimento de garagem (Boldo, 2002)

### **3 – DIRETRIZES E CRITÉRIOS DE PROJETO QUE VISAM À DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO SEGUNDO A ABNT NBR 6118 (2003)**

A ABNT NBR 6118 (2003) – Projeto de Estruturas de concreto – Procedimento, em sua última atualização acrescentou recomendações sobre os aspectos da durabilidade das estruturas de concreto. Dessa maneira, neste capítulo será abordada a durabilidade do ponto de vista desta norma e relacionada com os aspectos de projeto e detalhes arquitetônicos fruto de estudo deste trabalho.

#### **3.1 – MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS**

A ABNT NBR 6118 (2003), enfoca os principais mecanismo de envelhecimento e deterioração das estruturas de concreto, ou seja, subdivide em dois mecanismos: os preponderantes de deterioração relativos ao concreto e os preponderantes de deterioração relativos à armadura.

##### **3.1.1 – Mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto**

###### **3.1.1.1 - Lixiviação**

Segundo a ABNT NBR 6118 (2003), a lixiviação pode acontecer por ação de águas puras, carbônicas agressivas ou ácidas que dissolvem e carregam os compostos hidratados da pasta de cimento.

A sintomatologia básica é uma superfície arenosa ou com agregados expostos sem a pasta superficial, com eflorescências de carbonato, com elevada retenção de fuligem e com risco de desenvolvimento de fungos e bactérias. Como consequência observa-se também uma redução do pH do extrato aquoso dos poros superficiais do concreto do componente estrutural com risco de despassivação da armadura (Helene, 2003).

Com isso, além de problemas relacionados à estética da estrutura ou da peça, tem-se a redução da resistência mecânica do concreto, o aumento da permeabilidade e,

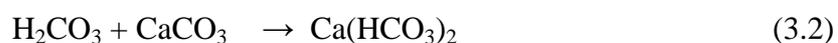
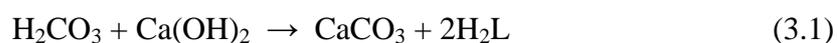
conseqüentemente, maiores possibilidades de corrosão das armaduras. Na Figura (3.1) são apresentados detalhes arquitetônicos do prédio do Instituto Central de Ciências (ICC/UnB) e da Biblioteca Central da UnB (BCE/UnB) com manchas de lixiviação, deterioração do concreto e corrosão de armaduras.



Figura 3.1 – Detalhes arquitetônicos apresentando manchas de lixiviação, deterioração do concreto e corrosão de armaduras

O ataque da água nas estruturas pode ocorrer através de águas puras e ataque ácido.

O ataque por águas puras pode ocorrer através de água de chuva, água de geleira e águas destiladas que apresentam grande capacidade de dissolução do hidróxido de cálcio. A agressividade aumenta de acordo com o aumento da quantidade de dióxido de carbono dissolvido (Equações 3.1 e 3.2).



Para que esta reação ocorra é necessário que a água (em quantidade disponível) penetre no interior do concreto através dos poros. Desta forma, é importante ressaltar a influência da porosidade do concreto, sendo um fator essencial neste tipo de ataque.

O ataque ácido ocorre através dos ácidos orgânicos ou inorgânicos que reagem principalmente com os compostos de cálcio como os: hidróxido de cálcio, silicato hidratado de cálcio e aluminato de cálcio hidratado.

Os ácidos fortes são mais agressivos, pois são mais solúveis. A velocidade de reação e, conseqüentemente, de degradação dependem também da solubilidade do sal de cálcio resultante.

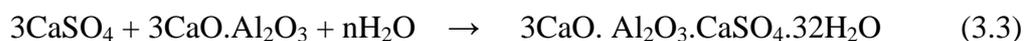
### 3.1.1.2 – Expansão por ação de águas e solos contendo sulfatos

Este tipo de expansão pode ocorrer por ação de águas e solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado.

A sintomatologia básica é uma superfície com fissuras aleatórias, esfoliação e redução significativa da dureza e resistência superficial do concreto, com conseqüente redução do pH do extrato aquoso superficial, colocando em risco a passivação das armaduras. Do ponto de vista do concreto, os sulfatos presentes na água do mar, nas águas servidas, nas águas industriais e nos solos úmidos e gessíferos, podem acarretar reações deletérias de expansão com formação de compostos expansivos do tipo etringita e gesso secundário (Helene, 2003).

O aumento do volume gera tensões de tração no interior do concreto, resultando na desagregação progressiva do material. Com isso, novamente tem-se acentuada a possibilidade também do surgimento da corrosão da armadura, pois as armaduras poderão estar expostas as águas agressivas.

O ataque por sulfatos ocorre principalmente com o C<sub>3</sub>A na presença de água para produzir a etringita (Equação 3.3).



A agressividade do meio dependerá da quantidade de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>.

Nos solos a contaminação pode ocorrer por sulfato de potássio, sódio, magnésio ou cálcio. Em águas do mar por sulfato de sódio, magnésio. Já nas águas residuais por sulfato de

amônio, ácido sulfúrico e sulfatos. O sulfato de magnésio é mais agressivo, pois reage também com o silicato de cálcio.

Nas águas do mar, o efeito deste ataque é mais moderado, pois os cloretos e aluminatos reagem para formar o Sal de Friedel (cloroaluminato de cálcio hidratado) que não é agressivo.

### 3.1.1.3 – Reações álcali-agregado

Outra maneira de expansão é por ação das reações entre os álcalis do cimento e certos agregados reativos.

De acordo com Silva, P. N. (2007), a reação álcali-agregado (RAA) pode ser definida como uma reação química que ocorre dentro da massa de concreto, entre alguns constituintes mineralógicos do agregado e os hidróxidos alcalinos que estão dissolvidos na solução dos poros do concreto. Como resultado da reação e em presença de umidade, são formados produtos que se expandem, podendo provocar a fissuração, perda de resistência, aumento da deformação, perda de funcionalidade e interferência na durabilidade da estrutura.

As reações ocorrem quando da dissolução dos álcalis na própria água de amassamento do concreto e, posteriormente, na água contida nos poros do concreto. A solução alcalina reagirá com os agregados, dando início à RAA (Silva, P. N., 2007).

Segundo o International Committee on Large Dams - ICOLD (1991), os danos causados pela RAA se apresentam de diversas formas e vêm sendo observados em diversos tipos de estruturas de concreto afetadas em vários países, sobretudo nos de clima quente e úmido. O tempo necessário para que esses danos apareçam pode variar de poucos meses a algumas décadas após a construção. As fissuras aumentam consideravelmente ao longo dos anos, e os reparos destas são freqüentemente ineficientes.

As reações álcali-agregado podem ser de três tipos: reação álcali-sílica, reação álcali-silicato e reação álcali-carbonato.

#### a) Reação álcali-sílica

A reação álcali-sílica (RAS) é a forma mais frequentemente encontrada de reação álcali-agregado. De acordo com a ABNT NBR 15577:2008 (Agregados: Reatividade álcali-agregado) define esta reação como um tipo de reação álcali-agregado em que participam a sílica reativa dos agregados e os álcalis, na presença do hidróxido de cálcio originado pela hidratação do cimento, formando um gel expansivo.

De acordo com Kuperman (2005), “A reação álcali-sílica é a reação expansiva mais conhecida e a que acontece mais rapidamente, sendo responsável pelo maior número de casos no mundo. Os vários tipos de sílica presentes nos agregados reagem com os íons hidroxilas presentes nos poros do concreto. A sílica, agora dissolvida, reage com os álcalis sódio e potássio formando um gel de álcali-sílica, altamente instável. Uma vez formado, o gel começa a absorver água e a expandir-se, ocupando um volume maior que os materiais que originaram a reação. A água absorvida pelo gel pode ser parte da que não foi usada na hidratação do cimento, água existente no local (reservatório, por exemplo), água de chuva e, até mesmo, água condensada da umidade do ar”.

Dentre os agregados reativos pode-se destacar a opala, a calcedônia, as sílicas amorfas e certos calcários. Além de agregados outros compostos reativos, inclusive os próprios silicatos hidratados da pasta de cimento podem reagir com os álcalis. Para que estas reações venham a ser significativamente deletérias é necessário estar em presença de elevado umidade. A sintomatologia básica é uma expansão geral da massa de concreto com fissuras superficiais, profundas e aleatórias, no caso da massa contínua, e ordenada no caso de estruturas delgadas (Helene, 2003).

#### b) Reação álcali-silicato

A reação álcali-silicato é um tipo específico de reação álcali-sílica em que participam os álcalis e alguns tipos de silicato presentes em certas rochas. Os silicatos reativos mais comuns são o quartzo tensionado por processos tectônicos e os minerais da classe dos filossilicatos presentes em ardósias, filitos, xistos, gnaisses, granulitos, quartzitos, entre outros (ABNT NBR 15577, 2008).

De acordo com Silva, P. N. (2007), é o tipo de RAA mais encontrado no Brasil, e apresenta natureza mais lenta e complexa que os outros tipos de reação, pois os minerais reativos encontram-se mais disseminados na matriz. Está relacionada a agregados provenientes de rochas de composição quartzo-feldspáticas como granitos, granodioritos, gnaiss e migmatitos.

c) Reação álcali-carbonato

A reação álcali-carbonato (RAC) é um tipo de reação álcali-agregado em que participam os álcalis e agregados rochosos carbonáticos. A forma mais conhecida de deterioração do concreto é devida à desdolomitização da rocha e ao conseqüente enfraquecimento da ligação pasta-agregado. Não há formação de gel expansivo, mas de compostos cristalizados como a brucita, carbonatos alcalinos, carbonatos cálcicos e silicato magnésiano (ABNT NBR 15577, 2008). Neste tipo de reação, a expansão é causada porque o processo de desdolomitização modifica a estrutura do calcário, causando aumento de volume.

#### 3.1.1.4 - Reações deletérias

Outro mecanismo preponderante de deterioração relativo ao concreto são as reações deletérias superficiais de certos agregados decorrentes de transformações de produtos ferruginosos presentes na sua constituição mineralógica (ABNT NBR 6118:2003)

Destaca-se como exemplo os problemas oriundos com agregados que contêm pirita que pode acarretar manchas de ferrugem, cavidades e protuberâncias na superfície dos componentes de concreto (Helene, 2003).

### **3.2 – AGRESSIVIDADE DO AMBIENTE**

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2003), 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 origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto.

A norma referida anteriormente complementa que nos projetos das estruturas correntes, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado na Tabela 3.1 e pode ser avaliada, simplificadamente, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Tabela 3.1 – Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>1),2)</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>1)</sup>	Grande
		Industrial <sup>1),2)</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>1),3)</sup>	Elevado
		Respingo de maré	

<sup>1)</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível 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).

<sup>2)</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

<sup>3)</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

### 3.3 – CRITÉRIOS DE PROJETO QUE VISAM A DURABILIDADE

#### 3.3.1 – Drenagem

Deve ser evitada a presença ou acumulação de água proveniente de chuva ou decorrente de água de limpeza e lavagem, sobre as superfícies das estruturas de concreto (ABNT NBR 6118, 2003)

É muito importante na fase de projeto prever o caimento adequado de elementos estruturais que estejam sujeitos a presença de água, ou seja, marquises, lajes de cobertura entre outros. Isso se faz necessário, pois não havendo um caimento adequado ou até mesmo um sistema de impermeabilização pode ocorrer a acumulação de água de chuva e uma possível deterioração do concreto. Na Figura (3.2) é apresentada uma das lajes de concreto armado do prédio da FT com acumulação de água.



Figura 3.2 – Acumulação de água sobre a laje de concreto armado do prédio da FT

Em se tratando de acumulação de água de limpeza, pode ser mais agravante às estruturas de concreto, pois havendo qualquer tipo de fissura nesses elementos, principalmente a água que contém NaCl (Cloreto de Sódio) em edificações situadas em orla marítima ou água que contém produtos de limpeza a base de hipoclorito de sódio que podem penetrar e atingir a armadura, podendo ocasionar sua corrosão (Figura 3.3).

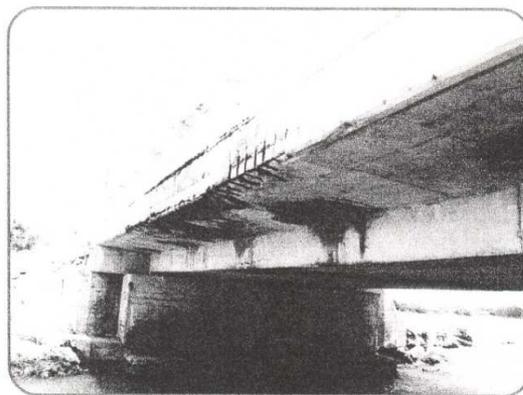


Figura 3.3 – Ponte com deterioração do concreto e corrosão de armadura (Borges, 2005)

Borges (2005) apresenta um exemplo prático onde ocorreu o que foi descrito no parágrafo anterior, ou seja, uma ponte com desnível inadequado, ocorrendo à acumulação de umidade nas suas laterais (Figura 3.4).

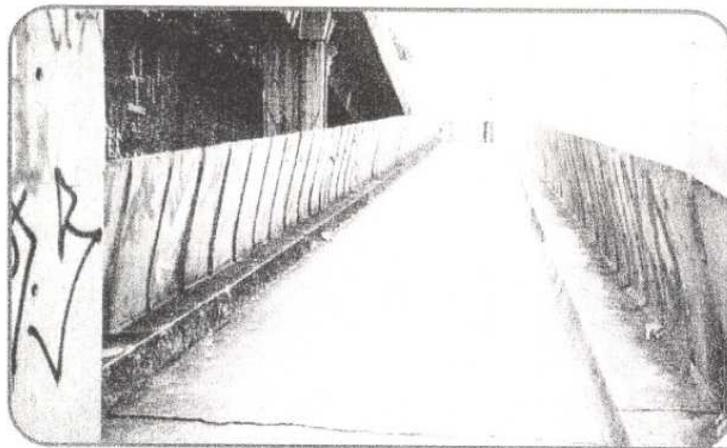


Figura 3.4 – Caimento inadequado do tabuleiro da ponte (Borges, 2005)

Borges (2005), ainda ressalta a importância dos detalhes de projeto, exemplificando, neste exemplo, a maneira correta de se fazer o caimento do tabuleiro da ponte (Figura 3.5).

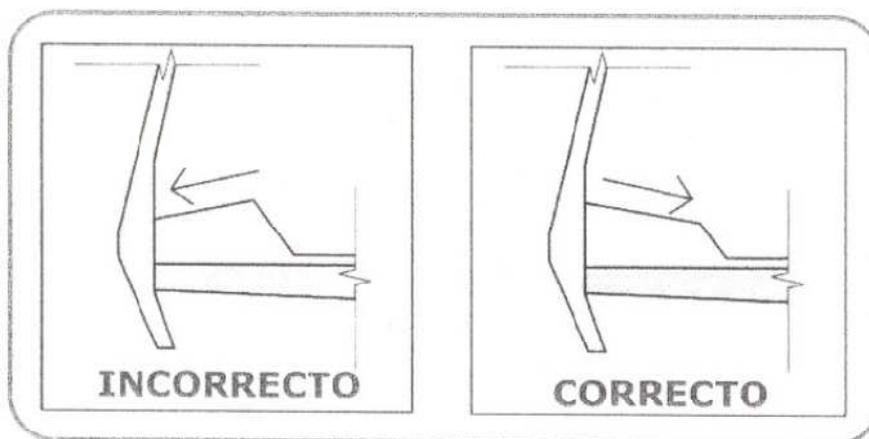


Figura 3.5 – Detalhes de projeto do caimento do tabuleiro da ponte (Borges, 2005)

Outro aspecto recomendando pela ABNT NBR 6118 (2003) é que as superfícies expostas que necessitem ser horizontais, tais como coberturas, pátios, garagens, estacionamentos e outras, devem ser convenientemente drenadas, com disposição de ralos e condutores.

É importante ressaltar que deve ser previsto em projeto os locais dos drenos, ou seja, ralos e condutores. Em algumas superfícies horizontais é importantíssimo o uso desses dispositivos afim de que não haja acumulação de água em algumas partes da estrutura.

As juntas de movimento ou de dilatação, em superfícies sujeitas à ação de água, devem ser convenientemente seladas, de forma a torná-las estanques à passagem (percolação) de água (ABNT NBR 6118, 2003).

Durante a concepção do projeto, é extremamente importante, que o autor analise as dimensões do prédio e verifique se há necessidade da utilização de juntas. De acordo com a antiga ABNT NBR 6118 (1978) o espaçamento máximo entre as juntas era de 30 m. Entretanto, o autor deve analisar a necessidade e a influência da temperatura nas estruturas e, assim, prever seu espaçamento.

Havendo a necessidade de utilização de juntas, outro detalhe que merece atenção em projeto, é que precisam ser convenientemente seladas com algum material de enchimento flexível, a fim de evitar a entrada de água. Na Figura (3.6) é apresentado um detalhe de uma junta de dilatação do prédio da Faculdade de Assuntos Sociais Aplicados (FA/UnB) que está toda deteriorada por não estar selada.



Figura 3.6 – Junta de dilatação deteriorada (Lessa e Nóbrega, 2009)

Todos os topos de platibandas e paredes devem ser protegidos por chapins. Todos os beirais devem ter pingadeiras e os encontros a diferentes níveis devem ser protegidos por rufos (ABNT NBR 6118, 2003).

As platibandas são elementos que estão expostos diretamente à umidade e à variação de temperatura. Com isso estão sujeitos ao aparecimento de trincas e manchas ao longo de sua extensão. A utilização de chapins é muito importante, pois reduz o escoamento da água de chuva no elemento. Na figura (3.7), é apresentada a platibanda deteriorada do prédio da FA/UnB sem a utilização de chapim.



Figura 3.7 – Platibanda do prédio da FA deteriorada e com manchas de umidade  
(Lessa e Nóbrega, 2009)

Já em coberturas o uso de rufos é essencial, pois evita infiltrações entre a parede e o telhado além de servir como coleta para água de chuva entre dois telhados. Assim reduz as manifestações patológicas causadas por umidade. Na Figura (3.8) é apresentado um detalhe do rufo localizado na cobertura do prédio da FT.



Figura 3.8 – Detalhe do rufo localizado na cobertura do prédio da FT, evitando a penetração de umidade na parede do prédio

### **3.3.2 – Formas arquitetônicas e estruturais**

Disposições arquitetônicas ou construtivas que possam reduzir a durabilidade da estrutura devem ser evitadas (ABNT NBR 6118, 2003).

Durante a concepção do projeto de arquitetura deve-se analisar a disposição dos elementos arquitetônicos frente às ações de umidade, clima e temperatura. Assim, será abordado neste sub-item alguns elementos arquitetônicos que desempenham funções importantíssimas, mas que estão sujeitos ao surgimento de manifestações patológicas.

#### a) Pingadeiras

A água de chuva incidente nas fachadas das edificações pressionada pela ação do vento provoca graus de exposição à água que causam manifestações patológicas, diminuindo muitas vezes a vida útil dos componentes externos da edificação. Detalhes arquitetônicos de fachada com pequenas saliências ou projeções são capazes de reduzir até a metade do fluxo (50%) de água que normalmente incidiria sobre as superfícies das fachadas (Thomaz, 1990, p. 111).

Perez (1990, p. 574) e Thomaz (1990, p. 111) ao analisarem diagramas de fluxos de água em pingadeiras com diferentes tamanhos e geometrias, conforme Figura 3.9, mostram o descolamento da lâmina de água da superfície das fachadas. Esses elementos são capazes de redirecionar o fluxo de água que normalmente escorreria diretamente na parede.

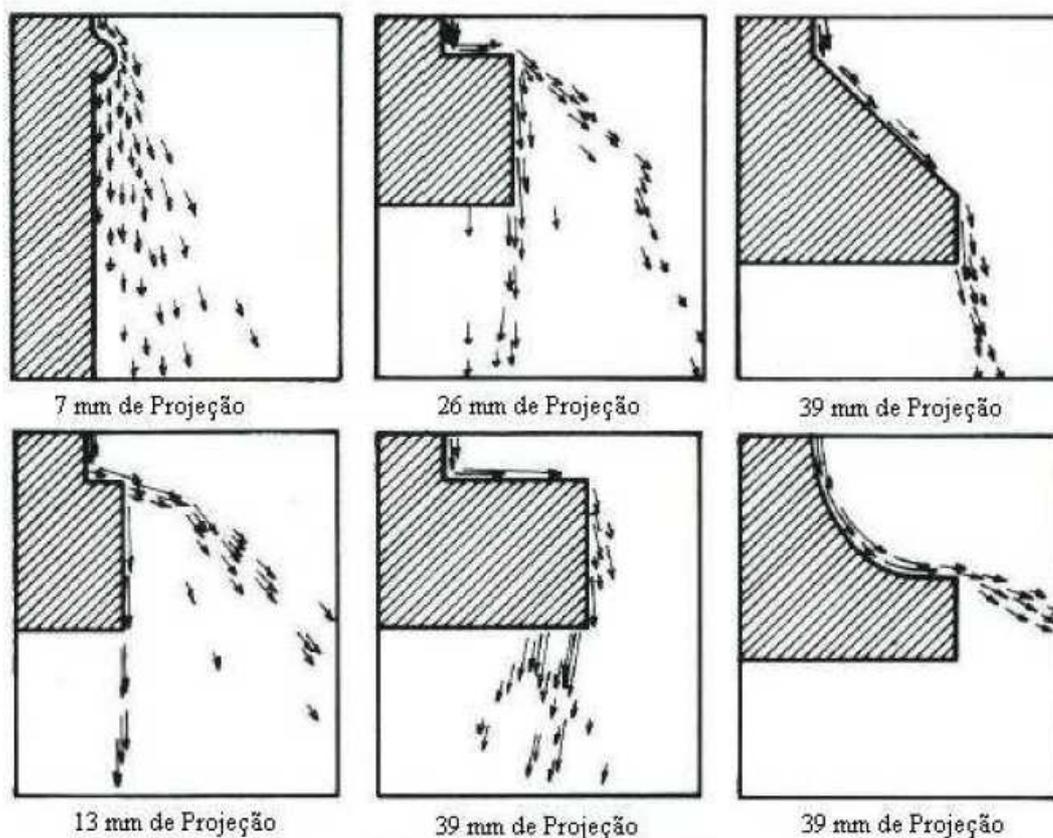


Figura 3.9 – Diagramas dos fluxos de água em pingadeiras com diferentes geometrias (Perez, 1988 e Thomaz, 1990)

Os autores complementam ainda, que a espessura e rugosidade da parede, qualidade do tratamento superficial, o tratamento arquitetônico da fachada (presença ou não de frisos, pingadeiras, entre outros), orientação da fachada levando em consideração a predominância dos ventos, intensidade e duração das chuvas, propriedades do material constituintes dos componentes de alvenaria (higroscopicidade, porosidade, absorção de água, etc.), são fatores que determinarão à quantidade de umidade que penetrará nas paredes.

Surry *et al.* (1994), demonstram através de ensaios de modelos reduzidos de edificações colocados em túnel de vento de camada limite, em escala, no qual foram simuladas as características de vento e chuva dirigida, que o padrão típico de umedecimento das fachadas voltadas para a chuva dirigida pelo vento ocorre em forma de parábola, com maior deposição no topo e cantos da face exposta, e no restante da parede poderá ser observado o escoamento para baixo numa face relativamente seca.

Na Figura (3.10), é apresentada uma marquise do prédio da FT/UnB que apresenta pingadeira, entretanto essa pingadeira encontra-se ineficiente, pois existe a presença de manchas de umidade na parte inferior da marquise. Seria necessária uma abertura maior da pingadeira para que a água na escorresse para a parte inferior da marquise.



Figura 3.10 – Marquise do prédio da FT/UnB com manchas de umidade

b) Peitoris

De acordo com Thomaz (1990), em peitoris de janelas, a água que incide sobre a superfície envidraçada certamente resultará em fluxos laterais ao peitoril. O resultado dessa concentração seria o aparecimento de manchas nas fachadas resultantes do somatório do fluxo de água da chuva que passa pelo peitoril com o acúmulo de poeira que é depositado no peitoril ao longo do tempo (Figura 4.11). Além disso, observa-se também que a frequência desses eventos provoca manchas permanentes localizadas nas paredes.

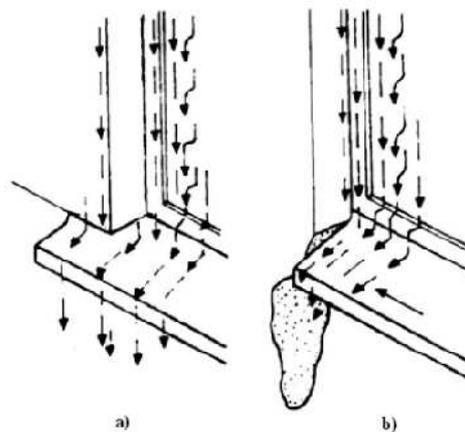


Figura 3.11 – Trajetória do fluxo de água nas esquadrias a) com avanço e b) sem avanço (Thomaz, 1990)

c) Brise-soleil

De acordo com Banham (1975), o brise-soleil é um elemento arquitetônico que tem como função controlar o ingresso de radiação solar e conseqüentemente a entrada de calor e luz visível. Quando bem especificado, gera iluminação natural adequada ao ambiente interno, mantém o ângulo de visão interior-exterior, permite a ventilação, e principalmente, controla os ganhos térmicos.

Mesmo diante de tantas vantagens, os brises-soleil quando utilizados geralmente não são dimensionados nem especificados corretamente, considerando-se, muitas vezes, apenas questões estéticas (Leite e Araújo, 2004).

Amorim (2004), por exemplo, faz referencia aos edifícios sem controle solar em Brasília, onde observa excesso de iluminância em alguns, como o Palácio Itamaraty e o edifício da Funasa. A autora expõe também que no edifício do Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes – DNIT (Figura 3.12), o excesso de brises, aliado às altas divisórias internas, impede a distribuição da luz natural no interior do edifício.



Figura 3.12 – Fachada do prédio do DNIT com vários brises de concreto

Esses elementos além de todas as funções expostas anteriormente podem apresentar função estrutural nos edifícios, atuando em várias situações como pilares. Assim, é importante que em projeto deva ser previstos acessos de forma fácil e seguro a esses elementos. Importante, ressaltar também, que o projeto deve atentar para as condições de durabilidade da ABNT NBR 6118 (2003), em especial, o cobrimento, ação da umidade e temperatura

nesses elementos a fim de evitar o aparecimento de manchas e fissuras. Na Figura (3.13) são apresentados os brises de concreto do prédio da Biblioteca Central da UnB com a presença de manchas devido à umidade.



Figura 3.13 - Brises de concreto do prédio da Biblioteca Central da UnB com a presença de manchas devido à umidade.

Deve ser previsto em projeto o acesso para inspeção e manutenção de partes da estrutura com vida útil inferior ao todo, tais como aparelhos de apoio, caixões, insertos, impermeabilizações e outros (ABNT NBR 6118, 2003).

As manutenções periódicas são essenciais para a continuidade do desempenho em níveis satisfatórios. Entretanto, para que essas manutenções sejam realizadas, é necessário que haja locais para o acesso de pessoas a fim de realizar esses procedimentos. Locais expostos a umidade, a radiação solar entre outros, devem ser previstos em projeto locais de acesso.

### **3.3.3 – Qualidade do concreto de cobrimento**

De acordo com a norma em estudo a durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do concreto do cobrimento da armadura.

Ensaio comprobatório de desempenho da durabilidade da estrutura frente ao tipo e nível de agressividade previsto em projeto devem estabelecer os parâmetros mínimos a serem

atendidos. Na falta destes e devido à existência de uma forte correspondência entre a relação água/cimento, a resistência à compressão do concreto e sua durabilidade, permite-se adotar os requisitos mínimos expressos na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto (ABNT NBR 6118, 2003)

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (tabela 3.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
NOTAS					
1 O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na NBR 12655.					
2 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado					
3 CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido					

É importante ressaltar que não é permitido o uso de cloretos em sua composição em estruturas de concreto armado e protendido.

Em obras correntes o valor de  $\Delta c$  (tolerância de execução para o cobrimento) deve ser maior ou igual a 10 mm. Quando houver um adequado controle de qualidade e rígidos limites de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução pode ser adotado o valor  $\Delta c = 5$  mm, mas a exigência de controle rigoroso deve ser explicitada nos desenhos de projeto. Permite-se, então, a redução dos cobrimentos nominais prescritos na Tabela 3.3 em 5 mm.

A dimensão máxima característica do agregado graúdo ( $d_{máx}$ ) utilizado no concreto não pode superar em 20% a espessura nominal do cobrimento ( $c_{nom}$ ) como está apresentado na Equação (3.1):

$$d_{máx} \leq 1,2 c_{nom} \quad (3.1)$$

Tabela 3.3 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para  $\Delta c = 10\text{mm}$  (ABNT NBR 6118, 2003)

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 3.1)			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje <sup>2)</sup>	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido <sup>1)</sup>	Todos	30	35	45	55

<sup>1)</sup> Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

<sup>2)</sup> 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 tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>3)</sup> Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

### 3.3.3.1 – Controle da fissuração

O risco e a evolução da corrosão do aço na região das fissuras de flexão transversais à armadura principal dependem essencialmente da qualidade e da espessura do concreto de cobrimento da armadura. Aberturas características limites de fissuras na superfície do concreto dadas em 13.4.2 da norma, em componentes ou elementos de concreto armado, são satisfatórias para as exigências de durabilidade.

#### a) Limites para a fissuração e proteção das armaduras quanto à durabilidade

A abertura máxima característica  $w_k$  das fissuras, desde que não exceda valores da ordem de 0,2 mm a 0,4 mm, (conforme tabela 3.4) sob ação das combinações frequentes, não tem importância significativa na corrosão das armaduras passivas.

Na Tabela 3.4 são dados valores limites da abertura característica  $w_k$  das fissuras, assim como outras providências visando garantir proteção adequada das armaduras quanto à corrosão. Entretanto, devido ao estágio atual dos conhecimentos e da alta variabilidade das grandezas envolvidas, esses limites devem ser vistos apenas como critérios para um projeto adequado de estruturas.

Tabela 3.4 – Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e a proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental (ABNT NBR 6118, 2003)

<b>Tipo de concreto estrutural</b>	<b>Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão</b>	<b>Exigências relativas à fissuração</b>	<b>Combinação de ações em serviço a utilizar</b>
Concreto simples	CAA 1 a CAA IV	Não há	--
Concreto armado	CAA 1 CAA II a CAA III CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação freqüente
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação freqüente
		ELS-F	Combinação freqüente
		ELS-D <sup>1)</sup>	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação freqüente
		ELS-D <sup>1)</sup>	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D <sup>1)</sup>	Combinação freqüente
A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com $a_p = 25$ mm (figura 3.1).			
NOTAS			
1As 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 tenham proteção especial na região de suas ancoragens.			

b) Medidas especiais

Em condições de exposição adversas devem ser tomadas medidas especiais de proteção e conservação do tipo: aplicação de revestimentos hidrofugantes e pinturas impermeabilizantes sobre as superfícies do concreto, revestimentos de argamassas, de cerâmicas ou outros sobre a superfície do concreto, galvanização da armadura, proteção catódica da armadura e outros.

c) Inspeção e manutenção preventiva

O conjunto de projetos relativos a uma obra deve orientar-se sob uma estratégia explícita que facilite procedimentos de inspeção e manutenção preventiva da construção.

O manual de utilização, inspeção e manutenção deve ser produzido conforme o item 25.4 da norma em estudo, ou seja: dependendo do porte da construção e da agressividade do meio e de posse das informações dos projetos, dos materiais e produtos utilizados e da execução da obra, deve ser produzido por profissional habilitado, devidamente contratado pelo contratante, um manual de utilização, inspeção e manutenção. Esse manual deve especificar de forma clara e sucinta, os requisitos básicos para a utilização e a manutenção preventiva, necessárias para garantir a vida útil prevista para a estrutura, conforme indicado na ABNT NBR 5674 (1999).

## **4 – ESTUDOS DE CASO**

Como estudo de caso foram analisados três edificações, localizadas no Campus Central da UnB – Universidade de Brasília, a saber o Instituto de Química (edificação recente), a Faculdade de Tecnologia e a Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas (edificações com aproximadamente 40 anos).

Na edificação recente foram analisados, inicialmente, os projetos de arquitetura, onde foram sugeridos pontos e detalhes arquitetônicos que poderão apresentar manifestações patológicas. Posteriormente, foram realizadas várias vistorias “*in-loco*” além do registro fotográfico. Assim, foram apontadas soluções para os problemas já existentes e para os que poderão surgir.

Nas edificações antigas, os projetos de arquitetura foram analisados e, também, foram apontadas situações onde poderiam surgir problemas patológicos e, através das vistorias *in-loco* verificou-se a existência dessas manifestações.

### **4. 1 – INSTITUTO DE QUÍMICA (IQ)**

#### **4.1.1 – Características gerais**

O prédio Instituto de Química (IQ) foi inaugurado em 18 de junho de 2008 e está localizado no Campus Central da UnB (Universidade de Brasília) como é apresentado na Figura 4.1. Este prédio apresenta uma área construída de aproximadamente 11.715 m<sup>2</sup>. É constituído de dois pavimentos, ou seja, pavimento térreo e pavimento superior e ambos apresentam área construída de, aproximadamente, 5.857 m<sup>2</sup>.

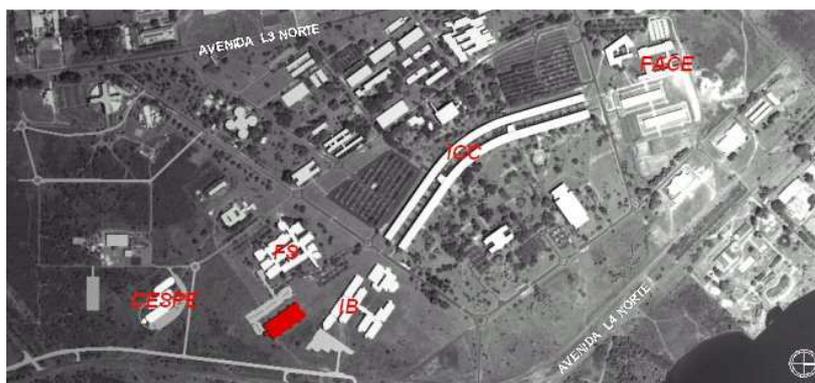


Figura 4.1 – Localização do Instituto de Química - IQ (CEPLAN - UnB, 2009).

O prédio (IQ) foi construído recentemente, e, conseqüentemente, passou a ser utilizado há pouco tempo. Desta forma, encontra-se bem acabado e com aspecto novo, como é apresentado na Figura 4.2.



Figura 4.2 – Instituto de Química – IQ

O projeto de arquitetura foi elaborado pelos arquitetos Aleixo Anderson Furtado, Marcílio Mendes Ferreira, André Murici Nepomuceno e Letícia Esperidião Cordeiro. A estrutura foi projetada pelo engenheiro e professor da UnB Márcio Buzar e pela Empresa Shamam Sistemas Construtivos.

#### 4.1.2 – Sistema construtivo

Este prédio é constituído por dois tipos de estrutura, ou seja, em sua maioria por uma estrutura de concreto armado e outra, internamente, por estrutura metálica. A de concreto armado compõe a infra e a super-estrutura, ou seja, fundações, pilares e vigas que dão sustentação ao prédio em si. A estrutura metálica é responsável pela sustentação da

cobertura do prédio e das passarelas que estão localizadas no interior e que, também, são metálicas. Na Figura 4.3 é apresentado o corredor central do prédio e as duas estruturas bem definidas.



Figura 4.3 – Corredor central do pavimento térreo do IQ

Como referido no parágrafo anterior, a estrutura metálica serve de sustentação para a cobertura e para as passarelas. Na Figura 4.4 é apresentado o detalhe desta estrutura.



Figura 4.4 – Corredor central do pavimento superior do IQ

### **4.1.3 – Análise dos detalhes arquitetônicos**

A análise do prédio IQ teve início pela avaliação do projeto de arquitetura, onde foram apontadas situações favoráveis ao surgimento de manifestações patológicas. Nesta análise foram levados em consideração os aspectos das diretrizes de durabilidade, das seguintes normas ABNT NBR 6118 (2003) e, também, pela ABNT NBR 8800:2008 devido ao prédio apresentar estrutura metálica. Posteriormente foi realizada a vistoria do prédio através de registro fotográfico.

### **4.1.4 – Detalhes arquitetônicos propícios ao surgimento de manifestações patológicas**

#### **4.1.4.1 – Detalhes arquitetônicos propícios a acumulação de água**

Inicialmente verificou-se que a cobertura do prédio apresenta forma arqueada que facilita a acumulação de água em algumas partes da estrutura, pois o fluxo de água está direcionado para calhas e condutores verticais que estão muito próximos de vários elementos da estrutura do prédio. De acordo com a ABNT NBR 6118 (2003), deve-se evitar a presença ou acumulação de água de chuva que possa reduzir a durabilidade da estrutura. Na Figura 4.5 é apresentado o detalhe da cobertura.



Figura 4.5 – Detalhe da cobertura do IQ

Deve-se ressaltar a importância do sistema de drenagem e a sua manutenção nestas situações. No IQ há a presença do sistema de drenagem para captação a água proveniente da cobertura. Ou seja, são utilizadas calhas, coletores verticais e horizontais que levam a

água da chuva para as caixas de passagens localizadas no terreno, como apresentado na Figura 4.6.



Figura 4.6 – Detalhe do sistema de drenagem do IQ

Outros detalhes que favorecem a acumulação de água são as marquises localizadas nas entradas do prédio IQ, como está apresentada na Figura 4.7. A forma arquitetônica da marquise favorece o direcionamento fluxo da água para uma parte do elemento, favorecendo ao surgimento de manchas.



Figura 4.7 – Detalhe da cobertura da entrada do prédio IQ

Deve-se ressaltar que foi especificado em projeto o local onde deveria ser feito o caimento, entretanto, não foi informada a inclinação necessária para que não houvesse acúmulo de água, como está apresentado nas Figuras 4.8 e 4.9.

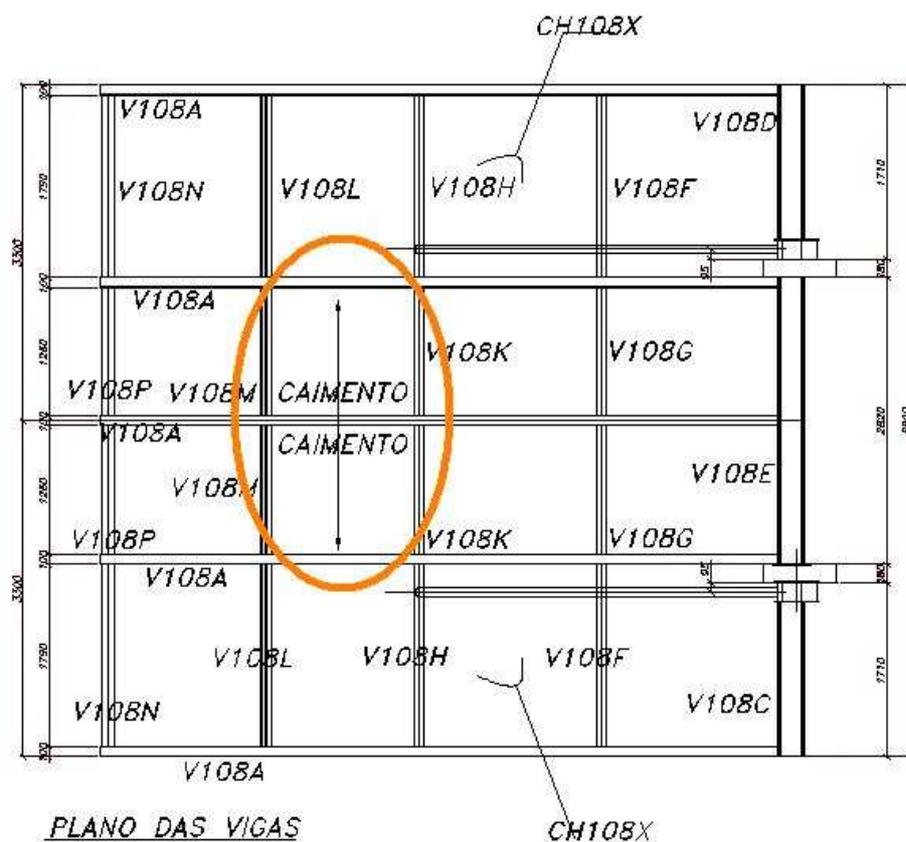


Figura 4.8 – Plano das vigas da Marquise (CEPLAN/UnB, 2009)



Figura 4.9 – Marquise localizada na entrada do prédio IQ

#### 4.1.4.2 – Detalhes sujeitos a corrosão

Como referido anteriormente, o Instituto de Química é constituído em parte por estrutura metálica. Diante disto, é importante ressaltar a preocupação em evitar que haja o surgimento de manifestações patológicas precocemente e, principalmente, devido à corrosão. A estrutura metálica não apresenta nenhum manual de fabricante especificando o

tratamento que se devem fazer aos elementos e não há, também, recomendações de manutenções periódicas.

Segundo a ABNT NBR 8800 (2008), a proteção do aço contra corrosão atmosférica, fenômeno que ocorre na presença simultânea de água e oxigênio, visa assegurar sua durabilidade e a manutenção da sua estética durante o período de vida útil.

A localização dos elementos constituintes da estrutura influencia a corrosão. Ainda, segundo a ABNT NBR 8800 (2008) em estruturas externas (isto é, aquelas expostas diretamente à atmosfera), parâmetros climáticos, tais como a quantidade de chuva, o nível de insolação e a quantidade de poluentes na forma de gases ou aerossóis, afetam a corrosão. Em ambientes internos, como aqueles encontrados dentro de uma edificação, o efeito dos parâmetros climáticos e dos poluentes é muito reduzido ou inexistente.

No IQ, a maioria dos elementos da estrutura metálica está localizada em ambiente interno, e mesmo assim, os autores do projeto estrutural se preocuparam com o efeito da corrosão e especificaram em projeto um tratamento anti-ferruginoso. Ou seja, recomendaram a utilização de duas demãos de tinta anti-ferruginosa, cromato de zinco ou equivalentes. Na Figura 4.10 é apresentada a estrutura metálica em ambiente interno.



Figura 4.10 – Estrutura metálica localizada no interior do prédio do IQ

Na Figura 4.11, é apresentado, novamente, às marquises localizadas nas entradas do prédio. Essas marquises apresentam tirantes metálicos que as sustentam e estão localizadas em ambiente externo e expostas diretamente à umidade, estando sujeitas a corrosão.

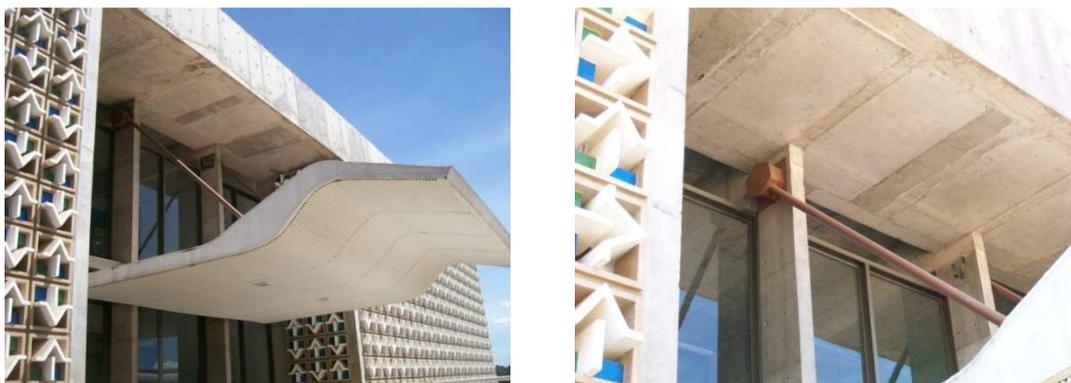


Figura 4.11 – Marquises das entradas do IQ com tirantes metálicos

#### 4.1.5 – Detalhes arquitetônicos com manifestações patológicas

Por se tratar de uma edificação recente, através do levantamento fotográfico não se encontrou muitos problemas e pôde-se observar que a maioria das manifestações patológicas encontradas nos detalhes arquitetônicos é devida, principalmente, a falta de especificações de projeto e não a falhas de execução. Os principais problemas registrados são:

- Manchas em concreto aparente;
- Fissuras e trincas.

##### 4.1.5.1 – Manchas em concreto aparente

Observou-se na fachada frontal do prédio a presença de manchas devido à ausência de pingadeira, como está apresentado na Figura 4.12.



Figura 4.12 – Manchas na fachada frontal do IQ devido à falta de pingadeira

No interior do prédio verificou-se a presença de manchas esbranquiçadas de lixiviação ocasionadas por águas puras, como está apresentado na Figura 4.13.



Figura 4.13 – Manchas esbranquiçadas de lixiviação no interior do IQ

Nas vigas localizadas no almorarifado, foram encontradas manchas devido à penetração de água proveniente da cobertura por carência na impermeabilização, como é apresentada na Figura 4.14.



Figura 4.14 – Manchas localizadas em vigas localizadas no almorarifado do IQ

Foram encontradas manchas, também, na laje de cobertura do almorarifado do Instituto de Química devido ao caimento insuficiente, ocasionando o acúmulo de água, como pode ser observado nas Figuras 4.15.



Figura 4.15 – Manchas na cobertura do Almojarifado do IQ

Deve-se lembrar que por se tratar de um ambiente onde há o depósito de substâncias químicas de alto potencial nocivo as estruturas, deveria ter, durante a concepção de projeto, uma atenção especial a esse compartimento. Ou seja, estabelecer o uso de revestimentos protetores que não alteram o aspecto natural do concreto como: revestimentos hidrófugos ou repelentes e revestimentos impermeabilizantes a fim de reduzir o dano à estrutura.

#### 4.1.5.2 – Fissuras e trincas

Na cobertura do almojarifado do Instituto de Química há a presença de detalhes que facilitam a ventilação e a entrada de iluminação, os chamados *sheds*, que são importantes para evitar algumas patologias, como mofo, bolor, entre outras. Entretanto, esses *sheds* encontram-se fissurados e com reparos já realizados como apresentado na Figura 4.16.



Figura 4.16 – *Sheds* da laje de cobertura do almojarifado do IQ

Para evitar esse tipo de manifestação, deveria ter sido previsto durante a fase de projeto, o uso de juntas de dilatação entre os diversos *sheds*, além de um eficiente sistema de impermeabilização impedindo a entrada de umidade.

#### **4.1.6 – Passarela metálica**

Um detalhe arquitetônico que merece ser estudado com mais ênfase é a passarela metálica (Figura 4.17) localizada no interior do prédio. A passarela apresenta uma extensão de, aproximadamente 82 m, e seis encontros com as lajes de concreto do prédio. Esta apresenta laje de concreto de 12 cm de espessura, apoiada em vigas metálicas e, são sustentadas também, por tirantes metálicos fixados nos arcos da cobertura.



Figura 4.17 – Passarela localizada no IQ

A passarela está localizada no interior do prédio do IQ (Instituto de Química) e se trata de um elemento arquitetônico bastante útil e funcional, pois é através dela que há o trânsito de pessoas no pavimento superior do prédio.

Essa passarela é composta por uma estrutura mista, ou seja, aço e concreto. Apresenta lajes de concreto armado que são apoiadas em vigas metálicas (Figura 4.18). E, servindo de apoio também para essa passarela, existem tirantes de aço que são fixados nas vigas metálicas e nos arcos da cobertura.



Figura 4.18 – Vigas e tirantes de aço da passarela do IQ

Entretanto foi observada durante a vistoria, a presença de fissuras em algumas regiões da passarela, ou seja, na região de encontro das vigas metálicas da passarela com as vigas de concreto do prédio (Figura 4.19).



Figura 4.19 – Fissuras na região dos encontros da passarela com a estrutura do prédio

Essas fissuras podem ser extremamente deletérias à estrutura de concreto, pois durante a limpeza do piso, o uso de produtos de limpeza à base de hipoclorito pode penetrar no concreto e desencadear uma corrosão localizada na armadura e nos pinos de sustentação da laje.

Para este elemento arquitetônico, por estar apresentando manifestações patológicas, serão analisadas as possíveis causas dessas manifestações apenas do ponto de vista de projeto e das vistorias realizadas “*in-loco*”.

Na Figura 4.20 é apresentada uma parte do plano geral do pavimento no qual se encontra a passarela com toda estrutura de concreto do prédio e na Figura 4.21 o plano geral completo da estrutura de aço da passarela e de concreto do prédio, como também os locais onde estão ocorrendo fissuras. Esses projetos podem ser melhores visualizados no Apêndice A deste trabalho.

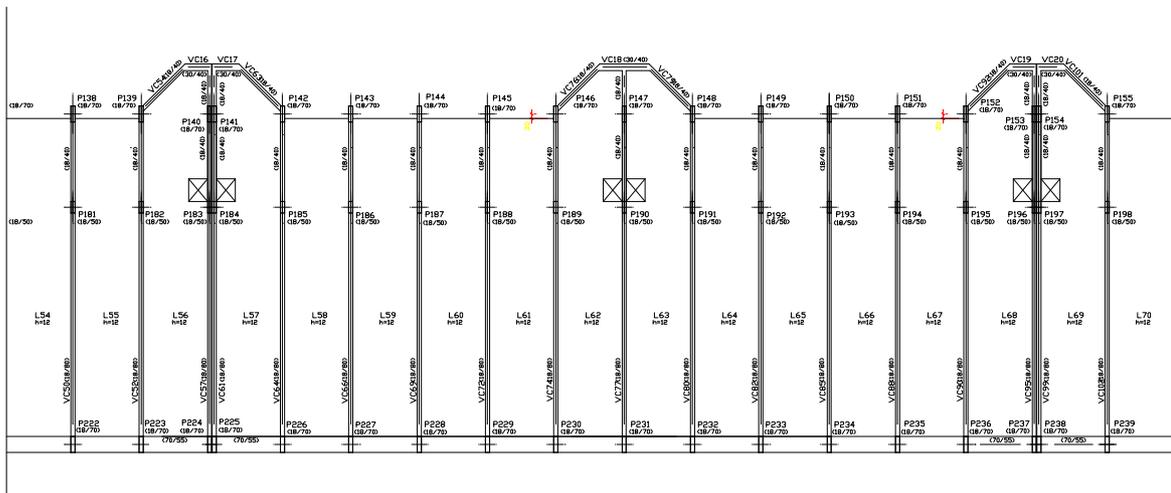


Figura 4.20 – Plano geral das vigas e pilares de concreto do prédio do IQ  
(CEPLAN - UnB, 2009)

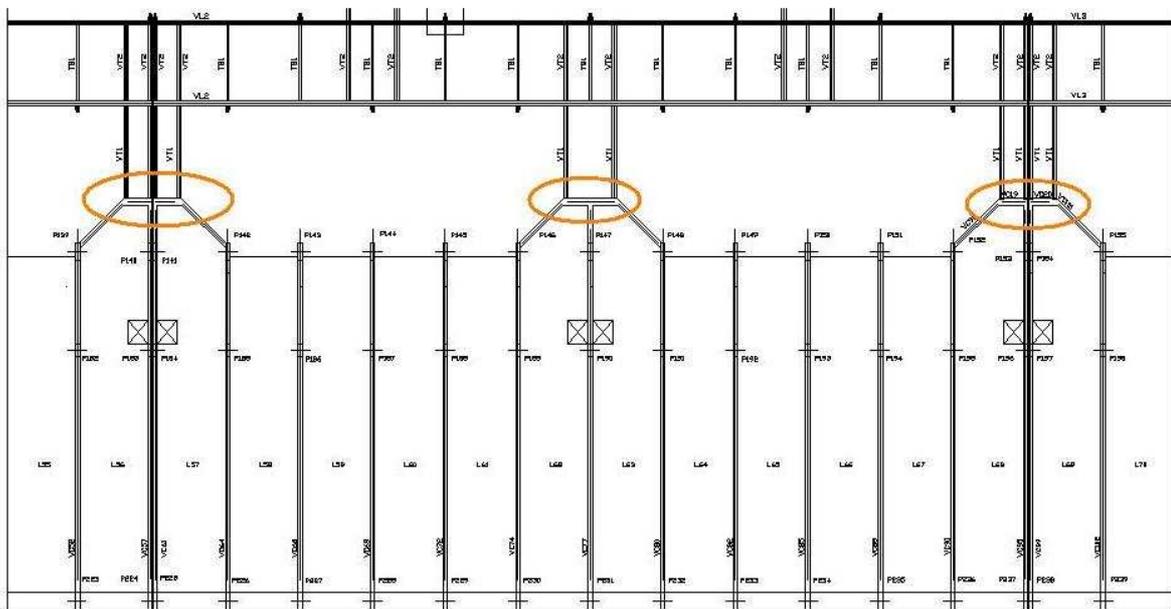


Figura 4.21 – Plano geral da estrutura metálica da passarela, como também em destaque as regiões onde estão ocorrendo fissuras (CEPLAN - UnB, 2009)

Na região onde se verificaram as fissuras, existe a ligação entre a viga metálica da passarela com a viga de concreto do prédio (Figura 4.22). Pode-se observar no detalhe do projeto da estrutura de aço (Figura 4.23) que a ligação é rígida, pois não há possibilidade da estrutura se movimentar.



Figura 4.22 – Ligação entre a viga metálica da passarela e a viga de concreto do prédio

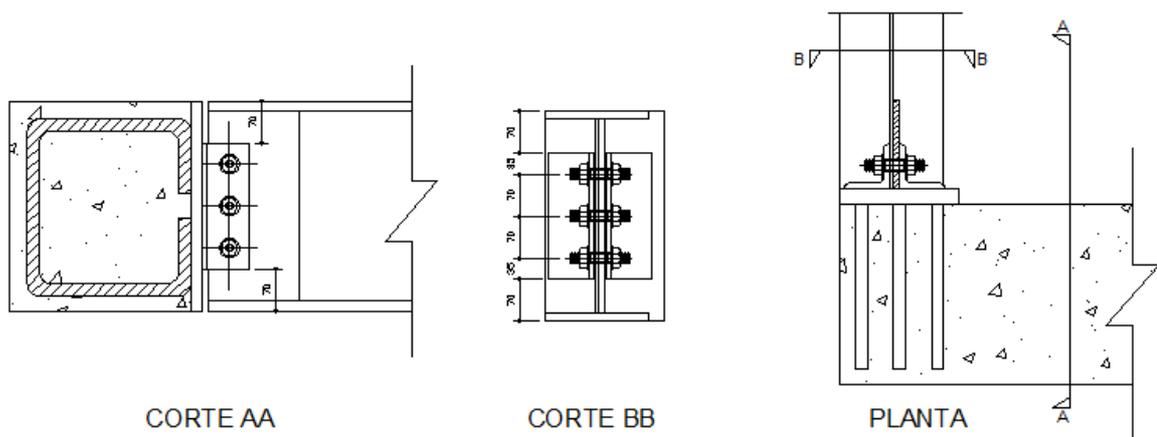


Figura 4.23 – Detalhe da ligação da viga metálica da passarela com a viga de concreto do prédio (CEPLAN - UnB, 2009)

Outro detalhe observado no projeto de estrutura é que na região de encontro da laje de concreto armado da passarela com a do prédio existe armadura negativa, ou seja, 15 barras de diâmetro 8.0 mm espaçadas a cada 15 cm (Figuras 4.24 e 4.25).

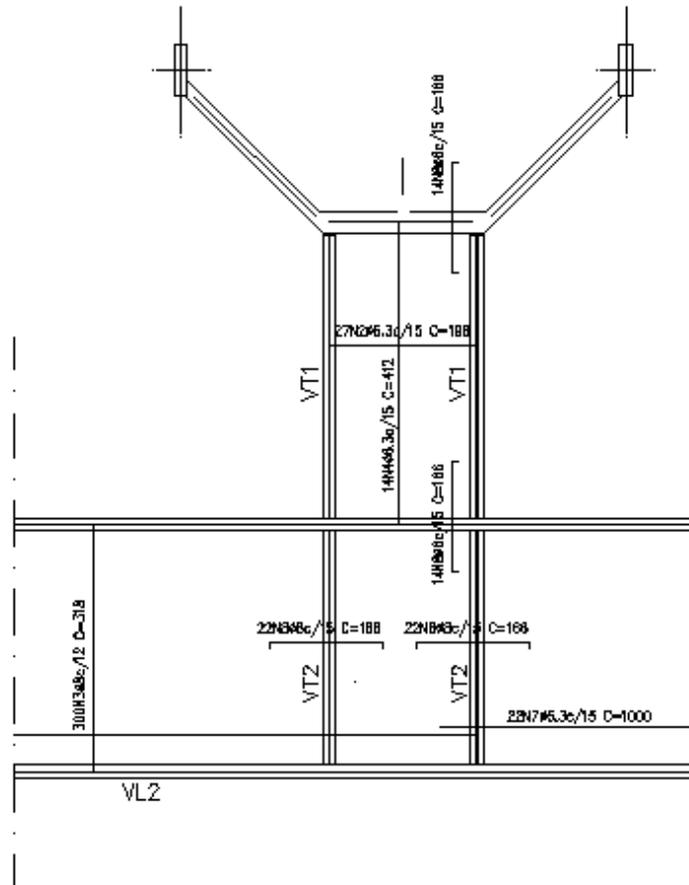


Figura 4.24 – Detalhe das armaduras negativas das lajes da passarela  
(CEPLAN - UnB, 2009)

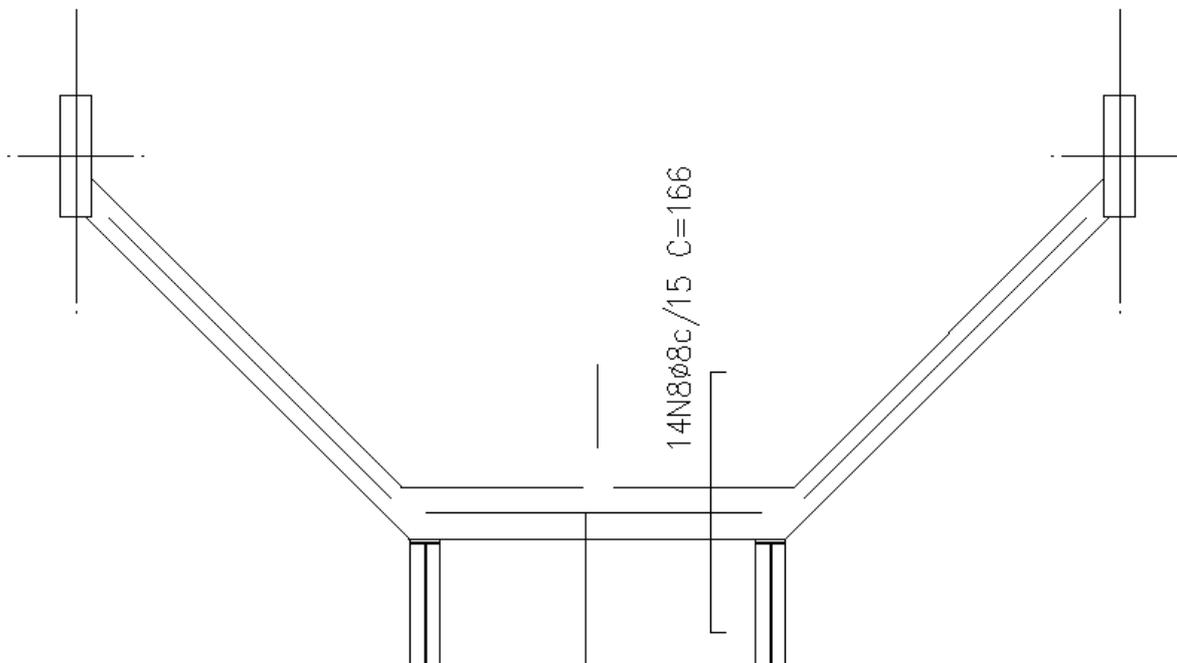


Figura 4.25 – Detalhe da armadura negativa na região da fissura  
(CEPLAN - UnB, 2009)

Através da análise do projeto e das vistorias realizadas “*in-loco*” da região onde ocorreram as fissuras, pode-se fazer algumas considerações:

A laje de concreto armado da passarela está apoiada em vigas de materiais diferentes, ou seja, nas vigas metálicas da própria passarela e nas vigas de concreto do prédio. Esses elementos tendem a se deformar de maneira distinta. Assim essas deformações, podem gerar tensões que provocam fissuras.

Na região da fissura existe armadura negativa na laje de concreto como pode ser observado nas Figuras 4.24 e 4.25. Entretanto pressupõe-se que esta armadura foi insuficiente em conter os esforços internos na região;

Por se tratar de uma estrutura com elementos de materiais diferentes, pode-se concluir que nessa região dever-se-ia existir uma separação (junta) para que os elementos pudessem trabalhar e deformar livremente. E, assim, não haveria tensões nessa região e a não formação de fissuras.

Estas fissuras não representam apenas uma deficiência de desempenho do ponto de vista estético, mas também, uma deficiência do ponto de vista da durabilidade. Por estas fissuras, que estão situadas justamente sobre a ligação entre a estrutura metálica e a estrutura de concreto, poderão penetrar água e os produtos de limpeza normalmente à base de hipoclorito. Com o tempo, os pinos de sustentação da passarela metálica poderão ser corroídos comprometendo a sua estabilidade.

Caso existisse uma junta com a devida vedação para evitar a penetração de água e produtos agressivos estes problemas poderiam ser resolvidos. Nestas situações é necessária a previsão de espaços para manutenção dos elementos desta região.

#### **4.1.7 – Considerações finais referente à análise do prédio (IQ)**

O prédio do Instituto de Química, por se tratar de uma edificação nova e com uma arquitetura inovadora apresenta-se em bom estado de conservação. Em sua maioria,

encontra-se de acordo com os aspectos de durabilidade da ABNT NBR 6118 (2003) e como, também, com as recomendações da ABNT 8800 (2008).

Nos detalhes que apresentaram manchas em concreto aparente deveriam ter sido estabelecidos revestimentos protetores a fim de reduzir a ação da umidade, como também, o uso de pingadeiras e de inclinações adequadas dos caimentos.

É importante destacar, também, a ausência de manuais dos fabricantes dos elementos da estrutura metálica, como também, a previsão de manutenções periódicas.

## **4.2 – FACULDADE DE TECNOLOGIA (FT)**

### **4.2.1 – Características gerais**

O Prédio da Faculdade de Tecnologia (Figura 4.26) foi inaugurado 1976 e está localizado no Campus Central da UnB (Universidade de Brasília) como está apresentada na Figura 4.27. Apresenta uma área construída de aproximadamente 15.092 m<sup>2</sup>.



Figura 4.26 – Faculdade de Tecnologia (FT)



Figura 4.27 – Localização da Faculdade de Tecnologia (FT)

É constituído por um conjunto de edificações unidas por pátios internos e corredores abertos implantados em níveis diferenciados. Abriga salas de aula, laboratórios e instalações administrativas de vários departamentos de engenharia da UnB.

O prédio (FT) por ter sido construído há mais de 40 anos encontra-se com aspecto deteriorado e com várias manifestações patológicas. Na Figura 4.28 são apresentadas algumas das fachadas do prédio.



Figura 4.28 – Fachadas da FT

O projeto de arquitetura foi elaborado pelos arquitetos Adilson Costa Macedo e Érico Paulo Siegma Weidle. O projeto estrutural foi elaborado de acordo com a NB1 1960, pelos Engenheiros Paulo R. C. Cordeiro, Wilson H. Brasil e Leonardo de Souza. No apêndice B são apresentadas as plantas baixas do prédio da Faculdade de Tecnologia (FT).

## 4.2.2 – Análise dos detalhes arquitetônicos

A análise do prédio FT teve início pela avaliação do projeto de arquitetura, onde foram apontadas situações favoráveis ao surgimento de manifestações patológicas. Nesta análise foi levada em consideração a norma atual de concreto a ABNT NBR 6118 (2003). Posteriormente foi realizada a vistoria do prédio através de registro fotográfico.

### 4.2.2.1– Detalhes arquitetônicos da fachada

O prédio da Faculdade de Tecnologia é revestido por blocos cerâmicos aparentes e, também, por concreto aparente. A maioria das esquadrias de alumínio (Figura 4.29) não apresenta nenhum tipo de proteção, estando completamente expostas a ação da umidade.



Figura 4.29 – Esquadrias do prédio (FT)

Em algumas esquadrias há a presença de detalhes arquitetônicos de projeto (Figura 4.30) que são as marquises de concreto com pingadeiras que evitam a entrada de umidade nas esquadrias. Entretanto, essas marquises (Figura 4.31) encontram-se deterioradas, favorecendo a passagem da água de chuva para a sua parte inferior, atingido as esquadrias. Nesses detalhes arquitetônicos é necessário o reparo do concreto com frequência para que não se torne uma situação propícia ao surgimento de manifestações patológicas.

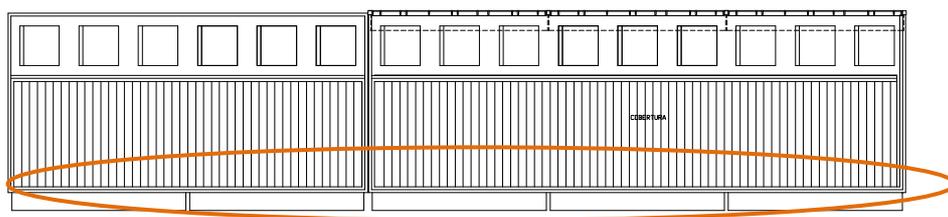


Figura 4.30 – Detalhe de projeto das marquises da fachada do FT  
(CEPLAN - UnB, 2009)



Figura 4.31 – Marquises localizadas na fachada do prédio (FT)

#### 4.2.2.2 – Detalhes arquitetônicos do interior do prédio

No interior do prédio existem vários detalhes de arquitetura já com a presença de manifestações patológicas.

As entradas do prédio são desprovidas de qualquer tipo de sistema de drenagem (Figura 4.32), como as grelhas que captam a água de chuva e lavagem, evitando, assim, a sua acumulação, no interior do prédio. Segundo a ABNT NBR 6118 (2003), as superfícies expostas que necessitem ser horizontais, tais como coberturas, pátios, garagens, estacionamentos e outras, devem ser convenientemente drenadas com disposição de ralos e condutores.



Figura 4.32 – Entrada do FT desprovida de sistema de drenagem

Outro detalhe importante observado no interior do prédio e que mostra uma incompatibilidade de projeto, são as tubulações verticais que passam no plano principal de vigas (Figura 4.33) e em lajes (Figura 4.34). A laje, na qual há passagem da tubulação vertical, se encontra com infiltração e com a presença de manchas.



Figura 4.33 – Tubulação vertical passando no plano principal da viga



Figura 4.34 – Furo em laje para a passagem de tubulação vertical

Segundo a ABNT NBR 6118 (2003), as aberturas em vigas, contidas no seu plano principal, como furos para a passagem de tubulação vertical nas edificações (Figura 4.35), não devem ter diâmetros superiores a  $1/3$  da largura dessas vigas nas regiões desses furos. A distância mínima de um furo à face mais próxima da viga deve ser no mínimo 5 cm e duas vezes o cobrimento previsto nessa face.

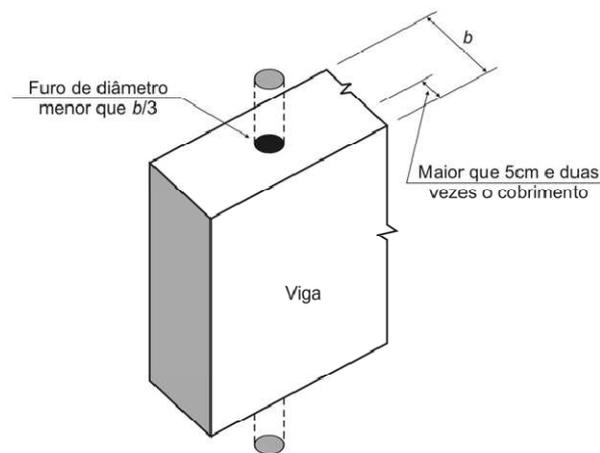


Figura 4.35 – Abertura vertical em vigas (ABNT NBR 6118, 2003)

Ainda segundo a norma referida no parágrafo anterior devem-se evitar disposições arquitetônicas ou construtivas que possam reduzir a durabilidade da estrutura. Nessas situações o projeto arquitetônico deve apresentar locais propícios para a passagem das tubulações verticais, como por exemplo, os *shafts*. Dessa forma, evitaria furos em lajes e vigas e, conseqüentemente, a redução da durabilidade da estrutura.

No interior do prédio, há também, várias marquises de concreto (Figura 4.36) que são importantes para evitar que água de chuva penetre na edificação pelas esquadrias. Nessas marquises existe a pingadeira que evita várias manifestações patológicas devido à umidade. Entretanto, como está acontecendo nas fachadas do prédio, o concreto encontra-se deteriorado. É importante ressaltar a realização de manutenções periódicas nesses detalhes evitando a corrosão excessiva da armadura e o risco de queda do elemento.



Figura 4.36 – Marquise localizada no interior do FT

Como referido no item 4.2.2.1, o prédio da FT é predominantemente formado por concreto aparente. Entretanto, a maioria dos elementos da estrutura do prédio encontra-se deteriorado, apresentando manchas e deterioração do concreto (Figura 4.37). Nesses elementos deveria se utilizar algum tipo de revestimento protetor como os hidrófugos ou repelentes, ou até mesmo, revestimento impermeabilizante, dessa maneira aumentaria a capacidade do concreto resistir à absorção de água.



Figura 4.37 – Vigas apresentando manchas e deterioração do concreto

Outras manchas foram observadas nas janelas e na alvenaria na parte central do prédio (Figura 4.38). Não foi previsto em projeto o uso de pingadeiras na laje de cobertura e nem nas lajes que se situam defronte o recuo das janelas do segundo pavimento, evitando que água de chuva escorra por esses elementos. Segundo a ABNT NBR 6118 (2003), todos os beirais devem ser protegidos por pingadeiras.



Figura 4.38 – Manchas de umidade em janelas e na alvenaria

Em outras vigas do prédio da FT, já existe o destacamento do concreto, na qual as armaduras estão totalmente expostas, sem nenhuma capa de concreto (Figura 4.39). Neste caso, o concreto deveria ser refeito com urgência, evitando a corrosão da armadura e, conseqüentemente, a redução da durabilidade da estrutura. Nota-se que estas vigas são elementos de borda e que não têm nenhum elemento que evite o retorno da água pelo fundo da viga.



Figura 4.39 – Viga apresentando destacamento do concreto e armadura exposta

Algumas vigas estão apresentando corrosão nas armaduras, em estágio bastante avançado (Figura 4.40).



Figura 4.40 – Corrosão de armadura de viga

#### 4.2.2.3 – Detalhes arquitetônicos da cobertura

A cobertura do prédio da FT apresenta vários detalhes arquitetônicos que estão sujeitos e propícios ao surgimento de manifestações patológicas. Um detalhe de projeto (Figura 4.41) importante são os *sheds* de concreto (Figura 4.42) que desempenham uma função importantíssima na edificação, facilitando a ventilação e a entrada de iluminação para o interior do prédio.

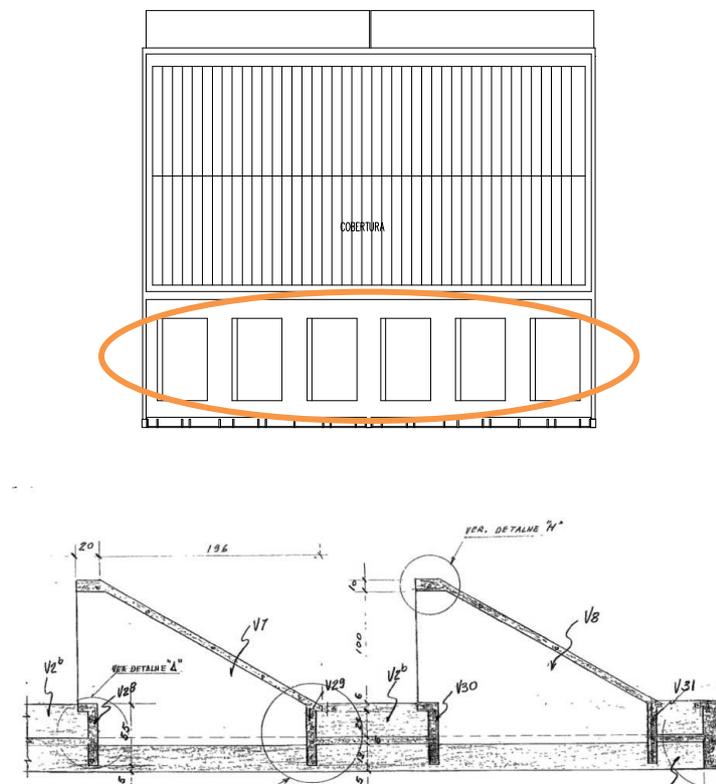


Figura 4.41 – Detalhe de projeto dos *sheds* de concreto



Figura 4.42 – *Sheds* de concreto localizados na cobertura do prédio da FT

Entretanto esses *sheds* encontram-se apresentando manchas e fissuras. O caimento ineficiente, juntamente com a deficiência de impermeabilização, provocou o surgimento de manchas (Figura 4.43) devido ao acúmulo de água de chuva. É importante ressaltar que a ABNT NBR 6118 (2003) recomenda que deva ser evitada a presença ou acumulação de água proveniente de chuva ou decorrente de água de limpeza e lavagem, sobre as superfícies das estruturas de concreto.



Figura 4.43 – Manchas devido à acumulação de água

Esses *sheds* por estarem localizados na cobertura e submetidos a temperaturas mais elevadas se deformam ao longo do seu comprimento gerando fissuras nos cantos dos elementos, permitindo, também, a penetração de água de chuva. Dessa maneira, novamente, ocorreu o surgimento de manchas no interior da edificação (Figura 4.44).



Figura 4.44 – Manchas no interior da edificação

Outro fato observado, e bastante importante, é a presença de rufos metálicos (Figura 4.45) entre os diversos encontros dos elementos da cobertura, evitando assim a penetração da umidade nessas regiões. Segundo a ABNT NBR 6118 (2003), todos os encontros a diferentes níveis devem ser protegidos por rufos.



Figura 4.45 – Rufos metálicos nos encontros dos elementos da cobertura

#### **4.2.3 – Considerações finais referente à análise do prédio (FT)**

O prédio da Faculdade de Tecnologia, por se tratar de uma edificação antiga, apresenta diversas manifestações patológicas.

O prédio apresenta em sua maioria a estrutura em concreto aparente e, para esse tipo de estrutura, se faz necessário o uso de revestimentos protetores, como os hidrófugos ou repelentes, ou até mesmo algum revestimento impermeabilizante, para reduzir à ação da umidade.

Não há em boa parte do prédio o uso de pingadeiras. A utilização dessas pingadeiras evitaria que as águas de chuva escorressem pelos elementos, evitando assim a deterioração do concreto. Assim o prédio apresenta diversas manchas de umidade e infiltrações em boa parte de sua estrutura e nas alvenarias.

Em algumas vigas e lajes o concreto encontra-se deteriorado, em alguns pontos houve o deslocamento do concreto e, com isso, favoreceu ao aparecimento da armadura. A armadura exposta é extremamente preocupante, pois está sujeita a iniciar o processo de corrosão.

Por fim, o prédio da Faculdade de Tecnologia, em sua maioria, não está de acordo com os aspectos de durabilidade da ABNT NBR 6118 (2003). É importante ressaltar que deve haver manutenções periódicas, pois dessa maneira poderá evitar o agravamento das manifestações.

### **4.3 – FACULDADE DE ESTUDOS SOCIAIS APLICADAS (FA)**

#### **4.3.1 – Características gerais**

O prédio da Faculdade de Estudos Sociais Aplicados foi inaugurado em 22 de abril de 1982, apresenta uma estrutura em concreto armado aparente e vedações em bloco cerâmico aparente (Figura 4.46). Está localizado no Campus Darcy Ribeiro da UnB (Universidade de Brasília) como está apresentado na Figura 4.47.



Figura 4.46 – Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas



Figura 4.47 – Localização da FA

Apresenta uma área construída de aproximadamente 7.519 m<sup>2</sup>, e foi construído para abrigar as Faculdades de Direito, Relações Internacionais e Ciências Políticas. Por ter sido construído há bastante tempo e sem planos de manutenções periódicas encontra-se deteriorado e com várias manifestações patológicas.

O prédio da FA tem a forma de “U”, cujas extremidades são unidas por uma passarela metálica. A praça interna é rebaixada e conta com um espelho d’água desativado e alguma vegetação.

### **4.3.2 – Análise do projeto e detalhes arquitetônicos**

Através da análise do projeto arquitetônico foram observadas várias situações e detalhes arquitetônicos sujeitos à ocorrência de manifestações patológicas e que foram comprovadas com a vistoria realizada no local.

O projeto arquitetônico é de autoria dos arquitetos Matheus Gorovitz e Maurício Azeredo. E, o projeto de estrutura, no qual a norma de concreto vigente da época era a NB-1 de 1978, é de autoria dos engenheiros Lucílio A. Vitorinio e Ernesto G. Walter.

#### **4.3.2.1 – Detalhes arquitetônicos da fachada**

Inicialmente foram analisadas as fachadas do prédio que são constituídas de concreto aparente, além de apresentarem várias lajes de avanço e brises de concreto (Figura 4.48).





Figura 4.50 – Ausência de pingadeira na viga superior (Lessa e Nóbrega, 2009)



Figura 4.51 – Manchas na laje de avanço devido à falta de pingadeira  
(Lessa e Nóbrega, 2009)

Outra manifestação patológica encontrada nos brises de concreto, principalmente na sua parte inferior, foi a presença de trincas e deterioração total do concreto devido a expansão da armadura por corrosão (Figura 4.52). Analisando a estrutura verifica-se que estes brises, desempenham também uma função estrutural atuando como pilar. É importante destacar que o cobrimento do elemento é inferior a 25 mm e a dimensão mínima de 12 cm também não está de acordo com o que é recomendado pela ABNT NBR 6118 (2003).



Figura 4.52 – Trincas e deterioração total do concreto

#### 4.3.2.2 – Detalhes arquitetônicos da entrada do prédio

Outro detalhe de projeto (Figura 4.53) é a laje da entrada da FA, que apresenta várias manifestações, todas devido à umidade. Ou seja, na laje de entrada há a presença de manchas, deterioração do concreto e corrosão de armaduras (Figura 4.54). Essas manifestações surgiram devido à ineficiência da pingadeira que está deteriorada e com abertura pequena.

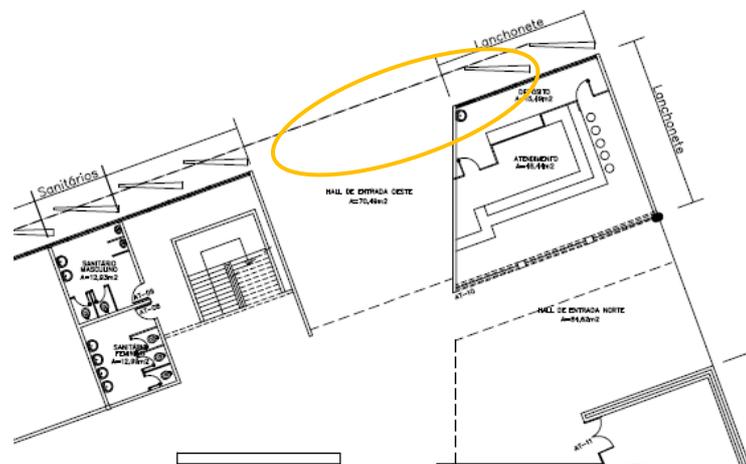


Figura 4.53– Detalhe de projeto da entrada do FA (CEPLAN - UnB, 2009)



Figura 4.54 – Manchas e deterioração do concreto devido à ineficiência da pingadeira

Importante ressaltar a presença do dispositivo de drenagem (Figura 4.55), ou seja, a grelha, localizado na entrada do prédio. Este detalhe, evita que a água de chuva oriunda da própria laje de cobertura como também da parte externa do prédio atinja o interior do prédio prejudicando o piso.



Figura 4.55 – Dispositivo de drenagem na entrada da FA

#### 4.3.2.3 – Detalhes arquitetônicos do interior do prédio

No interior do prédio, da mesma maneira que na fachada, também são nos brises de concreto onde se concentra a maioria das manifestações patológicas.

Foram encontradas várias manchas devido à umidade, ou seja, a água de chuva que corre pelos brises ocasiona manchas na extremidade (Figura 4.56). Outro fato importante é que estes brises estão ligados a estrutura através de cantoneiras metálicas e que estão sofrendo corrosão, trazendo riscos de queda (Figura 4.57).



Figura 4.56 – Presença de manchas nos brises de concreto



Figura 4.57 – Ligação dos brises com a estrutura através de cantoneiras metálicas

Além de manifestações causadas pela umidade, é importante destacar a presença de trincas devido à dilatação térmica da estrutura. Ou seja, os brises são apoiados em vigas que apresentam movimentação predominante no sentido horizontal e os brises no sentido vertical, desta maneira há o surgimento esforços que ocasiona o aparecimento de trincas (já reparadas) no encontro desses dois elementos (Figura 4.58). Esse encontro deveria ser livre para permitir a movimentação.



Figura 4.58 – Trincas no encontro dos elementos

Foi verificada, também, a demolição de dois brises (Figura 4.59). Estes brises estavam apoiados em duas regiões da estrutura separados por uma junta de dilatação sem liberdade de movimentação. Por isso, foi efetuada a demolição para que não houvesse a sua queda.



Figura 4.59 – Demolição de dois brises

Outro detalhe de projeto de arquitetura (Figura 4.60) do interior do prédio que apresenta várias manifestações patológicas e, que se encontra bastante deteriorado, é a passarela metálica (Figura 4.61).

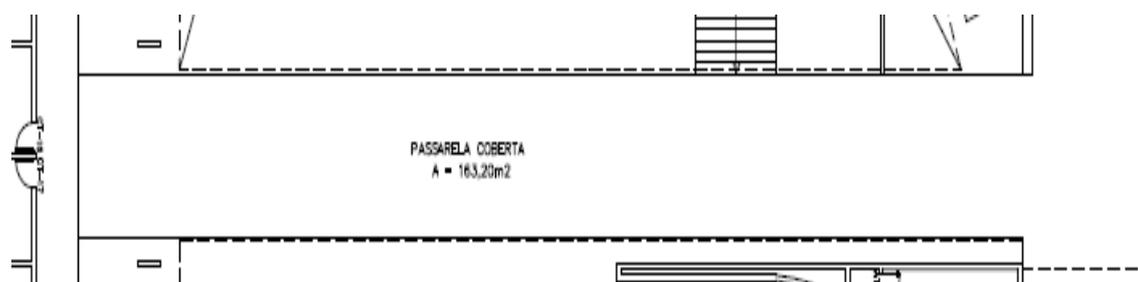


Figura 4.60 – Detalhe em projeto da passarela metálica



Figura 4.61 – Passarela Metálica

Os elementos dessa passarela encontram-se em estado de corrosão avançado (Figura 4.62) devido a umidade proveniente da cobertura que tem várias perfurações (Figura 4.63) e por estar localizada em área descoberta. Era necessário que houvesse manutenções constantes nessa cobertura, evitando que ocorressem esses furos no telhado e, como também, deveria ter um tratamento anti-ferruginoso nos elementos metálicos através de pintura anti-corrosiva, cromato de zinco ou equivalente.



Figura 4.62 – Elementos da passarela em estado de corrosão



Figura 4.63 – Detalhe da cobertura da passarela

As placas de concreto pré-moldado que formam o piso da passarela encontram-se bastante deterioradas com armaduras expostas (Figura 4.64) e sem nenhuma impermeabilização para evitar a penetração da água. Dessa maneira, há a expansão da armadura e o conseqüente deslocamento do concreto.



Figura 4.64 – Concreto da laje de piso com armadura exposta

Um aspecto observado é que as placas de concreto são apoiadas em várias vigas metálicas e apresentam deformações no meio do vão, provocando fissuração no revestimento da parte superior (Figura 4.65). Para evitar a fissuração com este sistema estrutural seria necessária a existência de uma junta de dilatação no apoio de cada laje pré-moldada, com elementos de vedação para impedir a penetração de água.



Figura 4.65 – Trincas localizadas na laje de piso da passarela

Outro local onde a presença das juntas de dilatação é imprescindível é nos encontros da passarela metálica com a estrutura do prédio. O aumento de temperatura, através da radiação solar, provoca uma deformação na estrutura, ou seja, se não houver uma separação entre as estruturas ocorrerá o surgimento de manifestações patológicas como fissuras, trincas e até mesmo a deterioração do concreto. Nessa passarela há a presença de juntas de dilatação (Figura 4.66), entretanto não existe manutenção, ocorrendo o seu mau funcionamento. Nessa região era importante o uso de algum material de enchimento como espuma flexível de poliuretano ou poliestireno expandido e por cima se faz a vedação da junta através de silicone, manta asfáltica, perfis de borracha ou PVC colocados sob pressão entre outros, dessa maneira evitaria a entrada de umidade e o surgimento de manifestações patológicas (Figura 4.67) como está ocorrendo nessa passarela.



Figura 4.66 – Junta de dilatação entre o prédio e a passarela (vista pela parte superior)



Figura 4.67 – Aberturas na junta favorecendo a passagem de água (vista pela parte inferior)

Outro detalhe observado é que as vigas localizadas nas extremidades da passarela não são cobertas pela laje ocorrendo à entrada de umidade pelo encontro das vigas com a laje (Figura 4.68).



Figura 4.68 – Passagem da umidade pelo encontro laje-viga

É importante destacar a importância de locais de fácil acesso para que seja feita manutenções periódicas na edificação. Segundo a ABNT NBR 6118 (2003) deve ser previsto em projeto o acesso para inspeção e manutenção e partes da estrutura com vida útil inferior ao todo, tais como aparelhos de apoio, caixões, insertos, impermeabilizações e outros.

No prédio da FA, foi encontrada apenas uma escada metálica improvisada (Figura 4.69) que dá acesso a cobertura e que se encontra mal instalada oferecendo riscos aos usuários.



Figura 4.69 – Escada que dá acesso a cobertura do prédio

#### 4.3.2.4 – Detalhes da cobertura

A cobertura do prédio apresenta vários *sheds* (Figura 4.70) de concreto que são importantes para a entrada de ventilação e iluminação para o interior do prédio evitando assim o surgimento de várias manifestações patológicas. Entretanto esses *sheds* foram construídos “colados” um no outro, não existindo nenhum espaço entre eles. Dessa forma, verificou-se na vistoria a presença de trincas nos encontros dos *sheds* ocasionadas, provavelmente, pela variação de temperatura que provoca uma deformação no concreto.



Figura 4.70 – *Sheds* de concreto

Entre os *sheds* foi colocada uma camada de manta asfáltica (Figura 4.71) para impermeabilizar o local e impedir a penetração da água de chuva. Porém, devido à deformação do concreto houve o rompimento da manta e o aparecimento de trincas na impermeabilização que permitiu a entrada da água ocasionando o aparecimento de manifestações patológicas.



Figura 4.71 – Impermeabilização entre os *sheds*

É importante ressaltar que esses *sheds* serão melhores estudados no Capítulo 5, pois será realizada uma modelagem computacional da estrutura, onde será analisada a influência da temperatura, a fim de se comprovar as possíveis causas para o surgimento dessas fissuras.

Outro detalhe de arquitetura, no qual foram encontradas manifestações patológicas foram as platibandas do prédio. Nelas foram encontradas manchas e deterioração do concreto (Figura 4.72). Segundo a ABNT NBR 6118 (2003), todos os topos de platibandas e paredes devem ser protegidos por chapins, o que evita a penetração de umidade.



Figura 4.72 – Platibanda com manchas

Outro aspecto observado na vistoria foi à existência de várias trincas que surgiram pela ineficiência da junta de dilatação. Nestes casos devem ser considerados no cálculo os efeitos da retração térmica do concreto (como consequência do calor de hidratação), da retração hidráulica e dos abaixamentos de temperatura.

No prédio da FA as juntas estão espaçadas entre 10 e 20 m, entretanto não há nenhum material de enchimento (Figura 4.73) o que favorece a entrada de umidade e o surgimento de manifestações patológicas.



Figura 4.73 – Junta de dilatação entre pilares sem nenhum material de enchimento

Com a movimentação da estrutura, há o surgimento de vários esforços que a alvenaria não suporta. Segundo Thomaz (1989), em função da resistência a tração da argamassa de assentamento e dos componentes de alvenaria as fissuras poderão acompanhar as juntas verticais de assentamento ou mesmo estenderem-se através dos componentes de alvenaria. Na Figura 4.74, estão apresentadas trincas ocasionadas pela movimentação da estrutura.



Figura 4.74 – Trincas na alvenaria ocasionadas pela movimentação da estrutura

#### **4.3.3 – Considerações finais referente à análise do prédio da FA**

O prédio da Faculdade de Assuntos Sociais Aplicados, por se tratar de uma edificação antiga e por não haver manutenções periódicas em várias partes da estrutura, encontra-se bastante deteriorado e com várias manifestações patológicas.

Há em diversas partes da estrutura, ou seja, na laje da cobertura, como também, na passarela a acumulação de água de chuva favorecendo sua deterioração.

Em várias superfícies horizontais expostas do prédio não existe a presença de ralos e condutores para que as águas de chuva e de limpeza sejam convenientemente drenadas.

As juntas de dilatação encontram-se abertas sem nenhum material flexível de enchimento e sem nenhum tipo de selante para impedir à passagem de água.

Ausência de pingadeiras em vários elementos arquitetônicos propiciando a acumulação da água de chuva e favorecendo a deterioração do concreto com conseqüente aparecimento da armadura.

Por fim, o prédio da Faculdade de Assuntos Sociais Aplicados, em sua maioria, não está de acordo com os aspectos de durabilidade da ABNT NBR 6118 (2003). É importante ressaltar que deve haver manutenções periódicas com intervalos menores, pois se trata de uma edificação construída há mais de 40 anos.

## **5 – ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS FRENTE À VARIAÇÃO DE TEMPERATURA USANDO O SOFTWARE SAP 2000**

Este capítulo tem como objetivo avaliar a influência da variação de temperatura nas estruturas de concreto armado presentes em elementos arquitetônicos do prédio da FA (Faculdade de Estudos Sociais Aplicadas) localizado no Campus Central da UnB.

Para esta análise foi utilizado o software *SAP 2000 V.12.0.0 ADVANCED* (1995), da empresa *Computer and Structures Inc. (CSI)*, um programa computacional que se baseia no método de elementos finitos.

### **5.1 – CONCEPÇÃO ESTRUTURAL NO SAP 2000**

Segundo Fonseca (2007), o método dos elementos finitos (MEF), consiste em uma decomposição virtual ou discretização de um objeto contínuo em número finito de partes e elementos, conectados entre si por intermédio de elementos discretos, denominados *nós*. A subdivisão da estrutura em elementos finitos é chamada de malha. A vantagem do MEF é a utilização de funções mais simples para descrever uma solução aproximada para a análise estrutural em cada elemento.

Ainda, de acordo com Fonseca (2007), os elementos a serem discretizados pelo programa podem ser do tipo *frames* (constituídos por barras unidimensionais e utilizados quando se pretende modelar elementos lineares – vigas e pilares), do tipo *shell* (constituídos por elementos bidimensionais, utilizados quando se pretende modelar elementos de superfície – cascas membranas e lajes) e *solids* (constituídos por elementos tridimensionais, utilizados para modelar elementos sólidos, onde as três direções do elemento apresentam dimensões semelhantes).

As unidades escolhidas para o modelo são comuns ao Sistema Internacional, ou seja, kN e m. (Manual SAP 2000, 1995).

## 5.2 – ELEMENTO ARQUITETÔNICO TOMADO COMO ESTUDO

Através da análise do projeto arquitetônico e das vistorias realizadas “*in-loco*”, um elemento arquitetônico chamou atenção no presente estudo pelas manifestações patológicas que apresentava. Os *sheds* são elementos arquitetônicos localizados na cobertura da FA (Faculdade de Estudos Sociais Aplicados) e encontram-se fissurados. A fim de obter as prováveis causas do surgimento dessas manifestações será abordado, neste capítulo, um estudo da influência da temperatura no comportamento destes elementos frente ao surgimento de fissuras que levam à infiltração de água no interior do edifício.

### 5.2.1 – Os *sheds* da Faculdade de Estudos Sociais Aplicados

Os *sheds* são elementos de concreto armado e são bastante importantes para as edificações, pois são responsáveis pela entrada de ventilação no interior do prédio, evitando assim o surgimento de várias manifestações patológicas.

Verificou-se “*in-loco*”, na região de encontro de um *shed* com outro, que houve o aparecimento de fissuras. Nessa região foi aplicada uma camada de manta asfáltica (material impermeabilizante) que se rompeu. E, com isso, houve a penetração de umidade e, conseqüentemente, o surgimento de manchas na parte interna do prédio (Figura 5.1).



Figura 5.1 – Manchas no interior do prédio ocasionada por infiltração nos *sheds*

Por isso, foi analisada a influência da temperatura no surgimento dessas fissuras. Para isto, foi realizada uma modelagem computacional, onde se tentou retratar um modelo mais

próximo possível da realidade e, assim, chegarmos a uma avaliação das causas do problema.

#### 5.2.1.1 – Concepção estrutural no SAP 2000

Os projetos de estrutura da FA foram, em parte, fornecidos pela Prefeitura da UnB e outra parte pelo CEPLAN (Centro de Planejamento da UnB). Por se tratar de uma edificação antiga, a maioria dos projetos foi digitalizada em formato “JPG”, ou seja, em formato de imagem, havendo assim, dificuldades de se encontrar certas dimensões e medidas dos elementos que não foram cotadas em projeto.

Os elementos foram lançados no SAP 2000, de acordo com o projeto de estrutura, dessa maneira, têm-se são oito elementos ligados entre si. Como se trata de um elemento sólido, inicialmente lançou-se a estrutura como *frames e shell* e logo em seguida foi dado o comando “*extrude*” para transformar o elemento em “*solid*”. Dessa forma os elementos ficaram constituídos em 3142 sólidos, como está apresentado na Figura (5.2).

Na Figura (5.3) é apresentado um plano geral dos *sheds* na cobertura do prédio, obtida da planta de forma e de detalhes da cobertura. Nas Figuras (5.4) e (5.5), são apresentadas visualizações de cortes, em dois sentidos, do elemento *shed* que será modelado no SAP 2000 e na Figura (5.6) a imagem real do elemento a ser analisado.

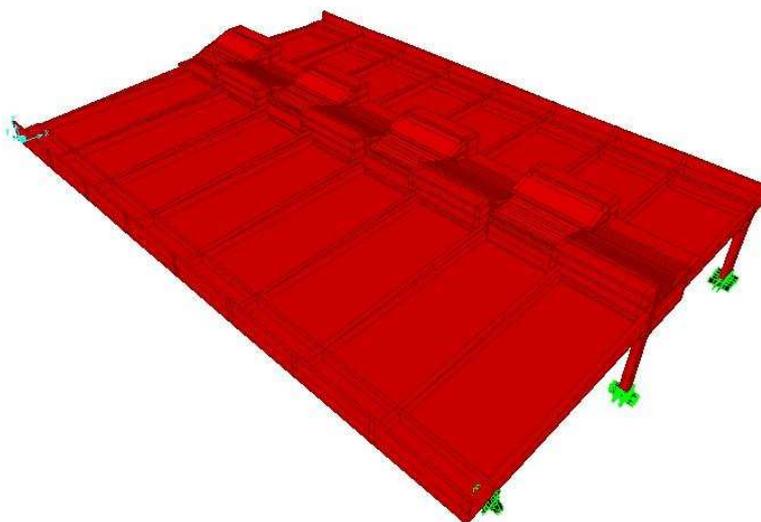


Figura 5.2 – Modelo da Estrutura no SAP 2000

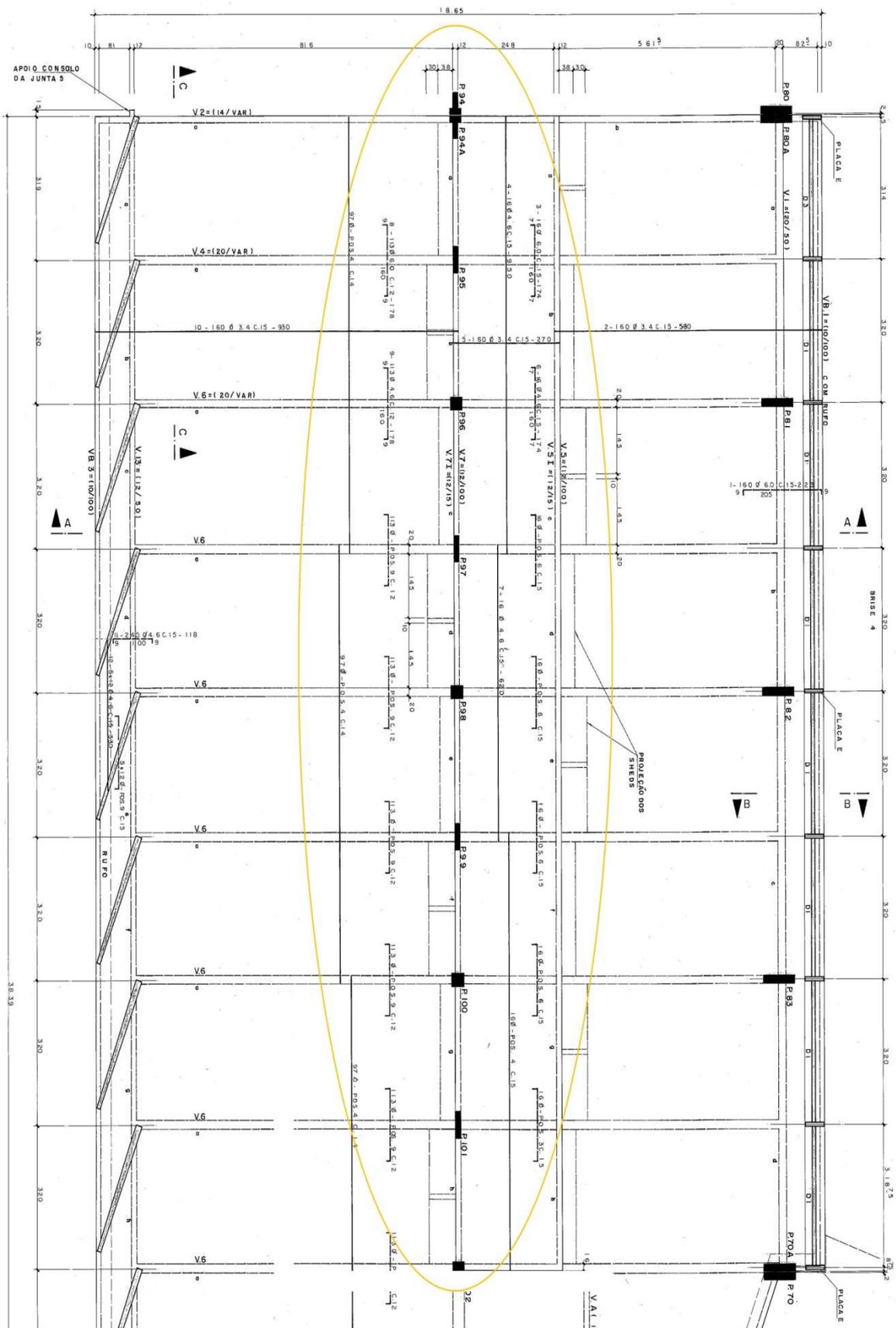


Figura 5.3 – Visualização da Planta de Forma e detalhes da Cobertura da FA (CEPLAN - UnB, 2008).

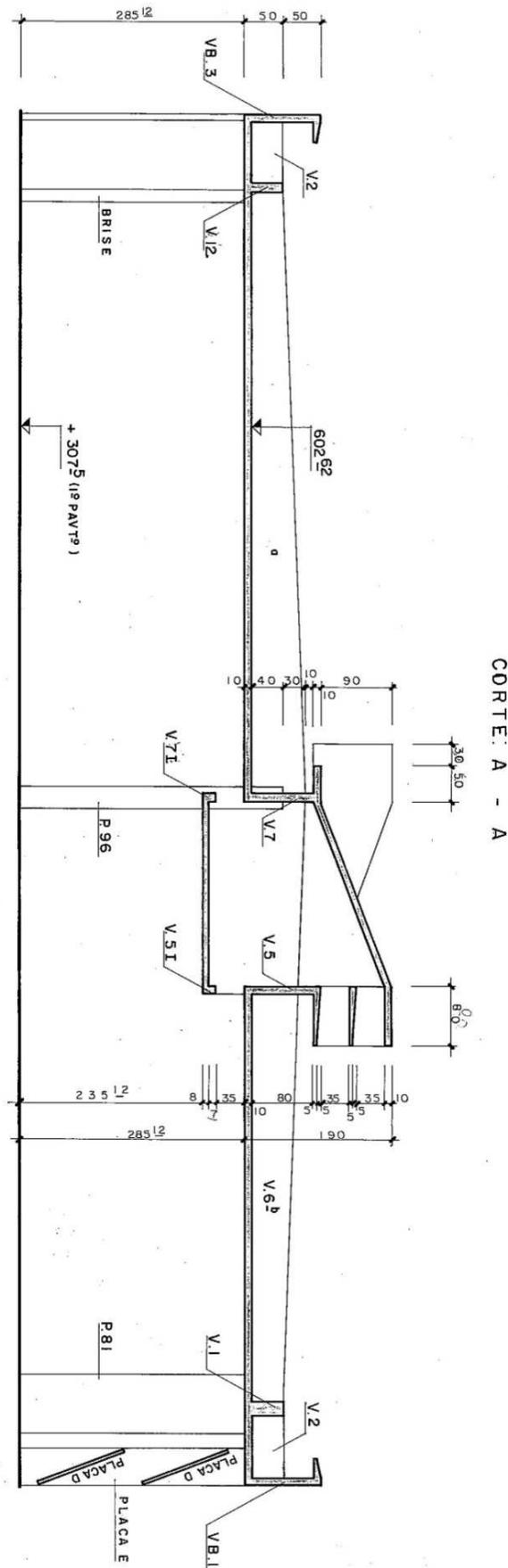


Figura 5.4 – Visualização do corte A-A, do elemento *shed* (CEPLAN - UnB, 2008).

CORTE: C - C

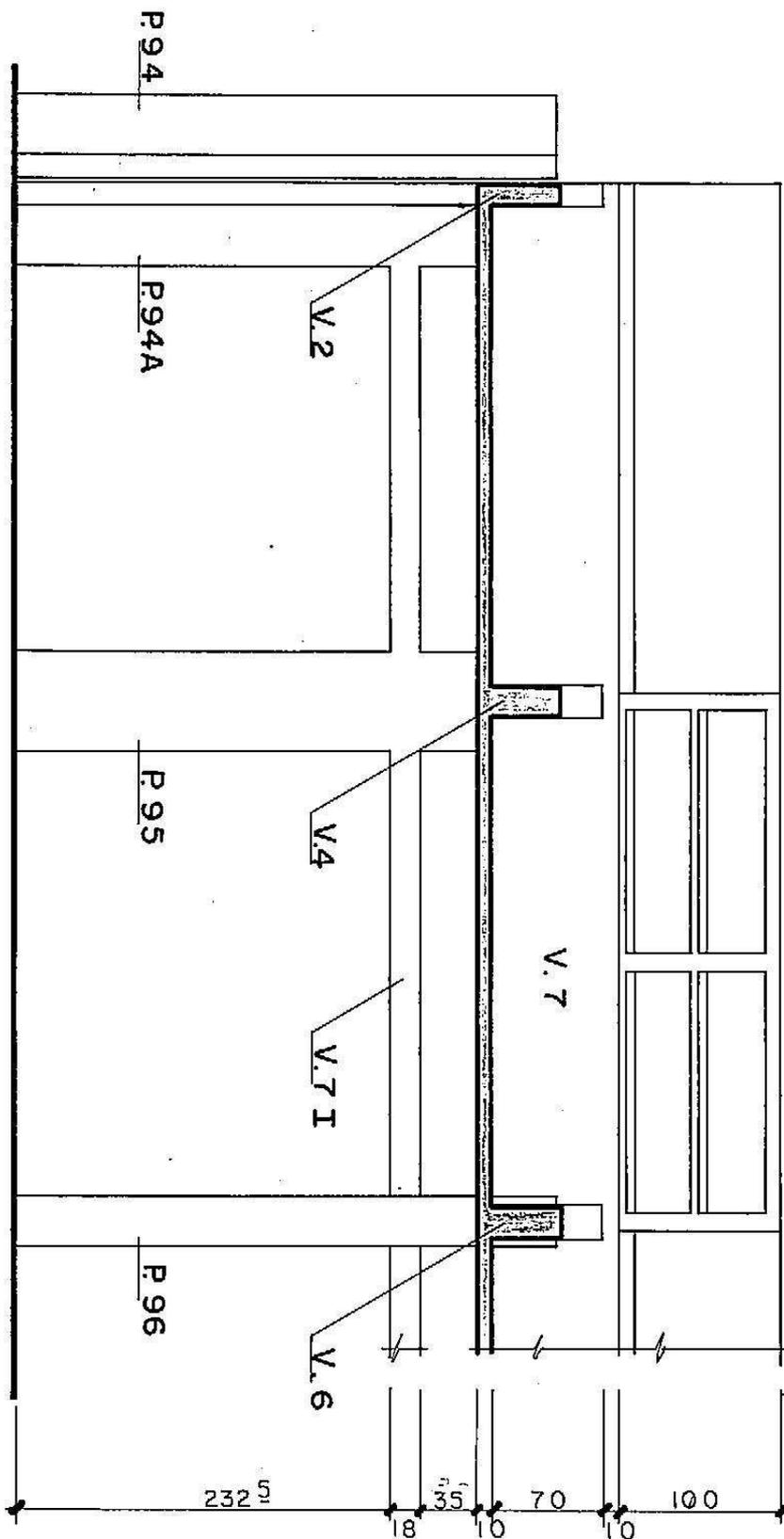


Figura 5.5 – Visualização do corte C-C, do elemento *shed* (CEPLAN - UnB, 2008)



Figura 5.6 – *Sheds* de concreto (Lessa e Nóbrega, 2009).

### 5.2.1.2 – Condições de contorno adotadas

Todos os pilares onde se apóia a estrutura foram lançados como sólidos e na base destes foram lançados apoios do 3º gênero, ou seja, representando, assim a fundação (Figura 5.7). As vigas se apóiam de um lado em pilares e em vigas, e do outro lado se apóiam em brises de concreto, que neste caso, desempenham uma função estrutural atuando como pilares. Nestes pontos, foram colocados apoios do 1º gênero.



Figura 5.7 – Representação dos apoios nos elementos dos *sheds* no SAP 2000

Nesta análise foram consideradas apenas as ações do peso próprio e da variação da temperatura. A ação do vento e de eventuais cargas acidentais não foi considerada por não terem uma representação relevante, tendo em vista que se trata de uma estrutura robusta e de elevada rigidez.

Na definição do material, foi utilizado concreto com resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ) igual a 18 MPa, ou seja, de acordo com o projeto estrutural e considerando, também, o concreto como um material isotrópico.

Na definição do valor da massa específica ( $\rho_c$ ) do concreto armado, a ABNT NBR 6118 (2003) recomenda que se possa adotar o valor de 2500 kg/m<sup>3</sup> para efeito de cálculo caso a massa real não seja conhecida.

Para efeito de análise estrutural, a ABNT NBR 6118 (2003), recomenda que coeficiente de dilatação térmica do concreto possa ser admitido como igual 10<sup>-5</sup>/°C para intervalos de temperatura entre -20°C e 100°C.

Na definição do Módulo de Elasticidade ( $E$ ), a ABNT NBR 6118 (2003), recomenda que, quando não forem feitos ensaios e não existirem dados mais precisos sobre o concreto usado na idade de 28 dias pode-se estimar o valor do módulo de elasticidade usando a expressão:

$$E_{ci} = 5\,600 f_{ck}^{1/2} \quad (5.1)$$

Onde:

$E_{ci}$  e  $f_{ck}$  são dados em megapascal.

Assim, para efeito da modelagem em questão, tem-se:

$$E_{ci} = 5\,600 (18)^{1/2} \approx \mathbf{23.759} \text{ MPa} = 23.759.000 \text{ kN/m}^2$$

Entretanto para nas análises elásticas de projeto, especialmente para determinação de esforços solicitantes e verificação de estados limites de serviço, a ABNT NBR 6118 (2003), recomenda que seja utilizado o módulo de elasticidade secante ( $E_{cs}$ ), calculado pela expressão:

$$E_{cs} = 0,85 E_{ci} \quad (5.2)$$

Logo:

$$E_{cs} = 0,85 (23.759) = \mathbf{20.195} \text{ MPa} = 20.195.000 \text{ kN/m}^2$$

Foi utilizado coeficiente de Poisson igual a 0,2, pois de acordo com a ABNT NBR 6118 (2003), para tensões de compressão menores que  $0,5 f_c$  (resistência à compressão do concreto) e tensões de tração menores que  $f_{ct}$  (resistência do concreto à tração direta) pode-se utilizar este valor.

#### 5.2.1.3 – Variações de temperatura

De acordo com ABNT NBR 6118 (2003), a variação de temperatura da estrutura, causada globalmente pela variação de temperatura da atmosfera e pela insolação direta, é considerada uniforme. Ela depende do local de implantação da construção e das dimensões dos elementos estruturais que a compõe.

Ainda, segundo a norma citada no parágrafo anterior, podem ser adotados, genericamente, valores de variação de temperatura da seguinte maneira:

- a) Para elementos estruturais cuja menor dimensão não seja superior a 50 cm, deve ser considerada uma oscilação de temperatura em torno de  $10^\circ\text{C}$  a  $15^\circ\text{C}$ ;
- b) **Para elementos estruturais maciços ou ocos com espaços vazios inteiramente fechados, cuja menor dimensão seja superior a 70 cm, admite-se que essa oscilação seja reduzida respectivamente para  $5^\circ\text{C}$  a  $10^\circ\text{C}$ ;**
- c) Para elementos estruturais cuja menor dimensão esteja entre 50 cm e 70 cm admite-se que seja feita uma interpolação linear entre os valores acima indicados.

Como podem ser observados nas Figuras 5.2 e 5.3, os *sheds* apresentam as seguintes dimensões: 3,20m de largura, 2,98m de comprimento e altura variando de 0,80m a 1,80m. Internamente são ocos e apresenta sua menor dimensão igual 0,8m. Dessa forma, para o

presente estudo será considerado o item “b” citado acima, pois o elemento de estudo se encaixa nessas características.

Será utilizada também a variação térmica empregada por Fonseca (2007), que analisou a influência da temperatura em elementos estruturais do prédio do ICC (Instituto de Ciências Sociais) localizado no Campus Central da UnB, onde, também estão inseridos os prédios analisados neste trabalho. Será descrito a seguir todos os procedimentos utilizados por ele no referido trabalho.

Fonseca (2007) utilizou um termômetro infravermelho de superfície, de marca *Logen Scientific*, onde foram medidas as temperaturas nas superfícies dos elementos em estudo.

As medições de temperatura ocorreram durante 15 dias seguidos, no período de 15 a 29 de março de 2007. E foram escolhidos dois horários para essas medições, ou seja, às 14h, considerando uma temperatura máxima e às 07h30min do dia seguinte, com o elemento já resfriado.

Nas Tabelas 5.1 e 5.2, estão todas as medições realizadas por Fonseca (2007).

Tabela 5.1 – Temperaturas máximas e mínimas medidas com o uso do termômetro infravermelho de superfície (Fonseca, 2007)

<b>DIA</b>	<b>TEMPERATURA MÁXIMA</b>	<b>TEMPERATURA MÍNIMA</b>
Quinta 15/03/2007	52°C	20°C
Sexta 16/03/2007	48°C	18°C
Sábado 17/03/2007	49°C	19°C
Domingo 18/03/2007	50°C	19°C
Segunda 19/03/2007	59°C	20°C
Terça 20/03/2007	64°C	21°C
Quarta 21/03/2007	49°C	21°C
Quinta 22/03/2007	51°C	18°C
Sexta 23/03/2007	62°C	19°C
Sábado 24/03/2007	50°C	20°C

Tabela 5.2 – Temperaturas máximas e mínimas medidas com o uso do termômetro infravermelho de superfície (Fonseca, 2007)

<b>DIA</b>	<b>TEMPERATURA MÁXIMA</b>	<b>TEMPERATURA MÍNIMA</b>
Domingo 25/03/2007	51°C	19°C
Segunda 26/03/2007	63°C	21°C
Terça 27/03/2007	55°C	20°C
Quarta 28/03/2007	51°C	19°C
Quinta 29/03/2007	56°C	20°C

De acordo com Lima (2005), deve-se considerar uma variação de temperatura do concreto igual a 2/3 das diferenças entre as temperaturas máximas e mínimas diárias, medidas em cada lugar.

Foi efetuada a média das temperaturas, ou seja, a média das temperaturas máximas igual 54°C e das mínimas 19,5°C.

Assim, efetuou-se a diferença das temperaturas máximas e mínimas, ou seja:

$$D_t \text{ (Diferença das temperaturas máximas e mínimas)} = T_M - T_m \quad (5.3)$$

$$D_t \text{ (Diferença das temperaturas máximas e mínimas)} = T_M - T_m$$

$$D_t = 54 - 19,5 = \mathbf{34,5^\circ C}$$

E, posteriormente:

$$V_{tc} \text{ (variação de temperatura do concreto)} = 2/3 D_t \quad (5.4)$$

$$V_{tc} = 2/3 * 34,5 = \mathbf{23^\circ C}$$

A variação de temperatura que a Norma considera para este tipo de caso, é da ordem de 5°C a 10°C. Dessa forma serão adotadas duas variações de temperatura, a da Norma

(10°C), nos locais que são cobertos pelo telhado e 23°C (variação térmica obtida por Fonseca, 2007) nos locais expostos diretamente a radiação solar.

#### 5.2.1.4 – Análise dos resultados obtidos

Através da modelagem computacional, chegou-se a diversos valores de tensões nos elementos de concreto.

O intuito desta modelagem é verificar se as tensões geradas nos elementos de concreto foram preponderantes no surgimento de fissuras na ligação entre os *sheds*.

Assim, de acordo com ABNT NBR 6118 (2003) para a determinação do momento de fissuração deve-se utilizar o  $f_{ctk,inf}$  (resistência característica inferior do concreto à tração) no estado limite de formação de fissura.

Ainda, segundo ABNT NBR 6118 (2003), na ausência de ensaios para obtenção de  $f_{ct,sp}$  (resistência à tração indireta) e  $f_{ct,f}$  (resistência à tração na flexão) pode ser avaliado o seu valor médio ou característico por meio das equações seguintes:

$$f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3} \quad (\text{resistência média à tração do concreto}) \quad (5.5)$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ct,m} \quad (\text{resistência característica inferior do concreto à tração}) \quad (5.6)$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3 f_{ct,m} \quad (\text{resistência característica superior do concreto à tração}) \quad (5.7)$$

onde:

Os valores de  $f_{ct,m}$  e  $f_{ctk}$  são expressos em megapascal.

Através do projeto estrutural da FA (Faculdade de Ciências Sociais), obtivemos o valor do  $f_{ck}$  igual a 18 MPa. A partir daí, chegou-se ao valor do  $f_{ctk,inf}$ , que será utilizado para encontrar o valor mínimo de tensão que se inicia a formação da fissura, ou seja:

$$f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3} = 0,3 (18)^{2/3} = 2,06 \text{ MPa} \quad (5.8)$$

E, conseqüentemente:

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ct,m} = 0,7 (2,06) = \mathbf{1,44 \text{ MPa}} \quad (5.9)$$

O valor de  $f_{ctk,inf} = 1,44 \text{ MPa}$ , se constitui o valor mínimo de tensão para dar início a formação de fissuras.

Na Figura 5.8, está apresentado o modelo estrutural no SAP 2000, já com as tensões em todos os elementos sólidos. Nesta figura são apresentadas, também, as regiões com tensões maiores (região em verde) e as regiões com tensões menores (região em amarelo). Nas regiões em verde os valores de tensões foram superiores aos valores de tensões para formação de fissuras.

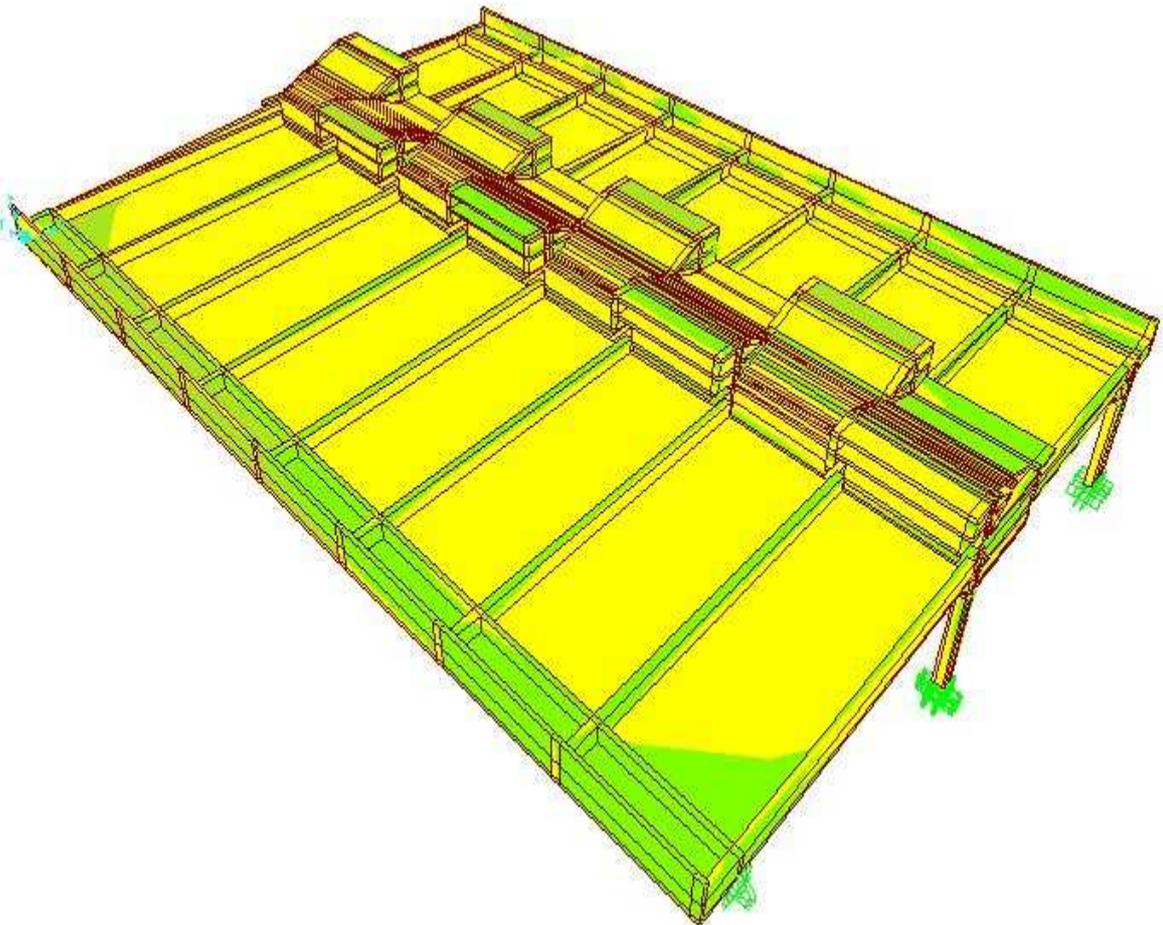


Figura 5.8 - Modelo estrutural dos *sheds* em “3D” no SAP 2000

Na figura 5.9, está apresentado um ponto com tensão superior a 1,44 MPa, caracterizando estágio de fissuração. Está destacada com elipse em laranja, na mesma figura, a presença de algumas “malhas” menores em várias regiões dos elementos, ou seja, como se houvesse a discretização do elemento naquele ponto. Entretanto, essas malhas são apenas erros do software na formação da imagem dos elementos, ou seja, na verdade o sólido não foi discretizado em malhas menores.

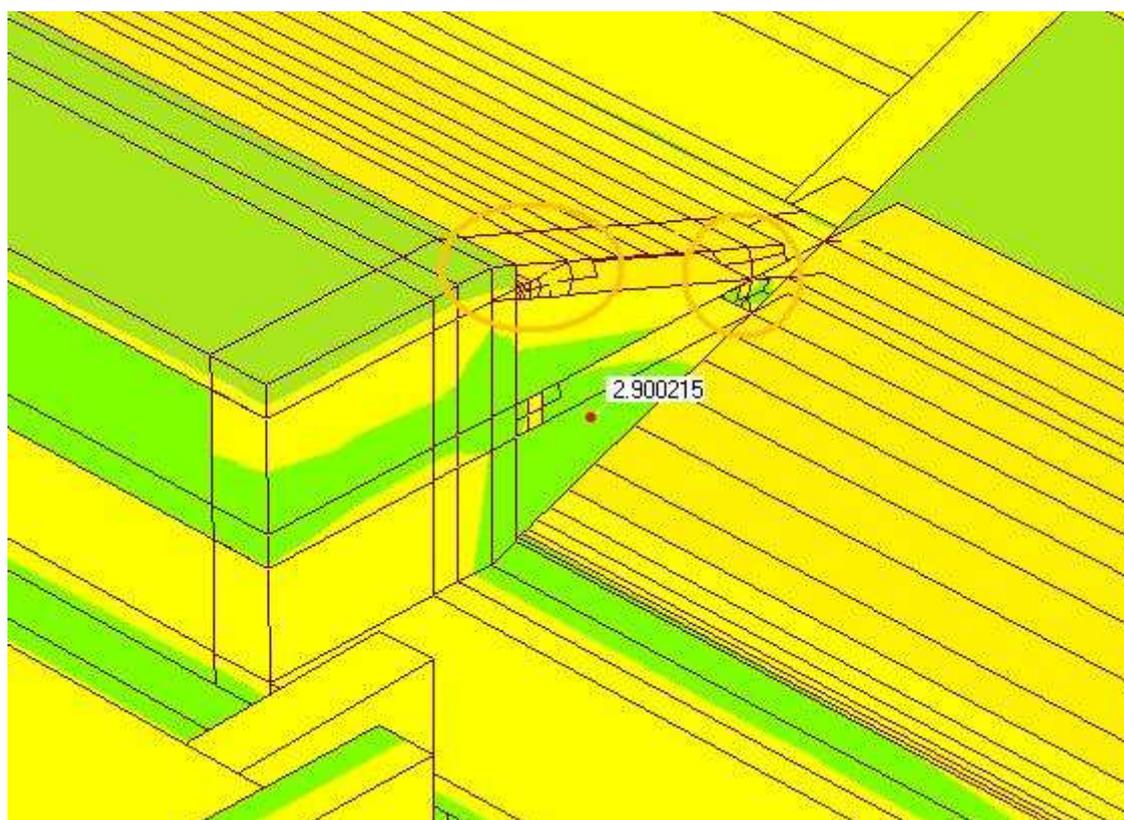


Figura 5.9 – Ponto com tensão superior a  $f_{ctk,inf}$

Nas Tabelas (D.1, D.2, D.3), do Apêndice D, são apresentadas uma amostragem das tensões de tração de vários pontos dos elementos arquitetônicos localizados nas regiões onde foram encontradas as fissuras, submetidas à variação de temperatura de 23°C.

É verificada, também, nessas tabelas, que vários pontos não atingiram as tensões de fissuração, mas, houve o aparecimento de tensões que superam o valor de tensão para a formação de fissuras obtida na equação 5.8, em vários outros pontos da região analisada, ou seja, na ligação de encontro dos elementos *sheds*.

Nas tabelas (E.1, E.2, E.3) do Apêndice E, são apresentadas as tensões de tração dos pontos que estão localizados na região da estrutura coberta pelo telhado. É importante ressaltar que mesmo utilizando a variação de temperatura recomendado pela norma (10°C), na região coberta pelo telhado, alguns pontos apresentaram tensões de tração superior às tensões para formação de fissura. Assim seria necessária uma vistoria mais aprofundada do local, ou seja, teria que retirar uma parte do telhado para verificar existência dessas fissuras.

Através dos resultados obtidos verificou-se que as fissuras foram preponderantemente ocasionadas pela ação da temperatura que dilatou os elementos gerando tensões de tração entres eles e ocasionando a formação da fissura.

No local de análise do prédio, esses *sheds*, estão situados entre duas juntas de dilatação separadas em 25,53 m. Este espaçamento dessas juntas está dentro do limite recomendado pela norma da época em que foi construída a edificação (ABNT NBR 6118, 1978), que era no máximo 30 m. Entretanto deve-se considerar a influência da temperatura, pois se trata de vários elementos de concreto armado ligados entre si, ou seja, estão “colados”, não havendo nenhum espaçamento entre eles. Nesses casos a carga da temperatura se torna bastante agravante sendo responsável pelo surgimento de manifestações patológicas.

Assim, como análise final, dever-se-ia ter previsto durante a concepção do projeto de arquitetura que esses elementos fossem construídos com um espaçamento entre eles ou até mesmo a utilização de mais uma junta de dilatação, para que esses elementos pudessem se deformar livremente.

## **6 – CONCLUSÕES**

### **6.1 – INTRODUÇÃO**

O objetivo principal deste trabalho foi apresentar uma breve revisão sobre os aspectos e critérios de projeto que visam à durabilidade, acrescidos na ABNT NBR 6118 (2003), tendo em vista, que não se encontra na bibliografia abordagem da durabilidade frente aos projetos arquitetônicos.

Assim, foram avaliadas três edificações localizadas no Campus Central da UnB, partindo-se inicialmente da análise dos projetos arquitetônicos e posteriormente foram sugeridas situações e detalhes de projeto que apresentaram e poderão apresentar manifestações patológicas. Desta forma, foram comprovadas através de visitas “*in-loco*” a ocorrência dessas patologias.

Por fim, foi realizada uma modelagem computacional da estrutura de um elemento arquitetônico localizado em uma edificação da UnB que apresentou manifestações patológicas. O intuito dessa modelagem foi analisar influência da temperatura no surgimento das patologias encontradas.

### **6.2 – SOBRE OS CRITÉRIOS DE DURABILIDADE ACRESCIDOS À ABNT NBR 6118 (2003)**

Na ABNT NBR 6118 (2003) foram acrescidas, em relação à norma vigente desde 1978, diretrizes e critérios de projeto que visam à durabilidade. Nessas diretrizes são discutidos conceitos importantes e inerentes ao estudo da durabilidade, por exemplo, o conceito de vida útil.

É interessante destacar, os mecanismos de envelhecimento das estruturas de concreto, ou seja, os mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto (lixiviação; reações expansivas e deletérias causadas por ação de águas e solos contaminados por sulfatos; reação álcali-agregado e reações deletérias de certos agregados decorrentes de produtos ferruginosos) e os mecanismos preponderantes de deterioração relativos à

armadura (despassivação por carbonatação; despassivação por elevado teor de íon de cloro).

A referida norma ainda traz uma tabela onde relaciona a classe de agressividade ambiental, na qual a estrutura está inserida, recomendando espessuras de cobertura para os diversos elementos estruturais (pilar, viga e laje).

Com relação aos critérios de projeto a norma em estudo relaciona vários aspectos importantes e que são preponderantes ao surgimento de manifestações patológicas. Ou seja, os aspectos da drenagem onde se recomenda que deve ser evitada a acumulação de água de chuva e de limpeza nas superfícies horizontais e que essas superfícies devem estar convenientemente drenadas com o uso de ralos e condutores. Recomenda também a utilização de chapins em platibandas e a selagem das juntas de dilatação para evitar a entrada de umidade nessa região.

Por fim, outro ponto que deve ser destacado, é que no projeto devem ser evitadas disposições arquitetônicas ou construtivas que possam reduzir a durabilidade das estruturas, como também, em locais onde a vida útil da estrutura é inferior ao todo (aparelhos de apoio, insertos, caixões, impermeabilizações e outros) devem ser previstos locais de fácil acesso afim de que sejam realizadas manutenções periódicas.

### **6.3 – CONSIDERAÇÕES SOBRE OS PRÉDIOS TOMADOS COMO ESTUDOS DE CASO**

#### **6.3.1 – Prédio do Instituto de Química (IQ)**

O prédio do Instituto de Química (IQ), por se tratar de uma edificação nova, encontra-se bem acabado e com poucas manifestações patológicas. Apresenta uma estrutura diferenciada, ou seja, há a união de concreto armado, concreto pré-moldado e estrutura metálica.

O prédio atende a maioria dos critérios de projeto recomendado pela ABNT NBR 6118 (2003). Esta edificação tem alguns detalhes propícios à acumulação de água, como

exemplo a cobertura circular que direciona o fluxo de água para algumas partes da estrutura (vigas), sendo assim uma situação sujeita ao surgimento de manifestações patológicas, como manchas e até mesmo deterioração do concreto. Entretanto o prédio apresenta um sistema de drenagem composto por calhas e condutores que evita a acumulação de água em nessas partes da estrutura.

Algumas manifestações patológicas devido à umidade foram encontradas. As marquises localizadas nas entradas do prédio e a laje da cobertura do almoxarifado encontram-se com acumulação de água e apresentando manchas de umidade. Também algumas vigas de concreto apresentam manchas de lixiviação. Algumas vigas não apresentam pingadeiras para evitar que a água escorra sem deteriorar o concreto.

Ainda no almoxarifado foram encontradas vigas com manchas de umidade devido à deficiência da impermeabilização na cobertura do prédio.

Foi verificada também a presença de fissuras nos encontros da passarela metálica com a estrutura de concreto do prédio devido à ausência de juntas na região. Estas fissuras, como estão em regiões de piso e que receberão produtos de limpeza que podem provocar corrosão nos pinos de sustentação da passarela metálica, representam um dos problemas mais graves de detalhamento de projeto. Nestes locais, deverão ser realizadas juntas de dilatação devidamente seladas para resolver tanto o problema da durabilidade quanto problema estético.

A estrutura metálica encontra-se bem acabada e sem nenhuma manifestação patológica. É importante ressaltar que o projeto da estrutura metálica apresenta várias recomendações para a utilização de camada protetora, ou seja, foram recomendadas duas demãos de pintura antioxidante em cada elemento metálico.

#### 6.3.1.1 – Recomendações para manutenções periódicas no prédio do IQ

O prédio do Instituto de Química, em sua maioria apresenta poucas manifestações patológicas. Entretanto é importante ressaltar que são imprescindíveis as manutenções a

fim de evitar que haja o surgimento mais patologias como também o agravamento das que já existem.

O prédio por apresentar uma parte da estrutura em concreto aparente é necessário que os elementos apresentem proteção impermeabilizante ou algum material hidrófugo a fim evitar manchas e deterioração do concreto devido à umidade.

As marquises localizadas nas entradas do prédio estão com manchas devido à acumulação de água na sua parte superior. Neste caso, é necessária a realização de uma proteção de argamassa com caimento adequado para evitar que a umidade penetre na estrutura da marquise.

Na estrutura da passarela, por ser metálica, é necessária a constante verificação dos elementos se estão em processo de corrosão como também a utilização de pintura anti-ferruginosa para evitar o desencadeamento da oxidação nos elementos metálicos.

Por fim, deve-se ter muito cuidado as fissuras localizadas na região de encontro da estrutura metálica com a estrutura de concreto do prédio, pois os materiais de limpeza a base de hipoclorito podem desencadear corrosão dos pinos de sustentação da passarela. Assim, se faz necessário, a manutenção constante desses elementos.

### **6.3.2 – Prédio da Faculdade de Tecnologia (FT)**

O prédio da Faculdade de Tecnologia (FT) encontra-se bastante deteriorado e com várias manifestações patológicas. É uma edificação antiga sendo necessária a realização de manutenções periódicas a fim de diminuir os efeitos de deterioração nas estruturas.

Em suma, o prédio encontra-se em desacordo com os critérios de projeto que visam à durabilidade segundo a ABNT NBR 6118 (2003). Apresenta vários elementos estruturais (principalmente vigas e lajes) com manchas devido à umidade além de deterioração do concreto, com alguns elementos já com deslocamento. As marquises e vigas, em sua maioria não apresentam pingadeiras.

Há, também, acumulação de água de chuva em várias lajes do prédio gerando a deterioração do concreto e o surgimento de fissuras.

Por se tratar de uma edificação onde boa parte da estrutura está exposta às intempéries (concreto aparente), deveriam ter sido recomendado em projeto a utilização de revestimento impermeabilizante ou até mesmo o uso de revestimento hidrófugo a fim de evitar as manifestações patológicas causadas pela umidade.

#### 6.3.2.1 – Recomendações para manutenções periódicas no prédio da FT

O prédio da Faculdade de Tecnologia apresenta diversas manifestações patológicas. E por apresentar boa parte de sua estrutura em concreto aparente, se faz necessário o uso de revestimento impermeabilizante ou hidrófugo para evitar patologias devido à umidade. A maioria das vigas e pilares expostos diretamente às intempéries encontram-se com manchas e deterioração do concreto.

É necessário o reparo imediato de vigas localizadas no interior do prédio, nas quais já ocorreu o deslocamento do concreto e conseqüentemente o aparecimento da armadura. Deve-se realizar o reparo de alguns pilares que se encontram no interior e na parte externa do prédio, pois apresentam deslocamento na parte inferior dos mesmos.

Deve-se realizar reparo na manta asfáltica (material impermeabilizante) utilizada na ligação dos elementos de cobertura (*sheds*), pois a mesma encontra-se fissurada, favorecendo a entrada de umidade o que está ocasionando manchas na parte interna do prédio.

Deve-se realizar a colocação de chapins em todas as platibandas, pois as mesmas encontram-se bastante deterioradas.

E por fim, refazer as pingadeiras das marquises localizadas na parte interna do prédio, pois as mesmas já se encontram ineficientes favorecendo o surgimento de patologias devido à umidade.

### **6.3.3 – Prédio da Faculdade de Assuntos Sociais Aplicados (FA)**

O prédio da Faculdade de Assuntos Sociais Aplicados encontra-se extremamente deteriorado e por isso deve-se realizar manutenção o mais breve possível.

Os brises-soleil e as lajes de avanço (sem pingadeira) localizados nas fachadas encontram-se manchados devido à ação da umidade. A viga localizada na parte superior da fachada não apresenta pingadeira, assim, a água de chuva escorre por esse elemento gerando as manchas.

Esses brises-soleil atuam também, neste caso, como elementos estruturais, ou seja, como pilares. O concreto na parte inferior do elemento encontra-se bastante deteriorado, com o deslocamento do concreto e exposição da armadura.

A passarela metálica localizada no interior do prédio apresenta diversas manifestações patológicas. A laje de concreto pré-moldado encontra-se fissurada na parte superior devido à ausência de juntas de dilatação entre as placas de concreto, além de apresentar armadura exposta na sua parte inferior devido à ausência de impermeabilizações. Os elementos metálicos da passarela encontram-se em estágio de corrosão avançado, pois estão localizados em área descoberta, como também, há diversos furos no telhado da passarela ocorrendo a passagem da água de chuva.

Outro detalhe observado é que não existe acesso fácil a diversas partes da estrutura. Como por exemplo, as lajes de cobertura que são impermeabilizadas. Existe uma escada metálica improvisada e insegura presa na parede do prédio, para dá acesso a cobertura do prédio.

As juntas de dilatação estão deterioradas e sem nenhum material de preenchimento flexível. Há também ausência de chapins nas platibandas do prédio.

Pela modelagem numérica pode-se constatar que utilização da junta de dilatação a uma distância de 25,53m não foi suficiente para evitar a fissuração na região dos *sheds*. Isto mostra que a modificação da ABNT NBR 6118 (2003) de retirar a exigência de 30m de distância entre juntas e recomendar que seja feito um estudo da influência da temperatura no comportamento da estrutura, foi correta.

Há a necessidade de se determinar a posição de juntas de dilatação em função das características de cada projeto e dos materiais empregados.

O prédio não atende a maioria dos critérios de projeto recomendado pela ABNT NBR 6118 (2003). Vale ressaltar a necessidade manutenção periódica, como também, de reparos em diversas partes da estrutura do prédio.

#### 6.3.3.1 – Recomendações para manutenções periódicas no prédio da FA

O prédio da Faculdade de Assuntos Sociais Aplicados, de todos tomados como estudos de caso, este é o que apresenta a maior incidência de manifestações patológicas.

Como sugerido para os prédios citados acima, se faz necessário o uso de revestimento impermeabilizante ou material hidrófugo em todos os elementos estruturais em concreto aparente a fim de evitar problemas devido à umidade.

A maioria dos elementos estruturais encontra-se com deterioração do concreto, em vários casos com deslocamento, e com armadura exposta sendo necessário o reparo imediato nesses elementos.

Apresenta diversas infiltrações, sendo necessário o reparo nas instalações hidráulicas como também a troca de boa parte do telhado que se encontra perfurado, além do reparo na impermeabilização da laje de cobertura.

A passarela metálica localizada no interior do prédio deve ser imediatamente interditada, pois se encontra com diversas patologias sendo um risco para os usuários. Os elementos metálicos da passarela estão em estágio de corrosão avançado. As lajes pré-moldadas de concreto estão fissuradas e com acumulação de água em vários pontos devido às infiltrações no telhado da cobertura da mesma. Assim, deve-se ressaltar a interdição e o reparo dessa passarela a fim de evitar riscos maiores aos usuários.

O acesso à cobertura do prédio é realizado através de uma escada metálica, presa na alvenaria de forma improvisada através de uma corrente. É necessária a instalação de uma

nova escada fixada de forma segura na alvenaria e que esteja a certa altura para que os usuários do prédio não tenham acesso. Isto se faz necessário para que somente pessoas autorizadas e responsáveis pela manutenção do prédio tenham acesso.

Por fim, é importante destacar a realização de manutenção como também de reparo imediato em diversas partes da estrutura do prédio da FA a fim de evitar o agravamento das manifestações e o risco aos usuários.

#### **6.4 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Como sugestões para trabalhos futuros, propõem-se:

- a) Estender este estudo para outras edificações do Campus da UnB e analisar se os projetos atuais, em especial, o projeto de arquitetura se estão levando em consideração os aspectos de durabilidade da ABNT NBR 6118 (2003);
- b) Realizar trabalhos numérico-experimentais que avaliem a influência da temperatura em outras edificações do Campus e verificar a adequação de projetos de arquitetura e estrutura.
- c) Estudos de soluções arquitetônicas para resolver os problemas encontrados tanto nas obras estudadas quanto a estudar dentro dos conceitos propostos pela ABNT NBR 6118 (2003).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALUCCI, M. P.; FLAUZINO, W. D.; MILANO, S. **Bolor em edifícios: causas e recomendações**. In: Tecnologia de Edificações. São Paulo: Pini, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1988. (Coletânea de trabalhos da Div. de Edificações do IPT).
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM – E 632-82/96: **Standard Practice for Developing Accelerated Tests to aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials**. Philadelphia.
- AMORIM, C. N. D. Arquitetura não residencial em Brasília: desempenho energético e ambiental. . In: I Conferência Latino Americana de Construção Sustentável, 10 Entac - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Clacs/Entac, 2004.
- ANDRADE, J. J. O. **Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão das armaduras: iniciação por cloretos**. 2001. Tese (Doutorado), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos: Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15577**: Agregados: Reatividade álcali-agregado. Rio de Janeiro, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: Manutenção de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- ATKINSON, G. A. External vertical surfaces of buildings: aspects of design and appearance. In: SIMPOSIUM ON EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF EXTERNAL VERTICAL SURFACES OF BUILDINGS, 1977, Otaniemi, Espoo,

- Finland. **Proceedings...** Otaniemi, Espoo, Finland: RILEM/ASTM/CIB, 1997. 3v. v.1, p. 57-66.
- BAKKER, R. F. M. Initiation period. In: Schiessl, P., ed. **Corrosion of steel in concrete**. London, Chapman and Hall, 1988, cap. 3, p.22-55.
- BANHAM, R. **La arquitectura del entorno bien climatizado**. Buenos Aires, Infinito, 1975.
- BOLDO, P. **Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, DF, janeiro, 2002.
- BONIN, L. C. Considerações sobre a utilização do conceito de desempenho como ferramenta para a modernização tecnológica na construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1998, Florianópolis. Qualidade No Processo Construtivo: **anais**. Florianópolis : ENTAC, 1998. v. 2. p. 447-452.
- BORGES, P. C. Influencia del diseño arquitectónico en la durabilidad de estructuras de hormigón. **Revista Concreto**. Brasil, 2005.
- CASTRO, E. K. e BAUER, E. **Estudo da movimentação dos íons cloreto no concreto – influencia da corrosão das armaduras**. Brasília: Universidade de Brasília. Departamento de Engenharia Civil, 1995.
- CEPLAN – Centro de Planejamento Urbanístico – Documentos – Março, 2009.
- CAMPOS, F. C. e VALÉRIO, L. C. B. **Levantamento estatístico das obras de recuperação de estruturas no Distrito Federal**. Relatório de estágio supervisionado de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, julho. 1994.
- CÁNOVAS, M. F. **Patología y Terapeutica del Hormigon Armado**. 3. ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, 1994.
- CARMONA, A. e MAREGA, A. Retrospectiva da patologia no Brasil, estudo estatístico. Colloquia 88, **Jornada em Español y Portugues sobre Estructuras y Materiais**, v. 4, Madrid, p. 101-123, maio. 1988.
- CARMONA, A; HELENE, P. R. L. Fissuração das Peças de Concreto Armado e Corrosão das Armaduras. In: SEMINÁRIO NACIONAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL, Rio de Janeiro, 1986. **Anais...** Rio de Janeiro: ABRACO,1986.p.172 -195.

- CARMONA, A; HELENE, P. R. L. Fissuração das Peças de Concreto Armado e Corrosão das Armaduras. In: SEMINÁRIO NACIONAL DA CONSTRUÇÃO CIVIL, Rio de Janeiro, 1986. **Anais...** Rio de Janeiro: ABRACO, 1986. p.172 -195.
- CARRIÓ, J. M. Arquietura arte funcional. **Informes de la Construcion**. Madrid: Instituto Eduardo Torroja, v. 37, n. 37, 1985.
- CARRIÓ, J. M. **Patologia de cerramientos y acabados arquitectonicos**. Madrid, 1994.
- CASCUDO, O. e HELENE, P.R.L. Resistência à corrosão no concreto dos tipos de armaduras brasileiras para concreto armado. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**. São Paulo: 2001.
- CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas**. São Paulo: Ed. Pini, 1997.
- CHAMOSA, J.A.V. e ORTIZ, J. L. R. Datos orientativos sobre la evolución de La construcción, em España. **Hormigon e Acero**, n. 157. p. 101-110.1985. Ciencias de la construccion "Eduardo Torroja".
- CIB W80/RILEM 71-PSL. **Prediction of service life of building materials and components**. In: Conseil International du Bâtiment pour la Recherche L'étude et la Documentation e Réunion Internationale des Laboratoires D'essais et de Recherches sur les Matériaux etles Constructions, Rotterdam, 98p., 1983.
- COMITÉ EURO-INTERNATINAL DU BÉTON – CEB. **Durable Concrete Structures – Design Guide**. Bulletin D'Information N° 182. Copenhagem, junho 1989.
- COMITÉ EURO-INTERNATINAL DU BÉTON – CEB. **Durable Concrete Structures – Design Guide**. Lausanne, Thomaz Telford, 1992.
- COMMITTEE ON MATERIALS FOR CONCRETE DAMS – CIGB/ICOLD. Alkali-aggregate reaction in concrete dams: review and recommendations. **Bulletin**, n. 79. Paris: Imprimerie de Montligeon, 1991.
- COMPUTER AND STRUCTURES. **Manual SAP 2000**. 1995.
- CONSOLI, O. e REPETTE, W. L. **Desempenho de Fachadas: Análise de componentes sob aspectos do projeto arquitetônico**. Chapecó. In: **Workshop: Desempenho de Sistemas Construtivos**. 2006.
- CREMONNI, R. A. **Incidência de Manifestações Patológicas em Unidades Escolares na Região de Porto Alegre: Recomendações para Projeto, Execução e Manutenção**. 1988. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1988.

- DICIONÁRIO DA LÍNGUA PORTUGUESA (2000). Editora Porto. ISBN: 978-972-0-01564-8. Coleção Dicionários Editora. Idioma Português.
- EUROCODE N° 2 **Design of concrete structures**. Part 1: General rules and rules for buildings. EC2, Revised final draft, dezembro, 1989.
- FIGUEIREDO, E. J. P. As técnicas eletroquímicas e o estudo da durabilidade do concreto armado. In: Workshop-Durabilidade das Construções, São Leopoldo, 1994. **Anais...** São Leopoldo, 1994.
- FONSECA, R. P. **A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e propostas de manutenção**. [Distrito Federal], 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.
- FORTES, L. R.; ANDRADE, J. C. **Corrosão na armadura do concreto armado e sua avaliação pela técnica do potencial do eletrodo**. Ceará. Fortaleza: UFC, 1992.
- GENTIL, V. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.
- GONZÁLEZ, J. A.; MOLINA, A.; ESCUDERO, M. L.; ANDRADE, C. **Erros in the electrochemical evaluation of very small corrosion rates – I. Polarization resistance method applied to corrosion of steel in concrete**. Corrosion Science, v. 25, n. 10, p.917-930, 1985.
- GRATÃO, L. S., **Estrutura do prédio da BCE/UnB: Histórico de Projeto, Execução e Intervenções; Avaliação e Proposta de Manutenção**. [Distrito Federal] 2008. Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
- HEINECK, L. F. e PETRUCCI, H. M. C. Influência do projeto arquitetônico na manutenção e durabilidade dos edifícios. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1989.
- HELENE, Paulo R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: PINI: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1988.
- HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo, 1993. Tese (Livre Docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- HELENE, P. R. L. Vida útil das estruturas de concreto. In: IV CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES e VI CONGRESSO

- DE CONTROLE DE QUALIDADE, 1997, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Escola de engenharia, UFRGS, 1997. p. 1-30. Disponível em: <http://www.alconpat.org.uy/doc/biblio/helene.pdf>.
- HELENE, P. R. L. **Vida útil das estruturas de concreto**. Departamento de Engenharia Civil, USP, São Paulo. 2003.
- IOSHIMOTO, E. **Incidência de manifestações patológicas em edificações habitacionais**. In: Tecnologia de edificações. São Paulo: PINI, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Coletânea de trabalhos da Div. de Edificações do IPT, 1988, p. 545-548.
- IVANÓSKI, C. G. **Um modelo de processo de projeto e produção de edifícios verticais, com uma visão pavimentar e de interface horizontal, visando integração entre layout de fachada e conforto**. Florianópolis, 2004. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: Disponível em: <<http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/4195.pdf>> Acesso em: 18 ago. 2006.
- KROPP, J *et al.* **Transport mechanisms and definitions** . In: PERFORMANCE and concrete criteria as a criterion of its durability. London, 1995.
- KUPERMAN, S. C. *et al.* A CESP e a detecção da reação álcali-agregado. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 26., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: CBGB, 2005. p. 1-14. 1 CD-ROM.
- LEITE, J. S. V. e ARAÚJO, V. M. D. Análises de elementos arquitetônicos de proteção solar em edificações institucionais na cidade de Natal/RN – diretrizes projetuais. In: I Conferência Latino Americana de Construção Sustentável, 10 Entac - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Clacs/Entac, 2004.
- LERSCH, I. M., **Contribuição para identificação dos principais fatores e mecanismos de degradação em edifícios do patrimônio cultural de Porto Alegre**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2003.
- LESSA, J. A. e NÓBREGA, Luciana. **A influência dos detalhes de projetos na redução da durabilidade e funcionalidade das estruturas de concreto armado**. [Distrito federal] 2009. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília. 2009.

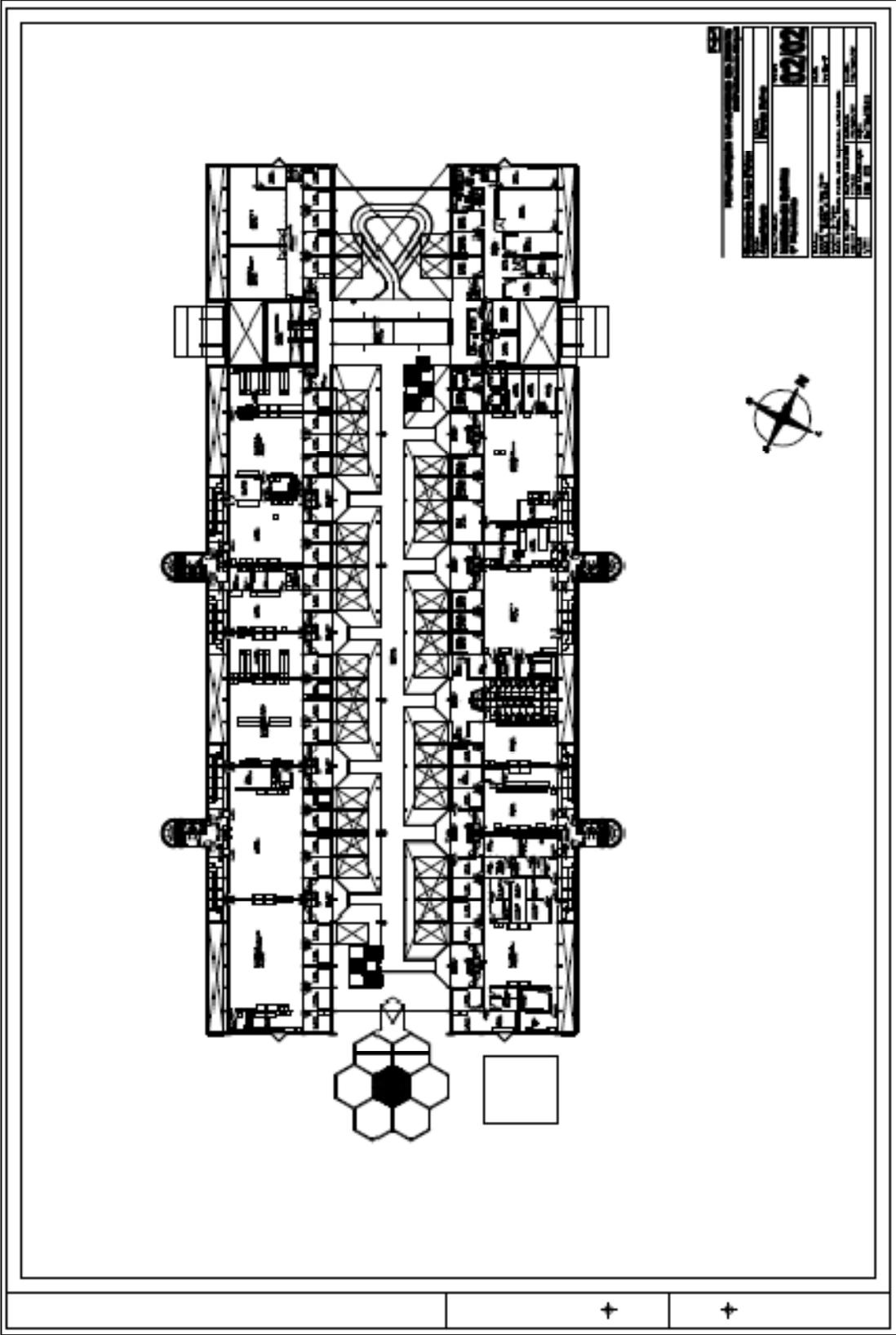
- LICHTENSTEIN, N. B. Patologias das construções: procedimento para diagnóstico e recuperação, São Paulo, **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, n. 6, 1986.
- LIMA, M. G. **Ação do meio ambiente sobre as estruturas de concreto**. Cap. 24 – CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações. Editor G.C. Isaia. Vol 1 e 2. São Paulo, SP, IBRACON. 1600p. 2005.
- MATOS, R. P. **Estrutura da Plataforma Superior da Estação Rodoviária de Brasília: Análise de Intervenções e Avaliação pós-reparo**. [Distrito Federal] 2009. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
- MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. 2. ed. São Paulo: Ed. Pini, 1994.
- MELO, C. E. E (org.). **Manual Munte de Projetos em Pré-fabricados de Concreto Munte Construções Industrializadas**”. Editora Pini. São Paulo, 2004.
- NEPOMUCENO, A. A. **Patologia, recuperação e manutenção de estruturas**. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, 2005. Notas de Aula.
- NEPOMUCENO, A.A. **Comportamiento de morteros de reparacion frente a la carbonatacion y la penetracion de cloruros en estructuras de hormigon armado danadas por corrosion de armaduras . Estudio mediante la resistència de polarizacion**. 1992. Tese (Doutorado) –Universid Politecnica de Madrid,1992.
- NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.
- \_\_\_\_\_.; SBRIGHI, C.; PECCHIO, M. **Avaliação prática da previsão da reação álcali-silicato de rochas granitóides**. In: SIMPÓSIO SOBRE REAÇÃO ÁLCALIAGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 2., 2006, Rio de Janeiro.
- NINCE, A. A. **Levantamento de dados sobre a deterioração de estruturas na região Centro-Oeste**. [Distrito federal] 1996. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília.
- OLIVEIRA, J. A. C. **Contribuição ao Estudo do Comportamento Mecânico de Sistemas de Revestimento à Base de Argamassa Modificados com Polímeros de Base Látex**. 2004. 163 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

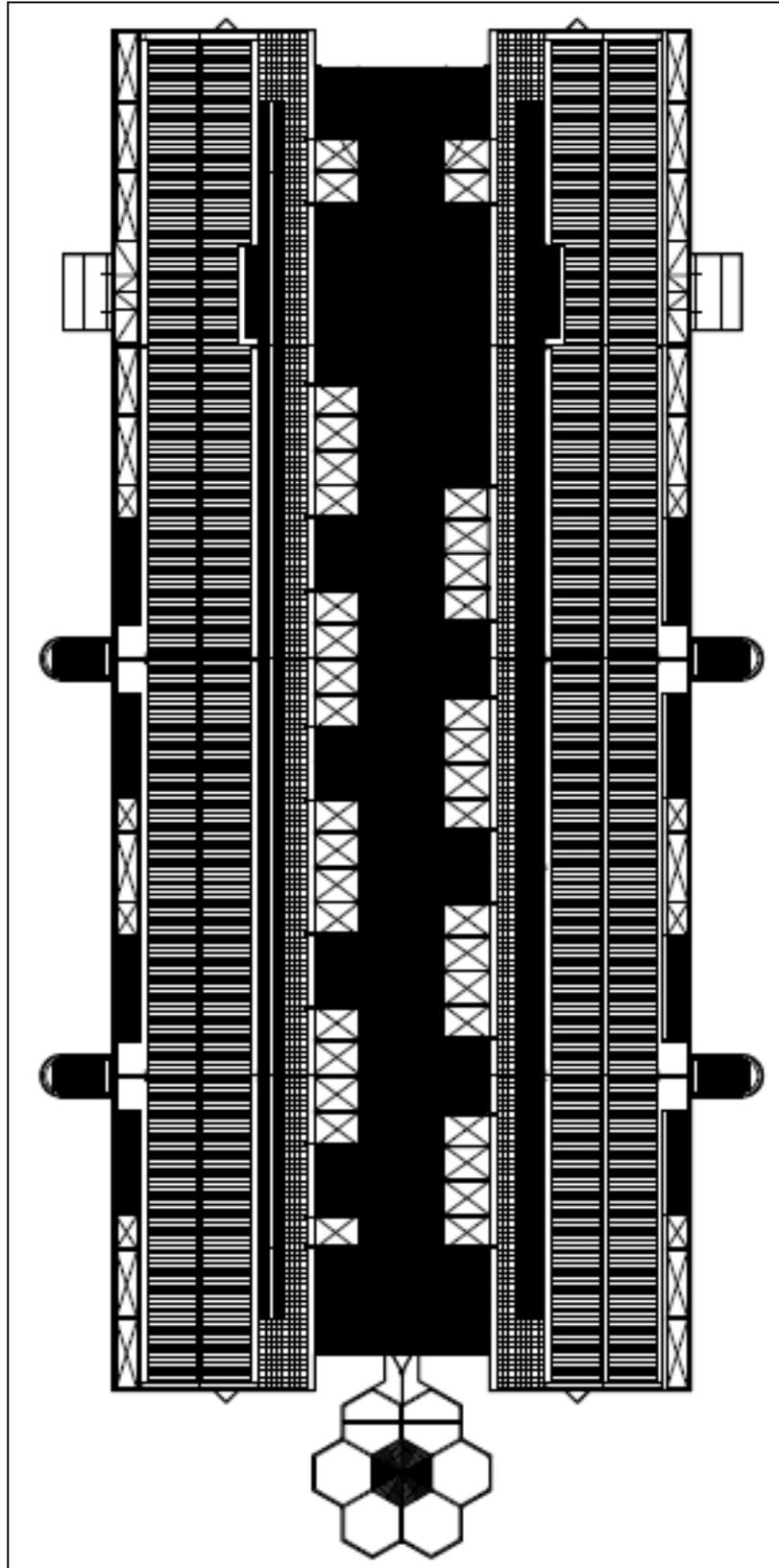
- PAPADAKIS, V. G.; VAYENAS, C. G.; FARDIS, M. Fundamental modeling and experimental investigation of concrete carbonation. **ACI Materials Journal**, v.88, n.4, p.363-373, 1991.
- PEREZ, A. R. **Umidade nas Edificações: recomendações para a prevenção de penetração de água pelas fachadas**. In: TECNOLOGIA de Edificações. São Paulo: Pini/IPT, 1988. (Coletânea de trabalhos da Div. de Edificações do IPT).
- PEREZ, A. R. **Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas**. Tecnologia de edificações. São Paulo: Pini, 1988.
- PESSOA, D. F. **Estrutura da Catedral de Brasília, Aspectos Históricos, Científicos e Tecnológicos de Projeto, Execução, Intervenções e Proposta de Manutenção**. Brasília, Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 2002.
- PETRUCCI, H. M. C. Alteração da aparência das fachadas dos edifícios: Interação entre as condições ambientais e a forma construída. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.
- RIPPER, E. **Como evitar erros na construção**. São Paulo: Pini, 1996.
- SABBATINI, F. H e BORGES, C. A. M. O conceito de Desempenho nas Edificações e a sua Importância para o Setor da Construção Civil no Brasil. São Paulo, **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, n. 515, 2008.
- SANTOS JÚNIOR, E. C. R. **A estrutura do palácio do Itamaraty: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e recomendações para manutenção**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, Brasília, 2004.
- SILVA, J. S. **A eficiência do brise-soleil em edifícios públicos de escritórios: estudo de caso no plano piloto de Brasília**. Brasília. Dissertação de Mestrado. Programa de Pesquisa e Pós-Gaduação. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília, 2007 - a.
- SILVA, Patrícia Neves. Reação álcali-agregado nas usinas hidrelétricas do Complexo Paulo Afonso/CHESF. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007 - b.
- SILVEIRA, A. L. Z. P. **Estudo das reações álcali-agregado em rochas carbonáticas**. 2006. 202 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

- SOUZA, M. F. **Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações**. Belo Horizonte. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2008.
- SOUZA, V. C. M.; LIMA, N. A.; CUNHA, A. J. P. C. **Acidentes estruturais na construção civil**. São Paulo: Pini, 1996.
- SOUZA, V. C. M e RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 2001.
- SOUZA, D. A. S., **A estrutura do Teatro Nacional Claudio Santoro em Brasília: histórico de projeto, execução, intervenções e estratégias para manutenção**. [Distrito Federal] 2009. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília.
- SURRY, D. *et al.* Wind rain and building envelope: a status report of ongoing research at University of Western Ontario. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**. Elsevier, v. 53, 1994, p. 19-36.
- THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 1 ed. São Paulo: Pini, 1989.
- THOMAZ, E. **Manual técnico de alvenaria**. Patologia. São Paulo: Projeto, 1990.
- THOMAZ, E. **Trincas em Edifícios**. São Paulo: Pini, 1996.
- THOMAZ, E. **Patologias de Revestimento**. 2001. (Apostila de Revestimentos Módulo II. Disciplina Patologia das Edificações. IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo).
- TUUTTI, K. **Corrosion of Steel in Concrete**. Stokholm, 1982.
- UEMOTO, K. L. **Patologia: Danos causados por eflorescência**. Tecnologia de Edificações. São Paulo: Pini/IPT, 1988. (Coletânea de trabalhos da Div. de Edificações do IPT).
- VERÇOZA, E. J. **Patologia das Edificações**. Porto Alegre: Sagra, 1991.
- VIEIRA, F. M. P. **Contribuição ao estudo da corrosão de armaduras em concreto com adição de sílica ativa**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

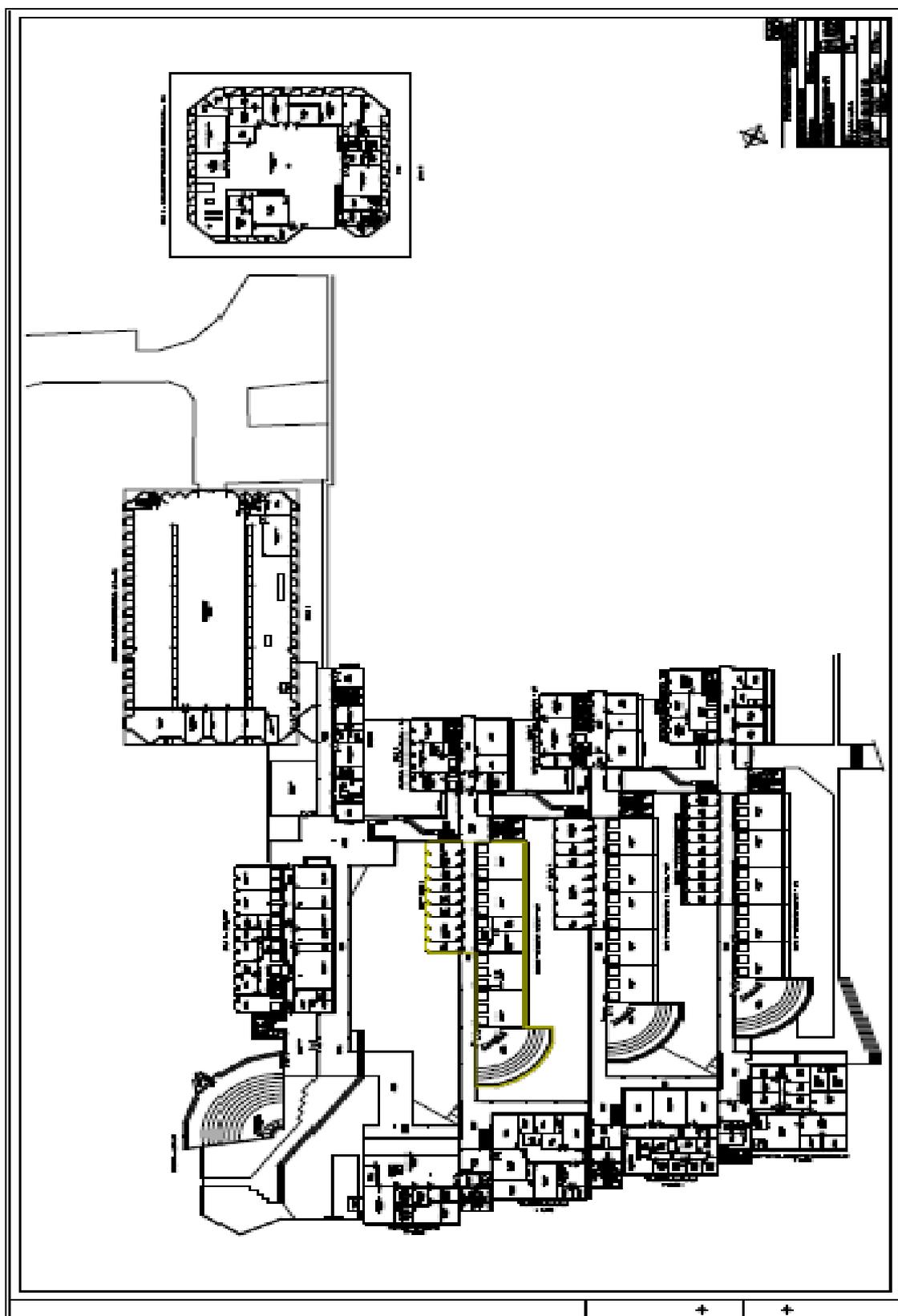
## **APÊNDICES**

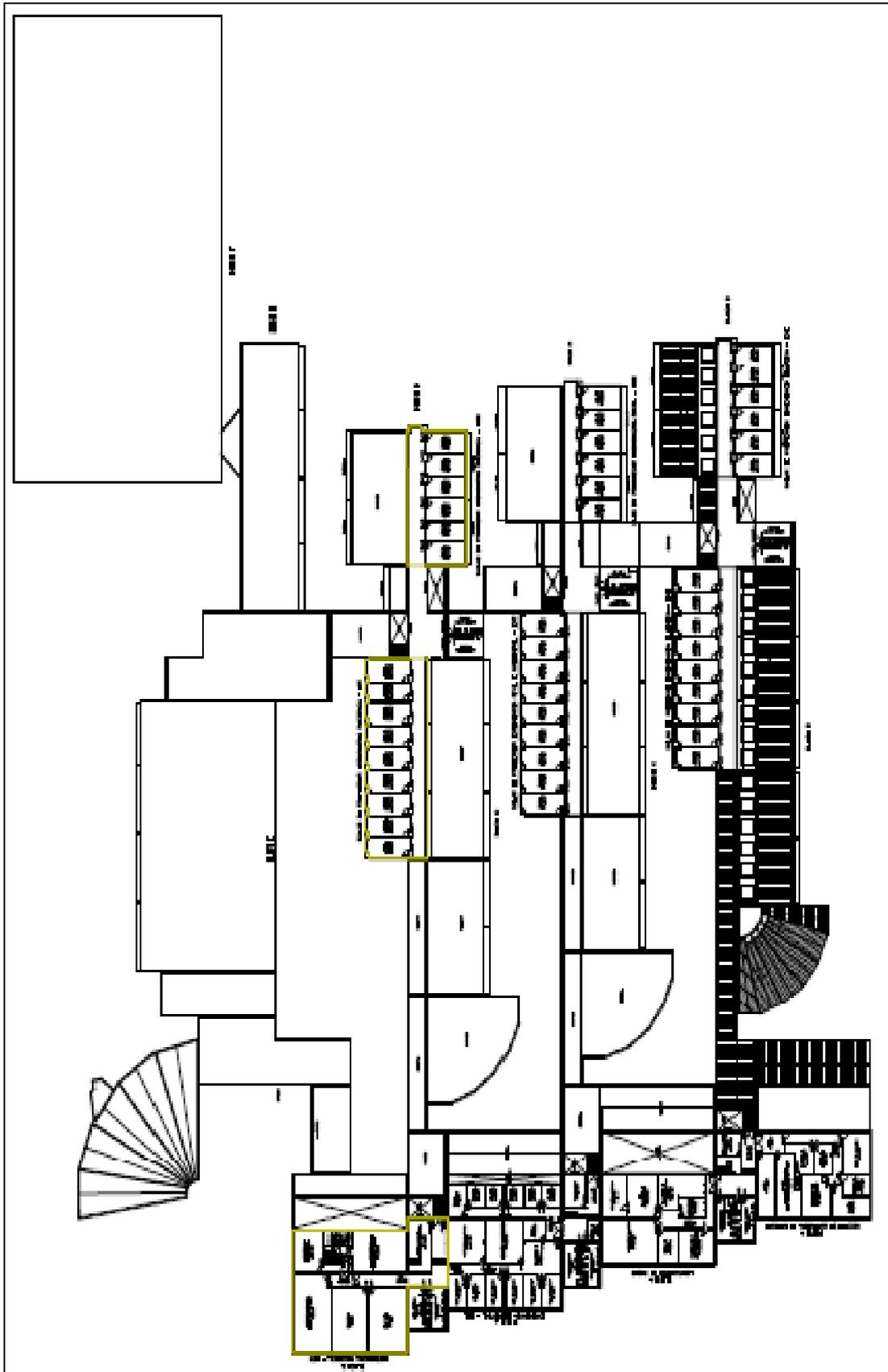




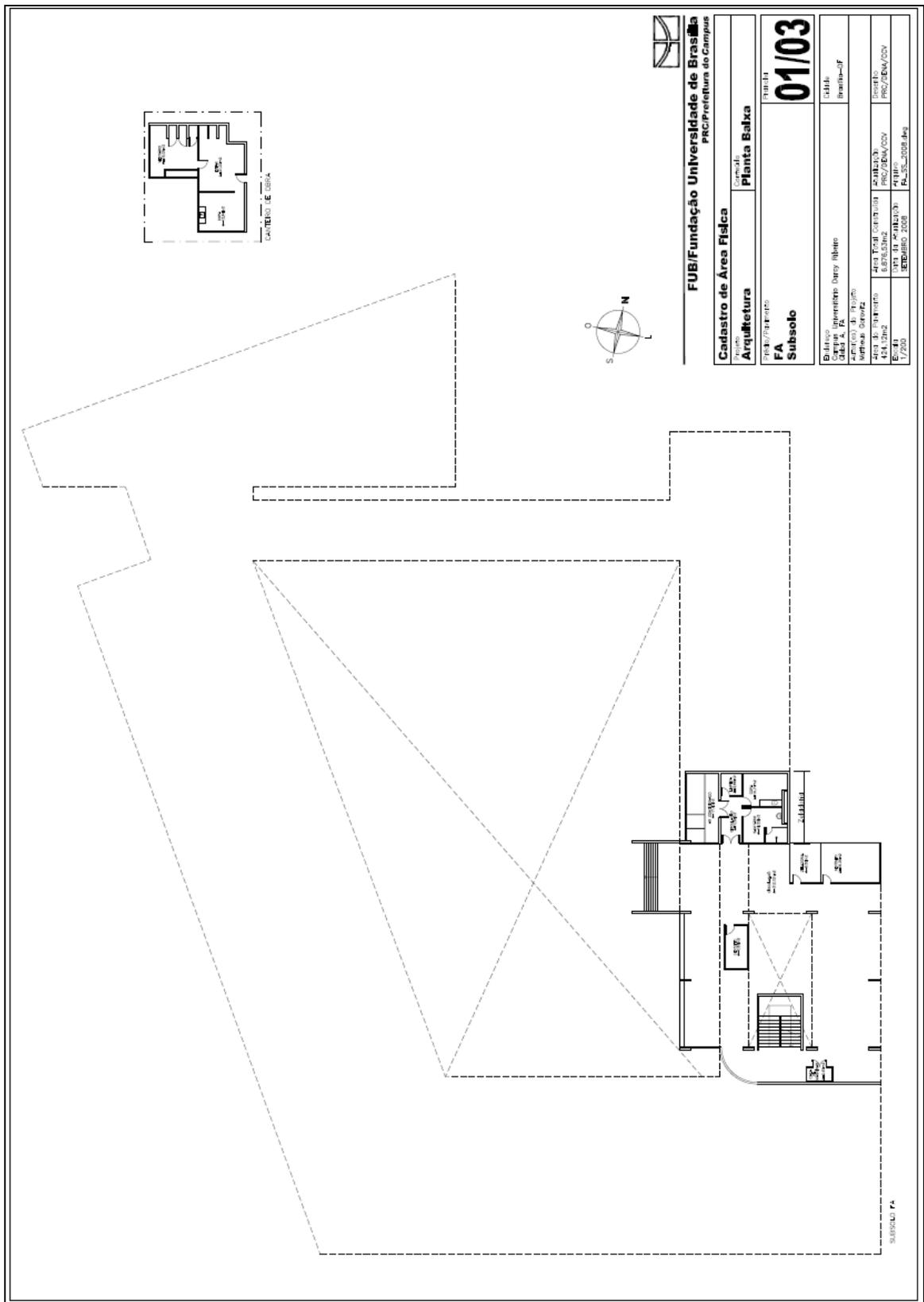


APÊNDICE B - PLANTAS BAIXAS DO PRÉDIO DA FACULDADE DE TECNOLOGIA (FT)





# APÊNDICE C – PLANTAS BAIXAS DO PRÉDIO DA FACULDADE DE ASSUNTOS SOCIAIS APLICADOS (FA)



FUB/Fundação Universidade de Brasília  
PRC/Prefeitura do Campus

<b>Cadastro de Área Física</b>	
Arquitetura	Comunidade: <b>Planta Baixa</b>
FA	01/03
<b>Balises</b> Campo: Intermediário (área livre) Área Total Construída: 2.014,33 m <sup>2</sup> Área Total Disponível: 8.676,53 m <sup>2</sup> Área Total Disponível: 6.662,20 m <sup>2</sup> Área Disponível: 2.222,20 m <sup>2</sup> Área Disponível: 2.222,20 m <sup>2</sup>	
Escala: 1/200 Data: 12/2014 Projeto: PRC/DEMA/02V Autor: PRC/DEMA/02V Revisão: PRC/DEMA/02V Data: 12/2014	





**APÊNDICE D – TABELAS COM AS TENSÕES DE TRAÇÃO NOS ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS SUBMETIDOS À VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DE 23°C (ELEMENTOS EXPOSTOS DIRETAMENTE À RADIAÇÃO SOLAR)**

**TABELA D.1**

<b>Elemento Sólido</b>	<b>Nó</b>	<b>Carregamento Analisado</b>	<b>Tipo de Carregamento</b>	<b>Tensões de Tração á 23°C (MPa)</b>	<b>Situação da Região do elemento Analisado</b>
1026	2857	PP + TEMP	Estático Linear	1,379	Não Fissurada
1946	5602	PP + TEMP	Estático Linear	1,379	Não Fissurada
796	2217	PP + TEMP	Estático Linear	1,381	Não Fissurada
1582	4507	PP + TEMP	Estático Linear	1,381	Não Fissurada
2527	3296	PP + TEMP	Estático Linear	1,382	Não Fissurada
3054	3998	PP + TEMP	Estático Linear	1,382	Não Fissurada
385	1196	PP + TEMP	Estático Linear	1,384	Não Fissurada
2737	3888	PP + TEMP	Estático Linear	1,384	Não Fissurada
1667	4853	PP + TEMP	Estático Linear	1,392	Não Fissurada
1849	5224	PP + TEMP	Estático Linear	1,398	Não Fissurada
1861	5270	PP + TEMP	Estático Linear	1,398	Não Fissurada
1882	5324	PP + TEMP	Estático Linear	1,399	Não Fissurada
125	420	PP + TEMP	Estático Linear	1,401	Não Fissurada
2596	3288	PP + TEMP	Estático Linear	1,401	Não Fissurada
290	924	PP + TEMP	Estático Linear	1,402	Não Fissurada
2328	6572	PP + TEMP	Estático Linear	1,404	Não Fissurada
766	2142	PP + TEMP	Estático Linear	1,405	Não Fissurada
1900	5369	PP + TEMP	Estático Linear	1,405	Não Fissurada
695	1996	PP + TEMP	Estático Linear	1,407	Não Fissurada
313	919	PP + TEMP	Estático Linear	1,409	Não Fissurada
657	1884	PP + TEMP	Estático Linear	1,410	Não Fissurada
2133	6007	PP + TEMP	Estático Linear	1,411	Não Fissurada
2532	3300	PP + TEMP	Estático Linear	1,412	Não Fissurada
117	402	PP + TEMP	Estático Linear	1,413	Não Fissurada
1878	5311	PP + TEMP	Estático Linear	1,416	Não Fissurada
1841	5141	PP + TEMP	Estático Linear	1,417	Não Fissurada
707	2006	PP + TEMP	Estático Linear	1,418	Não Fissurada
1025	2858	PP + TEMP	Estático Linear	1,420	Não Fissurada
1860	5266	PP + TEMP	Estático Linear	1,420	Não Fissurada

**TABELA D.2**

<b>Elemento Sólido</b>	<b>Nó</b>	<b>Carregamento Analisado</b>	<b>Tipo de Carregamento</b>	<b>Tensões de Tração á 23°C (MPa)</b>	<b>Situação da Região do elemento Analisado</b>
1593	4550	PP + TEMP	Estático Linear	1,423	Não Fissurada
1670	4863	PP + TEMP	Estático Linear	1,424	Não Fissurada
1337	3743	PP + TEMP	Estático Linear	1,427	Não Fissurada
1604	4569	PP + TEMP	Estático Linear	1,428	Não Fissurada
590	1781	PP + TEMP	Estático Linear	1,434	Não Fissurada
750	1725	PP + TEMP	Estático Linear	1,434	Não Fissurada
2128	5987	PP + TEMP	Estático Linear	1,436	Não Fissurada
3039	4381	PP + TEMP	Estático Linear	1,436	Não Fissurada
2038	5755	PP + TEMP	Estático Linear	1,439	Não Fissurada
831	2309	PP + TEMP	Estático Linear	1,440	Fissurada
1367	3850	PP + TEMP	Estático Linear	1,443	Fissurada
2478	6848	PP + TEMP	Estático Linear	1,443	Fissurada
1841	5219	PP + TEMP	Estático Linear	1,445	Fissurada
2563	3620	PP + TEMP	Estático Linear	1,446	Fissurada
2748	2251	PP + TEMP	Estático Linear	1,447	Fissurada
975	2722	PP + TEMP	Estático Linear	1,449	Fissurada
1750	4971	PP + TEMP	Estático Linear	1,449	Fissurada
2292	6472	PP + TEMP	Estático Linear	1,449	Fissurada
2896	641	PP + TEMP	Estático Linear	1,451	Fissurada
2712	1691	PP + TEMP	Estático Linear	1,454	Fissurada
1369	3919	PP + TEMP	Estático Linear	1,456	Fissurada
3035	4370	PP + TEMP	Estático Linear	1,456	Fissurada
155	280	PP + TEMP	Estático Linear	1,458	Fissurada
1592	4544	PP + TEMP	Estático Linear	1,459	Fissurada
306	1023	PP + TEMP	Estático Linear	1,460	Fissurada
789	2197	PP + TEMP	Estático Linear	1,461	Fissurada
2527	3205	PP + TEMP	Estático Linear	1,461	Fissurada
1627	4628	PP + TEMP	Estático Linear	1,462	Fissurada
2612	6315	PP + TEMP	Estático Linear	1,462	Fissurada
2895	641	PP + TEMP	Estático Linear	1,462	Fissurada
2168	6085	PP + TEMP	Estático Linear	1,463	Fissurada
2556	3603	PP + TEMP	Estático Linear	1,463	Fissurada
2890	6108	PP + TEMP	Estático Linear	1,463	Fissurada
2004	5683	PP + TEMP	Estático Linear	1,465	Fissurada
2612	4079	PP + TEMP	Estático Linear	1,465	Fissurada

**TABELA D.3**

<b>Elemento Sólido</b>	<b>Nó</b>	<b>Carregamento Analisado</b>	<b>Tipo de Carregamento</b>	<b>Tensões de Tração á 23°C (MPa)</b>	<b>Situação da Região do elemento Analisado</b>
2893	6118	PP + TEMP	Estático Linear	1,467	Fissurada
2898	6126	PP + TEMP	Estático Linear	1,468	Fissurada
2896	6122	PP + TEMP	Estático Linear	1,472	Fissurada
990	2535	PP + TEMP	Estático Linear	1,475	Fissurada
1842	5192	PP + TEMP	Estático Linear	1,475	Fissurada
2220	6364	PP + TEMP	Estático Linear	1,476	Fissurada
1283	3712	PP + TEMP	Estático Linear	1,478	Fissurada
2355	6541	PP + TEMP	Estático Linear	1,481	Fissurada
2896	6124	PP + TEMP	Estático Linear	1,481	Fissurada
2897	645	PP + TEMP	Estático Linear	1,481	Fissurada
1587	4526	PP + TEMP	Estático Linear	1,482	Fissurada
2422	6771	PP + TEMP	Estático Linear	1,482	Fissurada
492	1437	PP + TEMP	Estático Linear	1,484	Fissurada
1903	5375	PP + TEMP	Estático Linear	1,484	Fissurada
90	325	PP + TEMP	Estático Linear	1,485	Fissurada
1478	4232	PP + TEMP	Estático Linear	1,485	Fissurada
2566	3587	PP + TEMP	Estático Linear	1,485	Fissurada
777	2108	PP + TEMP	Estático Linear	1,488	Fissurada
1313	3786	PP + TEMP	Estático Linear	1,488	Fissurada
1871	5256	PP + TEMP	Estático Linear	1,492	Fissurada
2098	5923	PP + TEMP	Estático Linear	1,494	Fissurada
2669	4594	PP + TEMP	Estático Linear	1,494	Fissurada
1277	3700	PP + TEMP	Estático Linear	1,495	Fissurada
1296	3702	PP + TEMP	Estático Linear	1,498	Fissurada
1778	5046	PP + TEMP	Estático Linear	1,499	Fissurada
1611	4538	PP + TEMP	Estático Linear	1,505	Fissurada
1859	5267	PP + TEMP	Estático Linear	1,505	Fissurada
2897	6126	PP + TEMP	Estático Linear	1,506	Fissurada
1605	4571	PP + TEMP	Estático Linear	1,507	Fissurada
2728	2191	PP + TEMP	Estático Linear	1,507	Fissurada
1944	5608	PP + TEMP	Estático Linear	1,508	Fissurada
2713	3289	PP + TEMP	Estático Linear	1,509	Fissurada
2730	3858	PP + TEMP	Estático Linear	1,511	Fissurada
1778	5047	PP + TEMP	Estático Linear	1,512	Fissurada
2544	3226	PP + TEMP	Estático Linear	1,513	Fissurada

**APÊNDICE E - TABELAS COM AS TENSÕES DE TRAÇÃO NOS ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS SUBMETIDOS À VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DE 10°C (ELEMENTOS DA ESTRUTURA COBERTOS PELO TELHADO)**

**TABELA E.1**

<b>Elemento Sólido</b>	<b>Nó</b>	<b>Carregamento Analisado</b>	<b>Tipo de Carregamento</b>	<b>Tensões de Tração á 10°C (MPa)</b>	<b>Situação da Região do elemento Analisado</b>
2181	6085	TEMP	Estático Linear	1,375	Não Fissurada
2730	2201	TEMP	Estático Linear	1,377	Não Fissurada
115	389	TEMP	Estático Linear	1,378	Não Fissurada
2128	5994	TEMP	Estático Linear	1,379	Não Fissurada
523	1503	TEMP	Estático Linear	1,382	Não Fissurada
2342	6577	TEMP	Estático Linear	1,383	Não Fissurada
1015	2802	TEMP	Estático Linear	1,385	Não Fissurada
2585	3328	TEMP	Estático Linear	1,387	Não Fissurada
407	1254	TEMP	Estático Linear	1,389	Não Fissurada
2648	6770	TEMP	Estático Linear	1,391	Não Fissurada
1959	5540	TEMP	Estático Linear	1,393	Não Fissurada
2729	2192	TEMP	Estático Linear	1,394	Não Fissurada
518	1505	TEMP	Estático Linear	1,397	Não Fissurada
2156	6058	TEMP	Estático Linear	1,397	Não Fissurada
1000	2792	TEMP	Estático Linear	1,399	Não Fissurada
2557	6485	TEMP	Estático Linear	1,399	Não Fissurada
1597	4556	TEMP	Estático Linear	1,400	Não Fissurada
2881	6072	TEMP	Estático Linear	1,402	Não Fissurada
2595	6223	TEMP	Estático Linear	1,403	Não Fissurada
2595	3247	TEMP	Estático Linear	1,405	Não Fissurada
1024	2767	TEMP	Estático Linear	1,406	Não Fissurada
2284	6330	TEMP	Estático Linear	1,406	Não Fissurada
2899	647	TEMP	Estático Linear	1,406	Não Fissurada
768	2155	TEMP	Estático Linear	1,408	Não Fissurada
2997	808	TEMP	Estático Linear	1,408	Não Fissurada
1013	2832	TEMP	Estático Linear	1,408	Não Fissurada
2152	6055	TEMP	Estático Linear	1,409	Não Fissurada
2122	5963	TEMP	Estático Linear	1,409	Não Fissurada
2947	4836	TEMP	Estático Linear	1,409	Não Fissurada
1277	3694	TEMP	Estático Linear	1,414	Não Fissurada
2568	6512	TEMP	Estático Linear	1,415	Não Fissurada

**TABELA E.2**

<b>Elemento Sólido</b>	<b>Nó</b>	<b>Carregamento Analisado</b>	<b>Tipo de Carregamento</b>	<b>Tensões de Tração á 10°C (MPa)</b>	<b>Situação da Região do elemento Analisado</b>
2713	3289	TEMP	Estático Linear	1,375	Não Fissurada
2730	3858	TEMP	Estático Linear	1,377	Não Fissurada
1778	5047	TEMP	Estático Linear	1,378	Não Fissurada
2544	3226	TEMP	Estático Linear	1,379	Não Fissurada
139	371	TEMP	Estático Linear	1,382	Não Fissurada
220	649	TEMP	Estático Linear	1,383	Não Fissurada
2729	3855	TEMP	Estático Linear	1,385	Não Fissurada
2786	5810	TEMP	Estático Linear	1,387	Não Fissurada
3020	1090	TEMP	Estático Linear	1,389	Não Fissurada
708	2004	TEMP	Estático Linear	1,391	Não Fissurada
2280	6445	TEMP	Estático Linear	1,393	Não Fissurada
1584	4515	TEMP	Estático Linear	1,394	Não Fissurada
2351	6632	TEMP	Estático Linear	1,397	Não Fissurada
2526	6272	TEMP	Estático Linear	1,397	Não Fissurada
1222	3546	TEMP	Estático Linear	1,399	Não Fissurada
2294	6481	TEMP	Estático Linear	1,399	Não Fissurada
781	2135	TEMP	Estático Linear	1,400	Não Fissurada
1219	3539	TEMP	Estático Linear	1,402	Não Fissurada
1353	3884	TEMP	Estático Linear	1,403	Não Fissurada
2596	6309	TEMP	Estático Linear	1,405	Não Fissurada
510	1473	TEMP	Estático Linear	1,406	Não Fissurada
1026	2859	TEMP	Estático Linear	1,406	Não Fissurada
2749	2194	TEMP	Estático Linear	1,406	Não Fissurada
478	948	TEMP	Estático Linear	1,408	Não Fissurada
1296	3698	TEMP	Estático Linear	1,408	Não Fissurada
2890	6104	TEMP	Estático Linear	1,408	Não Fissurada
355	1114	TEMP	Estático Linear	1,409	Não Fissurada
2166	6080	TEMP	Estático Linear	1,409	Não Fissurada
2563	6478	TEMP	Estático Linear	1,409	Não Fissurada
828	2305	TEMP	Estático Linear	1,414	Não Fissurada
1606	4574	TEMP	Estático Linear	1,415	Não Fissurada
2737	3884	TEMP	Estático Linear	1,415	Não Fissurada
1868	5264	TEMP	Estático Linear	1,416	Não Fissurada
2166	6079	TEMP	Estático Linear	1,419	Não Fissurada
2449	6761	TEMP	Estático Linear	1,419	Não Fissurada
2449	6324	TEMP	Estático Linear	1,419	Não Fissurada

**TABELA E.3**

<b>Elemento Sólido</b>	<b>Nó</b>	<b>Carregamento Analisado</b>	<b>Tipo de Carregamento</b>	<b>Tensões de Tração á 10°C (MPa)</b>	<b>Situação da Região do elemento Analisado</b>
2904	661	TEMP	Estático Linear	1,419	Não Fissurada
2563	6474	TEMP	Estático Linear	1,427	Não Fissurada
2896	643	TEMP	Estático Linear	1,428	Não Fissurada
1044	2892	TEMP	Estático Linear	1,432	Não Fissurada
458	1342	TEMP	Estático Linear	1,433	Não Fissurada
1866	5288	TEMP	Estático Linear	1,436	Não Fissurada
2563	6499	TEMP	Estático Linear	1,436	Não Fissurada
2920	906	TEMP	Estático Linear	1,437	Não Fissurada
719	2057	TEMP	Estático Linear	1,439	Não Fissurada
2821	5477	TEMP	Estático Linear	1,439	Não Fissurada
293	811	TEMP	Estático Linear	1,440	Fissurada
1296	3700	TEMP	Estático Linear	1,441	Fissurada
2554	3595	TEMP	Estático Linear	1,441	Fissurada
2596	6314	TEMP	Estático Linear	1,441	Fissurada
1307	3759	TEMP	Estático Linear	1,443	Fissurada
2964	887	TEMP	Estático Linear	1,444	Fissurada
2183	6083	TEMP	Estático Linear	1,446	Fissurada
2585	3290	TEMP	Estático Linear	1,448	Fissurada
2126	5979	TEMP	Estático Linear	1,450	Fissurada
710	1998	TEMP	Estático Linear	1,452	Fissurada
1314	3786	TEMP	Estático Linear	1,453	Fissurada
92	286	TEMP	Estático Linear	1,456	Fissurada
190	577	TEMP	Estático Linear	1,457	Fissurada
485	1412	TEMP	Estático Linear	1,460	Fissurada
587	1696	TEMP	Estático Linear	1,460	Fissurada
1569	4440	TEMP	Estático Linear	1,460	Fissurada
530	1531	TEMP	Estático Linear	1,462	Fissurada
1332	3834	TEMP	Estático Linear	1,466	Fissurada
400	1201	TEMP	Estático Linear	1,469	Fissurada
2882	592	TEMP	Estático Linear	1,469	Fissurada
2996	810	TEMP	Estático Linear	1,470	Fissurada
143	365	TEMP	Estático Linear	1,471	Fissurada
2154	6061	TEMP	Estático Linear	1,474	Fissurada
472	1335	TEMP	Estático Linear	1,476	Fissurada
973	2683	TEMP	Estático Linear	1,476	Fissurada
1224	3537	TEMP	Estático Linear	1,478	Fissurada