

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

**A ESTRUTURA DO PALÁCIO DA JUSTIÇA EM BRASÍLIA:
ASPECTOS HISTÓRICOS, PROJETO, EXECUÇÃO,
INTERVENÇÕES E PROPOSTA DE ESTRATÉGIAS PARA
MANUTENÇÃO**

ANDRÉ LUIS ANDRADE MOREIRA

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

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

PUBLICAÇÃO: E.DM – 005A/07

BRASÍLIA/DF: JUNHO DE 2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

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

**A ESTRUTURA DO PALÁCIO DA JUSTIÇA EM BRASÍLIA:
ASPECTOS HISTÓRICOS, PROJETO, EXECUÇÃO,
INTERVENÇÕES E PROPOSTA DE ESTRATÉGIAS PARA
MANUTENÇÃO**

ANDRÉ LUIS ANDRADE MOREIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL 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. JOÃO CARLOS TEATINI DE S. CLÍMACO, PhD (UnB)
(Orientador)

Prof. GUILHERME SALES MELO, PhD (UnB)
(Examinador Interno)

Prof. RAUL ROSAS E SILVA, PhD (PUC-RIO)
(Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF, 22 DE JUNHO DE 2007

FICHA CATALOGRÁFICA

MOREIRA, ANDRÉ LUIS ANDRADE

A estrutura do Palácio da Justiça em Brasília: aspectos históricos, projeto, execução, intervenções e proposta de estratégias para manutenção [Distrito Federal] 2007.

xvi, 164p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2007).
Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Palácio da Justiça

3. Avaliação Estrutural

I. ENC/FT/UnB

2. Patologia

4. Manutenção de Estruturas

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MOREIRA, A. L. A. (2007). A estrutura do Palácio da Justiça em Brasília: aspectos históricos, projeto, execução, intervenções e proposta de estratégias para manutenção. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-005A/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 164p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: André Luis Andrade Moreira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: A estrutura do Palácio da Justiça em Brasília: aspectos históricos, projeto, execução, intervenções e proposta de estratégias para manutenção.

GRAU/ANO: Mestre/2007

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.

André Luis Andrade Moreira
Rua João Bosco, 82, conj. Kyssia II, Planalto
CEP: 69040-280 - Manaus – AM – Brasil.
amoreira79@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Ao professor João Carlos Teatini de S. Clímaco, pela disponibilidade, apoio e incentivo demonstrados durante a orientação desta dissertação.

Ao professor Antônio Alberto Nepomuceno, pelos esclarecimentos e pela valiosa contribuição dada ao trabalho como co-orientador.

Aos professores do Programa de pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília pelos ensinamentos transmitidos.

Aos amigos e colegas do Mestrado, pela amizade e o apoio que me dedicaram durante todo esse período.

Ao CNPQ, pelo suporte financeiro.

À equipe da TQS Informática, por disponibilizarem o *software* de análise estrutural, principalmente ao Eng. Luiz Aurélio pelo suporte.

Aos meus amigos e familiares, que acreditaram na minha capacidade para vencer esta etapa.

Aos meus tios, Márcio e Diana, pelo período que me acolheram em Brasília.

À Aline, pelo carinho e companherismo, e por ter, acima de tudo, me ajudado no desenvolvimento deste trabalho, tanto na superação de dificuldades encontradas, como pelas idéias e sugestões dadas.

Aos meus pais, Paulo e Anália, pelo amor, pela confiança que depositaram em mim, e por se fazerem presentes em todos os momentos da minha vida, me dando todo o apoio que preciso. Aos meus irmãos, Ana Paula, Bárbara e Jonathan, pelo incentivo, amizade, apoio e carinho.

À Deus, por ter me concedido tamanha conquista.

RESUMO

A ESTRUTURA DO PALÁCIO DA JUSTIÇA EM BRASÍLIA: ASPECTOS HISTÓRICOS, PROJETO, EXECUÇÃO, INTERVENÇÕES E PROPOSTA DE ESTRATÉGIAS PARA MANUTENÇÃO

Autor: André Luis Andrade Moreira

Orientador: João Carlos Teatini de S. Clímaco

Co-orientador: Antônio Alberto Nepomuceno

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, junho de 2007

O Palácio da Justiça é a primeira sede própria do mais antigo ministério da República, figurando entre os belos exemplos da arquitetura de Oscar Niemeyer e com o projeto estrutural realizado pelo Escritório Técnico Arthur Luiz Pitta (Etalp), fazendo parte do conjunto de monumentos arquitetônicos de Brasília.

O objetivo principal do trabalho é avaliar as condições atuais da estrutura do Palácio da Justiça, tendo em vista os aspectos de segurança, funcionalidade, durabilidade e estética.

A estrutura da edificação, sua história, projetos, tecnologia construtiva e intervenções, foram caracterizadas nos aspectos mais importantes: concepção, período das obras, responsabilidade técnica e detalhes gerais da edificação. Aspectos peculiares de modificações introduzidas no edifício após sua inauguração foram esclarecidos.

O resultado da avaliação estrutural, segundo a Metodologia GDE/UnB para avaliação quantitativa do grau de deterioração de estruturas de concreto (2002), apontou para um estado de deterioração crítico, não compatível com uma edificação pertencente a um patrimônio cultural da humanidade.

Com base nos desenhos originais do projeto estrutural, foi realizada uma análise da estrutura do Palácio, por meio de modelos computacionais, mostrando a boa qualidade do projeto realizado há quase 40 anos atrás.

Como conclusão, foi proposta uma estratégia para a implantação de um programa de manutenção, visando restabelecer níveis aceitáveis de desempenho para essa estrutura e, posteriormente, garantir o prolongamento da vida útil da estrutura do Palácio da Justiça.

ABSTRACT

THE STRUCTURE OF THE JUSTICE PALACE IN BRASÍLIA: HISTORICAL ASPECTS, PROJECT, CONSTRUCTION, INTERVENTIONS AND PROPOSAL OF STRATEGIES FOR MAINTENANCE

Author: André Luis Andrade Moreira

Supervisor: João Carlos Teatini de S. Clímaco

Co-supervisor: Antônio Alberto Nepomuceno

Course: Master's degree on structures and construction

Brasília, june 2007

The Justice Palace is the first own headquarters of the oldest ministry of the Brazilian Republic, representing one of the most beautiful examples of Oscar Niemeyer's architecture, with structural design by Arthur Luiz Pitta structural engineering company (Etalp), being part of the Brasília architectural monuments collection.

The main objective of this work is to analyze the current conditions of the concrete structure of the Justice Palace building, concerning safety aspects, serviceability, durability and aesthetics.

The building structure, its history, structural design, constructive technology and interventions were characterized in the most important aspects: conception, work's period, technical responsibility, details, etc. Aspects of peculiar modifications introduced to the building after inauguration were explained.

Results of a structural analysis, according to the GDE/UnB method for damage classification and assessment of concrete structures (2002), pointed to a critical deterioration level, not incompatible with an humanity cultural heritage building.

Based on the original structural design drawings, an analysis of the Palace structure was carried out using computing models and showed the good quality of the almost 40 years old project.

In conclusion, a strategy was proposed to establish a maintenance program, aiming to reinstate acceptable levels of performance for this structure and to guarantee an extended service life for the Justice Palace building.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - GENERALIDADES	1
1.2 - MOTIVAÇÃO	2
1.3 - OBJETIVOS	3
1.4 - ESTRUTURA DO TRABALHO.....	4
2 - DESCRIÇÃO SUCINTA DAS ESTRUTURAS DE MONUMENTOS DE BRASÍLIA.....	7
2.1 - INTRODUÇÃO	7
2.1.1 - A obra de Oscar Niemeyer em Brasília	8
2.2 - O PALÁCIO DA ALVORADA.....	9
2.3 - O PALÁCIO DO PLANALTO	11
2.4 - A CATEDRAL DE BRASÍLIA	14
2.5 - O PALÁCIO DO CONGRESSO NACIONAL.....	16
2.6 - O PALÁCIO DO ITAMARATY	19
2.7 - O INSTITUTO CENTRAL DE CIÊNCIAS – ICC.....	22
3 - PRINCÍPIOS GERAIS DA AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO.	26
3.1 - INTRODUÇÃO	26
3.2 - ASPECTOS GERAIS.....	26
3.3 - INVESTIGAÇÃO	27
3.3.1 - Pesquisa Histórica	28
3.3.2 - Inspeção da estrutura.....	29
3.3.3 - Ensaio e procedimentos	31
3.3.4 - Monitoração da estrutura.....	32
3.4 - DESEMPENHO ESTRUTURAL	32
3.4.1 - Modelo estrutural	32
3.4.2 - Propriedades dos materiais	33
3.4.3 - Ações a considerar.....	33
3.4.3.1 - Ações físicas, químicas e biológicas	35
3.5 - DIAGNÓSTICO	36
3.5.1 - Avaliação da segurança.....	36

4 - O PALÁCIO DA JUSTIÇA	38
4.1 - INTRODUÇÃO	38
4.2 - HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO	40
4.3 - A ARQUITETURA	47
4.4 - A ESTRUTURA.....	50
4.4.1 - O projeto original	51
4.4.2 - Modificações na estrutura	58
5 - AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DO PALÁCIO DA JUSTIÇA	61
5.1 - INTRODUÇÃO	61
5.2 - IDENTIFICAÇÃO E DIVISÃO DA ESTRUTURA	61
5.3 - CLASSIFICAÇÃO DA AGRESSIVIDADE DO AMBIENTE	62
5.4 - METODOLOGIA GDE/UnB PARA QUANTIFICAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	64
5.4.1 - Divisão em famílias de elementos.....	65
5.4.2 - Fator de ponderação, F_p.....	65
5.4.3 - Fator de intensidade, F_i.....	67
5.4.4 - Grau do dano, D, e Grau de deterioração do elemento, G_{de}.....	68
5.4.5 - Grau de deterioração das famílias de elementos, G_{df}.....	72
5.4.6 - Grau de deterioração global da estrutura, G_d	73
5.5 - ENSAIOS E PROCEDIMENTOS REALIZADOS.....	74
5.5.1 - Extração de testemunhos do concreto	76
5.5.2 - Profundidade de carbonatação	77
5.5.3 - Ensaios de absorção capilar.....	78
5.5.4 - Resistência à compressão do concreto	81
5.5.5 - Cobrimento das armaduras.....	82
5.6 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	82
5.6.1 - Análise das vigas do pergolado - jardim interno	83
5.6.2 - Análise da estrutura das fachadas	85
5.7 - INTERVENÇÕES	87
6 - MODELAGEM DA ESTRUTURA DO PALÁCIO DA JUSTIÇA	92
6.1 - INTRODUÇÃO	92
6.2 - MODELOS UTILIZADOS.....	93

6.2.1 - Analogia de grelha	93
6.2.2 - Pórtico espacial	95
6.2.3 - Modelo espacial do Palácio da Justiça	96
6.3 - AÇÕES CONSIDERADAS	98
6.3.1 - Variação de temperatura	99
6.3.2 - Combinação de ações	101
6.4 - RESULTADOS	103
6.4.1 - Análise dos pavimentos	104
6.4.2 - Análise espacial da estrutura.....	110
6.4.2.1 - Estabilidade global do edifício	113
7 - ESTRATÉGIAS PARA UM PROGRAMA DE MANUTENÇÃO	115
7.1 - INTRODUÇÃO	115
7.2 - MANUTENÇÃO DE ESTRUTURAS	115
7.3 - PROGRAMA DE MANUTENÇÃO PARA O PALÁCIO DA JUSTIÇA	118
7.3.1 - Manutenção corretiva	119
7.3.2 - Manutenção preventiva.....	120
8 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	124
8.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	124
8.2 - CONCLUSÕES.....	125
8.2.1 - Quantificação da deterioração da estrutura pela Metod. GDE/UnB	125
8.2.2 - Análise da estrutura do Palácio por modelagem computacional.....	127
8.2.3 - Proposta de programa de manutenção para a estrutura do Palácio	128
8.3 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	129
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
APÊNDICES	
A – TABELAS DE AVALIAÇÃO.....	138
B – PLANILHAS PARA INSPEÇÃO ROTINEIRA.....	147
C – MENSAGENS RECEBIDAS DO ENG. FAUSTO A. F. FAVALE.....	154
D – TIPOS DE DANOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO.....	157

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Comparação das cargas de fundação do Itamaraty (Santos Jr., 2004)	22
Tabela 3.1 – Indicação de intervalos de inspeção, em anos. (FIP, 1988).....	30
Tabela 4.1 – Especificações de projeto para os pavimentos do Palácio da Justiça	51
Tabela 4.2 – Especificações do projeto estrutural da cobertura do Palácio da Justiça.....	58
Tabela 5.1 – Classes de agressividade ambiental (tabela 6.1 – NBR 6118:2003)	62
Tabela 5.2 – Classificação da agressividade dos ambientes do Palácio da Justiça	63
Tabela 5.3 – Qualidade do concreto e cobrimento: NBR 6118:2003 versus especificações do projeto do Palácio da Justiça	63
Tabela 5.4 – Famílias de elementos do Pal. da Justiça, danos e fatores de ponderação.....	66
Tabela 5.5 – Fator de intensidade de uma manifestação de dano.....	67
Tabela 5.6 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento (Boldo, 2002)	68
Tabela 5.7 – Modelo de planilha utilizada para avaliação dos pilares	69
Tabela 5.8 – Modelo de planilha utilizada para avaliação das vigas.....	70
Tabela 5.9 – Modelo de planilha utilizada para avaliação das lajes.....	71
Tabela 5.10 – Determinação do grau de deterioração da estrutura do Palácio da Justiça...	73
Tabela 5.11 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura (Boldo, 2002).....	74
Tabela 5.12 – Determinação do grau de deterioração da estrutura do Palácio da Justiça, após intervenções	91
Tabela 7.1 – Prazos para intervenção em elementos da estrutura do Palácio da Justiça...	120
Tabela A.1: Avaliação do pilar P69 do Palácio da Justiça	138
Tabela A.2: Avaliação do pilar P70 do Palácio da Justiça	138
Tabela A.3: Avaliação do pilar P71 do Palácio da Justiça	138
Tabela A.4: Avaliação do pilar P72 do Palácio da Justiça	139
Tabela A.5: Avaliação do pilar P73 do Palácio da Justiça	139
Tabela A.6: Avaliação do pilar P74 do Palácio da Justiça	139
Tabela A.7: Avaliação do pilar P75 do Palácio da Justiça	140
Tabela A.8: Avaliação do pilar P76 do Palácio da Justiça	140
Tabela A.9: Avaliação do pilar P77 do Palácio da Justiça	140
Tabela A.10: Avaliação do pilar P78 do Palácio da Justiça	141
Tabela A.11: Avaliação do pilar P79 do Palácio da Justiça	141
Tabela A.12: Avaliação do pilar P80 do Palácio da Justiça	141
Tabela A.13: Avaliação do pilar P81 do Palácio da Justiça	142

Tabela A.14: Avaliação do pilar P82 do Palácio da Justiça	142
Tabela A.15: Avaliação do pilar P83 do Palácio da Justiça	142
Tabela A.16: Avaliação do pilar P84 do Palácio da Justiça	143
Tabela A.17: Avaliação do pilar P85 do Palácio da Justiça	143
Tabela A.18: Avaliação dos pilares P86 a P95 do Palácio da Justiça	143
Tabela A.19: Avaliação das “lâminas” que formam o brise, fachada oeste do Palácio da Justiça	144
Tabela A.20: Avaliação das vigas de bordo da cobertura do Palácio da Justiça.....	144
Tabela A.21: Avaliação das vigas do pergolado, de 32 m, jardim interno do Palácio da Justiça	145
Tabela A.22: Avaliação das vigas do pergolado, de 18 m, jardim interno do Palácio da Justiça	145
Tabela A.23: Avaliação das lajes dos avarandados do Palácio da Justiça	146
Tabela A.24: Avaliação das cascatas, elem. arquitetônicos, do Palácio da Justiça.....	146
Tabela A.25: Avaliação dos semi-arcos, fachada sul, do Palácio da Justiça.....	146
Tabela A.26: Avaliação dos arcos, fachada norte, do Palácio da Justiça	146
Tabela B.1: <i>Check list</i> para inspeção de pilares	148
Tabela B.2: <i>Check list</i> para inspeção de vigas.....	149
Tabela B.3: <i>Check list</i> para inspeção de lajes.....	150
Tabela B.4: <i>Check list</i> para inspeção de elementos arquitetônicos (arcos, cascatas, etc.)	151
Tabela B.5 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (1).....	152
Tabela B.5 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (2).....	153
Tabela D.1: Classes de agressividade ambiental (Tab.1, PNB-1/2001).....	157
Tabela D.2: Classes de agressividade ambiental em função das condições de exposição (Tab.2, PNB-1/2001).....	158
Tabela D.3: Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c=10\text{mm}$ (Tab.4, PNB-1/2001)	159
Tabela D.4: Limites para deslocamentos (Tab.18, PNB-1/2001).....	162

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Vista aérea da Esplanada dos Ministérios, “Eixo Monumental”	2
Figura 2.1 – Esboço do Plano Piloto de Brasília (ArPDF).....	7
Figura 2.2 – Fachada principal do Palácio da Alvorada	9
Figura 2.3 – Detalhe dos pilares da fachada do Palácio da Alvorada	10
Figura 2.4 – Estrutura da fachada do Palácio da Alvorada em construção (Oríco, 1961) ..	10
Figura 2.5 – O Palácio do Planalto	11
Figura 2.6 – Pilares externos do Palácio do Planalto	12
Figura 2.7 – Fachada principal do Palácio do Planalto	13
Figura 2.8 – A Catedral de Brasília	14
Figura 2.9 – Estrutura da Catedral de Brasília (Postal Colombo).....	14
Figura 2.10 – Deslocamentos do modelo realizado no programa Ansys (Pessoa, 2002)....	15
Figura 2.11 – O Congresso Nacional	16
Figura 2.12 – Corte radial da estrutura da Câmara dos Deputados (ArPDF).....	17
Figura 2.13 – Armação das cúpulas do Congresso Nacional (Tamanini, 1994).....	18
Figura 2.14 – Detalhe da estrutura das torres do Congresso Nacional (ArPDF).....	18
Figura 2.15 – A construção do Palácio do Congresso Nacional (ArPDF)	19
Figura 2.16 – Palácio do Itamaraty (Santos Jr., 2004)	19
Figura 2.17 – A estrutura do Palácio do Itamaraty (ArPDF).....	20
Figura 2.18 – Modelo estrutural do Itamaraty, SAP 2000 (Santos Jr, 2004)	21
Figura 2.19 – Maquete do ICC (Ceplan).....	22
Figura 2.20 – Vista aérea do ICC (Google Earth).....	23
Figura 2.21 – Corte transversal do I.C.C. (Cedoc-UnB).....	24
Figura 2.22 – Montagem das vigas pré-moldadas da cobertura do ICC (Cedoc-UnB).....	24
Figura 3.1 – Classificação das ações	34
Figura 4.1 – Esplanada dos Ministérios a partir do Congresso; À esquerda o Palácio do Itamaraty, relações exteriores, e à direita o Palácio da Justiça (Hermínio Oliveira)	38
Figura 4.2 – Fachada principal do Palácio da Justiça (Isaac Amorim)	39
Figura 4.3 – Maquete do Edifício-Sede, 1965 (Divisão de Obras – MJ)	40
Figura 4.4 – Execução das fundações do Palácio da Justiça (Divisão de Obras - MJ)	41
Figura 4.5 – Execução da 1ª. laje – Térreo (Divisão de Obras – MJ)	42
Figura 4.6 – Execução da 2ª. laje (Divisão de Obras – MJ)	42

Figura 4.7 – Execução da 4ª. laje (Divisão de Obras – MJ).....	42
Figura 4.8 – Execução da 6ª. laje - Cobertura (Divisão de Obras – MJ).....	43
Figura 4.9 – Início das fôrmas do brise-soleil, fachada oeste (Divisão de Obras – MJ).....	43
Figura 4.10 – Fôrmas das cascatas, fachada principal (Divisão de Obras – MJ).....	43
Figura 4.11 – Desforma da fachada leste (Divisão de Obras – MJ).....	44
Figura 4.12 – Desforma dos arcos e cascatas, fachada principal (D. O. – MJ).....	44
Figura 4.13 – Estrutura do Palácio da Justiça em fase final (Divisão de Obras – MJ).....	44
Figura 4.14 – Fachada principal, fachada sul do Palácio da Justiça.....	47
Figura 4.15 – Fachada oeste, “brise-soleil”, do Palácio da Justiça.....	48
Figura 4.16 – Fachada leste do Palácio da Justiça.....	48
Figura 4.17 – Fachada norte do Palácio da Justiça.....	49
Figura 4.18 – Jardim interno do Palácio da Justiça.....	49
Figura 4.19 – Fôrma do pavimento térreo, Palácio da Justiça (sem escala).....	52
Figura 4.20 – Fôrma do 2º. pavimento do Palácio da Justiça (sem escala).....	53
Figura 4.21 – Detalhe da estrutura do auditório, em elevação (sem escala).....	54
Figura 4.22 – Vista interna do Palácio da Justiça, Salão Negro.....	54
Figura 4.23 – Fôrma do 3º. pavimento do Palácio da Justiça (sem escala).....	55
Figura 4.24 – Fôrma do 4º. e 5º. pavimento do Palácio da Justiça (sem escala).....	56
Figura 4.25 – Fôrma da cobertura do Palácio da Justiça (sem escala).....	57
Figura 4.26 – Casa de máquina acima do nível da cobertura.....	59
Figura 4.27 – Fachada do Palácio da Justiça, antes e depois da modificação nos arcos (Botey, 1997).....	59
Figura 5.2 – Fluxograma da metodologia GDE/UnB (Castro, 1994).....	64
Figura 5.3 – Fator de intensidade, F_i , para alguns elementos da estrutura do Palácio.....	67
Figura 5.4 – Grau de deterioração das famílias de elementos do Palácio da Justiça.....	72
Figura 5.4 – Localização, em planta, dos elementos avaliados por meio de ensaios.....	75
Figura 5.5 – Extração de testemunhos da estrutura do Palácio da Justiça.....	76
Figura 5.6 – Testemunhos extraídos da estrutura do Palácio da Justiça.....	77
Figura 5.7 – Reação do indicador, fenolftaleína, em fraturas realizadas nas vigas do pergolado, devidamente escoradas.....	78
Figura 5.8 – Absorção por capilaridade dos elementos avaliados, em função do tempo....	79
Figura 5.9 – Variação linear da absorção capilar, em função da raiz quadrada do tempo..	80
Figura 5.10 – Resistência à compressão dos elementos avaliados.....	81
Figura 5.11 – Cobrimento deficiente em pilar de fachada do Palácio da Justiça.....	82

Figura 5.12 – Pilar P80, corrosão acentuada na armadura principal e estribos.....	83
Figura 5.13 – Efeito da espessura do cobrimento na probabilidade de falha para estruturas em ambiente externo protegido da chuva (Figueiredo, 2004).....	86
Figura 5.14 – Hidro-jateamento da fachada sul do Palácio da Justiça, em execução	87
Figura 5.15 – Fachada principal do Palácio da Justiça após hidro-jateamento	88
Figura 5.16 – Etapas da recuperação das vigas do pergolado	89
Figura 5.17 – Vigas do pergolado, jardim interno, após a recuperação	89
Figura 5.18 – Grau de deterioração das famílias de elementos, após as intervenções	90
Figura 6.1 – Espaçamento entre as barras da grelha de uma laje nervurada	94
Figura 6.2 – Exemplo de discretização do pavimento em grelha (CAD/TQS).....	94
Figura 6.3 – Modelo integrado: grelha + pórtico espacial.....	96
Figura 6.4 – Modelo 3D da estrutura interna do Palácio da Justiça (CAD/TQS)	98
Figura 6.5 – Variação de temperatura anual em Brasília, no período de 1961 a 1990 (INMET, 2006).....	100
Figura 6.6 – Deslocamentos verticais da estrutura do térreo, em cm (CAD/TQS)	104
Figura 6.7 – Deslocamentos verticais da estrutura do 2º. pav., em cm (CAD/TQS)	105
Figura 6.8 - Deslocamentos verticais da estrutura do 3º. pav., em cm (CAD/TQS).....	105
Figura 6.9 - Deslocamentos das estruturas do 4º. e 5º. pav., em cm (CAD/TQS)	106
Figura 6.10 - Deslocamentos da cobertura, em centímetros (CAD/TQS).....	107
Figura 6.11 – Deslocamentos horizontais da cobertura, em centímetros, devido à variação de temperatura de $\pm 15^{\circ}\text{C}$ (CAD/TQS).....	108
Figura 6.12 – Forças normais nas vigas da cobertura, em kN, $\Delta T = +15^{\circ}\text{C}$	109
Figura 6.13 – Deslocamentos horizontais, em centímetros, pela ação do vento com incidência de 0° (CAD/TQS)	110
Figura 6.14 – Deslocamentos horizontais, em centímetros, pela ação do vento com incidência de 90° (CAD/TQS)	111
Figura 6.15 - Deslocamentos horizontais, em centímetros, pela variação de temperatura de $+15^{\circ}\text{C}$ (modelo pórtico espacial, CAD/TQS).....	112
Figura 7.1 – Lei de evolução de custos (Helene, 1992 apud SITTER, 1984).....	116
Figura 7.2 – Fluxograma para um plano de manutenção (Castro <i>et al.</i> , 2003)	117
Figura 7.3 – Modelo de desempenho de uma estrutura sob manutenção periódica (adaptada de Cunha, 2006)	118
Figura 7.3 – Proposta de modelo para o desempenho da estrutura do Palácio da Justiça.	119

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

Unesco	- Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura
PECC/UnB	- Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília
Etalp	- Escritório Técnico Arthur Luiz Pitta
Icomos	- Comitê Científico Internacional para Análise e Restauração de Estruturas do Patrimônio Arquitetônico.
Novacap	- Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil
ArPDF	- Arquivo público do Distrito Federal
ICC	- Instituto Central de Ciências
Ceplan	- Centro de Planejamento Oscar Niemeyer
Cedoc - UnB	- Centro de Documentação da Universidade de Brasília
FIP	- Federação Internacional de Protensão
ABECE	- Associação brasileira de engenharia e consultoria estrutural
Inmet	- Instituto nacional de meteorologia
Specon	- Sistema de Projetos para Edifícios de Concreto
GDE/UnB	- Metodologia para a avaliação quantitativa do grau de deterioração de estruturas de concreto
ELU	- Estados limites últimos
ELS	- Estados limites de serviço
σ_r	- Tensão mínima de ruptura do concreto à compressão aos 28 dias
f_{ck}	- Resistência característica à compressão do concreto
f_{yk}	- Resistência característica ao escoamento do aço de armadura passiva
F_p	- Fator de ponderação do dano
F_i	- Fator de intensidade do dano
D	- Grau do dano
G_{de}	- Grau de deterioração do elemento
G_{df}	- Grau de deterioração de uma família de elementos

F_r	- Fator de relevância estrutural
G_d	- Grau de deterioração global da estrutura
ΔT	- variação de temperatura
γ_z	- coeficiente para a avaliação da estabilidade global de edifícios de concreto armado
E_{cs}	- Módulo de elasticidade secante do concreto
G_c	- Módulo de elasticidade transversal do concreto
ν	- Coeficiente de Poisson
$F_{d,serv}$	- Valor de cálculo das ações para as combinações de serviço
$F_{G_i,k}$	- Ações permanentes diretas
$F_{Q_j,k}$	- Ações variáveis diretas
ψ_{2j}	- Fator de redução quase permanente para as ações variáveis diretas

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - GENERALIDADES

Com menos de 50 anos de sua inauguração, em 1960, Brasília, com sua reconhecida qualidade de vida, é a realização dos sonhos de seus criadores e fonte de inspiração da vanguarda da arquitetura e engenharia modernas. A cidade é patrimônio cultural da humanidade, título outorgado pela Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (Unesco), desde 1987. O tombamento de Brasília possui caráter inédito, uma vez que somente cidades seculares haviam sido tombadas.

A preservação do patrimônio nacional é matéria definida e estabelecida na constituição brasileira. Para isso, é importantíssima a educação patrimonial, de modo a estabelecer conceitos e princípios para a conservação do conhecimento, compondo, assim, a memória dos monumentos. Em muitos países desenvolvidos, com a valorização adequada do patrimônio histórico, existem inúmeras publicações sobre as técnicas de engenharia envolvidas na criação e execução de seus monumentos, o que possibilita a avaliação continuada de sua situação física, subsidiando programas de manutenção periódica e conservação.

O professor Augusto Carlos de Vasconcelos, em seu livro *O Concreto no Brasil* (1992), menciona a obra de Brasília como um acontecimento marcante na engenharia e na arquitetura mundial e questiona o desprezo à história da Engenharia Estrutural de Brasília, constatado mesmo nos meios técnicos e classistas da engenharia. Muitas revistas nacionais e internacionais descreveram os trabalhos de Oscar Niemeyer e Lúcio Costa para a capital; entretanto, os engenheiros não escreveram praticamente nada sobre suas realizações nessas obras, seja sobre as estruturas, as instalações, as obras hidráulicas ou de saneamento.

Assim, o Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC/UnB) na linha de pesquisa Patologia, Recuperação e Manutenção de Estruturas, vêm desenvolvendo uma série de trabalhos, idealizados para preencher essa lacuna na preservação da história da Engenharia Estrutural dos monumentos de Brasília. Assim como boa parte das edificações de relevância histórica no país, os monumentos de Brasília não tiveram a

atenção adequada para o registro da sua concepção e do cálculo estrutural, além das técnicas construtivas empregadas.

1.2 - MOTIVAÇÃO

Para a Engenharia Estrutural, as obras de Brasília significaram novidade, audácia, arrojo e evidenciam resultados surpreendentes. Poderiam, também, com o estudo adequado das técnicas de projeto e construção utilizadas, revolucionar muitas conquistas teóricas consagradas, se os profissionais e pesquisadores da engenharia resolvessem se dedicar ao estudo e análise dessas estruturas. Como destaca o professor Augusto Vasconcelos: “As estruturas lá estão e podem ser observadas em seu desempenho, seus defeitos e suas anormalidades” (1992).

Engajado nesse mesmo pensamento, o presente trabalho vem se somar às dissertações de mestrado de Pessoa (2002), sobre a estrutura da Catedral Metropolitana de Brasília, e de Santos Jr. (2004), sobre a estrutura do Palácio do Itamaraty – Ministério de Relações Exteriores, como parte dessa série que o PECC/UnB se propôs a desenvolver.

Dentre o conjunto de monumentos de Brasília, destaca-se o edifício sede do Ministério da Justiça, o Palácio da Justiça, em local privilegiado da Esplanada dos Ministérios, na Via N1 do Eixo Monumental, onde se concentram alguns dos principais monumentos arquitetônicos da cidade, como ilustrado na Figura 1.1.



Legenda:

- 1- Catedral Metropolitana
- 2- Palácio do Itamaraty
- 3- Palácio da Justiça
- 4- Congresso Nacional
- 5- Palácio do Planalto
- 6- Palácio do Supremo Tribunal Federal

Figura 1.1 – Vista aérea da Esplanada dos Ministérios, “Eixo Monumental” (Google Earth)

Objeto desta pesquisa, a estrutura do Palácio da Justiça é a primeira sede própria do mais antigo ministério da República, figurando entre os belos exemplos da arquitetura de Oscar Niemeyer e com o projeto estrutural realizado pelo Escritório Técnico Arthur Luiz Pitta (Etalp), de São Paulo - SP.

Chegando aos 35 anos de idade, o edifício é visitado por turistas na capital e considerado um dos frutos mais relevantes da genialidade de Niemeyer, merecendo receber uma atenção compatível, que possa assegurar a extensão de sua vida útil.

1.3 - OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar as condições atuais da estrutura do Palácio da Justiça, tendo em vista os aspectos de segurança, funcionalidade, durabilidade e estética.

Como objetivos específicos, pretende-se:

- Caracterizar a estrutura da edificação, sua história, projetos, tecnologia construtiva e intervenções;
- Quantificar o grau de deterioração da estrutura, com a aplicação da Metodologia GDE/UnB, desenvolvida no PECC e com eficiência testada em diversos trabalhos (1994, 1998, 2002);
- Realizar ensaios e procedimentos para a caracterização do concreto de elementos estruturais;
- Avaliar o comportamento da estrutura nos seus 35 anos de idade, utilizando modelos contemporâneos de análise, por meio de programa computacional de uso corrente (Sistema CAD/TQS);
- Propor estratégias para um programa de manutenção de longo prazo, para garantir a vida útil do monumento.

Apesar da dificuldade em se obter registros sobre a obra do Palácio da Justiça, foi possível evidenciar os aspectos mais importantes de sua concepção e história, referentes,

principalmente, à estrutura do edifício. Inclusive, esclarecer certos aspectos peculiares com base nas modificações às quais o edifício foi submetido após sua inauguração.

O resultado da avaliação estrutural se mostrou coerente, refletindo razoavelmente o estado de deterioração encontrado na estrutura, não compatível com uma edificação pertencente ao conjunto de monumentos do patrimônio cultural da humanidade.

Mesmo sem ter acesso ao projeto estrutural completo, foi realizada uma análise da estrutura do Palácio, por meio de modelos computacionais, mostrando a boa qualidade do projeto realizado quase 40 anos atrás, em certos pontos, em que foi comparado com as prescrições normativas atuais.

Como conclusão, foi proposta uma estratégia para a implantação de um programa de manutenção, visando restabelecer níveis aceitáveis de desempenho para essa estrutura e, posteriormente, garantir a extensão da vida útil do Palácio da Justiça.

1.4 - ESTRUTURA DO TRABALHO

O corpo deste trabalho está dividido em oito capítulos, incluindo esta Introdução. Além disso, existem três apêndices que trazem as informações complementares.

No Capítulo 2, é feita uma descrição sucinta de alguns monumentos arquitetônicos de Brasília, obras de Oscar Niemeyer, em uma abordagem focada nas características estruturais das edificações, que à época, representaram grande arrojo nas soluções adotadas. Foram priorizados os mais antigos e importantes monumentos, sendo feita a descrição dos palácios da Alvorada, do Planalto, do Congresso Nacional, do Itamaraty, da Catedral Metropolitana e do Instituto Central de Ciências da Universidade de Brasília.

O Capítulo 3 reúne alguns princípios fundamentais, na forma de um guia prático para a avaliação de estruturas de concreto. O desenvolvimento desse capítulo é resultado do estudo de recomendações para a avaliação de estruturas e baseado, principalmente, no documento Análise, Conservação e Restauração do Patrimônio Arquitetônico, aprovado pelo comitê científico do ICOMOS (2001).

No Capítulo 4, é feita a apresentação do Palácio da Justiça, sendo descrita a história de sua construção, com referências à concepção, projeto estrutural, arquitetura, tecnologia construtiva, materiais e modificações. O objetivo deste capítulo é contribuir para o cadastramento de informações históricas relevantes sobre a estrutura do monumento, sendo também parte integrante da sua avaliação.

O Capítulo 5 apresenta as condições da estrutura do Palácio da Justiça no seu estado atual. Para isso, foi aplicada a Metodologia GDE/UnB para quantificação do grau de deterioração de estruturas de concreto, além de uma investigação por meio de ensaios e procedimentos para a caracterização do material. Este capítulo abrange uma análise dos principais mecanismos de deterioração encontrados nos elementos do Palácio da Justiça.

O Capítulo 6 tem o objetivo de analisar a concepção estrutural do Palácio da Justiça, de acordo com o projeto original da estrutura. Baseado em métodos correntes de análise estrutural, via ferramenta computacional, são apresentados os modelos idealizados para a avaliação de deslocamentos e esforços atuantes na estrutura, submetida a combinações que envolvem cargas permanentes, acidentais, vento e temperatura.

Com os resultados obtidos dos capítulos anteriores, o Capítulo 7 traz uma proposta de programa de manutenção a ser aplicado na estrutura do Palácio da Justiça, visando contribuir para a garantia e prolongamento da vida útil do monumento.

No Capítulo 8 são apresentadas as conclusões obtidas no trabalho e as sugestões para trabalhos futuros relacionados ao tema deste estudo.

O Apêndice A traz as tabelas de avaliação dos elementos que compõem a estrutura externa do Palácio da Justiça. Essas tabelas foram desenvolvidas utilizando-se planilhas eletrônicas, *software* Excel, seguindo as prescrições da Metodologia GDE/UnB (2002), auxiliando na quantificação do grau de deterioração da estrutura.

Para auxiliar as inspeções rotineiras, parte da proposta do programa de manutenção, no Apêndice B é apresentado um conjunto de planilhas, *check list*, que evidencia os principais pontos a serem investigados, conforme os elementos típicos da estrutura.

O Apêndice C foi utilizado para registrar as informações recebidas do engenheiro Fausto Amadeu F. Favale, participante da concepção do projeto estrutural do Palácio da Justiça pelo Escritório Técnico Arthur Luiz Pitta (Etalp). Essas mensagens foram recebidas no período de junho a novembro de 2006, como resposta aos questionamentos enviados ao engenheiro Fausto Favale, essenciais para esclarecer aspectos históricos e de projeto do Palácio.

Para finalizar, o Apêndice D tem por objetivo conceituar, sucintamente, os danos mais freqüentes em estruturas de concreto. O texto apresentado foi extraído do Roteiro de Inspeção, parte integrante da Metodologia GDE/UnB destinada à avaliação quantitativa do grau de deterioração de estruturas de concreto.

2 - DESCRIÇÃO SUCINTA DAS ESTRUTURAS DE MONUMENTOS DE BRASÍLIA

2.1 - INTRODUÇÃO

A determinação desenvolvimentista do governo Juscelino Kubitschek, de 1956 a 1960, conseguiu cumprir sua maior e de grande impacto meta: a construção de Brasília, a nova capital.

Um grande concurso nacional para escolher o plano urbanístico da nova cidade, que contou com todos os nomes relevantes da arquitetura e do urbanismo brasileiro, premiou, em março de 1957, a proposta do arquiteto e urbanista Lucio Costa.

No traçado urbanístico de Brasília, Lucio Costa definiu, em forma estilizada de um avião, o Plano Piloto. No eixo transversal leste-oeste, denominado “Eixo Monumental”, ficou previsto o conjunto de edifícios destinados aos poderes fundamentais da República: Legislativo, Executivo e Judiciário, que formam um triângulo que configura a Praça dos Três Poderes. Partindo daí rumo à intersecção dos eixos longitudinal e transversal, desenvolve-se a monumental Esplanada dos Ministérios (Figura 2.1).

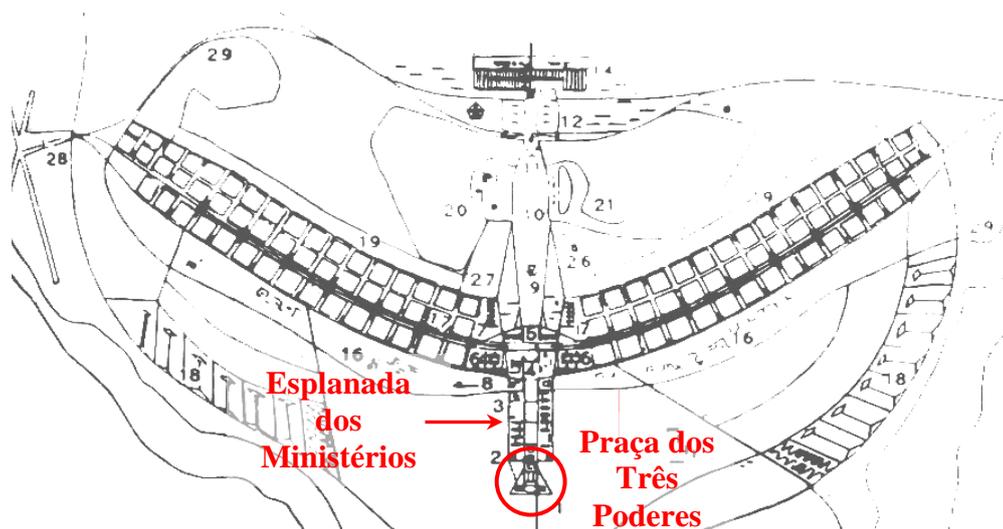


Figura 2.1 – Esboço do Plano Piloto de Brasília (ArPDF)

Com os espaços já previamente definidos no Plano Piloto, ficou a arquitetura dos prédios públicos, na sua maioria, a cargo do arquiteto Oscar Niemeyer.

2.1.1 - A obra de Oscar Niemeyer em Brasília

Após o seu sucesso nos projetos do complexo da Pampulha em Minas Gerais, Niemeyer é convidado pelo então presidente Juscelino Kubitschek, em 1956, para projetar os monumentos da Esplanada dos Ministérios da capital do Brasil. Foi nomeado Diretor do Departamento de Arquitetura da NOVACAP, empresa responsável pela construção de Brasília.

Criticando severamente o modo como os projetos se faziam frios e repetitivos, limitados pela justificativa do funcionalismo, Oscar Niemeyer, com o uso do concreto armado, apostou e buscou a tão requerida liberdade da forma plástica nos seus projetos.

De acordo com o arquiteto, ao iniciar os projetos de Brasília já havia sido estabelecida, juntamente com os técnicos do concreto armado, uma unidade de pensamento indispensável: “As antigas divergências, o rigorismo estrutural e os problemas de falsa economia estavam superados. A leveza arquitetural que tanto nos entusiasmava era por todos compreendida e nela os técnicos do concreto – Joaquim Cardozo, inclusive - se integraram com entusiasmo” (Niemeyer, 1980).

O trabalho do engenheiro estrutural se fez muito importante. A conveniência de criar espaços mais amplos e flexíveis levou o arquiteto e calculista a intervirem nos sistemas estruturais. As estruturas passaram a caracterizar a própria arquitetura.

E foi decidido em buscar a beleza e não somente os aspectos funcionais que Niemeyer projetou os Palácios de Brasília, suas estruturas variadas, seus apoios finíssimos como se apenas tocassem ao chão. Chegou a classificar sua arquitetura em Brasília como a mais livre e rigorosa. Livre, no sentido de conseguir a forma plástica, e rigorosa por ter que mantê-la em perímetros regulares e definidos.

“Víamos com satisfação que o Plano Piloto de Lúcio Costa era justo e certo, que se adaptava bem ao terreno, às suas conformações, e que os espaços livres e volumes previstos eram belos e equilibrados. E sentíamos que a atmosfera procurada já estava presente, uma atmosfera de digna monumentalidade, como uma capital requer, com os ministérios se sucedendo numa repetição disciplinada e a Praça dos Três Poderes rica de formas, e ao mesmo tempo, sóbria e monumental.” (Niemeyer, 1976).

Com a idéia de descrever sucintamente os monumentos de Brasília, buscou-se priorizar os mais antigos e importantes, visando ilustrar, numa abordagem voltada às características estruturais, aqueles que à época, representaram enorme arrojo nas soluções adotadas: os palácios da Alvorada, do Planalto, do Congresso Nacional, do Itamaraty, a Catedral Metropolitana e o Instituto Central de Ciências da Universidade de Brasília.

2.2 - O PALÁCIO DA ALVORADA

Inaugurado pelo presidente Juscelino Kubitschek, este palácio denominado “da Alvorada”, residência do chefe de estado brasileiro, foi executado de 3 de abril de 1957 à 30 de junho de 1958, apenas 15 meses, prazo excepcional para o arrojo da obra. Sua localização, na margem do Lago Paranoá, foi definida antes mesmo da abertura do concurso que escolheria o plano urbanístico de Brasília, sendo o primeiro edifício do conjunto monumental erguido na nova capital da República.

Projetado por Niemeyer, o Palácio Residencial do Presidente da República em Brasília sempre teve o dever de constituir um marco e padrão técnico e artístico da nova capital. Assim como foi previsto, suas características técnicas e plásticas foram temas de grande repercussão.



Figura 2.2 – Fachada principal do Palácio da Alvorada

Segundo o arquiteto, na solução do Palácio Residencial procurou-se dedicar às colunas maior atenção, estudando-as cuidadosamente nos seus espaçamentos, forma e proporção, dentro das conveniências da técnica e dos efeitos plásticos que se desejava obter. Chegou-se a uma solução de ritmo contínuo e ondulado, que confere à construção leveza e elegância, situando-a como simplesmente pousada no solo (Niemeyer, 1957). A Figura 2.3, a seguir, mostra em detalhe a forma dos pilares.



Figura 2.3 – Detalhe dos pilares da fachada do Palácio da Alvorada

Integrado no entusiasmo de atingir as formas que representavam a “leveza arquitetural”, Joaquim Cardozo foi o responsável pelo cálculo estrutural desse palácio. Avançado com relação a toda e qualquer norma ou especificação técnica da época, Cardozo realizou seus cálculos atendendo às imposições arquitetônicas, sendo assim, alvo de muitas críticas (Niemeyer, 1980; Vasconcelos, 1992).

De acordo com Vasconcelos (1992), a estrutura foi projetada de uma forma diferente da que aparenta. Cardozo projetou pilares internos que recebem a maior parcela de cargas, aliviando as solicitações nos pilares da fachada, tornando-os apenas elementos com função estrutural secundária. Nota-se, na Figura 2.4, esses pilares internos, apoiando as lajes dos demais pavimentos e cobertura.



Figura 2.4 – Estrutura da fachada do Palácio da Alvorada em construção (Oríco, 1961)

O núcleo principal do Palácio da Alvorada tem em planta as dimensões de 110 m x 30,5 m, com os pilares da fachada espaçados de 10 m no sentido longitudinal e 30 m no sentido

transversal. Esses pilares recebem somente as cargas oriundas da laje de cobertura e as do piso do “avarandado” (Vasconcelos, 1992).

A construção do Palácio ficou a cargo da construtora Rabello que, em 15 meses, construiu os 13.400m² de edificação. Além da ala central, dividida em três pavimentos, a residência oficial conta com um anexo de serviços e uma capela presidencial. O engenheiro responsável pela obra foi Darcy Amora Pinto.

2.3 - O PALÁCIO DO PLANALTO

A inauguração do Palácio do Planalto marca a história brasileira, por simbolizar a transferência da Capital Federal para o interior do País, promovida no Governo do Presidente Juscelino Kubitschek de Oliveira. No mesmo dia, 21 de abril de 1960, os Três Poderes da República se instalaram simultaneamente em Brasília. O Palácio passou a sediar o Poder Executivo Federal.

Assim como no Palácio da Alvorada, o arquiteto Oscar Niemeyer procurou atribuir às colunas desse palácio uma forma que caracterizasse o edifício, dando-lhe maior leveza e deixando-o aparentemente solto ou apenas tocando o solo.

O palácio possui quatro níveis e seu volume é vedado por caixilhos de vidro; o prédio é recuado em relação à cobertura e circundado por uma galeria. Do nível do observador situado na Praça dos Três Poderes só é possível visualizar os quatro andares, vista reproduzida pela Figura 2.5, mas o prédio possui vários anexos e subsolo.

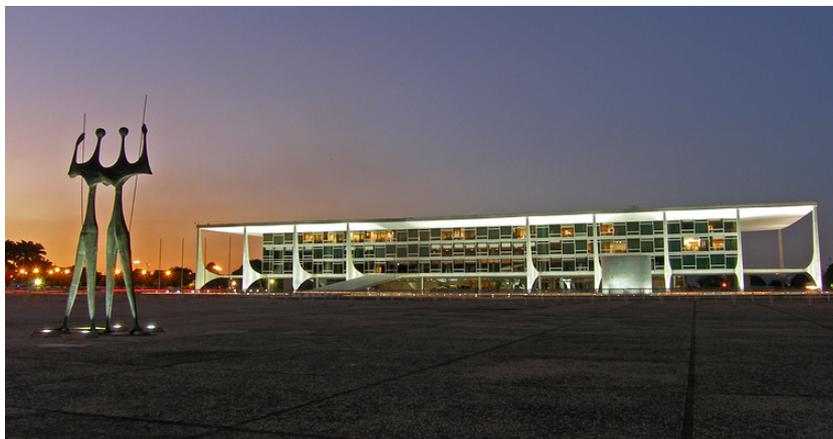


Figura 2.5 – O Palácio do Planalto

Como se pode observar na Figura 2.5, Oscar Niemeyer projetou para a entrada no palácio uma longa rampa, com a eliminação de dois pilares da fachada, tornando sua entrada mais imponente.

Os pilares externos foram projetados com uma aresta retilínea e curvas superiores e inferiores na parte interna, parabolóides. Diferente do que acontece no Palácio da Alvorada, esses pilares não estão com sua forma de destaque voltada para a fachada principal, estão dispostos em ângulo reto, como pode se ver na Figura 2.6. O espaçamento entre pilares é constante de 12,5 metros, com exceção da região da chegada da rampa, onde o espaçamento é de 37,5 metros. Já na direção perpendicular à fachada, a distância entre os pilares externos e internos é de 11 metros (Vasconcelos, 1992).



Figura 2.6 – Pilares externos do Palácio do Planalto

De acordo com Vasconcelos (1992), as cargas avaliadas nos pilares da fachada são de 1000 kN de reação da laje de cobertura e mais 700 kN de peso próprio. Essas cargas são muito menores que aquelas que atuam nos pilares internos que recebem as reações dos demais pavimentos. Entretanto, as seções desses pilares da fachada, no topo e na base, são tão reduzidas que não podem ser consideradas de concreto armado. A percentagem de aços nesses pilares é tão elevada que o engenheiro Joaquim Cardozo, responsável pelo cálculo estrutural do palácio, dimensionou tais seções para que somente o aço resistisse às solicitações. O concreto envolvente tem apenas a função de proteger e garantir a posição das armaduras.

Para conseguir as formas exatas dos pilares, foi necessária a execução de um protótipo de madeira, em escala real, permitindo que Niemeyer observasse seu aspecto visual. As medidas finais foram ajustadas pelo arquiteto, por meio de um esboço em planta do próprio projeto estrutural (Vasconcelos, 1992).



Figura 2.7 – Fachada principal do Palácio do Planalto

A laje de cobertura, que consiste em uma laje nervurada em caixão perdido, tem sua espessura variando em direção à borda. No centro, ela possui 100 cm de altura total e chega até 30 cm na fachada. Na região da chegada da rampa, onde foram eliminados dois pilares, as nervuras foram calculadas para trabalharem em balanço. Explica-se assim, a altura reduzida de 30 cm para o vão de 37,5 m, como pode ser notado na Figura 2.7.

A construção do Palácio do Planalto, iniciada em 10 de julho de 1958, foi realizada pela empresa Construtora Pacheco Fernandes Dantas S/A, que tinha como responsável na obra o engenheiro Fausto A. F. Favale. Segundo Favale, em mensagem pessoal (2006), a inexistência de juntas de dilatação na edificação obrigou, antes da inauguração, a se efetuar a liberação das alvenarias no último pavimento. Quanto à estrutura, por se tratar de lajes em caixão perdido, não são visíveis as fissuras que eventualmente tenham surgido, pela movimentação.

Outro problema conhecido foi a deformação excessiva da laje de cobertura. Mesmo sendo executada com contraflechas, essas deformações foram suficientes para inverter o caimento utilizado. A solução executada, de engrossar o revestimento, acabou agravando o problema. Para disfarçar tais deformações, a borda da fachada foi recoberta por placas de mármore.

2.4 - A CATEDRAL DE BRASÍLIA

Projetada por Oscar Niemeyer e com cálculo estrutural de Joaquim Cardozo, a Catedral de Brasília, para muitos, é a mais completa interação arquitetura-estrutura no século 20. “Em Brasília, está a evidência de criação de uma catedral utilizando uma única peça curva (do chão rumo ao céu) repetida 16 vezes” (Sussekind, 2002).



Figura 2.8 – A Catedral de Brasília

Situada em uma praça autônoma próxima à Praça dos Três Poderes, sua construção foi realizada no período de 1959 a 1970, em dois períodos distintos: fase inicial (1959 a 1960), onde foi construída a estrutura da nave da Catedral; e fase final (1969 a 1970), onde foram construídas as estruturas do espelho d’água e o Batistério (Pessoa, 2002 apud Fundação O. Niemeyer, 2001).



Figura 2.9 – Estrutura da Catedral de Brasília (Postal Colombo)

Em 2002, a Catedral de Brasília foi o objeto de pesquisa da dissertação do Eng. Diogo Fagundes Pessoa (2002) para obtenção do grau de Mestre em Estruturas e Construção Civil pela Universidade de Brasília. Nesse trabalho é caracterizada a estrutura do monumento, sua história, concepção e comportamento, além de ser realizada uma avaliação da situação física em que se encontrava a estrutura.

A cobertura da nave principal da Catedral é sustentada por uma estrutura auto-equilibrada, composta por 16 pilares dispostos circunferencialmente em relação à planta. A estabilidade da super-estrutura é garantida por dois anéis de concreto armado. O anel superior com 22cm de base e 90cm de altura está localizado a aproximadamente 10m do topo dos pilares e absorve os esforços de compressão. O anel inferior (na verdade um conjunto de quatro anéis, unidos por vigas laterais formando uma grelha), ao nível do piso, absorve os esforços de tração, funcionando como um tirante, reduzindo as cargas nas fundações que recebem apenas os esforços verticais.

Com o objetivo de analisar o comportamento dessa estrutura, Pessoa (2002) idealizou modelos estruturais utilizando ferramentas computacionais atuais. Dos resultados, além da constatação que o modelo se comportava da forma prevista na solução original admitida pelo projetista, engenheiro Joaquim Cardozo: esforços de tração no anel inferior e compressão no anel superior, Pessoa (2002) atestou, numa comparação favorável, o cálculo das armaduras dos pilares.

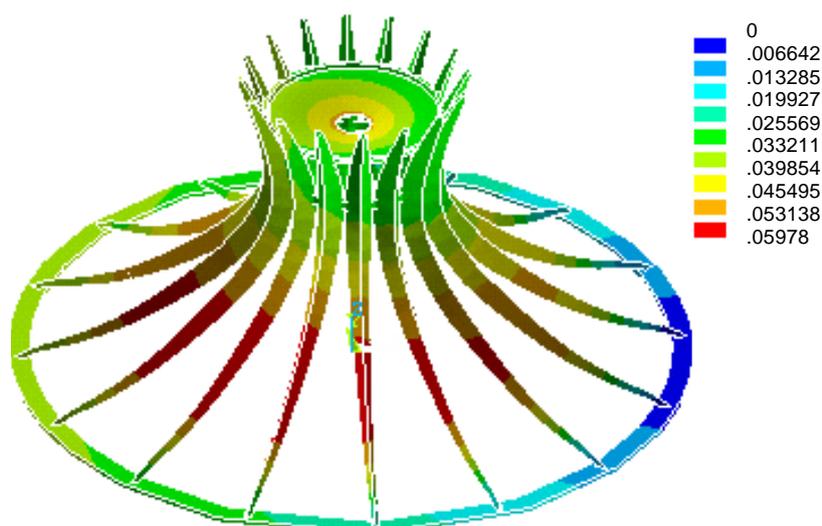


Figura 2.10 – Deslocamentos do modelo realizado no programa Ansys (Pessoa, 2002)

A execução da Catedral de Brasília foi um marco em tecnologia construtiva para a época. As fôrmas dos elementos e o respectivo escoramento metálico, verdadeiras “obras de arte”, são testemunhas da ousadia e competência dos profissionais brasileiros de Engenharia e Arquitetura.

A resistência do concreto à compressão de 35 MPa aos 28 dias, extremamente elevada para a década de 50, exigiu um controle tecnológico rigoroso e qualidade dos materiais constituintes. A utilização de aço torcido, CAT 50, e o emprego de soldas de topo, para evitar o trespasse da armadura longitudinal, foram outras características interessantes dessa obra.

2.5 - O PALÁCIO DO CONGRESSO NACIONAL

O Congresso Nacional, ao lado do Supremo Tribunal de Justiça e do Palácio do Planalto, compõe a Praça dos Três Poderes. O edifício abriga a Câmara dos Deputados e o Senado Federal. Localizado em local de destaque na Esplanada dos Ministérios, é ponto de referência para a capital.



Figura 2.11 – O Congresso Nacional

A concepção de suas formas e dimensões, completamente fora dos padrões usuais, rendeu a Oscar Niemeyer e Joaquim Cardozo um atestado de competência e audácia, conferindo à obra um grau de monumentalidade. O arrojo estrutural chamou atenção dos especialistas do mundo inteiro, que ficaram curiosos de como foi possível tal construção (Vasconcelos, 1992).

Segundo Niemeyer (1960), no Palácio do Congresso a composição se formulou em função dos volumes, dos espaços livres, da profundidade visual e das perspectivas e, especialmente, da intenção de atribuir ao edifício um caráter monumental, com a simplificação de seus elementos e a adoção de formas puras e geométricas. Decorreu daí o projeto do Congresso, onde o arquiteto utilizou as cúpulas para atribuir-lhe uma característica hierárquica. A cúpula convexa representa a Câmara dos Deputados, maior e chapada no alto, sugerindo que o plenário está aberto ao povo. Enquanto que a cúpula côncava, menor, abriga a sede do Senado Federal, retratando um local propício para reflexão, serenidade, ponderação e equilíbrio.

Assim, o trabalho do calculista Joaquim Cardozo se fez muito importante. De acordo com Niemeyer (1980), Cardozo um dia lhe telefonou, eufórico, dizendo ter encontrado a tangente que iria tornar a cúpula da Câmara dos Deputados “solta” sobre a laje, como o arquiteto desejara. Ou seja, Joaquim Cardozo teria encontrado de maneira satisfatória a curva que, ao mesmo tempo, permitia um apoio estrutural adequado e que se adaptava à forma plástica exigida na arquitetura (Figura 2.12).

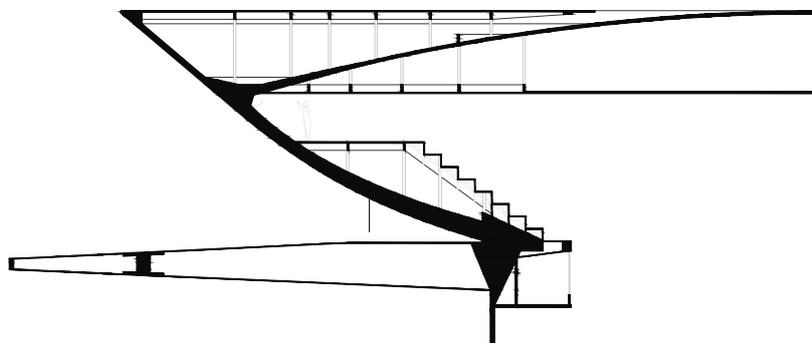


Figura 2.12 – Corte radial da estrutura da Câmara dos Deputados (ArPDF)

O bloco dos plenários, com 200 por 80 metros, representa o ponto fundamental do projeto. Os plenários foram planejados para a capacidade de 1000 pessoas, mais 200 jornalistas, 200 convidados, além de lugares para 700 deputados e 100 senadores. Nas duas torres, com 28 pavimentos, foram planejados a instalação dos serviços administrativos, biblioteca, restaurante e 600 escritórios para os congressistas.

O sistema estrutural da cúpula da Câmara foi o de anéis de aço, com o uso de vergalhões embutidos no concreto, recebendo uma casca de cobertura (ver Figura 2.12). Essa casca

recebe o forro horizontal e uma cobertura em forma de coroa de círculo. O elevado empuxo gerado por essa cobertura é resistido pelos anéis de aço, característica fundamental do projeto dessa cúpula invertida (Vasconcelos, 1992).

A Figura 2.13 retrata a maneira como os operários executaram as armações das cúpulas do Senado e da Câmara dos Deputados.



a) Armação da Cúpula do Senado



b) Armação da Cúpula da Câmara

Figura 2.13 – Armação das cúpulas do Congresso Nacional (Tamanini, 1994)

Para a estrutura das torres do edifício anexo, de 28 andares, foram projetados pilares e vigas em estrutura metálica, conforme se observa na Figura 2.14, e as lajes em concreto armado. As torres são interligadas no meio, formando um “H”. Na simbologia de Niemeyer, o edifício é o mais alto da Praça dos Três Poderes para representar a preponderância do poder do povo.



Figura 2.14 – Detalhe da estrutura das torres do Congresso Nacional (ArPDF)

A empresa responsável pela construção do Congresso foi a Companhia Construtora Nacional. As obras tiveram início com a execução das fundações em outubro de 1957, pela empresa Estacas Franki. Só em meados de 1959, os edifícios começam a tomar forma, com a cúpula do Senado pronta e a armação da Câmara sendo realizada. A inauguração do Congresso Nacional aconteceu na mesma data de Brasília, em abril de 1960.



Figura 2.15 – A construção do Palácio do Congresso Nacional (ArPDF)

2.6 - O PALÁCIO DO ITAMARATY

Sede do Ministério das Relações Exteriores, o Palácio do Itamaraty é mais um fruto da arquitetura de Oscar Niemeyer e dos cálculos de Joaquim Cardozo, na consolidação da monumentalidade empregada na construção de Brasília. Ainda participou dessa realização o arquiteto Milton Ramos, responsável pela execução, e sua equipe de oito arquitetos.



Figura 2.16 – Palácio do Itamaraty (Santos Jr., 2004)

Situado na Esplanada dos Ministérios, próximo ao Congresso Nacional, as obras do Palácio do Itamaraty tiveram início em 1963, sendo finalizadas em 1970. As obras foram executadas pela construtora Pederneiras, empresa contratada pela Novacap (Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil). Sabe-se, também, que a execução dos serviços de fundações foi sub-empregada para a empresa Estacas Franki (Santos Jr., 2004).

A estrutura de concreto armado foi inaugurada em 1966, com a presença do Presidente Castelo Branco, do Chanceler Juracy Magalhães, altas autoridades brasileiras e do corpo diplomático. O arrojo dos vãos, a beleza das formas e o alto padrão técnico empregado na execução foram admirados por todos (Santos Jr., 2004). A Figura 2.17 mostra a estrutura do Palácio em fase final de construção.



Figura 2.17 – A estrutura do Palácio do Itamaraty (ArPDF)

Era tão grande o zelo e apuro de Joaquim Cardozo em manter as seções definidas pela arquitetura, que em visita, Nervi, conceituado engenheiro italiano, deteve-se diante da sobreloja do Palácio do Itamaraty e não se conteve: “Projetamos na Itália uma ponte com três quilômetros de vão, mas a laje desta sobreloja é tão fina que seu cálculo me parece até mais difícil”. (Niemeyer, 1980)

O Palácio possui dimensões em planta de 84m x 84m, e altura de 17,56m, sendo 4,27m no subsolo, todo em concreto armado aparente. Possui 15 linhas de pilares na sua fachada principal, com vão entre pilares de 6m. Calculado sem juntas de dilatação, a estrutura contempla vigas em concreto armado que tiveram alturas fixadas pela arquitetura em 1,2 metros e possuem vãos livres de 36m e 30m.

Seguindo a linha de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, PECC-UnB, de caracterização das estruturas dos monumentos de Brasília, o Eng. Evaristo C. R. dos Santos Júnior, em 2004, estudou os aspectos relacionados com o Palácio do Itamaraty, para obtenção do grau de mestre.

De acordo com Santos Jr. (2004), na armação das vigas de 36m e de 30m, não se utilizou transpasse de armadura, e sim emendas por meio de solda de topo. Uma análise bastante rigorosa através de ensaios de tração por amostragem foi realizada nas barras soldadas para que não viessem a surgir problemas no local da solda. Todos os ensaios foram realizados pela empresa Tecnosolo e pela Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

O Eng. Armando Lima, responsável pelo controle tecnológico da obra, informou que a tensão de ruptura do concreto aos 28 dias chegou a, aproximadamente, 30MPa. Explica ainda que para alcançar tal resistência foi necessária a utilização do aditivo denominado Plastiment – VZ, fabricado pela empresa Sika.

Estudando os valores obtidos pela análise do modelo discretizado, através do programa SAP 2000, Figura 2.18, Santos Jr. (2004) encontra valores de reações verticais, nas fundações, muito próximos das cargas descritas no projeto original de locação e carga dos pilares, evidenciando a boa qualidade do projeto de Joaquim Cardozo, com as modestas ferramentas disponíveis à época.

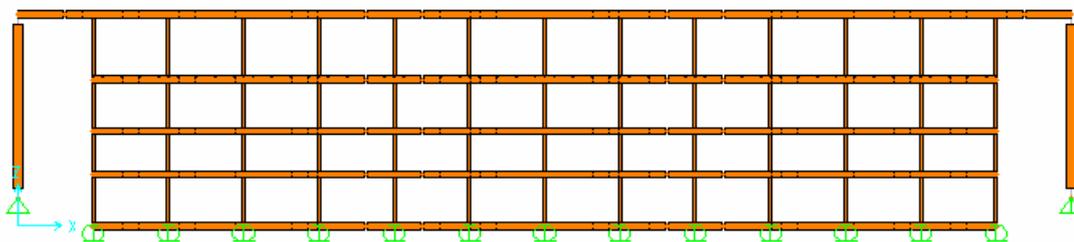


Figura 2.18 – Modelo estrutural do Itamaraty, desenvolvido no SAP 2000 (Santos Jr, 2004)

A Tabela 2.1, mostra a diferença entre os valores obtidos através do modelo citado e os descritos no projeto estrutural original.

Tabela 2.1: Comparação das cargas de fundação do Palácio do Itamaraty (Santos Jr., 2004)

Pilar	Sap2000 (kN)	Proj. Original (kN)	%
P _{arc}	814	940	-13,40
P1	3400	3800	-10,52
P2	5744	5800	-0,01
P3	5532	5800	-4,62
P4	5509	5800	-5,02
P5	5503	5800	-5,12
P6	5507	5800	-5,05

2.7 - O INSTITUTO CENTRAL DE CIÊNCIAS – ICC

Edificação principal da Universidade de Brasília (UnB), o ICC foi projetado por Oscar Niemeyer e construído no período de 1962 a 1975, pela construtora Rabello S.A., sendo o engenheiro Murilo S. Andrade o responsável técnico pela obra. O projeto estrutural é de autoria do escritório Sérgio Marques de Souza, onde o engenheiro Bruno Contarini teve grande participação.

O projeto inicial de Oscar Niemeyer compreendia um bloco de 600 metros de extensão e duas alas paralelas afastadas de 20 metros uma da outra, com algumas coberturas em cascas de concreto, de formas e alturas variáveis, como pode ser observado na Figura 2.19.

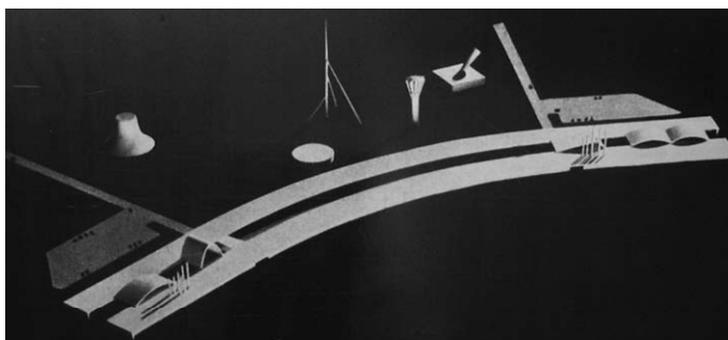


Figura 2.19 – Maquete do ICC (Ceplan)

O ICC comporta a maioria dos departamentos, faculdades, laboratórios e anfiteatros e visava representar a interdisciplinaridade entre os cursos. Sua utilização foi pensada para ser flexível, dando total liberdade nas construções dos laboratórios e fazendo com que os mesmos pudessem crescer ou diminuir de tamanho.

O solo onde o ICC foi construído é do tipo argiloso e com pequena capacidade de suporte, sendo necessárias cerca de 4000 estacas para a execução das fundações, o que inviabilizava sua construção no prazo previsto inicialmente. A solução então adotada pela equipe do projeto estrutural foi a retirada de parte do solo para a execução do subsolo e a adoção de uma camada de cascalho de campo, melhorando assim a sua capacidade resistente. Sobre o cascalho foram executadas as fundações diretas (sapatas). O cascalho funcionou como um radier que transferiu para o solo a mesma tensão antes da retirada do solo primitivo, obtendo recalques na ordem de 1 milímetro (Vasconcelos, 1992).

O “Minhocão”, como é chamado o prédio do ICC, possui hoje cerca de 720 metros de extensão. É formado por dois blocos separados por uma faixa ajardinada de 16,50 metros, conforme mostra a Figura 2.20. Os blocos possuem subsolo, térreo e sobreloja e são simétricos em relação a um eixo central, se desenvolvem com dois trechos retos de comprimento maior que 150 metros e um trecho central curvo de 350 metros.



Figura 2.20 – Vista aérea do ICC (Google Earth)

Os dois blocos paralelos foram chamados de ala dos auditórios e ala dos laboratórios. A ala dos laboratórios possui 29,60 metros e é a mais larga, enquanto que a ala dos auditórios (anfiteatros) possui 26,65 metros de largura. Totalizando uma largura de 72,75 metros, se somarmos o espaço existente entre os mesmos.

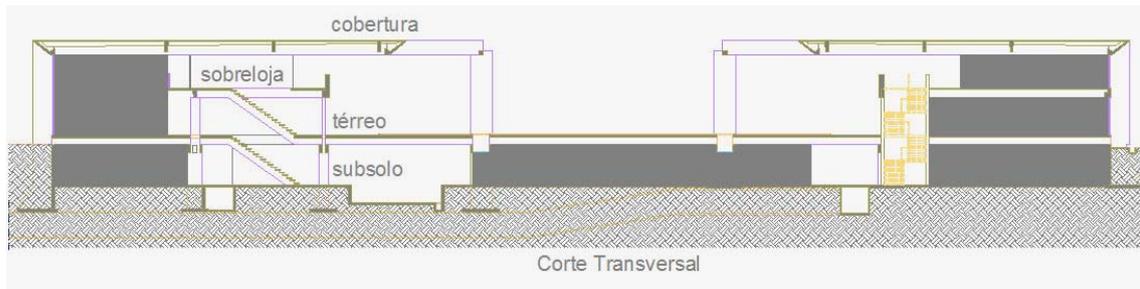


Figura 2.21 – Corte transversal do I.C.C. (Cedoc-UnB)

A estrutura do ICC é composta por 4 linhas de pilares pré-moldados retangulares com seção de 0,20m x 1,50m. O espaçamento entre eles é de aproximadamente 3 metros, e possuem cerca de 10 metros de altura. Foram fabricados com encaixes de modo a receber as vigas dos pavimentos.

Nos trechos das alas dos auditórios e dos laboratórios, os pilares externos recebem as vigas de cobertura que possuem seção variável, ora seção “T”, ora seção retangular. As vigas que vencem a ala dos laboratórios possuem vãos de 29,50 metros e as que vencem a ala dos auditórios possuem 26,35 metros. Ambas são vigas isostáticas em concreto protendido e suas montagens foram realizadas com o auxílio de guindastes, como pode ser observado na Figura 2.22.



Figura 2.22 – Montagem das vigas pré-moldadas da cobertura do ICC (Cedoc-UnB)

A inclusão do ICC na lista de monumentos de Brasília se justifica, uma vez que sua construção foi considerada um grande canteiro de experimentação da tecnologia do pré-moldado, um verdadeiro marco desse segmento no Brasil.

Atualmente, a edificação, que necessita de manutenção especializada e algumas adaptações, é objeto de pesquisa e de trabalhos do Grupo de Patologia, Recuperação e Manutenção de Estruturas do PECC - UnB, inclusive é tema da dissertação de mestrado, em elaboração, do Eng. Régis P. Fonseca, com o objetivo de avaliar o grau de deterioração da estrutura e projetar um plano de reabilitação adequado.

3 - PRINCÍPIOS GERAIS DA AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

3.1 - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos ocorreram enormes avanços nas técnicas de análise experimental e numérica de estruturas existentes. Em meados de 2001, foi aprovado pelo ICOMOS¹ um documento com recomendações para a Análise, Conservação e Restauração Estrutural do Patrimônio Arquitetônico (2001). Essas recomendações são voltadas principalmente para estruturas históricas, seculares, onde é necessário preservar os métodos e materiais utilizados nessas construções, buscando uma conservação de contexto cultural. Ainda assim, essas recomendações possuem em suas diretrizes diversas etapas que podem ser adaptadas para a investigação e, por consequência, ao diagnóstico na avaliação de estruturas mais atuais.

Baseado, principalmente, na idéia desse documento, juntamente com o estudo de publicações correntes, este capítulo traz alguns princípios, na forma de um guia prático, para a realização de uma avaliação em estruturas de concreto.

3.2 - ASPECTOS GERAIS

A avaliação estrutural é um conjunto de atividades necessárias à análise e ao diagnóstico das condições da estrutura de uma edificação existente, perante aos estados limites de serviço e últimos pertinentes (CEB-FIP MC 90, 1991)

Uma avaliação competente pode permitir não só estabelecer a capacidade da estrutura em sua condição atual e real, como também analisar a possibilidade de levá-la a outra condição desejada. Pode ser realizada para se determinar a capacidade estrutural e a integridade da estrutura ou de seus elementos, avaliar problemas estruturais ou provenientes do uso inadequado, determinar a possibilidade de modificar a estrutura para que satisfaça às normas vigentes ou mudanças de uso, e determinar as ações imediatas para

¹ ICOMOS – Comitê Científico Internacional para Análise e Restauração de Estruturas do Patrimônio Arquitetônico.

compatibilizar a condição que afeta a segurança ou estabilidade da estrutura (Monteiro B. E., 2005).

É muito difícil estabelecer um procedimento único, regras e normas para guiar uma avaliação da estrutura de um edifício. No entanto, existe uma combinação de abordagens que demanda tanto dados qualitativos, baseados na observação direta dos danos estruturais, histórico, etc., quanto dados quantitativos baseados em testes específicos e modelos matemáticos usados na engenharia, que podem tornar mais fácil um julgamento sobre a segurança da estrutura analisada e ajudar ainda na escolha de decisões.

As particularidades envolvidas no estudo e na avaliação da segurança de uma construção, as dúvidas nos dados utilizados e a dificuldade em avaliar precisamente os fenômenos envolvidos podem levar a conclusões sem confiabilidade. Assim, é importante um aprofundamento desses aspectos, apresentado a seguir.

3.3 - INVESTIGAÇÃO

A investigação de uma estrutura necessita de uma abordagem interdisciplinar. Por exemplo, o objetivo de uma pesquisa histórica pode ser voltado a questões de significado estrutural, enquanto o historiador pode levantar questões que necessitem de informação estrutural. Portanto, é importante que o pesquisador ou a equipe de pesquisadores seja formada por profissionais com experiência adequada (ICOMOS, 2001)

Para se conhecer uma estrutura é necessário obter informações sobre a sua concepção, as técnicas usadas em seu projeto e construção, os processos e os fenômenos que ocorreram, e, finalmente, o seu estado atual. Este conhecimento, geralmente, pode ser alcançado pelas seguintes etapas:

- Pesquisa histórica abrangendo a vida da estrutura, incluindo tanto as modificações da sua forma como quaisquer intervenções estruturais anteriores;
- Descrição dos materiais e técnicas da construção;
- Descrição da estrutura no seu estado atual, incluindo a identificação dos danos, da deterioração e dos possíveis fenômenos progressivos, usando testes apropriados;

- Identificação das ações atuantes e previstas, do desempenho estrutural e dos tipos de materiais;

Uma vez que as etapas descritas podem ser todas realizadas com diferentes níveis de aprofundamento, é importante estabelecer um plano de atividades de acordo com a complexidade da estrutura estudada.

3.3.1 - Pesquisa Histórica

Inicialmente, faz parte dessa pesquisa caracterizar o edifício, com a identificação de datas, detalhes e condições especiais de execução, dos profissionais e firmas envolvidas nos projetos, construção e intervenções realizadas.

A pesquisa histórica tem a função de esclarecer a concepção e as técnicas usadas na construção, evidenciar as modificações na estrutura e compreender os eventos que possam ter ocasionado danos. A interpretação e o estudo dos registros disponíveis, tais como projetos, memórias de cálculo, certificados de controle tecnológico dos materiais, laudos de sondagens, diários de obra, relatórios de inspeções anteriores, etc., são essenciais para produzir informações confiáveis sobre a história estrutural do edifício. Quaisquer suposições feitas na interpretação dos registros devem ser objetivamente fundamentadas.

Deve ser dada atenção especial a quaisquer danos, colapsos, reconstruções, adições, modificações estruturais e qualquer mudança no uso da construção que conduziram à sua condição atual.

Saber o ocorrido no passado de uma edificação pode ajudar a estimar o grau de segurança do estado atual da estrutura. O histórico demonstra como a estrutura tem interagido com eventos naturais, como sobrecargas imprevistas, variações térmicas, ação do vento, etc., talvez alterando o comportamento original da estrutura e causando rachaduras, fissuras, esmagamentos, deterioração, colapso, etc.

É necessário considerar que, geralmente, os documentos utilizados nessa etapa foram elaborados para fins diferentes daqueles da engenharia estrutural e, desta maneira, podem conter informações incompletas e/ou incorretas, podendo omitir informações importantes do ponto de vista estrutural.

3.3.2 - Inspeção da estrutura

Uma fase importante para a avaliação estrutural é a observação direta da estrutura, com o objetivo de fornecer uma compreensão inicial dessa estrutura e indicar uma metodologia apropriada para as demais investigações a serem realizadas.

Estão incluídos entre os principais objetivos da inspeção:

- Identificar a deterioração e os danos na estrutura;
- Determinar se os fenômenos estão estabilizados ou não;
- Decidir se existe risco imediato e, se necessário, definir medidas urgentes a serem tomadas;
- Caracterizar e estimar a agressividade do ambiente.

Durante a inspeção, devem-se definir as áreas da estrutura nas quais investigações mais detalhadas devem ser realizadas, caso seja necessário, assim como definir que medições e equipamentos deverão ser empregados.

Fotos e levantamentos geométricos devem registrar diferentes tipos de manifestações patológicas nos elementos estruturais, dando atenção especial às evidências de esmagamento do concreto (altas tensões de compressão), aos padrões de fissuras e à existência de deslocamentos do concreto de cobertura das armaduras (altas tensões de tração). As irregularidades geométricas podem ser o resultado de deformações prévias, podem indicar descontinuidades entre diferentes fases construtivas ou podem indicar modificações na concepção estrutural.

A metodologia da Federação Internacional de Protensão (FIP, 1988), para estruturas de concreto armado e protendido, apresenta uma classificação abrangente de intervalos de inspeção, de grande interesse para aplicação em edificações.

Nessa metodologia, os intervalos de tempo para as inspeções, apresentados na Tabela 3.1, são definidos de acordo com sua categoria e a classificação da estruturas em classes, combinadas com o tipo de condição ambiental e de carregamento, da seguinte forma:

a) Classes de estruturas:

Classe 1 – onde a ocorrência de ruptura pode ter conseqüências catastróficas e/ou onde a funcionalidade da estrutura é de vital importância para a comunidade;

Classe 2 – onde a ocorrência de ruptura pode custar vidas e/ou onde a funcionalidade da estrutura é de considerável importância;

Classe 3 – onde é improvável que a ocorrência de uma ruptura leva a conseqüências fatais e/ou onde um período com a estrutura fora de serviço possa ser tolerado.

b) Categorias de inspeção:

Rotineira – realizada em intervalos regulares, com planilhas específicas da estrutura, elaboradas conjuntamente por técnicos responsáveis pelos projetos e pela manutenção;

Extensiva – realizada em intervalos regulares, alternadamente com as rotineiras, com o objetivo de investigar mais minuciosamente os elementos e as características dos materiais componentes da estrutura.

c) Tipos de condições ambientais e de carregamento:

Muito severa – o ambiente é agressivo com carregamento cíclico com possibilidade de fadiga;

Severa – o ambiente é agressivo com carregamento estático ou o ambiente é normal com carregamento cíclico com possibilidade de fadiga;

Normal – o ambiente é normal com carregamento estático.

Tabela 3.1 – Indicação de intervalos de inspeção, em anos. (FIP, 1988)

Classes de estruturas						
Condições ambientais e de carregamento	1		2		3	
	Inspeção Rotineira	Inspeção Extensiva	Inspeção Rotineira	Inspeção Extensiva	Inspeção Rotineira	Inspeção Extensiva
Muito severa	2*	2	6*	6	10*	10
Severa	6*	6	10*	10	10*	-
Normal	10*	10	10*	-	**	**

* Intercalada entre inspeções extensivas

** Apenas inspeções superficiais

Os resultados obtidos das inspeções podem ser complementados ou até mesmo, no caso de dúvidas, justificados através de ensaios específicos.

3.3.3 - Ensaios e procedimentos

A escolha dos ensaios deve ser baseada na detecção dos fenômenos cujo entendimento possa ser importante. Os ensaios têm o objetivo de identificar as características mecânicas (resistência, deformabilidade, etc.), físicas (porosidade, etc.) e químicas (composição, etc.) dos materiais que constituem os elementos, as tensões e deformações da estrutura, a existência de descontinuidades, etc. (ICOMOS, 2001).

Podem-se dividir os ensaios em dois grupos: os ensaios visando o comportamento estrutural e aqueles com vistas à durabilidade. A seguir, alguns exemplos são listados (ABECE, 2005):

- Estrutural:
 - Determinação da bitola e posicionamento das armaduras;
 - Perda de seção da armadura por corrosão;
 - Dureza superficial do concreto;
 - Resistência à compressão e tração de testemunhos extraídos do concreto e de amostras de aço;
 - Provas de carga na estrutura

- Durabilidade:
 - Medida da espessura da camada de concreto de cobrimento;
 - Taxa de corrosão do aço;
 - Profundidade de carbonatação do concreto;
 - Teor de íons cloreto na massa de concreto;
 - Índice de vazios, absorção de água e massa específica;
 - Umidade do ar;
 - Variações de temperatura

Os ensaios devem sempre ser conduzidos por profissionais habilitados, capazes de avaliar corretamente sua confiabilidade e as implicações dos resultados. Sempre que possível, diferentes métodos devem ser usados e os resultados comparados.

3.3.4 - Monitoração da estrutura

A observação da estrutura durante um período de tempo pode ser necessária, para obter informações úteis quando se tem a suspeita de fenômenos não estabilizados e também durante um processo de intervenção estrutural.

Normalmente, os sistemas de monitoração têm como objetivo o registro de alterações de deformações, abertura de fissuras, recalques de fundações, temperatura, etc. No caso do controle de abertura de fissuras, por exemplo, a forma mais simples e econômica de monitorá-las consiste na colocação de testemunhos, selos de gesso ou vidro.

É importante saber que o uso de um sistema de monitoração deve estar sujeito a uma análise de custo-benefício, para que sejam recolhidos apenas os dados realmente necessários para revelar a evolução dos fenômenos estudados.

3.4 - DESEMPENHO ESTRUTURAL

A análise do desempenho de uma estrutura pode ser influenciada por diversos fatores, entre os quais é possível citar como principais: a concepção da estrutura, as características dos materiais constituintes, as ações atuantes e condições ambientais.

3.4.1 - Modelo estrutural

O comportamento real de uma edificação pode ser tão complexo que é necessário identificá-lo por meio de um modelo simplificado, isto é, uma idealização da estrutura que consiga reproduzir, mesmo que de maneira aproximada, sua função em resistir às diversas ações às quais está submetida.

Com o avanço das ferramentas computacionais e da análise experimental, muitas das simplificações utilizadas no passado não são mais necessárias. A estrutura de um edifício pode ser representada por diferentes modelos com diferentes complexidades e graus de aproximação à realidade.

Um bom modelo estrutural, para o cálculo de edifícios de concreto, deve ser realista, isto é, precisa contemplar certas considerações, por exemplo: a heterogeneidade do material

(concreto+aço), seu comportamento não-linear, a fissuração do concreto, suas alterações ao longo do tempo (fluência), a correta rigidez da ligação entre os elementos, tratamento adequado das ações (verticais e horizontais), o efeito incremental das cargas verticais e outros.

A concepção estrutural original pode mudar, em razão de danos, reforços ou outras modificações da edificação. O modelo utilizado para os cálculos tem que levar em conta essas modificações quando o seu efeito puder influenciar significativamente o desempenho estrutural, como por exemplo:

- a redução da capacidade portante por execução de aberturas;
- o aumento de solicitações pela mudança de utilização do edifício;
- a redução da capacidade de suporte do solo de fundação causada por escavações, fundações vizinhas, etc.

3.4.2 - Propriedades dos materiais

As propriedades do concreto, principalmente a resistência à compressão e o módulo de elasticidade, que são parâmetros básicos para qualquer cálculo e avaliação de qualidade e durabilidade podem ser modificadas por mecanismos de envelhecimento e deterioração.

A velocidade de deterioração depende das propriedades dos materiais e da maneira pela qual a estrutura é protegida, bem como sua manutenção. Embora a deterioração possa se manifestar na superfície, e assim ser imediatamente aparente de uma inspeção superficial, há também processos de deterioração que somente podem ser detectados por meio de testes e ensaios.

3.4.3 - Ações a considerar

Segundo a NBR 6118:2003, na análise estrutural deve ser considerada a influência de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a segurança da estrutura em exame, levando-se em conta os possíveis estados limites últimos e os de serviço.

As ações são as causas que provocam esforços e deformações nas estruturas. Do ponto de vista prático, as forças e as deformações impostas pelas ações são consideradas como se

fossem as próprias ações. As deformações impostas são, por vezes, designadas por ações indiretas e as forças por ações diretas. (NBR 8681:2003)

Durante a vida útil de uma edificação, as ações atuantes na estrutura podem ser alteradas e, geralmente, essas alterações podem produzir danos e deterioração. As ações possuem naturezas distintas com diferentes efeitos na estrutura e nos materiais empregados. Na maioria das vezes, mais de uma ação, ou melhor, uma combinação de ações, terá afetado a estrutura e devem ser claramente identificadas antes de decidir as medidas de reparo pertinentes.

As ações podem ser classificadas de acordo com a forma apresentada na Figura 3.1, abaixo:

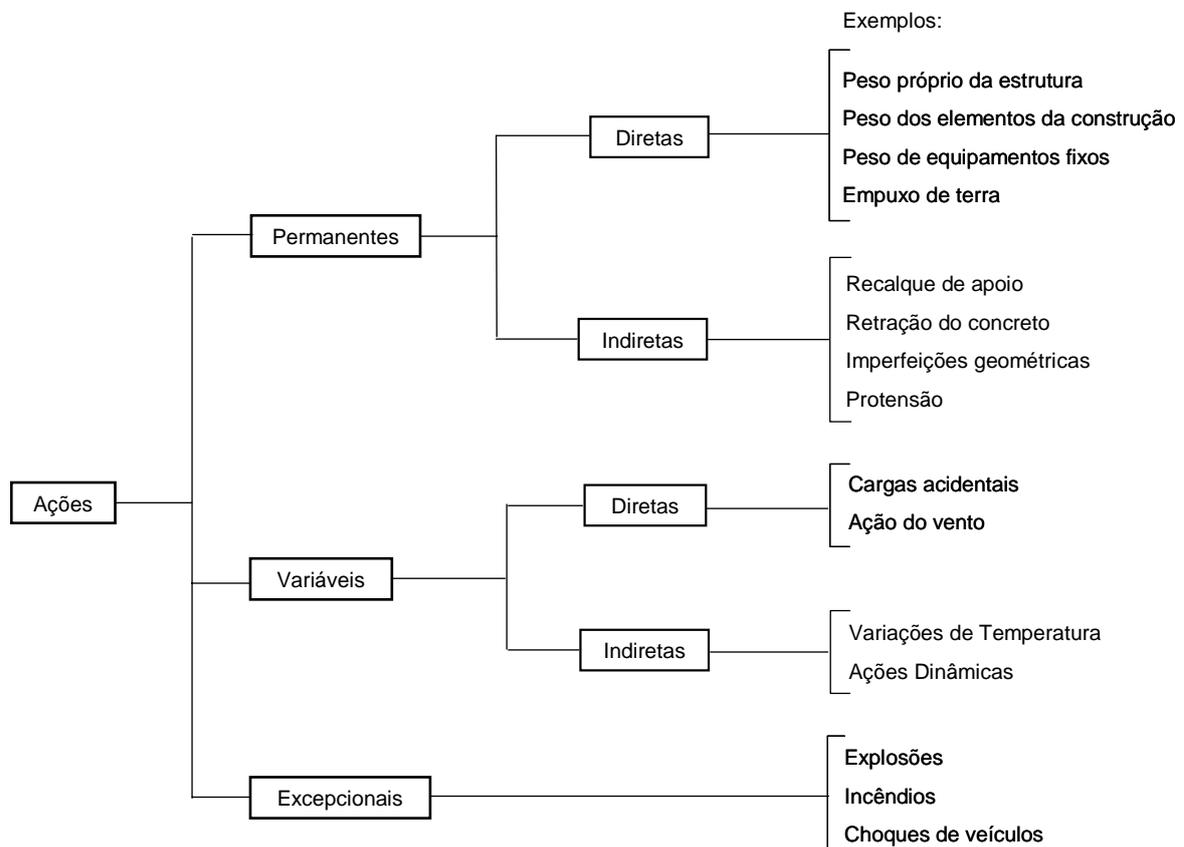


Figura 3.1 – Classificação das ações (adaptado da NBR 8681:2003)

As ações permanentes são aquelas que ocorrem com intensidade constante ou com pequena variação prevista durante a vida útil da construção. Já as ações variáveis ocorrem sem continuidade ou com variações significativas durante a vida da construção.

Essas ações podem ser de dois tipos:

- Ações Diretas – consistem em forças aplicadas diretamente à estrutura;
- Ações Indiretas – são deformações impostas à estrutura. Estas ações só irão produzir esforços no caso das deformações não estarem livres para se desenvolver, elas podem atuar de maneira contínua ou cíclica.

Dada sua natureza, as ações excepcionais são praticamente imprevisíveis quanto ao momento em que podem atuar sobre uma estrutura, e possuem uma probabilidade muito baixa de ocorrência, mas que devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas.

3.4.3.1 - Ações físicas, químicas e biológicas

Os fenômenos relevantes produzidos pelas ações são, em geral, do tipo mecânico, gerando na estrutura diferentes solicitações, tensões e deformações, embora possam, também, estar associadas a outros fenômenos de caráter físico, químico ou biológico.

Tais fenômenos podem afetar o comportamento, a aparência, a durabilidade e, muitas vezes, até a capacidade portante das estruturas.

A combinação com outros fenômenos poderia ser:

- Física – deterioração por desgaste superficial ocasionado, por exemplo, pela abrasão proveniente da circulação de veículos e pessoas;
- Química – a degradação produzida no concreto devido à presença de líquidos contaminados;
- Biológica – o ataque sofrido pelo concreto em estruturas submetidas ao contato com matéria orgânica;

Uma ação muito comum é a corrosão das barras de aço no interior do concreto, que se manifesta por meio de efeitos secundários, tais como fissuração e deslocamento do material.

Identificar o mecanismo que está solicitando e, possivelmente, alterando as propriedades dos materiais deve ser parte do processo de diagnóstico.

3.5 - DIAGNÓSTICO

O objetivo principal de uma avaliação estrutural é a obtenção de um diagnóstico sobre as condições da estrutura, estabelecendo as cargas que ela pode suportar, com um coeficiente de segurança satisfatório e comportamento adequado em serviço (Clímaco e Nepomuceno, 2005).

Na etapa de diagnóstico é importante identificar as causas de danos e deterioração encontrados na estrutura em análise, com base nos dados adquiridos desde o primeiro contato com essa estrutura, passando pelo levantamento histórico (análise de documentos, etc.), avaliação dos sintomas e características dos problemas (análise qualitativa), e realização de ensaios, modelos matemáticos, etc. (análise quantitativa) para provimento de informações.

Os dados se referem aos efeitos encontrados, enquanto o que deve ser determinado e explícito no diagnóstico são as causas, ou as várias causas concomitantes, tarefa essa que possui um elevado grau de dificuldade.

O diagnóstico deve contemplar uma avaliação da segurança, determinando a efetiva necessidade e a extensão das intervenções. Se essa etapa é realizada de forma incorreta, as decisões resultantes poderão ser arbitrárias, ocasionando tomadas de decisões incoerentes e, por consequência, níveis inadequados de segurança.

São por estes motivos que a intuição e a experiência, do profissional envolvido, são componentes essenciais no processo de diagnóstico. Um diagnóstico correto é indispensável para uma avaliação correta da segurança e para o auxílio das tomadas de decisões.

3.5.1 - Avaliação da segurança

O parecer sobre a segurança de uma estrutura é baseado nos resultados obtidos da avaliação, no processo de diagnóstico. Em edificações existentes, deve ser levado em conta

que as incertezas quanto aos fatores de segurança podem ser reduzidas porque o verdadeiro comportamento da estrutura pode ser observado e monitorado.

Qualquer avaliação da segurança estrutural é seriamente influenciada por dois tipos de problema (ICOMOS, 2001):

- A incerteza atribuída aos dados (ações, resistência, etc), leis, modelos, suposições, etc. usados na pesquisa;
- A dificuldade de representar os fenômenos reais de forma precisa.

Assim, ao realizar uma avaliação da segurança de uma estrutura, pode ser necessário apresentar algumas indicações, mesmo que somente qualitativas, da confiabilidade dos dados obtidos e o grau de imprecisão por trás das suposições feitas e nas medidas adotadas.

É importante, que o profissional encarregado da avaliação da segurança de uma edificação existente, não tome decisões baseadas apenas nos resultados de cálculos, por exemplo, pois as informações de outras abordagens, ou ainda, uma análise combinada de todas as informações obtidas pode levar ao melhor parecer.

4 - O PALÁCIO DA JUSTIÇA

4.1 - INTRODUÇÃO

Historicamente, o Ministério da Justiça surgiu com o desdobramento da Secretaria de Estado dos Negócios do Reino, pelo Decreto de 03 de Julho de 1822, quando foi criada a Secretaria de Estado dos Negócios da Justiça e conseqüente nomeação do seu primeiro Ministro da Justiça, Desembargador Caetano Pinto de Miranda Montenegro, Marquês de Praia Grande.

Desde então, o Ministério da Justiça mudou de nome duas vezes, a primeira, a partir de 1892, quando passou a chamar Ministério de Estado da Justiça e Negócios Interiores, e a segunda, em 1969, quando recebeu a denominação de Ministério do Estado da Justiça, em vigor até hoje. Ao longo deste período, o ministério teve 206 ministros, que incluíram grandes personalidades do Império e da República, e passou por várias sedes, nenhuma delas própria.

Com a criação da nova capital, o arquiteto Lúcio Costa, em seu Memorial do Plano Piloto, definiu a localização do Ministério da Justiça em Brasília: “Ao longo dessa Esplanada – o *Mall* dos ingleses – extenso gramado destinado aos pedestres, a paradas e a desfiles, foram dispostos os Ministérios e Autarquias – os das Relações Exteriores e Justiça ocupando os cantos inferiores, contíguos ao edifício do Congresso...”.



Figura 4.1 – Esplanada dos Ministérios a partir do Congresso; À esquerda o Palácio do Itamaraty, relações exteriores, e à direita o Palácio da Justiça (Hermínio Oliveira)

Em 1972, o Ministério da Justiça mudou-se para sua sede definitiva em Brasília, o Palácio da Justiça, que ficou inserido em lugar privilegiado na Esplanada dos Ministérios, no “Eixo Monumental”, fazendo parte do conjunto de edificações que se tornaram monumentos de Brasília.

O projeto arquitetônico do Palácio da Justiça é de autoria do arquiteto Oscar Niemeyer, assim como a maioria dos projetos dos edifícios públicos em Brasília. O arquiteto buscou atribuir aos palácios características que pudessem torná-los dignos de monumentalidade, cheios de formas.

Para o Palácio da Justiça, Oscar Niemeyer apostou nos jogos d’água, colocados na fachada principal, para ser a característica fundamental desse edifício, como o próprio Niemeyer a descreve: “Quando estudei esse palácio, me veio a idéia de criar jogos d’água sobre o lago previsto; e os coloquei entre as colunas do prédio. Foi a primeira fachada de fontes que imaginei e que surpreendeu e agradou a todos, como eu havia pressentido”.



Figura 4.2 – Fachada principal do Palácio da Justiça (Isaac Amorim)

Na comemoração dos 181 anos da existência desse ministério, em 03 de julho de 2003, o presidente da República, Luiz Inácio Lula da Silva, inaugurou a placa com a nova denominação do edifício-sede, que de Palácio da Justiça passou a ser chamado de Palácio da Justiça Raymundo Faoro. A mudança na denominação do prédio foi uma homenagem a um dos mais brilhantes pensadores e juristas brasileiros, Raymundo Faoro, que morreria em maio de 2003, no Rio de Janeiro.

No decorrer deste capítulo, serão abordados os aspectos históricos relacionados à construção do Palácio e serão apresentadas, também, as características arquitetônicas e estruturais do edifício.

4.2 - HISTÓRICO DA CONSTRUÇÃO

O lançamento da “Pedra Fundamental” do edifício-sede do Ministério da Justiça ocorreu em 05 de maio de 1962, em cerimônia presidida pelo então Ministro da Justiça, Deputado Alfredo Nasser, juntamente com a presença de personalidades da época. No entanto, durante os anos seguintes, o acontecimento não passou de mera formalidade. Com exceção da sondagem de reconhecimento do solo, que foi realizada em abril de 1963, nada mais foi realizado para a concretização da obra.

Em maio de 1964, assume o cargo de diretor da Divisão de Obras do Ministério o engenheiro Arnaldo de Macedo Baena. De acordo com Baena (1972), foi preciso adequar o projeto juntamente com o autor, arquiteto Oscar Niemeyer, uma vez que julgou ser impraticável o projeto que já havia sido considerado aprovado para execução. O resultado dessas alterações foi o projeto submetido à aprovação do então Ministro da Justiça, em 1965, Senador Milton Campos, permitindo, dessa forma, que fossem retomadas providências que levassem adiante a construção do edifício.

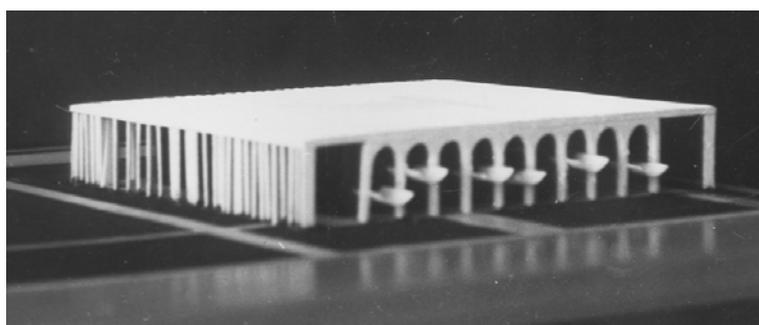


Figura 4.3 – Maquete do Edifício-Sede, 1965 (Divisão de Obras – MJ)

Entre o lançamento da “pedra fundamental” e logo após a aprovação do projeto, os serviços executados foram de pouca expressão, tanto em realização como em custos. Segundo o relatório de Baena (1972), os serviços realizados nesse período foram:

- Em 30 de abril de 1963: sondagem de reconhecimento do solo, procedida pela empresa Engenharia e Tecnologia de Solos e Materiais S/A, Tecnosolo, pelo valor contratado de Cr\$ 1.430,00 (R\$ 3.031,61¹);
- Montagem do canteiro de obras, com início em 30 de julho de 1964, executada pela Construtora Eldorado Ltda., no valor de Cr\$ 14.387,00 (R\$ 30.500,56);
- Escavação e remoção da terra do subsolo, executado por Construtora Farias Rodrigues Ltda., pelo valor de Cr\$ 84.000,00 (R\$ 178.080,67), em setembro de 1965;
- Execução das fundações, com início em 12 de outubro de 1965, pela empresa Estacas Franki Ltda., ver Figura 4.4, com o custo de Cr\$ 119.775,25 (R\$ 253.924,49).



Figura 4.4 – Execução das fundações do Palácio da Justiça (Divisão de Obras - MJ)

Mas, foi no período de maio de 1966 a dezembro de 1969 que a construção do Palácio da Justiça adquiriu real expressão, com a execução da estrutura em concreto armado do edifício pela construtora Civilsan - Engenharia Civil e Sanitária S/A. O valor contratado para tal realização foi de Cr\$ 1.087.801,60 (R\$ 2.306.148,09).

Os trabalhos não se desenvolveram como estavam previstos no cronograma físico-financeiro, em virtude de diversas causas administrativas e técnicas, fazendo com que, além de prolongar o tempo gasto nessa execução, em razão de longas paralisações na obra, os gastos também aumentassem, elevando o valor inicialmente contratado.

¹ Valores corrigidos para Reais através do índice IGP-DI, dezembro de 2006.

As figuras a seguir, fotografias realizadas na época da construção, mostram a seqüência executiva da estrutura do Palácio da Justiça.



Figura 4.5 – Execução da 1ª. laje – Térreo (Divisão de Obras – MJ)



Figura 4.6 – Execução da 2ª. laje (Divisão de Obras – MJ)



Figura 4.7 – Execução da 4ª. laje (Divisão de Obras – MJ)



Figura 4.8 – Execução da 6ª. laje - Cobertura (Divisão de Obras – MJ)

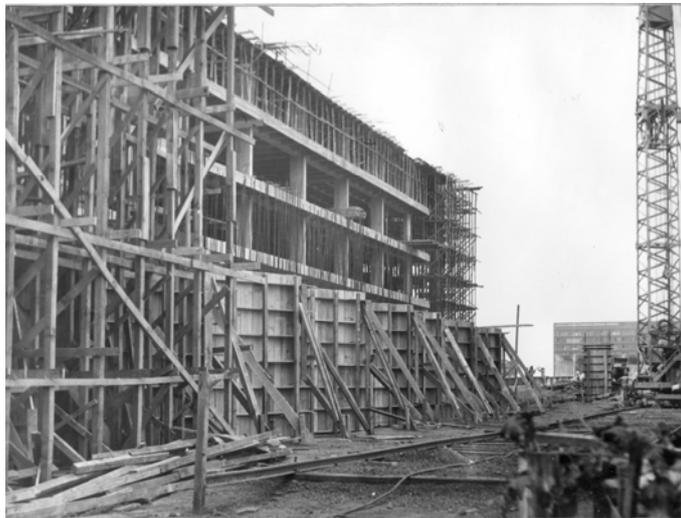


Figura 4.9 – Início das fôrmas do brise-soleil, fachada oeste (Divisão de Obras – MJ)



Figura 4.10 – Fôrmas das cascatas, fachada principal (Divisão de Obras – MJ)



Figura 4.11 – Desforma da fachada leste (Divisão de Obras – MJ)



Figura 4.12 – Desforma dos arcos e cascatas, fachada principal (Divisão de Obras – MJ)



Figura 4.13 – Estrutura do Palácio da Justiça em fase final (Divisão de Obras – MJ)

Das fotografias foi possível esclarecer a ordem em que a estrutura do Palácio foi construída. Primeiramente, foi executado o núcleo central da edificação, os pavimentos propriamente ditos. Somente após sua conclusão, é que foram executadas as estruturas das quatro fachadas principais do prédio.

Nesse mesmo período, ou seja, paralelamente à execução da estrutura, foram executados alguns outros serviços:

- Serviços suplementares de fundações, pela Estacas Franki Ltda., em dezembro de 1966, pelo valor de Cr\$ 106.868,80 (R\$ 226.562,71);
- Fornecimento e montagem de esquadrias de alumínio, pela Cia. Brasileira de Construções Fichet & Schwartz-Hautmont, com custo de Cr\$ 1.138.221,00 (R\$ 2.413.037,63);
- Alvenarias e instalações elétricas e hidráulicas, pela firma Comercial Construtora Guazzelli Perderneiras Ltda., pelo valor de Cr\$ 485.440,22 (R\$ 1.029.137,15);
- Estrutura do túnel de ligação com a Av. N-2 e espelho d'água, por Civilsan – Engenharia Civil e Sanitária S/A, no valor de Cr\$ 240.610,00 (R\$ 510.095,12);
- Impermeabilização, isolamento térmico e escoamento pluvial da cobertura, pela empresa Impeço-Brás Impermeabilizantes e Cobertura Ltda., com custo de Cr\$ 446.839,00 (R\$ 947.302, 25).

No período de 1966 a 1969, foi gasto na construção do Palácio da Justiça o valor de Cr\$ 4.264.033,80 (R\$ 9.039.785,77), juntamente com o acréscimo, pelos serviços de execução da estrutura, pago à Civilsan – Engenharia Civil e Sanitária Ltda. Assim como os anteriores, todos os trabalhos decorreram de concorrência pública, com registros prévios de seus contratos, pelo Tribunal de Contas da União.

Em fevereiro de 1970, o Ministro da Justiça, Prof. Alfredo Buzaid, em cerimônia da mais alta significância, procedeu a simbólica “festa da cumeeira”, no estágio em que a edificação atinge sua cota mais alta.

O projeto estrutural do palácio, após uma fase inicial por engenheiros da NOVACAP, foi realizado pelo Escritório Técnico Arthur Luiz Pitta – ETALP, de São Paulo. Mais adiante, será feita uma abordagem específica desse projeto e dos engenheiros que tiveram participação no trabalho.

O consumo de material nessa realização estrutural atingiu a seguinte ordem de grandeza:

- 885.660 kg de aço, em vergalhões de diversas bitolas;
- 92.000 m² de madeira em fôrmas;
- 8.400 m³ de concreto para edificar uma área de 23.000 m²;
- 30.000 m³ de escavação e remoção de terra, para execução do subsolo.

A partir de 1970, os recursos postos à disposição do Ministério da Justiça, por meio do Ministério do Planejamento, para o prosseguimento das obras do seu edifício-sede foram mais substanciais. Tais recursos foram utilizados para a execução dos seguintes serviços:

- Instalações, paredes e revestimentos;
- Fornecimento e colocação de vidros;
- Fornecimentos e instalação de elevadores;
- Elaboração de projetos e detalhes;
- Regularização e nivelamento dos pisos;
- Impermeabilização do espelho d'água e dos reservatórios subterrâneos;
- Prosseguimento das obras de acabamento;
- Instalação de forros e luminárias;
- Construção do anexo da garagem;
- Instalação do ar-condicionado.

Para tais serviços foi gasta a importância de Cr\$ 7.483.423,00 (R\$ 15.864.916,63), realizados através de Tomada de Preços, sendo encarregadas às seguintes empresas: Civilsan – Engenharia Civil e Sanitária Ltda.; Cia. Comercial de Vidros do Brasil – CVB; Indústrias Villares S/A; Arquiteto Lúcio Grinover; Impeço-Brás Impermeabilizantes e Coberturas Ltda.; Plamit-Planejamentos, Montagens, Instalações Técnicas e Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil – NOVACAP.

No exercício seguinte, 1971, apenas foi dado seguimento aos trabalhos contratados, constantes na relação acima, e celebrado novo convênio com a NOVACAP para conclusão

das obras. De maneira geral, foram investidos recursos da ordem de Cr\$ 18.247.456,00 (R\$ 38.684.752,70) nessa construção, equivalendo no câmbio atual a US\$ 18.250.000,00.

A inauguração do Palácio da Justiça em Brasília aconteceu no dia 03 de julho de 1972, data do sesquicentenário da fundação do Ministério da Justiça, e é o primeiro edifício-sede próprio desse Ministério.

4.3 - A ARQUITETURA

Figurando entre os belos exemplos de nossa arquitetura contemporânea, o Palácio da Justiça, como já mencionado anteriormente, foi projetado pelo renomado arquiteto Oscar Niemeyer, com a participação do arquiteto Renato César Alvarenga.

O palácio consta de um bloco retangular em planta, com 84 x 75 metros de lados, com cinco pavimentos e um subsolo. As suas fachadas são diversificadas, ostentando em cada ponto cardeal uma nova aparência.

A fachada principal, ao sul, na via N1 (Eixo Monumental), apresenta nove semi-arcos interligando os pilares esbeltos, que possuem espaçamento de 6,50 metros entre eles. Esses pilares ainda são interceptados por seis cascatas em vários níveis, com estruturas em balanço, e que formam a principal característica monumental do edifício, os jogos d'água. O jardim aquático, que fica no espelho d'água abaixo das cascatas, é projeto de Roberto Burle Marx (Buzaid, 1974).



Figura 4.14 – Fachada principal, fachada sul do Palácio da Justiça

A fachada oeste é formada por lâminas de concreto armado, formando um “brise-soleil” em toda a sua altura e extensão. Essas lâminas possuem dimensões e ângulos variáveis, com o objetivo de impedir a incidência direta de radiação solar no edifício, atribuindo a essa fachada um aspecto singular, como mostra a Figura 4.15.



Figura 4.15 – Fachada oeste, “brise-soleil”, do Palácio da Justiça

Em oposição à fachada oeste, o lado leste se apresenta extremamente aberto, com sete pilares retangulares esbeltos. O espaçamento entre pilares é de 13,0 metros, fazendo com que esse lado do prédio seja o mais exposto.



Figura 4.16 – Fachada leste do Palácio da Justiça

Por último, a face norte, com seus nove arcos plenos entre pilares caracterizam a fachada posterior do Palácio da Justiça, conforme mostra a Figura 4.17. O espaçamento entre pilares repete a disposição da fachada principal, 6,50 metros.



Figura 4.17 – Fachada norte do Palácio da Justiça

Essas quatro fachadas envolvem o núcleo que constitui a edificação propriamente dita, sendo este um quadrado perfeito com 61,1 metros de lado. Em relação às fachadas, esse núcleo encontra-se recuado de 7 a 11 metros, formando o que, comumente, se chama de “avarandado”, que protege os pavimentos das chuvas e dos rigores solares da região. Os pavimentos ainda possuem esquadrias de alumínio anodizado, com vidros fumês, com a intenção de dar descanso visual da grande luminosidade do local.

Internamente, os pavimentos utilizam simples divisórias para formar o *layout*, que é ocupado pelos diversos setores, secretarias, gabinetes, etc. do Ministério. Ao nível do terceiro pavimento, no centro da edificação, existe um jardim interno, ornamentado por Burle Marx, Figura 4.18. Esse jardim possui pé-direito livre de 10,1 m de altura e com as vigas da cobertura formando um pergolado superior, com vãos livres de 18 e 32 m.



Figura 4.18 – Jardim interno do Palácio da Justiça

4.4 - A ESTRUTURA

O projeto estrutural do Palácio da Justiça foi iniciado pelos engenheiros do Departamento de Urbanismo e Arquitetura da Novacap, mas, posteriormente, foi assumido pelo Escritório Técnico Arthur Luiz Pitta – Etalp, de São Paulo.

O Etalp, escritório especializado em cálculo estrutural, além do Prof. Arthur Luiz Pitta, era formado pelos engenheiros Lello Sisto Ranzini e Fausto Amadeu F. Favale, que em Brasília projetaram as estruturas de diversas obras. Como as mais importantes, pode-se destacar: o Ministério da Justiça, o Ginásio Nilson Nelson, o Superior Tribunal Militar, o Estádio Mané Garrincha e o Autódromo.

Vale destacar que o Prof. Pitta, pela Escola de Engenharia Mackenzie, teve grande participação na história do ensino do concreto armado em São Paulo, sendo biografado por Augusto Carlos de Vasconcelos em sua obra “O Concreto no Brasil – Professores – Cientistas – Técnicos” (1992).

De acordo com Favale (2006), naquela época, fim da década de 60, foi desenvolvido no Etalp um programa para computador do tipo *main-frame*, utilizando a linguagem Fortran II, que recebeu o nome de Specon – Sistema de Projetos para Edifícios de Concreto. Com a utilização desse programa, foram determinados os esforços nas vigas e pilares do Palácio da Justiça. Após obtenção dos esforços, o dimensionamento dos elementos foi realizado manualmente, de acordo com as prescrições da NB1/60, vigente à época.

Ainda de acordo com o relato do engenheiro Favale, os cálculos da NOVACAP para o projeto do Palácio da Justiça foram preliminares e, quando foram iniciados os trabalhos, constatou-se que as fundações já executadas estavam subdimensionadas. Como tais fundações deviam ser aproveitadas, tornou-se extremamente difícil o projeto das fundações da nova estrutura. Foi constatado também que não havia sido prevista nenhuma fundação para os elementos do “brise-soleil” da fachada oeste. Esses fatos explicam a necessidade dos serviços suplementares de fundações, em dezembro de 1966, como consta no relatório de Baena (1972).

A solução para as fundações foi o uso de tubulões em concreto, a céu aberto como mostrou a Figura 4.5, com diâmetros variáveis de acordo com a distribuição das cargas e profundidade média de 25 m. A sondagem de reconhecimento do solo não acusou lençol freático até a cota de expansão dos fustes, onde o terreno é silto-argiloso (Baena, 1972).

Outro fato interessante nesse projeto foi que, com a ausência de Oscar Niemeyer, exilado na Argélia, os técnicos da Novacap decidiram não elaborar o desenho executivo das fôrmas das cascatas da fachada principal. Os engenheiros do ETALP receberam duas maquetes, em madeira de balsa, na escala 1:50; uma delas foi conservada inteira e a outra foi seccionada transversalmente em faixas de 1,0 m de largura, servindo então de base para desenhar as fôrmas.

4.4.1 - O projeto original

Na fase de investigação de documentos deste trabalho, conseguiu-se ter acesso a boa parte dos desenhos do projeto original de estrutura do Palácio da Justiça. Esses desenhos, que se encontram no arquivo do Ministério da Justiça, contemplam as plantas de fôrmas dos pavimentos e cobertura, armação de pilares e algumas armações de vigas e nervuras da estrutura dos pavimentos.

A solução estrutural adotada para o núcleo do palácio, com os pavimentos do edifício, foi a utilização, na sua maioria, de lajes nervuradas (grelha de vigas), vigas e vigas-faixa em concreto armado. O uso de lajes planas convencionais ficou restrito aos banheiros, onde foram executadas com rebaixo em relação ao nível do pavimento, solução adotada para passagem das tubulações e que, depois, eram niveladas com material de enchimento.

As especificações contidas no projeto para a estrutura desses pavimentos estão reproduzidas na Tabela 4.1, a seguir:

Tabela 4.1 – Especificações de projeto para os pavimentos do Palácio da Justiça

CARGAS		CONCRETO	AÇOS	EXECUÇÃO
Sobrecarga	300 kgf/m ²	NB-1 / 1960	NB-1 / 1960	De acordo com as Normas Brasileiras
Enchimentos	1300 kgf/m ³	ARTIGO 89	ARTIGO 86	
Revestimentos	80 kgf/m ²	$\sigma_r \geq 200 \text{ kgf/cm}^2$	CAT50: $\sigma_e \geq 5000 \text{ kgf/cm}^2$	
Alvenarias	1600 kgf/m ³		CAT60: $\sigma_e \geq 6000 \text{ kgf/cm}^2$	

Analisando essas especificações, pôde-se observar que os valores adotados como sobrecargas estão apropriados para o tipo de uso da edificação, tomando como base o que prescreve a NBR 6120:1980, atualmente em vigor. A tensão resistente (σ_r) do concreto especificada corresponderia a uma resistência característica à compressão $f_{ck} \geq 20$ MPa (200 kgf/cm^2), valor ousado, para a época, como em outras estruturas em Brasília. Já o item 86 da NB-1 /1960, aço para armaduras, foi substituído pelo item 13 do Anexo da EB-3/1967, mesmo ano do projeto. Portanto, mesmo sendo especificada com a nomenclatura CA-T, as armaduras já eram constituídas de aço CA 50 e CA 60, semelhantes aos que são empregados atualmente, com resistência característica de escoamento, f_{yk} , de respectivamente 500 e 600 MPa.

As figuras a seguir, fôrmas dos pavimentos do Palácio, foram baseadas no projeto original de autoria do escritório Etalp – Escritório Técnico Arthur Luiz Pitta, e desenhadas pelo autor com os programas AutoCAD (2007) e CAD/TQS.

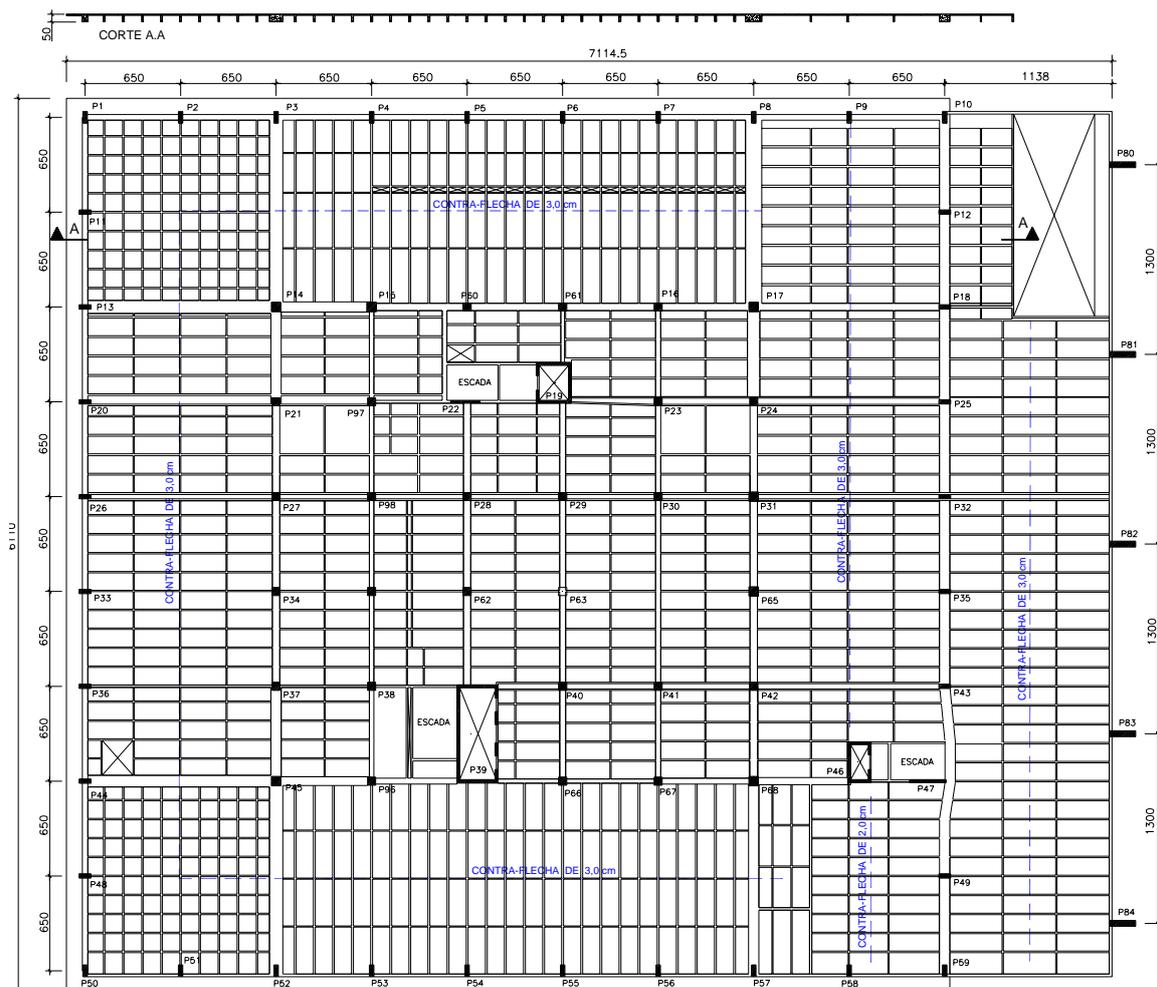


Figura 4.19 – Fôrma do pavimento térreo, Palácio da Justiça (sem escala).

A área que ocupa o pavimento térreo é maior que a dos demais pavimentos, isso porque abrange toda a extensão do subsolo. Na Figura 4.19, pode-se observar a modulação dos pilares e a solução em lajes nervuradas. Todas as vigas e nervuras dos pavimentos possuem a altura de 50,0 cm e as capas dessas lajes possuem espessura variando entre 6,0 e 7,0 cm.

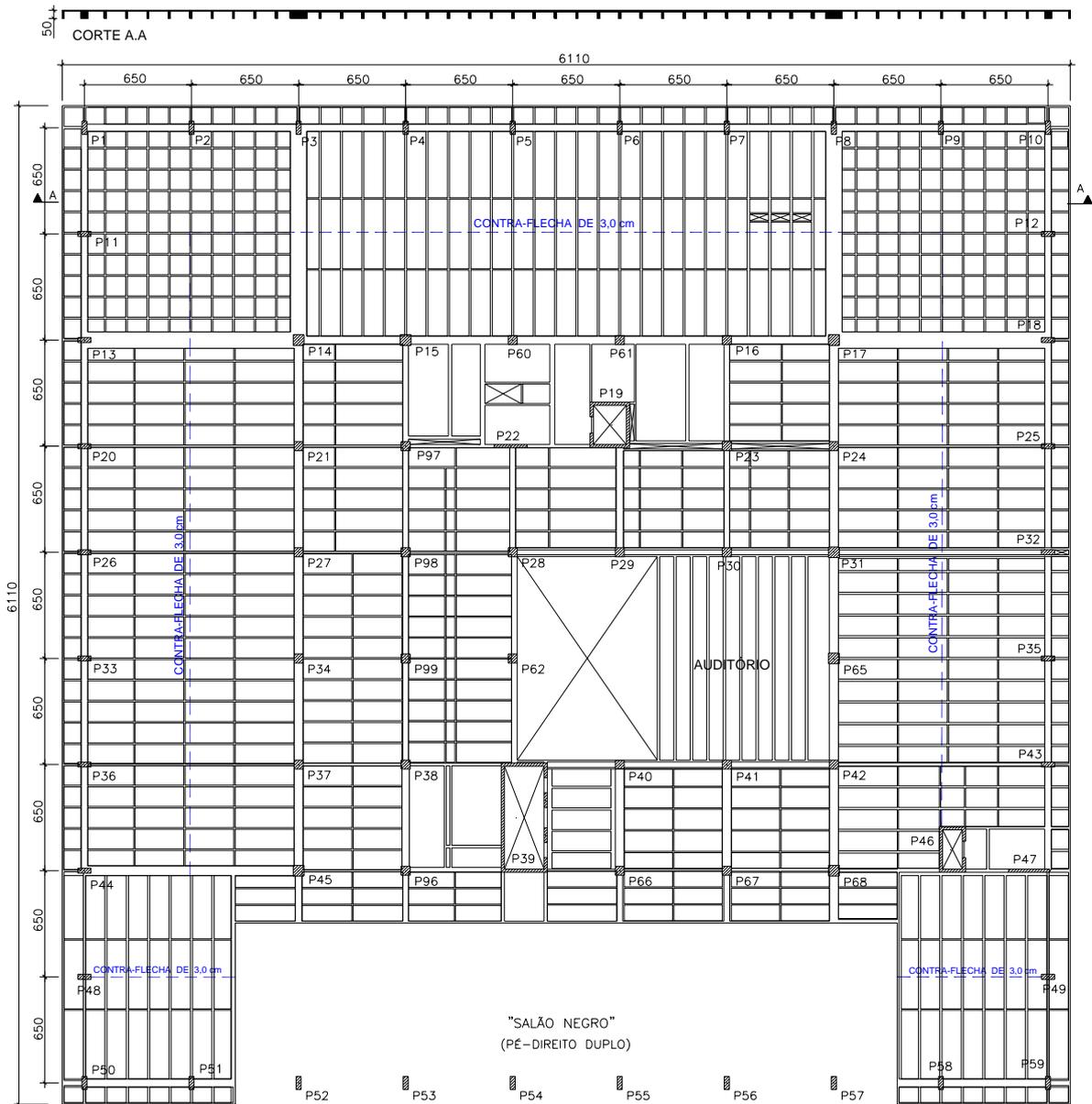


Figura 4.20 – Fôrma do 2º. pavimento do Palácio da Justiça (sem escala)

No segundo pavimento, têm-se duas particularidades: a presença do auditório formado por várias vigas em níveis diferentes, apoiadas em vigas inclinadas nos bordos, até alcançar o

pavimento térreo, ver Figura 4.21, e o espaço frontal com pé-direito duplo, formando os mezaninos do Salão Negro do Palácio, Figura 4.22.

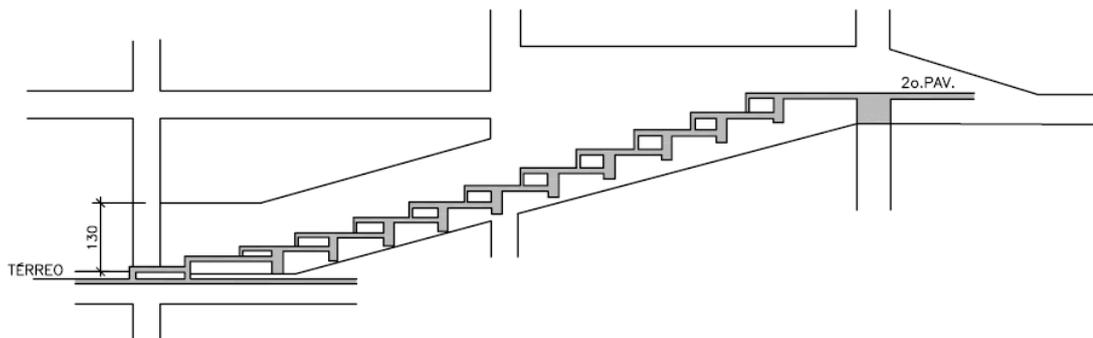


Figura 4.21 – Detalhe da estrutura do auditório, em elevação (sem escala)

A Figura 4.22 é uma fotografia tirada do mezanino do 2º. pavimento, mostrando a elegância do Salão Negro, entrada principal do Palácio da Justiça. Observa-se que os pilares frontais possuem pé-direito duplo, aproximadamente, 7,0 m de altura.



Figura 4.22 – Vista interna do Palácio da Justiça, Salão Negro

Já no terceiro pavimento, o que caracteriza a estrutura são as transições. Essa necessidade ocorreu do fato de ser implantado, nesse pavimento, o jardim interno, no centro do edifício. A Figura 4.23, a seguir, reproduz a fôrma deste pavimento, com base nos desenhos do projeto original.

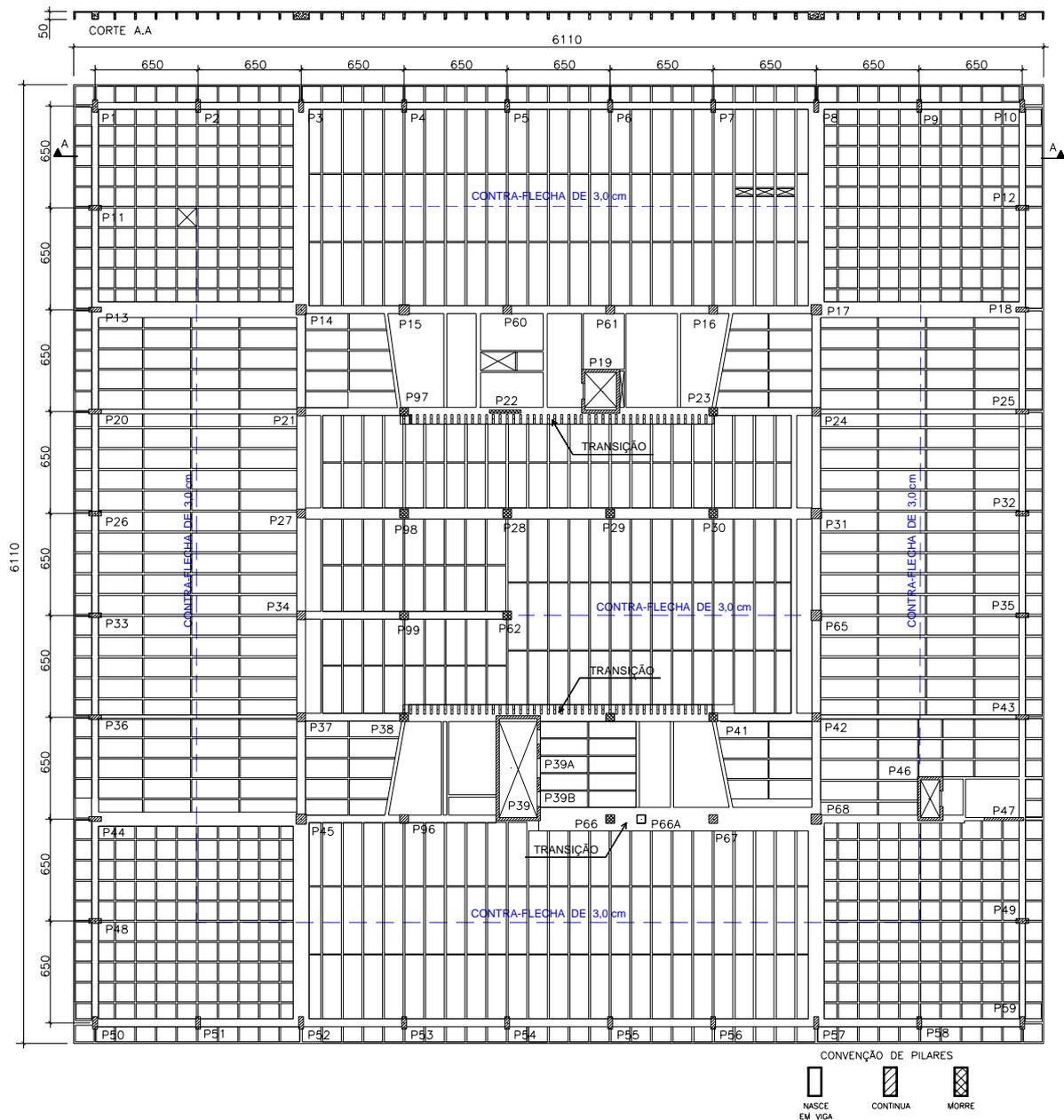


Figura 4.23 – Fôrma do 3º. pavimento do Palácio da Justiça (sem escala)

Assim, os pilares centrais, que passariam pela região do jardim interno, tiveram que “morrer” nesse nível e foi criada uma série de pilares, um *brise*, nascendo sobre uma viga-faixa e indo até a cobertura, onde recebem as vigas que formam o pergolado superior desse jardim, elementos que podem ser observados na Figura 4.18.

Outra transição que ocorre no 3º. pavimento é quando o pilar P66 “morre”, por necessidade arquitetônica, e é criado o pilar P66A sobre uma outra viga-faixa.

Os dois últimos pavimentos do Palácio da Justiça, quarto e quinto pavimentos, possuem a mesma estrutura, Figura 4.24.

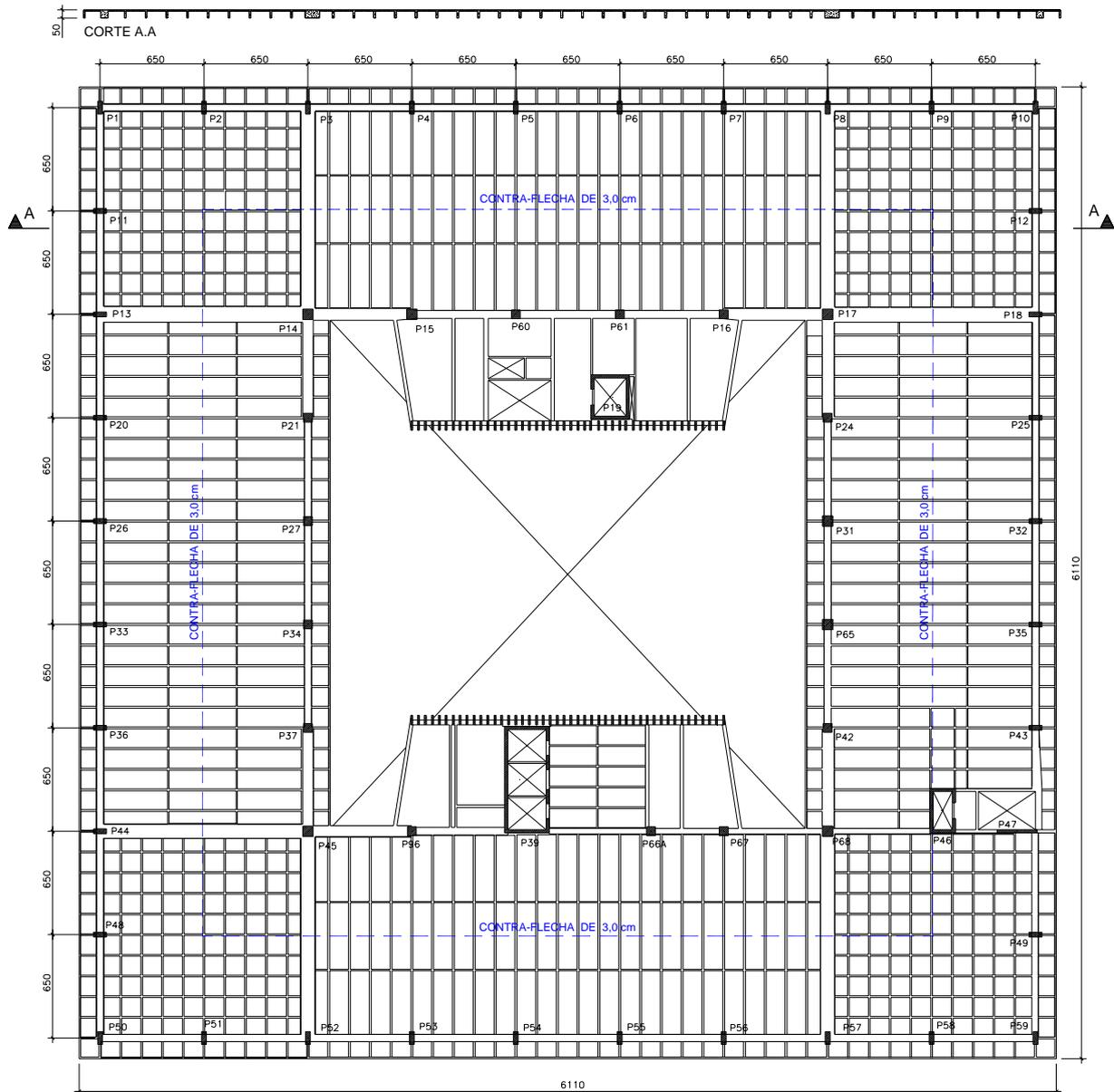


Figura 4.24 – Fôrma do 4º. e 5º. pavimento do Palácio da Justiça (sem escala)

As lajes nervuradas, grelhas de vigas, possuem vãos de 13,0 m e aparecem, assim como nos outros pavimentos, de forma unidirecional (com algumas nervuras de travamento) e de forma bidirecional. Todas as vigas e nervuras possuem altura de 50,0 cm e capa de 6,0 cm de espessura.

Para a cobertura, que possui a maior área em planta, 84,50 x 75,10 m, se estendendo até o limite externo das fachadas, a solução estrutural adotada foi o uso de vigas contínuas espaçadas entre eixos de 1,30 m, lançadas no sentido norte-sul da edificação, com comprimento total de 75,10 m. Essas vigas se apóiam em vigas-faixas, contínuas, lançadas sobre as linhas de pilares no sentido leste-oeste, chegando a ter o comprimento total de 84,50 m.

A Figura 4.25 reproduz a fôrma da cobertura, com base nos desenhos do projeto original.

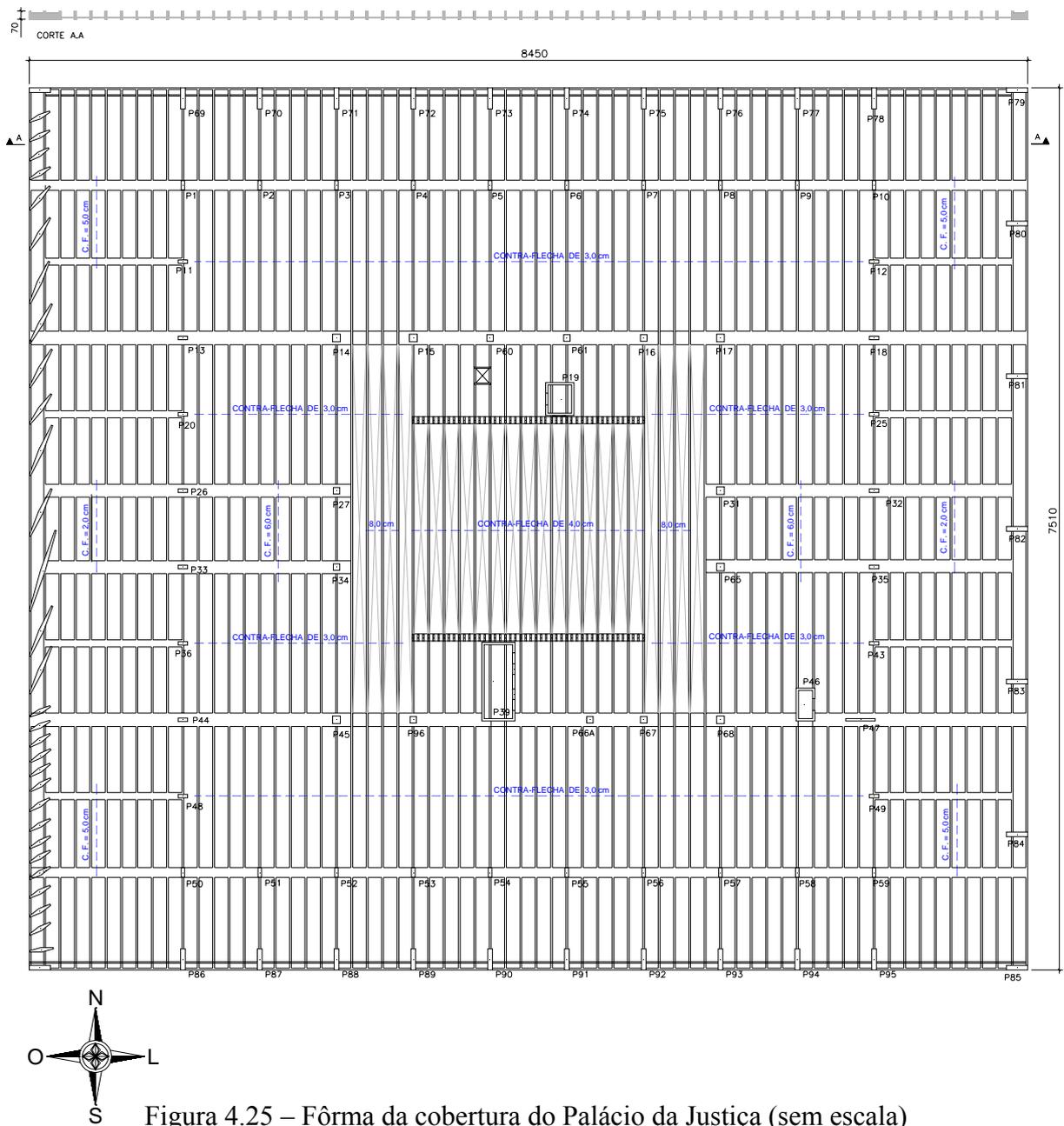


Figura 4.25 – Fôrma da cobertura do Palácio da Justiça (sem escala)

As vigas do sentido norte-sul são invertidas e possuem seção transversal de 15 x 70 cm, com exceção dos trechos das vigas na região do jardim interno, que passam a ter seção de 15 x 100 cm. Nessa região, essas vigas formam o pergolado superior do jardim; não existem lajes entre as vigas e elas vencem os vãos de 18,0 metros na região mais central e de 32,0 metros nas extremidades do jardim. Nos demais trechos, as vigas possuem vãos variados.

Já as vigas faixas, no sentido leste-oeste, possuem largura variando de 85,0 a 115,0 cm e altura de 50,0 cm. Os vãos dessas vigas também são variados, seguindo a modulação dos pilares, chegando até 13,0 m.

As especificações contidas no projeto para a estrutura da cobertura foi diferenciada em relação às dos pavimentos. Na Tabela 4.2, estão reproduzidas essas especificações.

Tabela 4.2 – Especificações do projeto estrutural da cobertura do Palácio da Justiça

CARGAS		CONCRETO	AÇOS	EXECUÇÃO
Sobrecarga	50 kgf/m ²	NB-1 / 1960 ARTIGO 89	NB-1 / 1960 ARTIGO 86	De acordo com as Normas Brasileiras
Placa pré-moldada	100 kgf/m ²			
Vermiculite	100 kgf/m ²	$\sigma_r \geq 160 \text{ kgf/cm}^2$	CAT50: $\sigma_e \geq 5000 \text{ kgf/cm}^2$	
Impermeável	50 kgf/m ²		CAT60: $\sigma_e \geq 6000 \text{ kgf/cm}^2$	
Pumex ou forro	80 kgf/m ²			

Coerentemente, as cargas previstas para a cobertura foram modificadas e os valores indicados estão de acordo com o tipo de uso da estrutura. A resistência do concreto também foi alterada, sendo para a cobertura previsto um concreto com resistência equivalente a um $f_{ck} \geq 16 \text{ MPa}$ (160 kgf/cm²).

Apesar das dimensões do Palácio da Justiça, já citadas nesse texto, sua estrutura não possui junta de dilatação.

4.4.2 - Modificações na estrutura

Depois de concluída a concretagem da estrutura do Palácio da Justiça, deu-se conta de que os elevadores existentes no projeto não eram em número suficiente e não atingiam o 5º pavimento, onde estava previsto o gabinete do Ministro. Em agosto de 1971, foram

iniciadas as modificações da estrutura para resolver o problema, com a ampliação do número de elevadores para o público, para serviços médicos e para o gabinete do Ministro. Para esse último elevador, foi necessário ser executada uma casa de máquinas acima do nível da cobertura, o que havia sido proibido pelo projeto arquitetônico, sob alegação de razões estéticas (Vasconcelos, 1992). Na Figura 4.26, fotografia recente, pode-se observar a casa de máquina do elevador saliente à cobertura, mas que não é visível externamente.



Figura 4.26 – Casa de máquina acima do nível da cobertura

Outra modificação ocorreu anos após a inauguração do palácio. Em novembro de 1985, o arquiteto Oscar Niemeyer elaborou uma recomposição dos arcos da fachada principal, por julgar não estarem de acordo com o seu projeto original. O projeto estrutural dessa recomposição também foi realizado pelo escritório Etalp em dezembro de 1985.



a) Fachada com os arcos plenos



b) Fachada com os arcos modificados

Figura 4.27 – Fachada do Palácio da Justiça, antes e depois da modificação nos arcos (Botey, 1997)

Por fim, juntamente com essa recomposição, Niemeyer, em uma lista contendo o que considerou “incorrecções” ou “distorções” em seus trabalhos já executados em Brasília, mandou retirar o mármore das colunas do Palácio da Justiça e deixá-las em concreto aparente (Viotti, 1985).

5 - AVALIAÇÃO DA ESTRUTURA DO PALÁCIO DA JUSTIÇA

5.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo tem o intuito de descrever as condições da estrutura do Palácio da Justiça no seu estado atual, incluindo a identificação dos danos, da deterioração e de possíveis fenômenos progressivos instalados nos elementos estruturais.

5.2 - IDENTIFICAÇÃO E DIVISÃO DA ESTRUTURA

Para efeito da análise da estrutura do Palácio da Justiça, que possui grande extensão, julgou-se necessário dividi-la em grupos. Tal divisão foi baseada em considerações a respeito do tipo de uso e das condições de exposição dos elementos.

Principais considerações:

- 1) Local do edifício: Brasília – D.F.
- 2) Umidade média relativa do ar, variando anualmente, de 40% a 80%;
- 3) Grandes áreas do edifício têm estrutura em concreto aparente, sempre em contato direto com o meio ambiente;
- 4) A estrutura de concreto da garagem, no subsolo do edifício, não possui revestimento;
- 5) O edifício possui um espelho d'água, jardins, e o piso do térreo é frequentemente lavado; dessa forma, os pés dos pilares das fachadas encontram-se sempre úmidos;
- 6) A estrutura interna dos pavimentos é revestida por elementos arquitetônicos;
- 7) O edifício possui cobertura plana e impermeabilizada.

Para a avaliação, optou-se por fazer uma divisão da estrutura em dois grupos:

- **Grupo A:** Garagem, fachadas, jardim interno e cobertura.
- **Grupo B:** Todos os interiores secos: salas, corredores, biblioteca, etc.

5.3 - CLASSIFICAÇÃO DA AGRESSIVIDADE DO AMBIENTE

A agressividade do meio ambiente está relacionada às condições físicas e químicas a que está submetida a estrutura de uma edificação e que têm influência sobre as ações que devem ser consideradas no dimensionamento dos seus elementos.

Na literatura técnica, é usual classificar as estruturas em classes, em função do nível de exposição ao meio ambiente.

Para classificar o ambiente onde o Palácio da Justiça está inserido, será aplicado o que prescreve a norma NBR 6118:2003. Essa avaliação é realizada, simplificadamente, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes e levando em conta o micro e macro clima atuantes, conforme apresentado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Classes de agressividade ambiental (tabela 6.1 – NBR 6118:2003)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural - Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana ^{1,2}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹ – Industrial ^{1,2}	Grande
IV	Muito forte	Industrial ^{1,3} – Respingos de maré	Elevado

¹⁾ 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).

²⁾ 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.

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

Na aplicação dessa classificação, a divisão da estrutura em dois grupos, feita no item anterior, permitiu atribuir níveis de agressividade diferentes para os elementos da estrutura, de acordo com as considerações apresentadas para a divisão dos grupos.

A Tabela 5.2, a seguir, apresenta a classificação da agressividade dos grupos da estrutura do edifício Palácio da Justiça.

Tabela 5.2 – Classificação da agressividade dos ambientes do Palácio da Justiça

Grupo	Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Risco de deterioração da estrutura
A	II	Moderada	Pequeno
B	I	Fraca	Insignificante

Identificado o grau de agressividade do ambiente é possível fixar, para projetos correntes, as características exigidas do concreto de cobrimento que deverá ser utilizado e também a espessura mínima do cobrimento a ser adotada, para garantir a adequada proteção das armaduras ao longo do tempo, a partir das tabelas 7.1 e 7.2 da norma NBR 6118:2003.

Com a finalidade de comparar tais valores, são apresentados na Tabela 5.3 os valores recomendados pela norma atual para o projeto de estruturas de concreto e os valores especificados no projeto estrutural do Palácio da Justiça, da década de 1960.

Tabela 5.3 – Qualidade do concreto e cobrimento: NBR 6118:2003 *versus* especificações do projeto do Palácio da Justiça

		NBR 6118:2003			Especificações do projeto	
		Qualidade do Concreto		Cobrimento	Resistência do concreto	Cobrimento
Elementos		Relação a/c	Resistência			
Grupo A	Lajes	≤ 0,60	≥ 25 MPa	≥ 25 mm	≥ 20 MPa	10 mm
	Vigas			≥ 30 mm		10 mm
	Pilares			≥ 30 mm		15 mm
Grupo B	Lajes	≤ 0,65	≥ 20 MPa	≥ 20 mm	≥ 20 MPa	10 mm
	Vigas			≥ 25 mm		10 mm
	Pilares			≥ 25mm		15mm

Como se pode verificar, na época não se levava em consideração as conseqüências da agressividade do ambiente, até mesmo, por falta de conhecimento a respeito do assunto. Hoje em dia, em face dos prejuízos com a redução da vida útil de várias obras, existe uma maior dedicação ao estudo e procedimentos para assegurar uma durabilidade apropriada, fato explícito na comparação entre os valores de cobrimento especificados pela NB-1/60 e pela norma atual.

Mais adiante, na discussão dos resultados, será feita uma abordagem levando em consideração as conseqüências do cobrimento, das peças estruturais, na previsão da vida útil da estrutura.

5.4 - METODOLOGIA GDE/UnB PARA QUANTIFICAÇÃO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

Destinada à avaliação quantitativa do grau de deterioração de estruturas de concreto, essa metodologia foi desenvolvida e testada em diversas edificações de naturezas distintas e objeto de várias dissertações de mestrado e publicações do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília - PECC/UnB (Castro, 1994; Lopes, 1998; Boldo, 2002; Andrade, 2006).

A metodologia é apresentada em forma de fluxograma na Figura 5.2, que mostra os procedimentos a serem seguidos, de forma sistemática, para o desenvolvimento das inspeções estruturais e avaliação dos resultados.

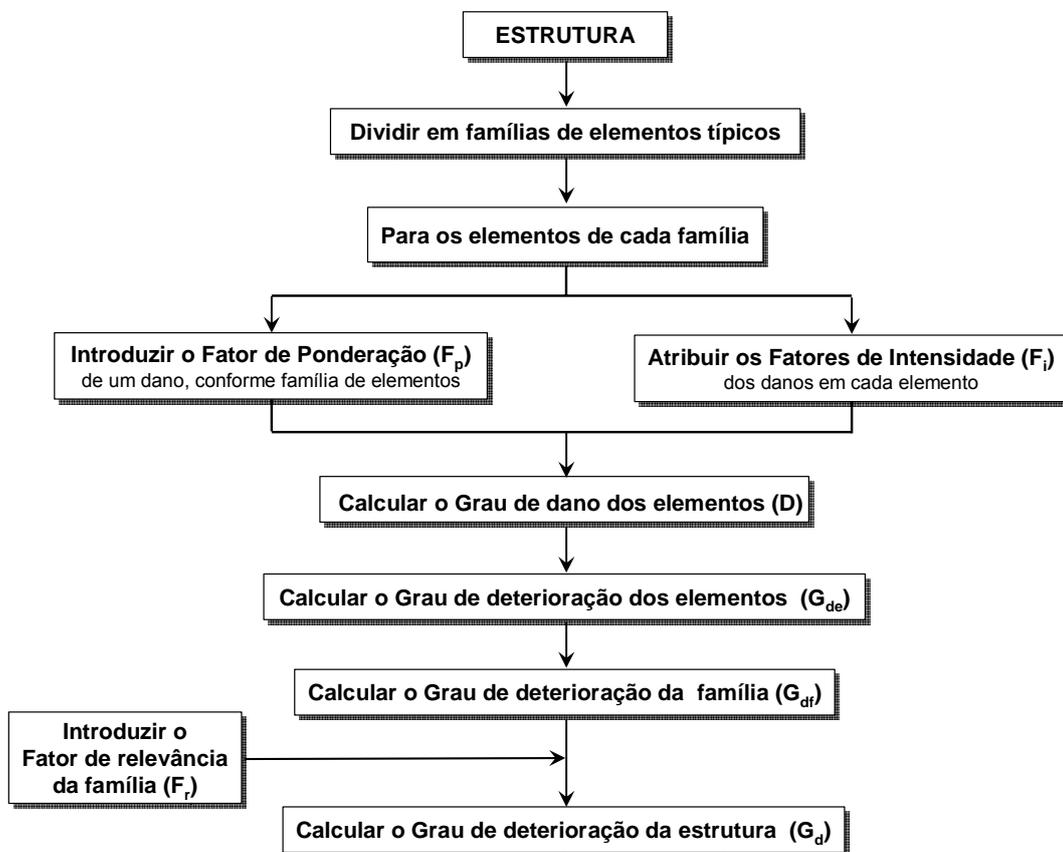


Figura 5.2 – Fluxograma da metodologia GDE/UnB (Castro, 1994)

Para aplicação correta dessa metodologia, as inspeções e a atribuição da pontuação deve ser realizada com base no “Roteiro de Inspeção”, parte integrante da mesma (Anexo D).

Para uma melhor avaliação, será mantida a divisão da estrutura em grupos, realizada no item 5.2. Essa divisão tornou-se necessária pela dificuldade encontrada na realização das vistorias da estrutura interna dos pavimentos, uma vez que essa estrutura encontra-se revestida por elementos arquitetônicos. Assim, para o grupo A, estrutura externa do palácio, as inspeções foram realizadas em todos os elementos, permitindo a aplicação integral da metodologia. Para o grupo B, estrutura interna dos pavimentos, foi realizada inspeções apenas em algumas áreas, por amostragem, dadas as características semelhantes.

5.4.1 - Divisão em famílias de elementos

Para a estrutura em estudo, a subdivisão seguiu as características estruturais de seus elementos. Deste modo, ficaram definidas as seguintes famílias:

- pilares;
- vigas;
- lajes;
- brises (pilares secundários);
- cortinas;
- reservatórios superiores;
- elementos de composição arquitetônica: arcos e cascatas da fachada.

5.4.2 - Fator de ponderação, F_p

É o fator que visa quantificar a importância relativa de um determinado dano, no que se refere às condições gerais de estética, funcionalidade e segurança dos elementos de uma família, tendo em vista as manifestações patológicas possíveis de serem neles detectadas. Para cada manifestação patológica, e em função da família de elementos que apresentam o problema, foi estabelecido um grau numa escala de 1 a 10.

A Tabela 5.4 mostra as matrizes adotadas para cada família de elementos, com os danos possíveis e respectivos fatores de ponderação atribuídos a estrutura do Palácio da Justiça, os valores adotados seguem indicação do “Roteiro de Inspeção”.

Tabela 5.4 – Famílias de elementos do Palácio da Justiça, danos e fatores de ponderação

Pilares e Brises	
<i>Danos</i>	<i>F_p</i>
<i>carbonatação</i>	7
<i>cobrimento deficiente</i>	6
<i>contaminação por cloretos</i>	10
<i>corrosão de armaduras</i>	10
<i>desagregação</i>	7
<i>desvio de geometria</i>	8
<i>eflorescência</i>	5
<i>esfoliação</i>	8
<i>fissuras</i>	10
<i>infiltração na base</i>	6
<i>manchas</i>	5
<i>recalque</i>	10
<i>segregação</i>	6
<i>sinais de esmagamento</i>	10

Vigas	
<i>Danos</i>	<i>F_p</i>
<i>carbonatação</i>	7
<i>cobrimento deficiente</i>	6
<i>contaminação por cloretos</i>	10
<i>corrosão de armaduras</i>	10
<i>desagregação</i>	7
<i>eflorescência</i>	5
<i>esfoliação</i>	8
<i>fissuras</i>	10
<i>flechas</i>	10
<i>infiltração</i>	6
<i>manchas</i>	5
<i>segregação</i>	4
<i>sinais de esmagamento</i>	8

Lajes	
<i>Danos</i>	<i>F_p</i>
<i>carbonatação</i>	7
<i>cobrimento deficiente</i>	6
<i>contaminação por cloretos</i>	10
<i>corrosão de armaduras</i>	10
<i>desagregação</i>	7
<i>eflorescência</i>	5
<i>esfoliação</i>	8
<i>fissuras</i>	10
<i>flechas</i>	10
<i>infiltração</i>	6
<i>manchas</i>	5
<i>segregação</i>	5

Cortinas	
<i>Danos</i>	<i>F_p</i>
<i>carbonatação</i>	7
<i>cobrimento deficiente</i>	6
<i>contaminação por cloretos</i>	10
<i>corrosão de armaduras</i>	10
<i>desagregação</i>	7
<i>deslocamento por empuxo</i>	10
<i>desvio de geometria</i>	6
<i>eflorescência</i>	5
<i>esfoliação</i>	8
<i>fissuras</i>	10
<i>infiltração</i>	6
<i>manchas</i>	5
<i>segregação</i>	5
<i>sinais de esmagamento</i>	10

Reservatórios superiores	
<i>Danos</i>	<i>F_p</i>
<i>carbonatação</i>	7
<i>cobrimento deficiente</i>	6
<i>contaminação por cloretos</i>	10
<i>corrosão de armaduras</i>	10
<i>desagregação</i>	7
<i>eflorescência</i>	4
<i>esfoliação</i>	8
<i>fissuras</i>	8
<i>segregação</i>	4
<i>sinais de esmagamento</i>	10
<i>infiltração</i>	5
<i>manchas</i>	5

Elem. de composição arquitetônica	
<i>Danos</i>	<i>F_p</i>
<i>carbonatação</i>	7
<i>cobrimento deficiente</i>	6
<i>contaminação por cloretos</i>	10
<i>corrosão de armaduras</i>	10
<i>desagregação</i>	7
<i>eflorescência</i>	4
<i>esfoliação</i>	8
<i>fissuras</i>	8
<i>segregação</i>	4
<i>sinais de esmagamento</i>	10
<i>infiltração</i>	5
<i>manchas</i>	5

5.4.3 - Fator de intensidade, F_i

O fator de intensidade classifica, a partir das vistorias, a gravidade e evolução de uma manifestação de dano em um determinado elemento, segundo uma escala de 0 a 4, conforme descrito na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Fator de intensidade de uma manifestação de dano

- elemento sem lesões	$F_i = 0$
- elemento com lesões leves	$F_i = 1$
- elemento com lesões toleráveis	$F_i = 2$
- elemento com lesões graves	$F_i = 3$
- elemento em estado crítico	$F_i = 4$

A Figura 5.3 exemplifica a aplicação do F_i para alguns elementos que compõem a estrutura do Palácio da Justiça, realizada após as vistorias e seguindo indicações do roteiro.



a) Fachada principal – Elem. arquitetônicos
Manchas superficiais - $F_i = 4$



b) Pilar externo – fachada norte
Cobrimento deficiente - $F_i = 3$
Manchas superficiais - $F_i = 2$



c) Laje de cobertura – fachada oeste
Cobrimento - $F_i = 3$ Eflorescência - $F_i = 3$
Corrosão - $F_i = 4$ Manchas - $F_i = 3$



d) Viga da cobertura (pergolato)
Corrosão - $F_i = 4$
Manchas - $F_i = 4$

Figura 5.3 – Fator de intensidade, F_i , para alguns elementos da estrutura do Palácio

5.4.4 - Grau do dano, D, e Grau de deterioração do elemento, G_{de}

O grau de cada dano no elemento estrutural é calculado a partir do fator de ponderação, F_p, e o respectivo fator de intensidade, F_i, utilizando as equações 5.1 e 5.2 abaixo.

$$D = 0,4 F_i F_p \quad \text{para } F_i \leq 2,0 \quad (5.1)$$

$$D = (6 F_i - 14) F_p \quad \text{para } F_i > 2,0 \quad (5.2)$$

Uma vez definido o grau do dano, pode-se calcular o grau de deterioração do elemento estrutural, por meio da equação 6.3, proposta por Lopes, 1998.

$$G_{de} = D_{m\acute{a}x} \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m D^{(i)} - D_{m\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m D^{(i)}} \right] \quad (5.3)$$

A Tabela 5.6 classifica o G_{de} calculado em nível de deterioração, que se encontra o elemento, e o relaciona com a respectiva ação a ser adotada.

Tabela 5.6 – Classificação dos níveis de deterioração do elemento (Boldo, 2002)

Nível de deterioração	G _{de}	Ações a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 – 50	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 2 anos).
Alto	50 – 80	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 1 ano).
Crítico	> 80	Inspeção especial emergencial. Planejar intervenção imediata.

Para facilitar a avaliação de cada elemento vistoriado, desenvolveu-se uma planilha eletrônica, utilizando o software Excel, para automatizar o cálculo do grau de dano, D, e do grau de deterioração do elemento, G_{de}.

As tabelas a seguir são exemplos dos resultados encontrados nas inspeções realizadas em elementos de famílias diferentes: pilar, viga e laje. No Apêndice A, seguem as tabelas para todos os elementos avaliados.

Tabela 5.7 – Modelo de planilha utilizada para avaliação dos pilares

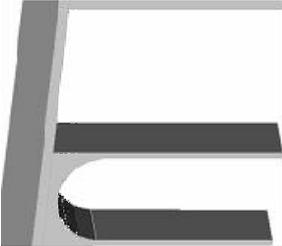
Nome do Elemento:		P80				Data da Vistoria:
Local:		Pilar da Fachada Leste				25/09/2006
						Realizada por:
						André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Fotos		
carbonatação	7			 <p>Pilar apresentando, na base, corrosão acentuada da armadura longitudinal, com perda de seção. Apresenta, ainda, cobrimento deficiente em toda sua extensão.</p>		
cobrimento deficiente	6	3	24			
contaminação por cloretos	10					
corrosão de armaduras	10	4	100			
desagregação	7					
desvio de geometria	8					
eflorescência	5					
esfoliação	8					
fissuras	10					
infiltração na base	6					
manchas	5			  		
recalque	10					
segregação	6					
sinais de esmagamento	10					
Grau de deterioração do elemento, Gde =		119		Gde > 80: Nível de Deterioração CRÍTICO		
				Inspeção emergencial - Planejar intervenção imediata		

Tabela 5.8 – Modelo de planilha utilizada para avaliação das vigas

Nome do Elemento:	Vigas de 32 metros de vão livre (x6)				Data da Vistoria:
Local:	Pergolado do jardim interno				10/09/2006
					Ralizada por: André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Croquis / Observações	Fotos
carbonatação	7	3	28	 <p>Viga com altura de 1 m e vão de 32 m, atuando somente peso próprio. Apresenta corrosão na armadura com ruptura dos estribos (perda de seção), manchas escuras e, diante ensaio, apresentou carbonatação.</p>	 
cobrimento deficiente	6	2	4,8		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10	4	100		
desagregação	7				
eflorescência	5				
esfoliação	8				
fissuras	10				
flechas	10				
infiltração	6				
manchas	5	4	50		
segregação	4				
sinais de esmagamento	8				
Grau de deterioração do elemento Gde = 145,3				Gde > 80: Nível de Deterioração CRÍTICO Inspeção emergencial - Planejar intervenção imediata	

Tabela 5.9 – Modelo de planilha utilizada para avaliação das lajes

Nome do Elemento:		Laje de cobertura, "avariados" (04 elem.)				Data da Vistoria:
Local:		Fachadas				Realizada por:
						25/09/2006
						André Moreira
						Fotos
Danos	F _p	F _i	D	Croquis / Observações		
carbonatação	7			<p>Laje de cobertura, "avariada leste", apresentando fissuras devido à movimentação térmica, eflorescência com formação de crostas de carbonato de cálcio e grandes manchas escuras.</p>		
cobrimento deficiente	6					
contaminação por cloretos	10					
corrosão de armaduras	10					
desagregação	7					
eflorescência	5	4	50			
esfoliação	8					
fissuras	10	2	8			
flechas	10					
infiltração	6					
manchas	5	3	20			
segregação	5					
Grau de deterioração do elemento Gde =				67,9	Gde 50 - 80: Nível de Deterioração ALTO Planejar intervenção em curto prazo	

5.4.5 - Grau de deterioração das famílias de elementos, G_{df}

Para o cálculo do grau de deterioração de uma família de elementos é utilizada a equação 5.4 (Boldo, 2002), em que se consideram somente os elementos que apresentarem um nível de deterioração médio ou superior, ou seja, $G_{de} > 15$, conforme a Tabela 5.6.

Cabe ressaltar que essa expressão e algumas considerações da metodologia GDE/UnB vêm sendo objeto de análise em outra pesquisa em andamento no PECC, sendo provável a introdução de alterações para tornar a formulação mais realista na aplicação em grandes estruturas, com número elevado de peças. Em razão dos resultados ainda não serem conclusivos, optou-se por manter a expressão usada por Boldo (2002).

$$G_{df} = G_{dem\acute{a}x} \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m G_{de(i)} - G_{dem\acute{a}x}}{\sum_{i=1}^m G_{de(i)}} \right] \quad (5.4)$$

Quando em uma família de elementos verificarem-se graus de deterioração $G_{de} < 15$ para todos os elementos, o grau de deterioração da família será $G_{df} = 0$, não contribuindo para o cálculo do grau de deterioração da estrutura (Castro, 1994).

O resultado do grau de deterioração das famílias de elementos do grupo A, estrutura externa do Palácio da Justiça, pode ser observado na Figura 5.4.

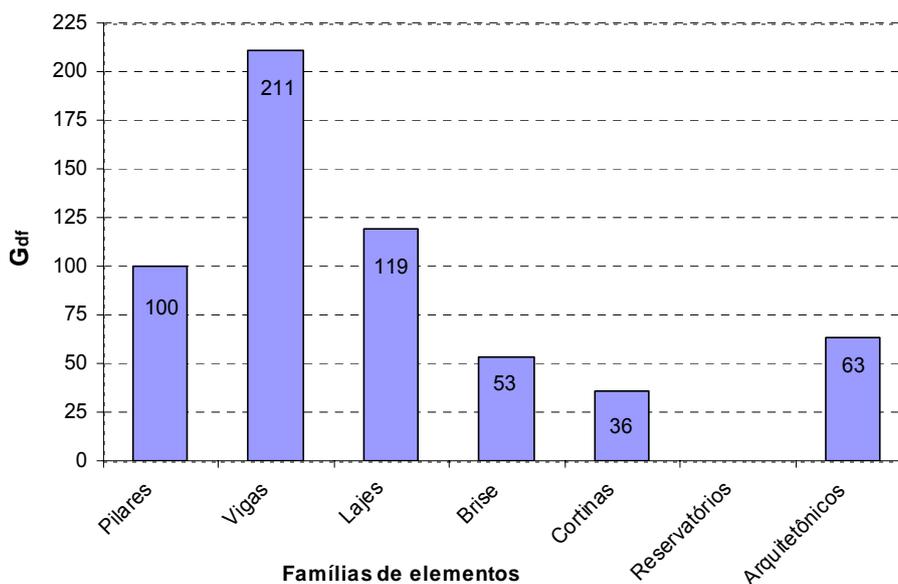


Figura 5.4 – Grau de deterioração das famílias de elementos do Palácio da Justiça

A grande diferença entre o grau de deterioração da família de vigas e das famílias de pilares e lajes, por exemplo, se deve ao fato de que em muitas vigas foram encontrados vários danos com fator de intensidade elevado, gerando altos valores de $G_{dem\acute{a}x}$.

Não foram constatadas nos elementos estruturais que compõem os reservatórios superiores manifestações patológicas que pudessem ser quantificadas. Os reservatórios, segundo técnicos do Ministério da Justiça, possuem manutenção periódica com o objetivo principal de conservar a impermeabilização.

5.4.6 - Grau de deterioração global da estrutura, G_d

O grau de deterioração da estrutura como um todo, G_d , é definido como uma função dos diferentes graus de deterioração das diversas famílias de elementos da edificação, afetados pelos respectivos fatores de relevância estrutural, conforme propõem a equação 5.5.

$$G_d = \frac{\sum_{i=1}^K F_{r(i)} G_{df(i)}}{\sum F_{r(i)}} \quad (5.5)$$

O fator de relevância estrutural da família de elementos (F_r) tem por objetivo considerar a importância relativa das diversas famílias, que subdividem a estrutura, quanto ao comportamento e desempenho da mesma.

Assim, adotando os fatores de relevância para as famílias de elementos da estrutura do Palácio da Justiça, é possível aplicar a equação 5.5 e obter o grau de deterioração da estrutura, conforme apresentado na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Determinação do grau de deterioração da estrutura do Palácio da Justiça

Família de elementos	G_{df}	F_r	$F_r \times G_{df}$	G_d
Elem. Arquitetônicos	63	1,0	63	101
Reservatórios superiores	0	2,0	0	
Cortinas	36	3,0	108	
Brise	53	4,0	212	
Lajes	119	4,0	476	
Vigas	211	5,0	1055	
Pilares	100	5,0	500	
	$\Sigma =$	24,0	2414	

O grau de deterioração global da estrutura, G_d , igual a 101, corresponde apenas à estrutura que compõe o que se denominou como grupo A, ou seja, a estrutura em ambiente externo do Palácio da Justiça.

Ainda de acordo com a metodologia, obtido o valor de G_d , a estrutura pode ser classificada, em quatro níveis de deterioração, que indicam a situação atual da estrutura e as medidas de intervenção que deverão ser tomadas, a médio e curto prazo, objetivando uma manutenção adequada para a estrutura, Tabela 5.11.

Tabela 5.11 - Classificação dos níveis de deterioração da estrutura (Boldo, 2002)

Nível de deterioração	G_d	Ações a serem adotadas
Baixo	0 - 15	Estado aceitável. Manutenção preventiva.
Médio	15 - 40	Definir prazo/natureza para nova inspeção. Planejar intervenção em médio prazo (máx. 2 anos).
Alto	40 - 60	Definir prazo/natureza para inspeção especializada detalhada. Planejar intervenção em curto prazo (máx. 1 ano).
Crítico	> 60	Inspeção emergencial. Planejar intervenção imediata.

Portanto, de acordo com os resultados apresentados, a estrutura em ambiente externo do Palácio avaliada por meio da Metodologia GDE/UnB apresenta um nível de deterioração *crítico* ($G_d > 60$). Tal fato sugere que sejam planejadas intervenções imediatas para restabelecer, tanto a segurança da estrutura como os aspectos de estética e funcionalidade do monumento.

O resultado encontrado indica, ainda, que inspeções emergenciais especializadas sejam realizadas, de modo a investigar a estrutura por meio de ensaios que possam caracterizar as propriedades dos materiais e diagnosticar as causas dos fenômenos deletérios nos elementos.

5.5 - ENSAIOS E PROCEDIMENTOS REALIZADOS

Embora não seja impositivo da Metodologia GDE, julgou-se oportuna a realização de ensaios que pudessem caracterizar algumas propriedades do concreto, tanto do ponto de vista estrutural como da durabilidade, principalmente porque a estrutura do Palácio da

Justiça, à época desta pesquisa, passava por intervenções em alguns elementos. Nesse sentido, decidiu-se realizar a extração de testemunhos da estrutura, para se determinar a resistência à compressão, a absorção por capilaridade e a absorvidade do concreto. Foi determinada, também, a profundidade de carbonatação nos elementos em estudo e uma avaliação visual da espessura do cobrimento das armaduras.

Dessa forma, foi feita a avaliação por meio de ensaios do concreto de seis pilares externos, três pilares da fachada sul e três pilares da fachada norte, além de quatro vigas da cobertura, do pergolado. A Figura 5.4 mostra a localização desses elementos, indicados pela cor vermelha.

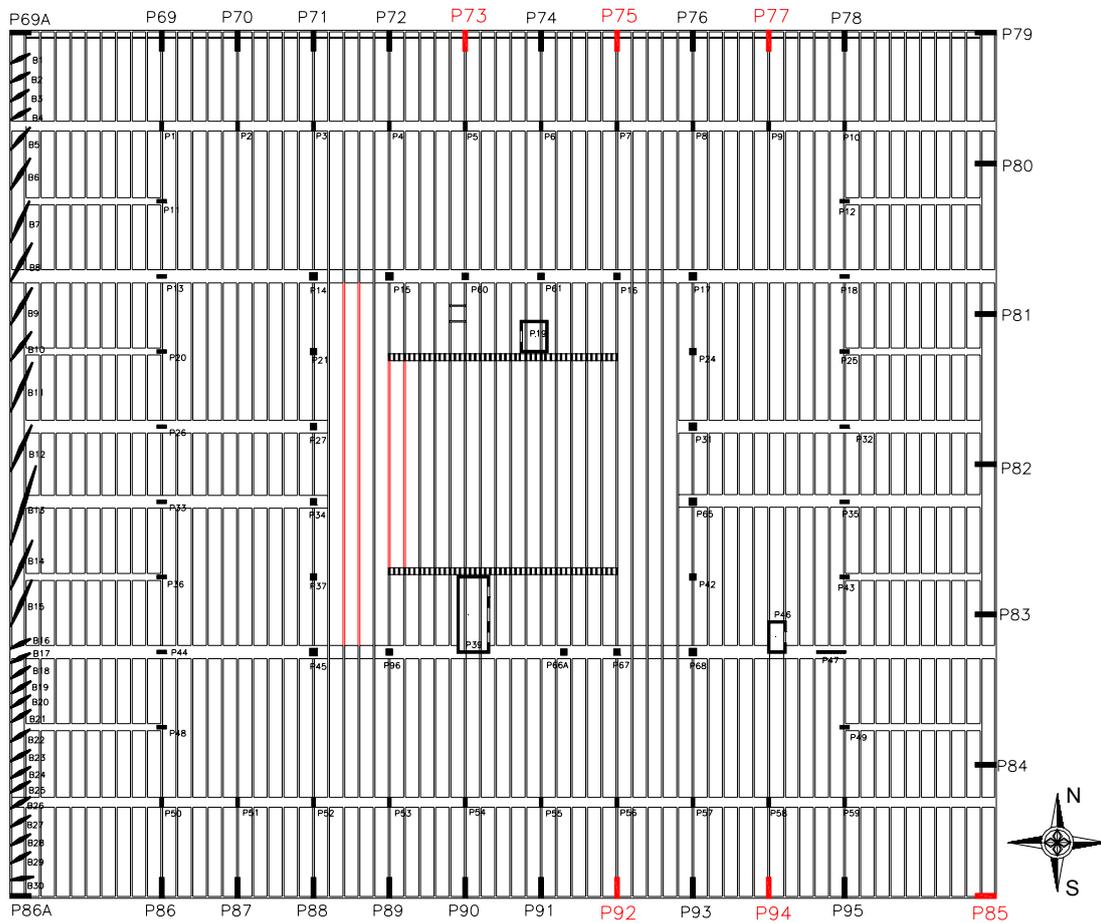


Figura 5.4 – Localização, em planta, dos elementos avaliados por meio de ensaios

Ao se definir a quantidade de elementos a serem avaliados, considerou-se a viabilidade econômica, a disponibilidade de extração de testemunhos no edifício e o prazo para realização dos ensaios.

5.5.1 - Extração de testemunhos do concreto

A extração de testemunhos do concreto em estruturas existentes é realizada para se obter informações a respeito das características do material, por meio da realização de ensaios. Da avaliação de testemunhos é possível obter informações efetivas do concreto da estrutura e, quanto maior o número de amostras, mais confiáveis as informações.

As condições exigíveis para extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos cilíndricos de estruturas de concreto são fixadas pela norma NBR 7680. De acordo com esta norma, devem ser obtidos, no mínimo, seis testemunhos de cada lote ou região, podendo ser aceitável até dois em casos especiais. No presente trabalho foi extraído um testemunho de cada elemento, fazendo que em cada região fossem retirados no mínimo três exemplares (três nos pilares sul, três nos pilares norte e quatro nas vigas do pergolado), totalizando uma amostra de dez testemunhos para toda a estrutura.

Também foram consideradas as prescrições da norma em relação às formas dos testemunhos, com os testemunhos retirados com diâmetro de 7,5cm (aproximadamente 3 vezes a maior dimensão característica do agregado graúdo). Segundo a NBR 7680, a relação altura (h) / diâmetro (d) do testemunho capeado deve ser igual a dois, mas quando isso não for possível, os coeficientes de correção da tabela 1 da referida norma devem ser aplicados aos resultados obtidos.

A Figura 5.5 ilustra a etapa de extração dos testemunhos da estrutura do Palácio da Justiça.



a) Extração em pilar



a) Extração em viga

Figura 5.5 – Extração de testemunhos da estrutura do Palácio da Justiça

Para a extração dos testemunhos, utilizou-se uma máquina perfuratriz elétrica, provida de broca com coroa diamantada, sendo o corte refrigerado à água. A execução desse serviço foi realizada pela Locbrás, firma contratada pelo PECC/UnB. Na identificação dos locais de extração dos testemunhos nos elementos, evitando que fossem interceptadas barras de aço, foi utilizado um pacômetro, aparelho capaz de realizar a detecção magnética da posição das armaduras no interior de peças de concreto armado.

Na Figura 5.6 são apresentados os 10 testemunhos retirados da estrutura.



Figura 5.6 – Testemunhos extraídos da estrutura do Palácio da Justiça

5.5.2 - Profundidade de carbonatação

A espessura da capa superficial carbonatada corresponde à profundidade de carbonatação em que o hidróxido de cálcio foi consumido pela reação com o CO_2 presente na atmosfera e já não proporciona um valor de pH maior que 10, necessário para a proteção passiva das armaduras. A redução do pH pode ser visualizada pela mudança de cor do concreto na região carbonatada, por meio de um indicador químico apropriado. Como indicador mais adequado, utiliza-se uma solução de fenolftaleína a 1% dissolvida em álcool etílico, na proporção 50-50 ou 70-30. Esta solução é incolor em pH inferior a 9,3 e assume uma cor vermelho-carmim para valores superiores.

Essa determinação deve ser realizada sobre uma região de concreto recém-fraturada, na superfície do elemento em estudo. Também é possível realizar o ensaio sobre um orifício perfurado a seco. O indicador deve ser aspergido na superfície exposta, evitando-se uma eventual carbonatação (Figueiredo, 2004 *apud* RILEM CPC 18, 1988).

A Figura 5.7 ilustra o procedimento realizado nas vigas da cobertura que formam o pergolado do jardim interno.



Figura 5.7 – Reação do indicador, fenolftaleína, realizadas nas vigas do pergolado, devidamente escoradas.

Nessas vigas, aproveitando os procedimentos da intervenção que foi realizada para recuperação estrutural e que será discutida mais adiante, foi possível realizar fraturas localizadas nos elementos avaliados e, assim, determinar a profundidade de carbonatação após a aspersão de fenolftaleína. Nas fotos da Figura 5.6, observa-se que o concreto apresentou grandes profundidades sem reagir com o líquido indicador de teste, ou seja, somente as porções mais internas do concreto passaram à cor vermelho-carmim, identificando o concreto não carbonatado. Constata-se que praticamente toda a seção da viga está carbonatada, denunciando que a frente de carbonatação atingiu a armadura, contribuindo para a despassivação do aço e, conseqüentemente, propiciando o processo de corrosão.

Para os pilares em estudo, imaginou-se verificar uma possível profundidade de carbonatação com a aspersão da solução de fenolftaleína no orifício da extração dos testemunhos. Porém, como o equipamento utilizado trabalha com refrigeração à água, no momento da extração dos testemunhos era formada uma “nata” de cimento, dentro e ao redor do furo, que modificava as características dessa superfície, inviabilizando a realização do teste desta maneira. Outra forma seria causar uma fratura ortogonal à superfície dos elementos e aplicar a solução, mas por ser um método destrutivo e, também, por razões estéticas julgou-se esse procedimento inconveniente.

5.5.3 - Ensaio de absorção capilar

A medida da absorção de água por capilaridade fornece indicações da qualidade do concreto, principalmente na superfície externa do elemento. Como não se conhece a

relação a/c adotada na dosagem do concreto original, utilizou-se o ensaio de absorção para se obter informações sobre a porosidade do concreto.

A execução do ensaio para determinar a absorção de água é descrita na norma brasileira NBR 9779, adaptada para a realização deste trabalho. O ensaio de absorção capilar foi realizado em todos os corpos-de-prova cilíndricos, na superfície que na estrutura ficava em contato com o meio externo.

A metodologia de ensaio consiste em secar uma porção íntegra de concreto em estufa a 105°C, até constância de massa. No presente trabalho as amostras foram mantidas em estufa a 50°C, para evitar microfissuras no concreto, adaptando às condições da norma, até constância de massa seca. A seguir os corpos-de-prova foram posicionados dentro de um recipiente, sobre suportes, onde foi preenchido com água até o nível constante de 5 ± 1 mm acima de sua face inferior. Durante o ensaio, determinou-se a massa dos corpos-de-prova com 3, 6, 24, 48 e 72 horas, contadas a partir da sua colocação em contato com a água. A absorção de água por capilaridade é expressa em g/cm^2 e calculada dividindo o aumento de massa pela área da seção transversal do corpo-de-prova.

A absorção capilar dos elementos avaliados é apresentada na Figura 5.8. Observou-se uma grande semelhança entre os concretos dos pilares da fachada sul e da fachada norte, que atingiram em média, após 72 horas, uma absorção de $1,05 \text{ g/cm}^2$. As vigas da cobertura apresentaram uma menor absorção, registrando-se o valor de $0,74 \text{ g/cm}^2$, em média.

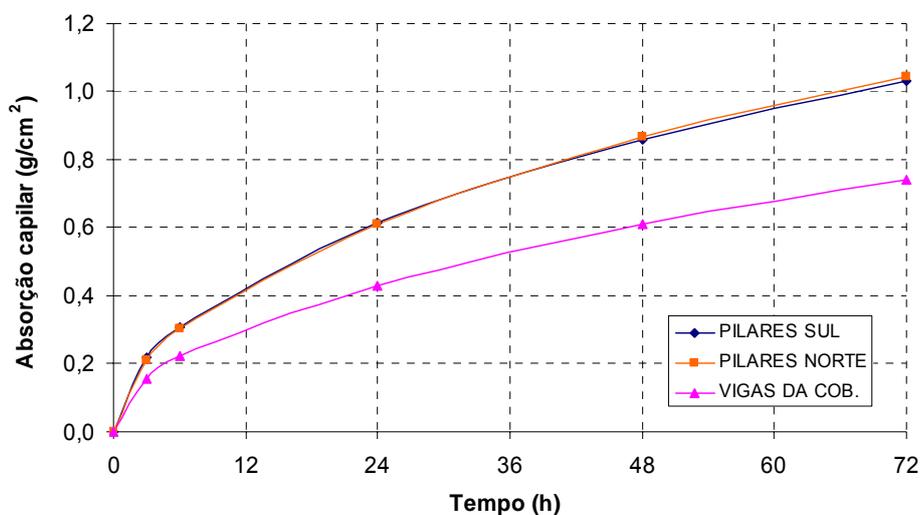


Figura 5.8 – Absorção por capilaridade dos elementos avaliados, em função do tempo

A menor absorção apresentada pelo concreto das vigas de cobertura, provavelmente, significa que esses elementos apresentam capilares com menores diâmetros e, ao mesmo tempo, menos comunicáveis.

- Índice de absorvidade do concreto

Em conjunto com os procedimentos de ensaio para a absorção capilar foi obtido o índice de absorvidade. O ensaio consiste em realizar pesagens sucessivas dos corpos-de-prova, medidas a cada 30 minutos durante as três primeiras horas e a cada 1 hora até completar seis horas de ensaio, período em que se observa a tendência de linearidade no diagrama *massa de água absorvida x raiz quadrada do tempo* (Figueiredo, 2004 apud Hall, 1989).

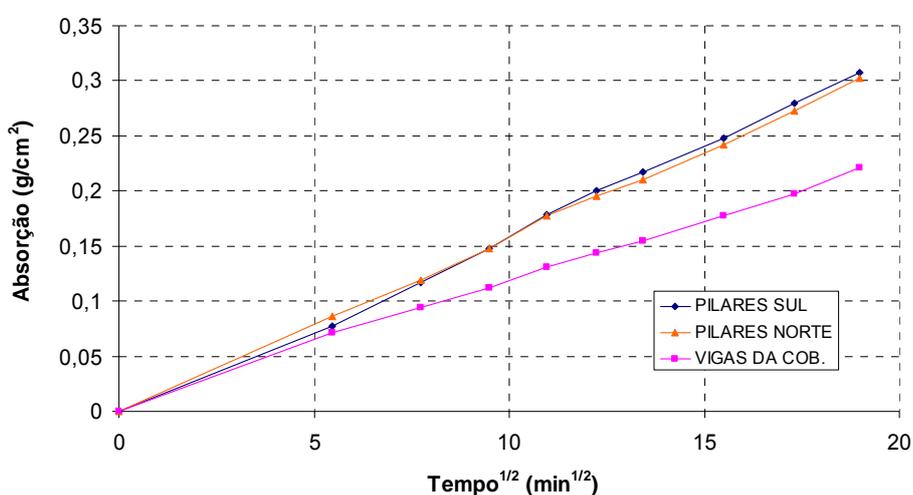


Figura 5.9 – Variação linear da absorção capilar, em função da raiz quadrada do tempo

Por meio da declividade da reta da Figura 5.9, é possível obter o índice de absorvidade do concreto nos elementos avaliados. Assim, o concreto das vigas da cobertura apresentou absorvidade de $0,0113 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$ e os pilares da fachada sul e norte apresentaram absorvidade de $0,0165 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$ e $0,0159 \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$, respectivamente.

Esse parâmetro é importante por representar o comportamento do concreto nas camadas superficiais. A absorvidade avalia, indiretamente, a velocidade do fluxo de água para o interior da microestrutura do concreto.

5.5.4 - Resistência à compressão do concreto

Para a realização do ensaio de resistência à compressão foram utilizadas as normas brasileiras, NBR 7680 – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto e NBR 5739 – Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

A carga de ensaio foi aplicada aos corpos-de-prova continuamente e sem choques, utilizando-se da prensa do Laboratório de Ensaio de Materiais do Dep. de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia - UnB. A resistência foi obtida dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal do corpo-de-prova, com as devidas correções prescritas pela NBR 7680, no caso dos corpos-de-prova extraídos com relação entre a altura e diâmetro menores que 2.

A Figura 5.10 apresenta as resistências médias à compressão dos corpos-de-prova extraídos dos elementos avaliados, na idade da estrutura.

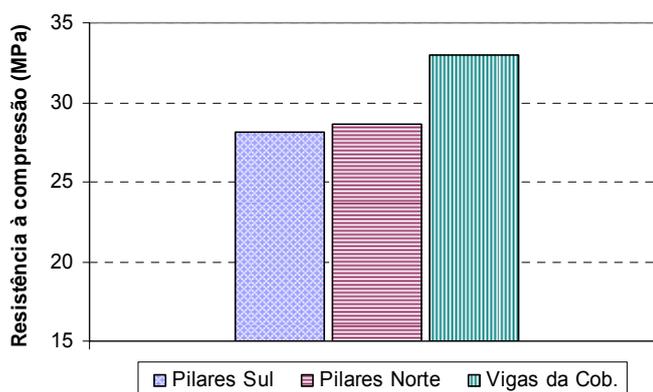


Figura 5.10 – Resistência à compressão dos elementos avaliados

De acordo com os valores obtidos, observa-se uma semelhança na resistência do concreto usado nos pilares das fachadas norte com os pilares da fachada sul, com uma resistência à compressão média de 28 MPa. Já para as vigas do pergolado, encontrou-se um concreto com resistência um pouco mais elevada, 33 MPa.

Para efeito de comparação, no projeto estrutural do Palácio da Justiça, têm-se como especificação, para os elementos da cobertura, um concreto com tensão mínima de ruptura à compressão (σ_r) de 16 MPa e, para o restante da superestrutura, um concreto com tensão σ_r de 20 MPa.

5.5.5 - Cobrimento das armaduras

A durabilidade de um elemento estrutural depende basicamente da proteção fornecida por sua capa superficial, denominada cobrimento, frente às ações agressivas do meio ambiente.

Como foi visto no item 5.3, quando se discutem os valores de cobrimentos adotados na estrutura do Palácio da Justiça, a preocupação com a redução da vida útil em várias obras fez com que estudos apontassem a necessidade de melhorar a qualidade do concreto de cobrimento assim como a sua espessura. Verificou-se para a estrutura do Palácio, quando comparado com a norma NBR 6118:2003 em vigor, que os valores da espessura do cobrimento adotado em projeto foram bastante inferiores aos mínimos atualmente exigidos.

Assim, o cobrimento nos elementos da estrutura externa, fachadas, foi um dos itens avaliados durante as inspeções realizadas, constatando-se um cobrimento deficiente de forma generalizada, permitindo inclusive, em muitos elementos, a localização visual da armadura, com pode ser observado na Figura 5.11.



Figura 5.11 – Cobrimento deficiente em pilar de fachada do Palácio da Justiça

5.6 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A aplicação da metodologia GDE/UnB para quantificação do grau de deterioração da estrutura indicou nível crítico, $G_d = 101$, principalmente na estrutura externa do Palácio da Justiça. Tal resultado pode ser considerado coerente e reflete o estado de deterioração encontrado nessa parte da estrutura, alertando para a necessidade de intervenções em curto prazo ou mesmo imediatas.

Apesar de o resultado final quantificar o nível de deterioração global da estrutura, percebeu-se que alguns elementos que apresentaram altos graus de deterioração amplificam o resultado final. Assim, mais do que a necessidade de uma intervenção global da estrutura analisada, existem elementos que precisam de recuperação imediata para garantia da segurança estrutural, funcionalidade e durabilidade. Como exemplo, pode-se citar o caso do pilar P80, fachada leste, que apresenta corrosão acentuada e perda significativa de seção na armadura longitudinal, como mostrado na Figura 5.12.

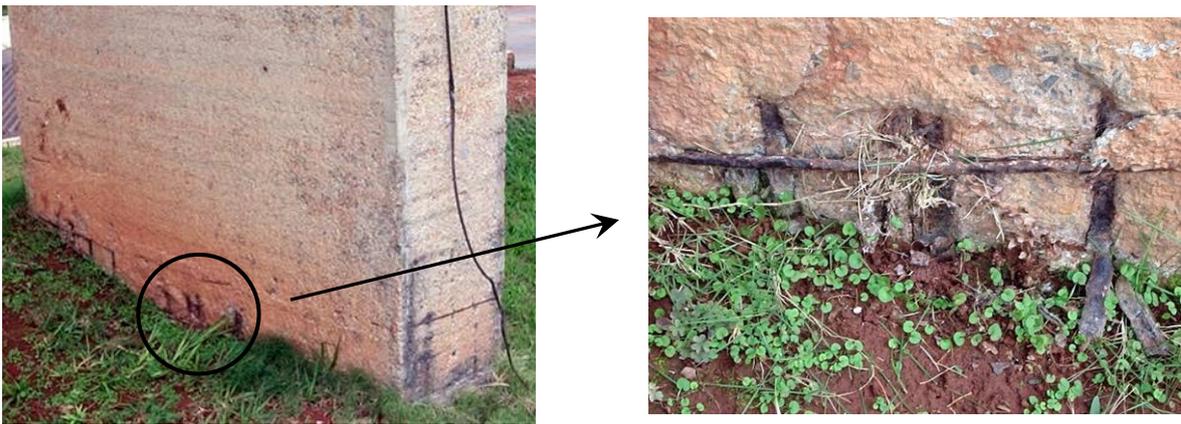


Figura 5.12 – Pilar P80, corrosão acentuada na armadura principal e estribos

Diante das manifestações patológicas encontradas na estrutura do Palácio da Justiça, foram realizados ensaios com o objetivo de caracterizar algumas propriedades do concreto. A seguir, será feita uma correlação entre os resultados já apresentados, a fim de esclarecer o processo de deterioração instalado nos elementos avaliados.

5.6.1 - Análise das vigas do pergolado - jardim interno

No conjunto de vigas da cobertura, que formam o pergolado superior do jardim interno, com a aplicação da metodologia GDE/UnB, em vários elementos, foram obtidos graus de deterioração, G_{de} , maiores que 80, ou seja, indicando um nível de deterioração crítico. Nas inspeções, foram observadas grandes áreas com armaduras expostas, em razão de deslocamento do concreto superficial, decorrente da corrosão instalada e aumento de seção das armaduras, com início da perda de seção da armadura principal e, em alguns trechos, já com ruptura dos estribos (ver fotos da Tabela 5.8).

Como já foi exposto, por meio da aspersão de fenolfetaleína foram identificadas grandes profundidades de carbonatação. Em média, a profundidade carbonatada encontra-se acima dos 40 mm, em relação às faces laterais das vigas, atingindo as armaduras.

Quanto aos ensaios de absorção por capilaridade, comparando com os resultados apresentados por Figueiredo (2004), pode-se concluir que o índice de absorção de $0,74 \text{ g/cm}^2$ e a absorvidade de $0,0113 \text{ g/(m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$, encontrados para as vigas do pergolado, demonstram um concreto de baixa porosidade, o que é um fato incoerente com a elevada profundidade de carbonatação observada. Porém, de acordo com Figueiredo (2004) apud Bauer et al (2001), o processo de carbonatação é responsável por um efetivo refinamento da microestrutura do concreto, com redução do volume total de poros e a redistribuição do tamanho dos poros na pasta, ou seja, a carbonatação reduz a porosidade.

Para análise das propriedades mecânicas e, também, da qualidade do concreto dessas vigas, foi avaliada a sua resistência à compressão. O resultado encontrado foi um concreto com resistência média de 33 MPa. Levando em consideração que o valor especificado no projeto original, de 16 MPa, corresponde, atualmente, a um concreto deficiente do ponto de vista da durabilidade, o valor experimental encontrado supera as expectativas e seria razoável classificá-lo como um concreto de durabilidade normal, entre 20 MPa e 35 MPa, classificação proposta por Helene (1993). Segundo Figueiredo (2004) apud Helene (2003), enquanto um concreto com resistência de 15 MPa, do ponto de vista da durabilidade relacionada à iniciação por carbonatação, teria apenas 8 anos de vida útil, para 25 MPa deveria atingir 38 anos e para 50 MPa uma vida útil de 350 anos.

No entanto, o efetivo refinamento dos poros pela carbonatação pode ter contribuído para o aumento da resistência, pois, da análise da Figura 5.6, deduz-se que todos os testemunhos apresentavam grandes profundidades de carbonatação, comprovação rara em elementos de edificações existentes.

Outro fato observado foi a grande quantidade de barras com espaçamentos reduzidos, fato que, certamente, prejudicou a concretagem, diminuindo a qualidade e espessura da camada de concreto de cobrimento.

Diante do exposto, pode-se concluir que a frente de carbonatação atingiu a região das armaduras, provocando a despassivação do aço e, desta forma, na presença de oxigênio e umidade, desencadeou-se o processo de corrosão.

5.6.2 - Análise da estrutura das fachadas

A situação encontrada nas fachadas do Palácio da Justiça não difere muito daquilo que traz a bibliografia a respeito de obras em concreto aparente em ambiente urbano. Nas inspeções realizadas para a aplicação da metodologia GDE/UnB, confirmou-se a grande incidência de manchas superficiais, corrosão de armaduras, fissuras estabilizadas e eflorescência.

Dos ensaios realizados nos testemunhos que foram retirados de três pilares da fachada sul e outros três pilares da fachada norte (ver Figura 6.4), notou-se uma grande semelhança e homogeneidade nas propriedades do concreto, mesmo considerando que esses elementos estão em lados opostos da edificação.

Os resultados obtidos com os ensaios de absorção, também comparando com os resultados de Figueiredo (2004), mostraram que o concreto desses pilares possui uma porosidade que pode ser classificada entre normal e baixa.

Quanto à resistência à compressão do concreto, o valor de 28 MPa está dentro do esperado, observando-se a especificação de projeto de tensão mínima de ruptura à compressão (σ_r) 20 MPa. Segundo Helene (1993), do ponto de vista da durabilidade, ele poderia ser classificado como um concreto normal. Porém, o que mais chamou a atenção e que se tornou um agravante para o nível de deterioração foi o cobrimento deficiente encontrado nos elementos estruturais, podendo ser considerado como uma deficiência generalizada.

Recorrendo ao histórico da edificação, verificou-se que em 1985, 13 anos após a inauguração do prédio, houve a retirada do revestimento em mármore dos pilares das fachadas, modificação solicitada pelo arquiteto Oscar Niemeyer, que preferiu deixar toda a estrutura em concreto aparente. A aparência resultante, atual, é um concreto “apicoado”, com os agregados aparentes, como se tivesse passado por um processo de jateamento após a retirada do mármore, talvez para deixá-lo com uma textura uniforme. Tal fato pode

explicar o agravamento da situação de deterioração, pois o cobrimento encontrado nos elementos é bem inferior ao especificado no projeto.

Figueiredo (2004) apresentou simulações da probabilidade de falha em estruturas de concreto armado, variando a espessura de cobrimento das armaduras, para obras nas condições climáticas de Brasília e concretos similares aos analisados. A Figura 5.13 apresenta os resultados para estruturas localizadas em ambiente externo protegidos da chuva.

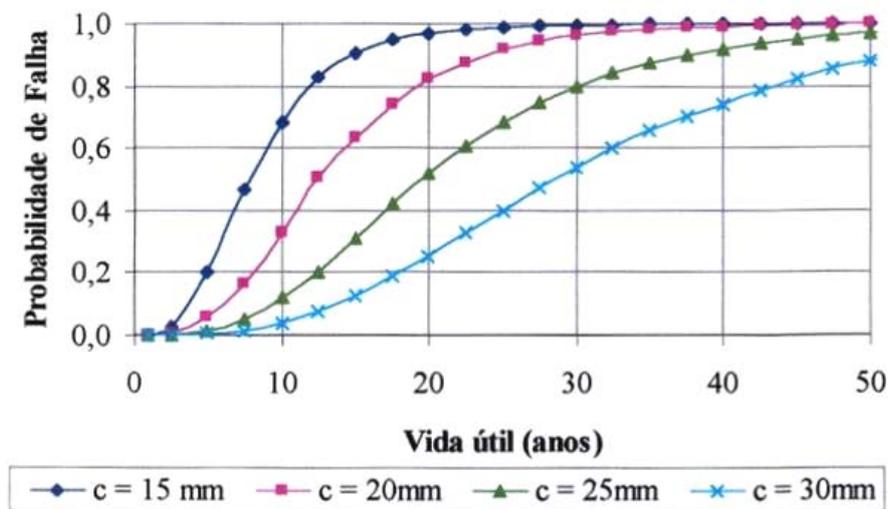


Figura 5.13 – Efeito da espessura do cobrimento na probabilidade de falha para estruturas em ambiente externo protegido da chuva (Figueiredo, 2004)

Com base no gráfico da Figura 5.13, pode-se afirmar que há um aumento significativo na vida útil em função do aumento do cobrimento. Observa-se que para o período de tempo em torno de 35 anos, idade atual do edifício Palácio da Justiça, e tomando-se como base um cobrimento de 15 mm, a probabilidade de alguma falha atinge o valor 1, ou seja, confirmando o processo de corrosão instalado em armaduras dos elementos das fachadas do Palácio.

Essa verificação vem confirmar a necessidade da adoção de medidas para melhorar as condições do concreto de cobrimento, para propiciar a essa estrutura um aumento consistente de durabilidade e uma vida útil maior.

5.7 - INTERVENÇÕES

Durante o presente trabalho, foi possível acompanhar a execução dos serviços de limpeza do concreto aparente das fachadas do Palácio da Justiça e a recuperação das vigas do pergolado do jardim interno. Essa intervenção foi motivada, principalmente, por razões estéticas, uma vez que as fachadas encontravam-se tomadas por manchas escuras, com a Divisão de Engenharia do Ministério da Justiça contratando por licitação uma empresa especializada, a RR Compacta, para a restauração das condições originais do concreto aparente do Palácio.

Entretanto, como as superfícies dos elementos da fachada possuem uma textura peculiar, pela retirada dos mármores em 1985, medidas mais efetivas de intervenção tornaram-se inviáveis, uma vez que seria muito difícil manter tal aparência sem que fosse feito um estudo especializado. Assim, a restauração contou somente com o hidro-jateamento das fachadas do Palácio da Justiça. A Figura 5.14 mostra a limpeza da fachada principal sendo realizada.



Figura 5.14 – Hidro-jateamento da fachada sul do Palácio da Justiça, em execução

É importante saber que essa intervenção de restauro não deverá ter uma durabilidade elevada, a menos que seja aplicado verniz protetor e haja manutenção preventiva apropriada.

O resultado final da remoção das manchas pode ser observado na Figura 5.15, com uma fotografia atual da fachada principal do Palácio da Justiça.



Figura 5.15 – Fachada principal do Palácio da Justiça após hidro-jateamento

Fez parte, também, do escopo dos serviços contratados a recuperação das vigas de cobertura, que formam o pergolado do jardim interno. Como já foi descrito, o resultado da avaliação dessas vigas quantificou um nível de deterioração crítico e recomendando uma intervenção imediata.

Para o acesso adequado às vigas do pergolado, foi realizada a montagem de andaimes, formando um tablado em uma altura suficiente para execução dos serviços de recuperação, com o correspondente escoramento das vigas que apresentavam maior deterioração.

As principais etapas do processo de recuperação dessas vigas foram:

- Hidro-jateamento de todas as superfícies das vigas para a remoção de manchas;
- Vistoria dos elementos, verificando os trechos com armaduras expostas, armaduras com corrosão e a detecção das regiões com o cobrimento deslocado;
- Execução da escarificação dessas regiões, retirando todo o material solto ou desagregado, deixando a armadura corroída exposta, para limpeza;
- Remoção do concreto ao longo e ao redor das armaduras, além dos pontos com sinais de corrosão;
- Após limpeza das armaduras oxidadas, verificava-se se a perda existente de seção era significativa (maior que 15%) para, se necessário, proceder à substituição da mesma;
- Sob as armaduras afetadas foram aplicados inibidores de corrosão;

- Após a secagem do inibidor, foi efetuado o cobrimento das regiões tratadas com a utilização de *graute*, lançado por meio de aberturas localizadas (“cachimbos”) nas fôrmas;
- E finalmente, foi realizado o estucamento em todas as superfícies das vigas, com a aplicação de uma nata de cimento para obstrução das porosidades.

Na Figura 5.16, podem ser observadas duas etapas da recuperação das vigas do pergolado. A Figura 5.16a mostra a etapa após aplicação do inibidor de corrosão nas armaduras de uma viga e a Figura 5.16b mostra a fôrma com os “cachimbos” para o grauteamento.



a) Armaduras com primer aplicado



b) Fôrmas para o grauteamento

Figura 5.16 – Etapas da recuperação das vigas do pergolado

Na Figura 5.17, observa-se o resultado final da recuperação do conjunto de vigas da cobertura, formando o pergolado superior do jardim interno.



Figura 5.17 – Vigas do pergolado, jardim interno, após a recuperação

Assim, com as intervenções realizadas, pôde-se calcular novamente o grau de deterioração da estrutura e atualizar as manifestações de danos quantificadas nos elementos avaliados. Para isso, foram retirados os fatores de intensidade relacionados com as manchas recuperadas nos elementos das fachadas e excluídas as vigas do pergolado do cálculo do grau de deterioração da família de vigas, uma vez que a recuperação veio contribuir para a extensão da vida útil desses elementos, mesmo se consideradas as limitações mencionadas nos procedimentos.

O novo resultado encontrado para o grau de deterioração das famílias é apresentado na Figura 5.18.

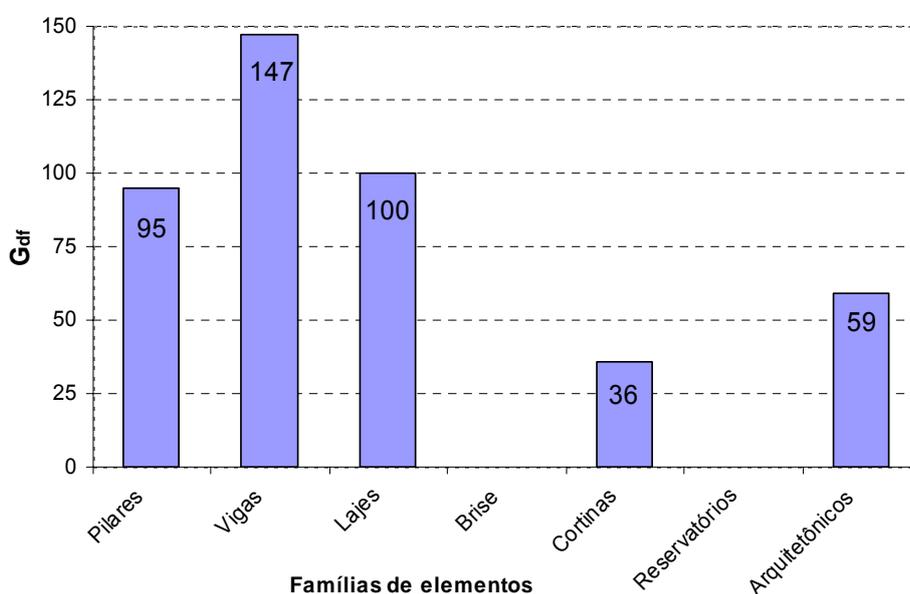


Figura 5.18 – Grau de deterioração das famílias de elementos, após as intervenções

Observa-se que, com a retirada das manchas escuras, o grau de deterioração das lâminas de concreto armado que formam os brises da fachada oeste ficou abaixo de 15, anulando o grau de deterioração dessa família de elementos, pela formulação da metodologia GDE/UnB. Porém, vários desses elementos apresentam, ainda, problemas com o cobrimento deficiente e, sendo assim, necessitam de um monitoramento especializado. Outra família que teve uma grande diminuição no grau de deterioração foi a das vigas, pois, como já explicado, as vigas do pergolado deixaram de influir negativamente no grau de deterioração.

Com os novos resultados e aplicando a equação 5.5, foi obtido o novo grau de deterioração da estrutura, conforme apresentado na Tabela 5.12, a seguir.

Tabela 5.12 – Determinação do grau de deterioração da estrutura do Palácio da Justiça, após intervenções

Família de elementos	Gdf	Fr	Fr x Gdf	Gd
Elem. Arquitetônicos	59	1,0	59	74
Reservatórios superiores	0	2,0	0	
Cortinas	36	3,0	108	
Brise	0	4,0	0	
Lajes	100	4,0	400	
Vigas	147	5,0	735	
Pilares	95	5,0	475	
	Σ =	24,0	1777	

Portanto, após as intervenções realizadas, a estrutura ainda apresenta um nível de deterioração considerado crítico ($Gd > 60$), de acordo com a metodologia GDE/UnB, indicando que existem elementos que ainda necessitam de intervenções para restabelecimento de sua estética, funcionalidade e/ou segurança estrutural.

6 - MODELAGEM DA ESTRUTURA DO PALÁCIO DA JUSTIÇA

6.1 - INTRODUÇÃO

Na concepção de um modelo estrutural, é importante identificar quais as partes do edifício que compõem a sua estrutura, ou seja, os elementos que resistirão às ações. É comum, em edifícios de concreto armado, considerar a superestrutura como composta pelos pilares e vigas que formam os pórticos. Caberiam às lajes as funções de transmitir as forças verticais para as vigas e de distribuir as ações horizontais entre os pórticos. Dessa forma, não seria considerada a contribuição de paredes de alvenaria, divisórias e demais elementos da construção (Fontes, 2005).

Sabe-se que a representação de maneira simplificada do arranjo estrutural e do comportamento dos materiais, assim como o fato das teorias de análise nem sempre serem totalmente confiáveis, pode levar a resultados bem diferentes da situação real. Portanto, a essência do problema é a identificação de modelos que consigam, de maneira significativa, representar tanto a estrutura quanto os fenômenos associados, com a complexidade adequada à natureza do problema estudado e tornando possível aplicar as teorias disponíveis (Icomos, 2001).

As ferramentas mais utilizadas para a realização da análise estrutural são os modelos físicos, matemáticos e computacionais. Esses modelos permitem simular o desempenho da estrutura submetida a diversas ações e comparar com o desempenho real observado, servindo de ferramenta bastante útil para uma avaliação estrutural. Os resultados obtidos, mesmo sem total precisão, podem indicar as tendências e o fluxo das tensões nas peças estruturais e, dessa forma, possíveis áreas críticas.

Ainda assim, é necessário entender que os modelos matemáticos, por si só, não garantem o sucesso de uma análise estrutural. A correta interpretação dos parâmetros envolvidos na análise e a decisão sobre a fixação apropriada de limites para o uso de técnicas matemáticas e computacionais dependem do conhecimento científico dos profissionais envolvidos.

O objetivo deste capítulo é estudar o comportamento da concepção estrutural adotada para o Palácio da Justiça no presente trabalho, baseada nos métodos atuais de análise estrutural e levando em consideração as ações às quais a estrutura está submetida.

6.2 - MODELOS UTILIZADOS

Analisando as características da estrutura do Palácio da Justiça, a partir do projeto original, foram idealizados modelos no Sistema CAD/TQS, *software* comercial de análise de estruturas em concreto armado, amplamente difundido no país e de grande aceitação no meio profissional.

Essa análise foi realizada, mediante os recursos do programa, utilizando para os pavimentos o modelo de *analogia de grelha*, para avaliação dos deslocamentos produzidos pelas ações verticais, e, para a análise do comportamento global do edifício, foi utilizado o modelo de *pórtico espacial*.

6.2.1 - Analogia de grelha

Entre os diversos processos de cálculo que possibilitam a análise integrada de um pavimento, destaca-se o processo de analogia de grelha, muito usado em programas computacionais de análise de estruturas.

O método de analogia de grelha consiste em modelar um pavimento de um edifício por meio de uma grelha equivalente, onde as barras passam a representar os elementos estruturais do pavimento (lajes e vigas). Este processo permite reproduzir o comportamento estrutural de pavimentos com praticamente qualquer geometria, seja ele composto de lajes de concreto armado maciças, com ou sem vigas, ou lajes nervuradas.

Para a malha de barras, consideram-se as rigidezes à flexão e à torção referentes às faixas de lajes por elas representadas. Na Figura 6.1, a seguir, é mostrada a faixa de uma laje nervurada que será representada por uma barra da grelha, recebendo as rigidezes à flexão e à torção de uma seção transversal do tipo T.

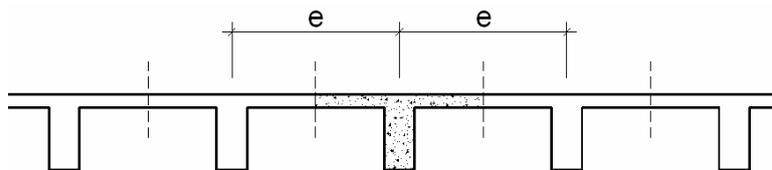
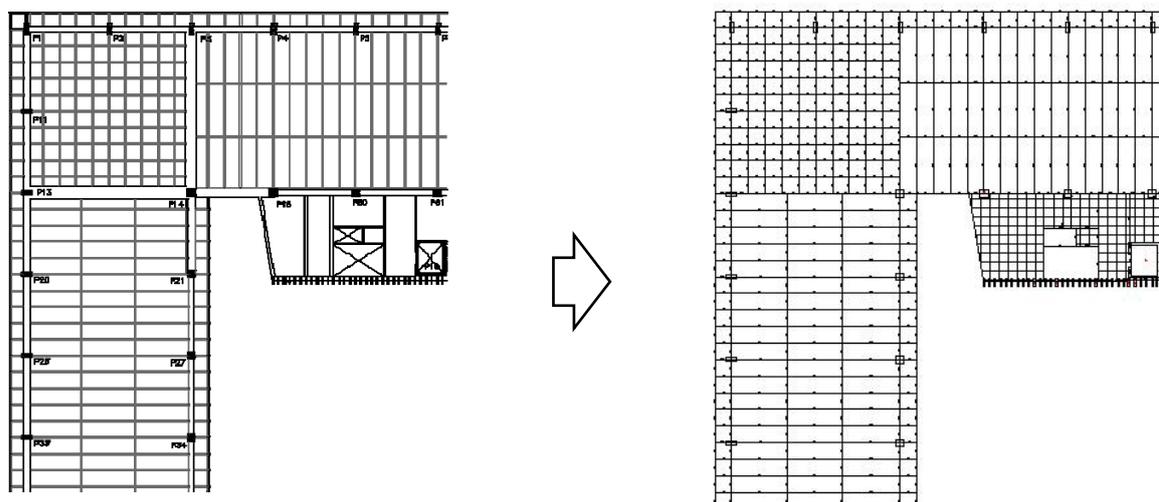


Figura 6.1 – Espaçamento entre as barras da grelha de uma laje nervurada (Fontes, 2005)

No caso de lajes nervuradas, a utilização da analogia de grelha é, num caráter geral, o modelo mais indicado para a análise estrutural, quando comparado com a aplicação de modelos mais simples da Teoria das Estruturas, que calculam as lajes nervuradas como lajes maciças, podendo levar, em situações mais complexas, a erros consideráveis na avaliação de esforços e deslocamentos.

Em todos os pavimentos do Palácio da Justiça, as lajes nervuradas foram bastante utilizadas, tanto nas formas bidirecionais como unidirecionais com nervuras de travamento. Assim, a malha de barras pode ser gerada de acordo com a localização dessas nervuras, atribuindo para cada barra a inércia da seção T equivalente, considerando a largura da “mesa” colaborante, definida conforme a NBR 6118 (2003). A rigidez longitudinal dos elementos é concentrada nas barras longitudinais e a rigidez transversal é concentrada nas barras transversais, com a malha resultante sendo gerada automaticamente pelo programa.



a) Trecho da fôrma do 4º. pav.

b) Grelhas equivalentes

Figura 6.2 – Exemplo de discretização do pavimento em grelha (CAD/TQS)

O uso da analogia de grelha permite considerar a rigidez das lajes vizinhas e as vigas podem ser consideradas como elementos deformáveis, sendo assim um modelo mais adequado, pela possibilidade de analisar a interação das lajes com as vigas.

Embora seja menos preciso que modelos baseados no método dos elementos finitos, a analogia de grelha possui uma formulação mais simples e uma facilidade maior de utilizar os resultados dos esforços nas barras para fazer a análise dos elementos.

6.2.2 - Pórtico espacial

A utilização do modelo de pórtico espacial para a obtenção de esforços tornou-se mais conveniente com o advento do uso de programas computacionais na análise matricial, em que é possível considerar a aplicação tanto de cargas verticais (peso próprio, sobrecargas, etc.) como de cargas horizontais (vento, empuxo, etc.), inclusive com assimetria.

Os modelos em pórticos espaciais são composições de elementos lineares, que, em edifícios, formam painéis compostos por vigas, pilares e tirantes, quando esses existirem. Nas intersecções entre elementos, denominadas “nós”, podem ser atribuídas ligações rígidas, semi-rígidas ou flexíveis, simulando, de maneira mais adequada, as ligações entre vigas e pilares, por exemplo (Fontes, 2005).

Com os modelos de pórticos tridimensionais, a análise estrutural torna-se mais completa, pois se podem determinar todas as solicitações importantes nos elementos: os momentos fletores e de torção e as forças normais e cortantes. Quanto maior o grau de precisão que se busca, maior a complexidade no cálculo, pois cada elemento passa a ter seis graus de liberdade por nó, três translações e três rotações.

A integração com o modelo de grelha, utilizado no programa da TQS, faz com que todos os esforços (forças normal e cortante, momentos torçor e fletor) obtidos nas barras que simulam as lajes de cada pavimento sejam transferidos automaticamente para o pórtico espacial do edifício, como ações concentradas nas vigas. Isto faz com que a distribuição de esforços seja realizada de forma bastante realista, como mostra a Figura 6.3.

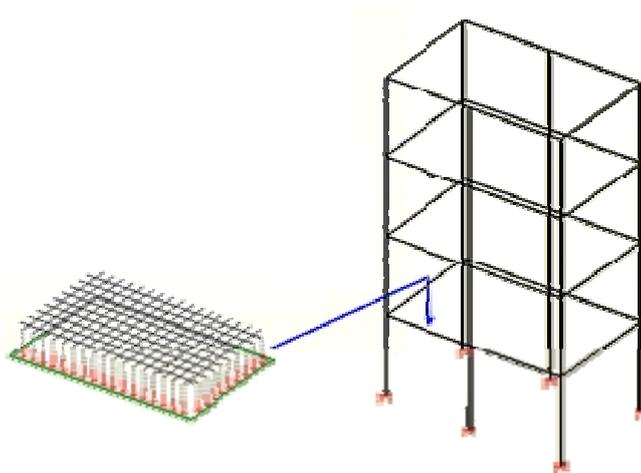
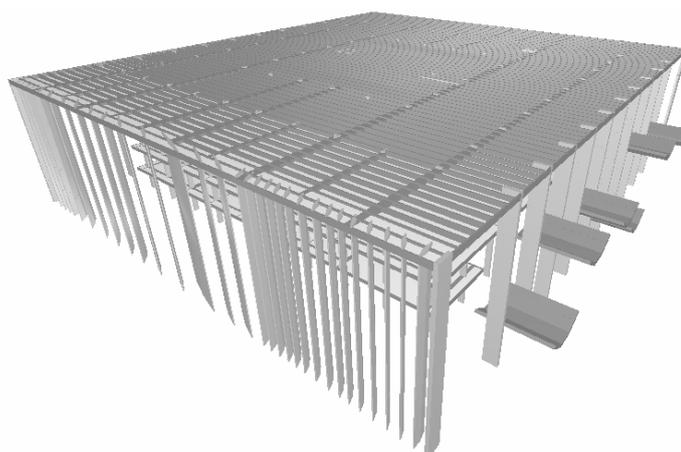


Figura 6.3 – Modelo integrado: grelha + pórtico espacial
(<http://www.tqs.com.br> Acesso em: 16 junho 2006)

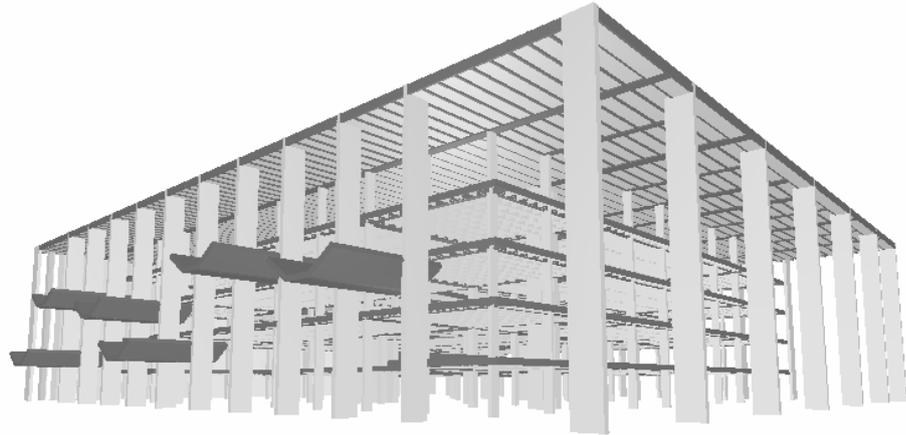
6.2.3 - Modelo espacial do Palácio da Justiça

Praticamente todo o lançamento dos elementos estruturais do modelo foi baseado no projeto original da estrutura do Palácio da Justiça. Durante este processo de modelagem, a visualização da estrutura em 3D foi utilizada para verificar se o posicionamento dos elementos inseridos estava correto, interferências entre elementos e, ainda, mostrar vistas panorâmicas da edificação.

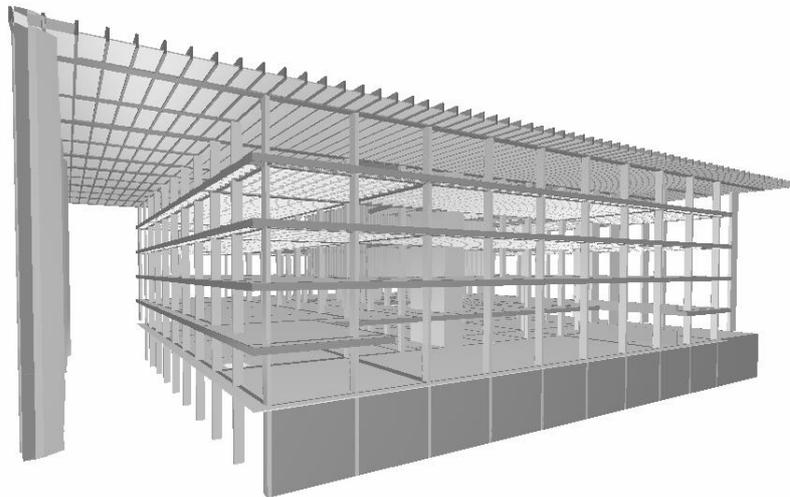
As figuras a seguir ilustram o resultado final da modelagem, realizada com o programa Sistema CAD/TQS.



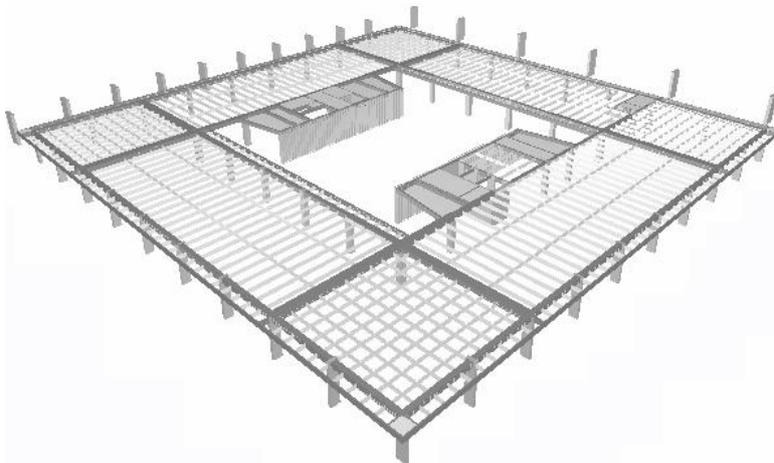
- a) Perspectiva 1 - Estruturas da fachada oeste, com os brises, e da fachada sul, com as cascatas.



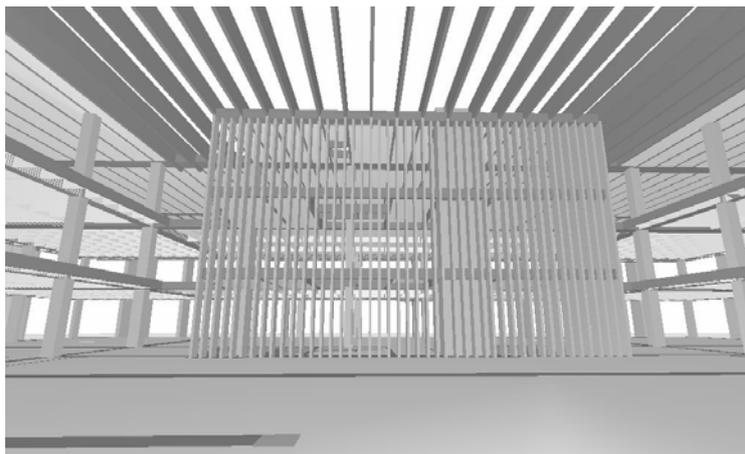
b) Perspectiva 2 – Estruturas da fachada sul, com as cascatas, e fachada leste



c) Perspectiva 3 – Estrutura interna do Palácio: subsolo, térreo e quatro pavimentos



d) Perspectiva 4 – Estrutura do 4º. pavimento, sem a “capa” superior de concreto das lajes nervuradas



e) Perspectiva 5 – Estrutura do jardim interno, com as vigas do pergolado acima e a fila de pilares espaçados de 0,45 m

Figura 6.4 – Modelo 3D da estrutura do Palácio da Justiça (CAD/TQS)

6.3 - AÇÕES CONSIDERADAS

Para avaliar a concepção estrutural do Palácio da Justiça, priorizou-se a consideração da influência das ações que podem produzir efeitos mais significativos para a segurança da estrutura.

No Capítulo 4, foi visto que os valores dos carregamentos adotados no projeto original da estrutura do Palácio da Justiça estão coerentes e atendem às prescrições das normas brasileiras em vigor, naquela época e atuais. Desta forma, para os carregamentos que foram considerados, e que estão explícitos no projeto, serão adotados os mesmos valores característicos.

- Ações permanentes diretas:

- Peso próprio – A consideração do peso próprio da estrutura é realizada pelo próprio sistema CAD/TQS, com base na declaração das dimensões dos elementos (volume) e considerando o peso específico do concreto armado de 25 kN/m^3 .
- Peso dos elementos construtivos fixos e de instalações permanentes:

$$\text{Revestimentos} = \gamma_{\text{revestimento}} (0,8 \text{ kN/m}^2) \times \text{Área};$$

$$\text{Enchimento} = \gamma_{\text{enchimento}} (1,3 \text{ kN/m}^3) \times \text{Volume};$$

$$\text{Alvenarias} = \gamma_{\text{alvenaria}} (1,8 \text{ kN/m}^3) \times \text{Volume};$$

- Ações variáveis diretas:

- Carregamento acidental – Será adotado o valor de $3,0 \text{ kN/m}^2$ para as lajes dos pavimentos e de $0,5 \text{ kN/m}^2$ para as lajes de cobertura, sem acesso a público;
- Vento – O cálculo das ações provocadas pelo vento é realizado de maneira automática pelo programa, de acordo com a NBR 6123:1988, sendo fornecidos os seguintes parâmetros:
 - Velocidade básica: $V_0 = 35 \text{ m/s}$ (Brasília)
 - Fator do terreno: $S_1 = 1,0$
 - Categoria de rugosidade: $S_2 = \text{III}$, com classe da edificação = C
 - Fator estatístico: $S_3 = 1,0$
 - Coeficientes de arrasto: $C_a = 0,9$

Para os valores dos coeficientes de arrasto no cálculo das ações de vento, foi estimado o valor de 0,9 para todas as direções, já que as dimensões do edifício do Palácio da Justiça (largura frontal = 84,5 m, medida lateral = 75,1 m e altura com vento = 17,25 m) geram uma razão fora do domínio dos ábacos da norma NBR 6123:1988.

Por fim, foram consideradas, na análise da estrutura do Palácio da Justiça, as ações provocadas pela variação de temperatura, como uma ação variável indireta. Foi visto que, mesmo com as grandes dimensões do edifício, não foi prevista nenhuma junta de dilatação para a estrutura. Sendo assim, torna-se importante uma verificação no comportamento do modelo adotado frente a essa ação, cabendo aqui uma breve abordagem sobre a influência e os valores a serem considerados.

6.3.1 - Variação de temperatura

O concreto, por possuir as características de baixa resistência a tração e apresentar ruptura frágil quando submetido a esse tipo de tensão, torna-se mais susceptível à ação da variação de temperatura. As tensões provocadas por variações de temperatura, dependendo de sua intensidade, podem atingir com facilidade a resistência à tração do concreto, com possibilidade de fissuração.

O comportamento estrutural perante diferenciais térmicos depende das dimensões dos elementos, quando estabelecido um gradiente de temperatura entre a estrutura e o meio ambiente. Nos casos correntes, em diferentes partes da estrutura, o concreto não responde

com a mesma intensidade às variações ambientais, pois possui baixa condutividade térmica e o efeito depende da diferença entre os valores extremos das temperaturas máxima e mínima, em cada lugar. Assim, as variações térmicas diárias, mensais e, até mesmo, anuais podem ser significativas, uma vez que a matriz de concreto endurecido pode não ser capaz de absorver as deformações provocadas por estas variações. (Lima, M.G., Morelli, F., 2003 *apud* Isaia,1985).

A Figura 6.5, a seguir, apresenta o gráfico da variação anual de temperatura em Brasília, no período de 1961 a 1990, onde se observam as máximas e mínimas temperaturas alcançadas nos meses do respectivo período.

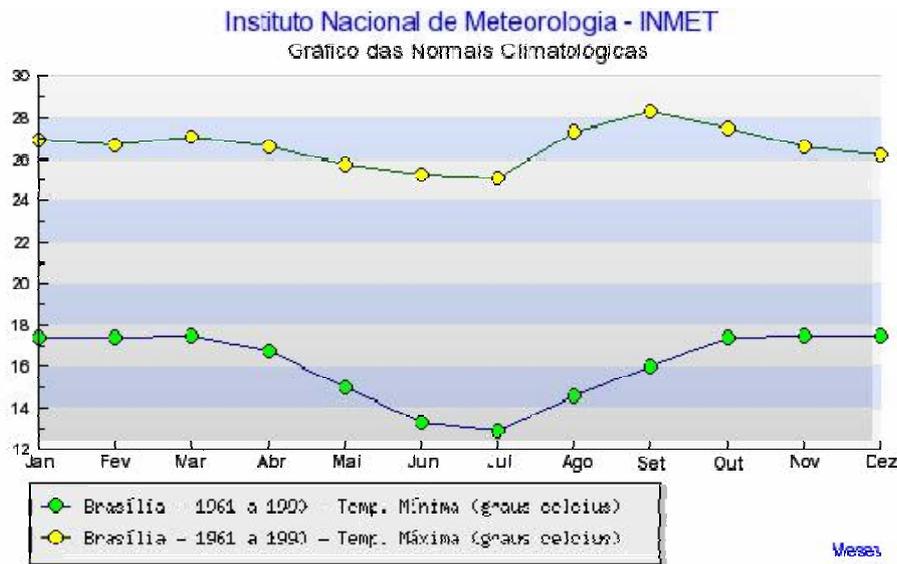


Figura 6.5 – Variação de temperatura anual em Brasília, no período de 1961 a 1990 (INMET, 2006)

De acordo com a NB1-1960, norma de concreto vigente à época do projeto, considerava-se, para o cálculo, que as variações de temperatura fossem uniformes ao longo da estrutura. Dependendo do local da obra, deveria ser considerada entre $\pm 10^{\circ}\text{C}$ e $\pm 15^{\circ}\text{C}$ em torno da média. O cálculo da influência da variação de temperatura poderia ser dispensado em peças permanentemente envolvidas por terra ou água e em edificações que não tinham, em planta, dimensão não interrompida por junta de dilatação maior que 30 m. Essas disposições foram mantidas na edição seguinte da norma, de 1978.

A norma atual, NBR 6118:2003, não traz também grandes modificações em seu texto e, para elementos estruturais cuja menor dimensão não seja superior a 50 cm, considera a

mesma oscilação de temperatura em torno da média, de 10°C a 15°C. Quanto à dispensa desse cálculo, a norma não deixa explícita nenhuma dimensão máxima em planta para a adoção de juntas de dilatação; apenas reporta que devem ser respeitadas as exigências construtivas para a minimização dos efeitos da variação de temperatura sobre a estrutura da construção.

Assim, diante do exposto e dos dados observados pela Figura 6.6, nas combinações de carregamento, será considerada a influência de uma variação de temperatura uniforme de $\pm 15^\circ\text{C}$, aplicada nos elementos da cobertura, nível mais exposto às intempéries.

6.3.2 - Combinação de ações

A probabilidade de todas as ações variáveis atuarem simultaneamente sobre toda a estrutura com seus valores mais desfavoráveis é muito pequena. Portanto, torna-se necessário analisar o comportamento da estrutura sob o efeito de combinações de ações de diferentes origens, considerando as respectivas probabilidades de ocorrência conjunta.

Na análise de estruturas de edifícios, basicamente dois tipos de combinações precisam ser verificadas: as combinações *últimas* e *de serviço*. A primeira é utilizada para o dimensionamento dos elementos estruturais, visando garantir a segurança da estrutura. Já a segunda, de serviço, é utilizada para a verificação de flechas, fissuração e vibração da estrutura, avaliando o bom funcionamento da edificação no período de vida da estrutura.

Como o objetivo de avaliar a concepção estrutural adotada no Palácio da Justiça, serão analisados os resultados obtidos com a aplicação das combinações de serviço, ou seja, o estudo do comportamento da edificação em relação aos estados limites de serviço (ELS).

Nos estados limites de serviço, as ações podem ter três diferentes combinações, conforme as intensidades de sua permanência na estrutura:

- a) *combinações quase permanentes*: “combinações que podem atuar durante grande parte do período de vida da estrutura e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado limite de deformações excessivas” (NBR 6118:2003);

$$F_{d,ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k} \quad (6.1)$$

onde:

$F_{d,ser}$ – é o valor de cálculo das ações para as combinações de serviço;

$F_{Gi,k}$ – representa as ações permanentes diretas;

$F_{Qj,k}$ – é o valor característico das ações variáveis diretas;

ψ_{2j} – é o fator de redução quase permanente para as ações variáveis diretas.

- b) *combinações freqüentes*: “se repetem muitas vezes durante o período de vida da estrutura e sua consideração pode ser necessária na verificação dos estados limites de formação de fissuras, de abertura de fissuras e de vibrações excessivas. Podem também ser consideradas para verificações de estados limites de deformações excessivas decorrentes de vento ou temperatura que podem comprometer as vedações” (NBR 6118:2003);

$$F_{d,ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k} \quad (6.2)$$

Observa-se, que a ação variável principal, F_{Q1} , é considerada com seu valor freqüente, $\psi_1 F_{Q1,k}$, e todas as demais ações variáveis são consideradas com seus valores quase-permanentes, $\psi_2 F_{Qk}$.

- c) *combinações raras*: “ocorrem algumas vezes durante o período de vida da estrutura e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado limite de formação de fissuras” (NBR 6118:2003);

$$F_{d,ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} F_{Qj,k} \quad (6.3)$$

A ação variável principal é tomada com seu valor característico, $F_{Q1,k}$, e todas as demais ações são tomadas com seus valores freqüentes, $\psi_1 F_{Qk}$.

Pela quantidade de ações presentes em uma estrutura, dezenas ou, até mesmo, centenas de combinações precisam ser verificadas, tornando as suas quantificações manuais extremamente trabalhosas e passíveis de erros. Assim, para uma melhor avaliação, utilizaram-se os recursos do mesmo programa empregado na análise estrutural para geração das combinações.

Após o processamento de toda a estrutura, foi possível analisar os casos de combinações preponderantes que geram os esforços e deslocamentos mais desfavoráveis, avaliando o comportamento da estrutura do Palácio da Justiça em resposta às ações conjuntas.

6.4 - RESULTADOS

Antes da apresentação dos resultados, é importante destacar que a análise realizada admitiu o comportamento elástico-linear para os materiais. Esse tipo de análise, de acordo com o item 14.5.2 da NBR 6118:2003, é usualmente empregado para a verificação aos estados limites de serviço, objetivo do presente trabalho.

Sabe-se que uma análise mais rigorosa poderia exigir a consideração do comportamento não-linear dos materiais, sendo necessário conhecer também a geometria correta da estrutura, inclusive todas as áreas e disposição real de suas armaduras, dos quais depende a resposta da estrutura. Além disso, o tempo necessário para um processamento não-linear de pavimentos muito complexos, como da estrutura do Palácio da Justiça, inviabilizaria a referida análise e não se inclui no escopo do presente trabalho.

A seguir, apresentam-se os valores de alguns parâmetros adotados para o concreto da estrutura do Palácio, na análise realizada, conforme disposições da NBR 6118: 2003:

- Módulo de elasticidade secante (longitudinal):
 $E_{cs} = 2,13 \times 10^4$ MPa (para $f_{ck} = 20$ MPa – pavimentos);
 $E_{cs} = 1,94 \times 10^4$ MPa (para $f_{ck} = 16$ MPa – cobertura);
- Módulo de elasticidade transversal:
 $G_c = 8,88 \times 10^3$ MPa (para $f_{ck} = 20$ MPa – pavimentos);
 $G_c = 8,09 \times 10^3$ MPa (para $f_{ck} = 16$ MPa – cobertura);
- Coeficiente de Poisson:
 $\nu = 0,2$

Vale comentar que, os valores de módulo de elasticidade, E_c , só não foram determinados no programa experimental, realizado neste trabalho, pela dificuldade em extrair mais testemunhos da estrutura, considerando que essa seja uma técnica destrutiva e, assim, acaba por modificar a textura dos elementos em concreto aparente.

Para a apresentação dos resultados, serão analisados os deslocamentos, e quando necessário, os esforços, em duas etapas distintas. A primeira são os resultados da análise dos pavimentos pela analogia de grelha e a segunda da análise do edifício pelo modelo de pórtico espacial.

6.4.1 - Análise dos pavimentos

Realizado o processamento de cálculo, é necessário buscar informações capazes de auxiliar na avaliação do comportamento da estrutura. Com o avanço dos recursos computacionais, existe hoje a possibilidade de realizar a análise global de resultados de forma gráfica, facilitando a interpretação do comportamento da estrutura.

Para ilustrar os resultados obtidos com a discretização dos pavimentos em analogia de grelha, serão reproduzidas as resultantes de deslocamentos das estruturas dos pavimentos, em uma análise voltada aos efeitos dos carregamentos verticais.

O caso de combinação mais desfavorável de ações para os pavimentos aos ELS foi a *combinação freqüente*: $F_{d, serv} = \text{Peso próprio} + \text{carga permanente} + 0,7 \cdot (\text{carga acidental})$

Na Figura 6.6, são apresentados, graficamente, os deslocamentos verticais máximos obtidos para a estrutura do térreo (primeira laje).

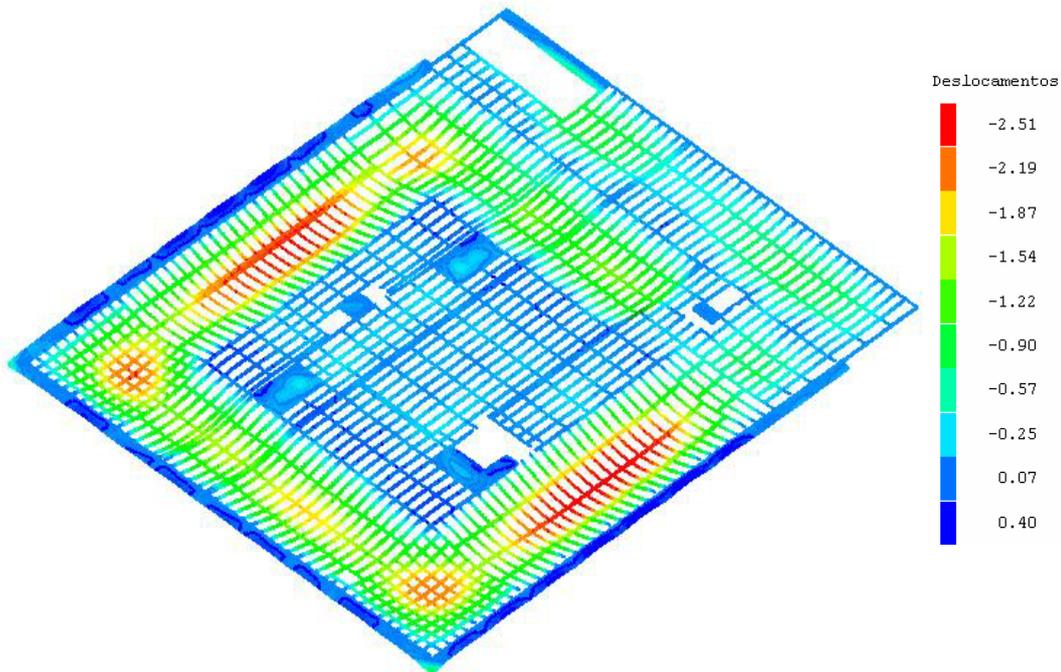


Figura 6.6 – Deslocamentos verticais da estrutura do térreo, em centímetros (CAD/TQS)

De acordo com a planta de fôrma do térreo do projeto original da estrutura do Palácio da Justiça, para as regiões onde se observam os maiores deslocamentos verticais, -2,5 cm, foi prevista uma contraflecha de 3,0 cm, como mostra a Figura 4.19 (Capítulo 4).

Os deslocamentos verticais da estrutura do 2º. pavimento são mostrados na Figura 6.7. O valor máximo da flecha encontrado foi de -2,98 cm, em região “isolada”, e, nas maiores lajes, destaca-se o valor de -2,17 cm.

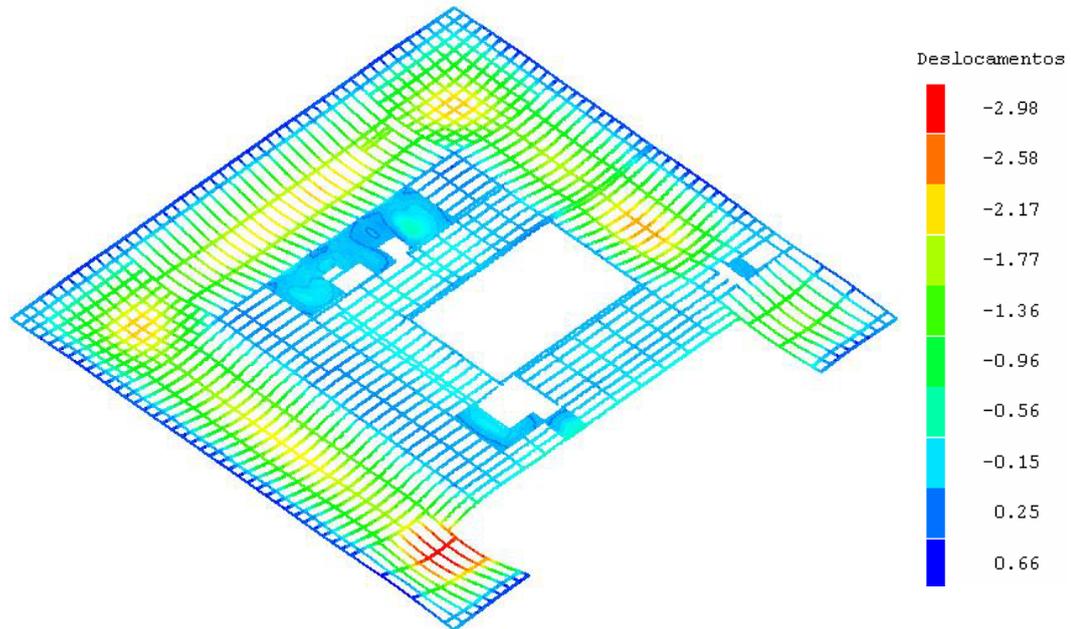


Figura 6.7 – Deslocamentos verticais da estrutura do 2º. pav., em centímetros (CAD/TQS)

Para o 3º. Pavimento, os deslocamentos máximos obtidos, no estado limite de serviço, foram da ordem de -2,40 cm, para as nervuras com vãos de 13,0 m.

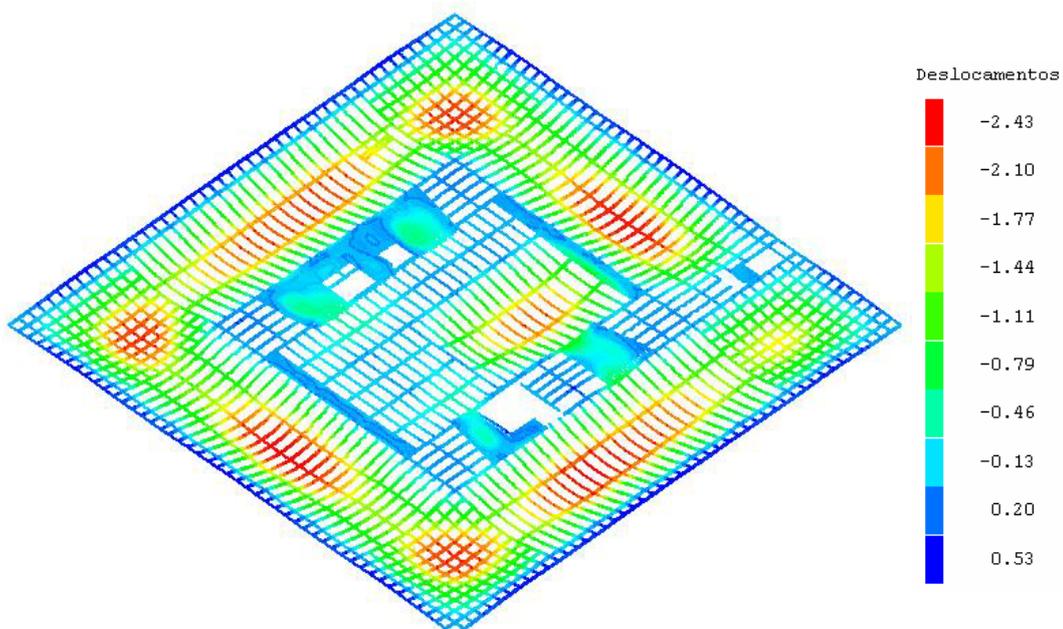


Figura 6.8 - Deslocamentos verticais da estrutura do 3º. pav., em centímetros (CAD/TQS)

Tanto para o 2º. pavimento como para o 3º. pavimento, o projeto original indicou contraflechas de 3,0 cm para as regiões onde se observam os maiores deslocamentos. As plantas de fôrmas desses pavimentos, inclusive com as indicações de contraflecha, foram reproduzidas nas Figuras 4.20 e 4.21 (Capítulo 4).

Para os 4º. e 5º. pavimentos, que possuem a mesma estrutura, obteve-se para os deslocamentos verticais o gráfico apresentado na Figura 6.9, apresentando o valor máximo de -2,98 cm. Os maiores deslocamentos acontecem, também, nas lajes nervuradas (grelha de vigas), com vãos de 13,0 m.

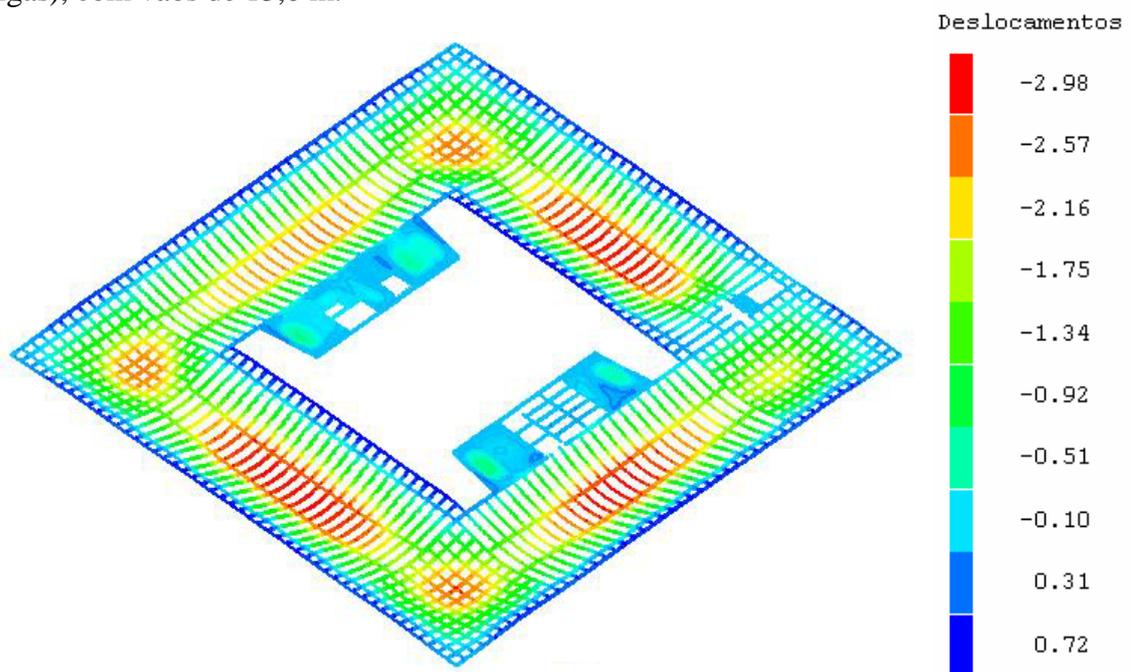


Figura 6.9 - Deslocamentos das estruturas do 4º. e 5º. pav., em centímetros (CAD/TQS)

Assim como nos outros pavimentos, também foi previsto, no projeto da estrutura do Palácio da Justiça, contraflechas de 3,0 cm no centro das lajes nervuradas, exatamente onde foram encontrados os maiores valores de deslocamentos. Estas constatações são uma indicação da qualidade do projeto estrutural em análise, realizado há mais de 30 anos, e evidenciam também que o modelo idealizado neste trabalho funcionou de modo análogo ao projeto original.

Além disso, observa-se que os valores de deslocamentos máximos, nos pavimentos, ocorrem para os elementos com vãos de 13,0 m e de acordo com a norma atual, NBR 6118:2003, os deslocamentos limites para aceitabilidade sensorial, valores práticos utilizados para verificação em serviço do estado limite de deformações excessivas da

estrutura, é de $\ell/250$, ou seja, 5,2 cm. Outra limitação é quanto à atuação da contraflecha, que deve ser no máximo igual a $\ell/350$ (para os vãos de 13 m resulta em 3,7 cm). Portanto, tanto os valores de deslocamentos obtidos como as contraflechas indicadas, atendem aos limites normativos atuais, pois foram inferiores a essas prescrições.

O último nível do edifício analisado foi a cobertura. Nela considerou-se, por ser mais exposta às condições climáticas, a influência da variação de temperatura como uma parcela adicional nas combinações de ações.

O caso de combinação mais desfavorável ao ELS foi a *combinação freqüente*:

$$F_{d,ser} = \text{Peso próprio} + \text{carga permanente} + 0,6.(\text{carga acidental}) + 0,5.(\text{temperatura})$$

A resultante dos deslocamentos para a estrutura da cobertura, decorrente dessa combinação, é apresentada pela Figura 6.10, a seguir.

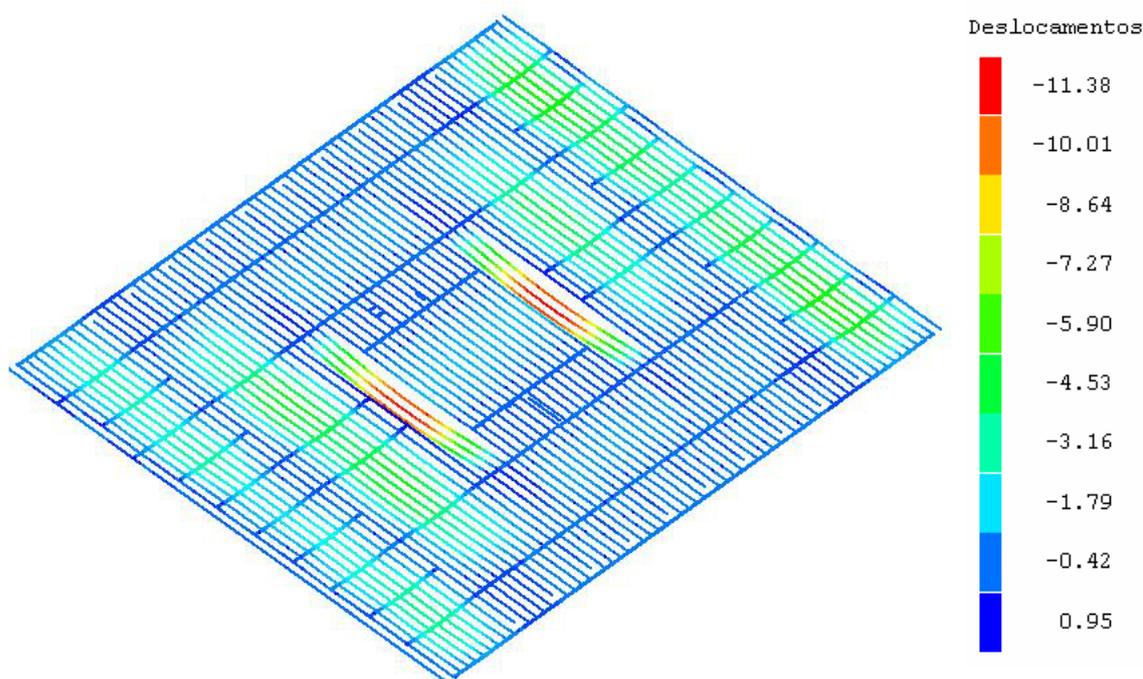


Figura 6.10 - Deslocamentos da cobertura, em centímetros (CAD/TQS)

Percebe-se que os maiores deslocamentos são nas vigas que formam o pergolado superior do jardim interno, onde o valor máximo encontrado foi de -11,38 cm. Apesar de atuarem somente o peso próprio e as cargas permanentes dos revestimentos, essas vigas possuem seção transversal de 15 cm x 100 cm e o vão livre de 32,0 m. Outra região que apresentou

grandes deslocamentos foi a correspondente à laje do avarandado da fachada leste, com valores máximos, na ordem, de -4,0 cm.

As contraflechas indicadas em projeto, foram de 8,0 cm para as vigas extremas do pergolado e de 5,0 cm para o centro das lajes que formam o avarandado da fachada leste. Assim, os deslocamentos verticais obtidos na análise presente, que ainda irão sofrer o acréscimo resultante da deformação lenta do concreto (fluência), foram parcialmente compensados.

Os deslocamentos apresentados na Figura 6.10 sofrem maior influência dos deslocamentos no plano vertical, normal às lajes (eixo z). Porém, sabe-se que a influência da variação de temperatura na estrutura influi, principalmente, nos deslocamentos e esforços horizontais, ou seja, no mesmo plano das lajes. Percebeu-se, então, a necessidade de um breve estudo, em particular, dessa influência da temperatura.

Inicialmente, essa avaliação será feita para a cobertura isoladamente, buscando observar a tendência de deslocamentos no plano dos elementos e, também, os principais esforços gerados. Para a análise dos deslocamentos, foi feito um refinamento no modelo adotado para a estrutura da cobertura, discretizando inclusive as lajes entre vigas.

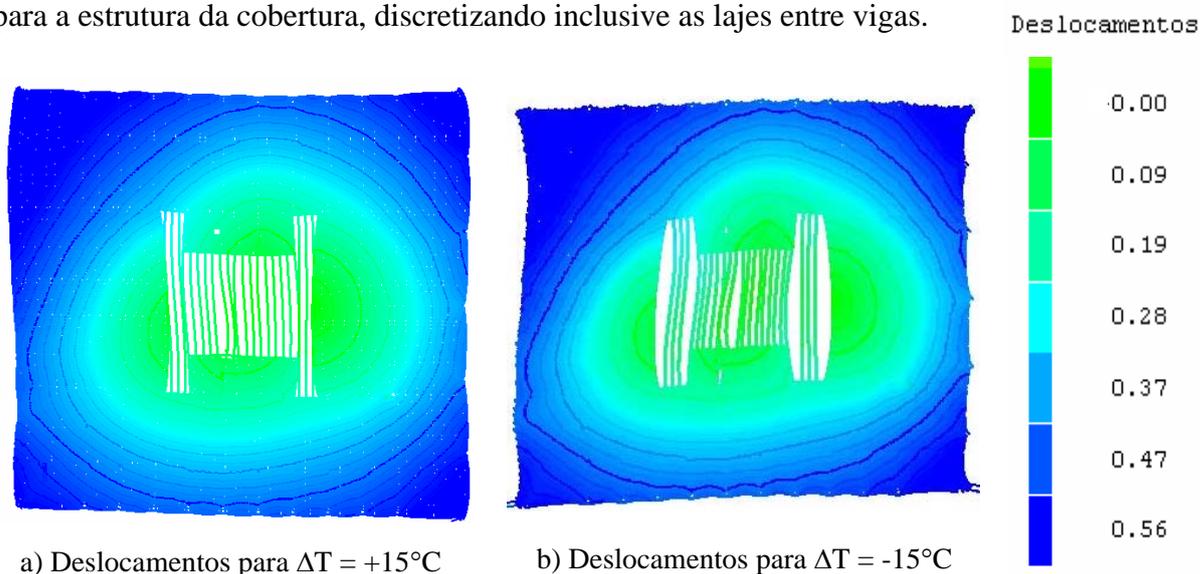


Figura 6.11 – Deslocamentos horizontais da cobertura, em centímetros, devido à variação de temperatura de $\pm 15^\circ\text{C}$ (CAD/TQS)

A Figura 6.11 apresenta os gráficos resultantes dos deslocamentos horizontais (eixos “x” e “y”), devido a uma variação de temperatura de $\pm 15^\circ\text{C}$. Observa-se que a amplitude

máxima dos deslocamentos é de 0,56 cm, em sentidos opostos para cada caso de ΔT . Levando em consideração as dimensões da cobertura, 84,50 m x 75,10 m, esses deslocamentos horizontais não são tão expressivos, pois a grande rigidez da estrutura restringe maiores deslocamentos.

Essa restrição da estrutura aos deslocamentos direciona a análise para uma avaliação dos esforços normais, gerados nos elementos. Uma avaliação desse tipo poderia ser de interesse para o dimensionamento desses elementos, visando analisar sua influência na segurança estrutural aos estados limites últimos. Sendo assim, será realizada aqui apenas uma breve exposição dos valores encontrados.

Como o concreto apresenta baixa resistência à tração, torna-se mais importante avaliar a amplitude desse tipo de tensão. A Figura 6.12 apresenta o resultado das forças axiais para o caso da variação de temperatura de $+15^{\circ}\text{C}$, onde nota-se a predominância de forças de tração.

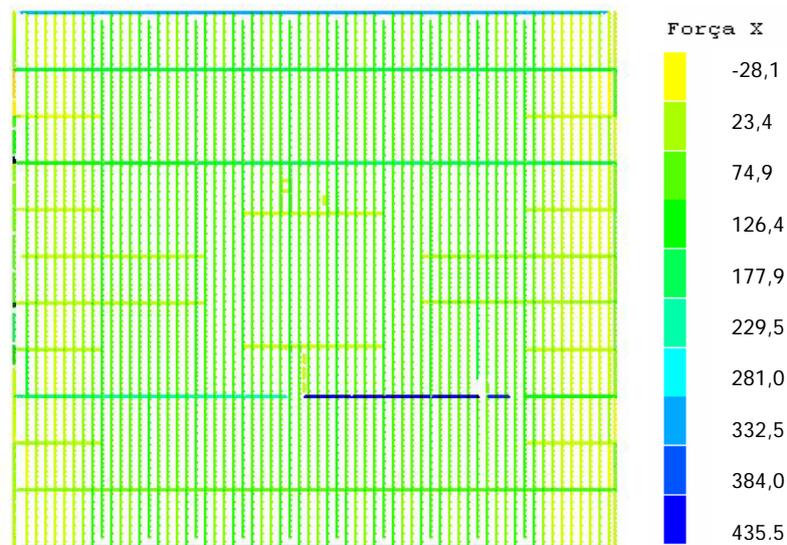


Figura 6.12 – Forças axiais nas vigas da cobertura, kN, para um $\Delta T = +15^{\circ}\text{C}$ (CAD/TQS)

Os valores das forças normais obtidos foram significativos. No modelo adotado, muitas barras longitudinais, equivalentes a vigas retangulares com seção transversal de 15 cm x 70 cm, apresentaram forças de tração da ordem de 100 kN.

Observa-se, ainda, que as vigas transversais que se estendem por toda a extensão de 75,10 m, apresentaram grandes forças normais de tração. As vigas de bordo, com 70 cm x 50 cm,

das fachadas sul e norte (barra inferior e superior, na Figura 6.13), apresentaram forças de tração da ordem de 330 kN. E, mais internamente, a maior força obtida, de 435 kN, ocorre em uma viga transversal, com seção de 115 cm x 50 cm.

6.4.2 - Análise espacial da estrutura

De modo geral, a estrutura do edifício apresenta peças com esbeltez reduzida, o que atribui ao conjunto uma elevada rigidez. Mesmo assim, uma análise em pórtico espacial proporciona a obtenção dos deslocamentos nos nós do modelo, permitindo assim, uma avaliação mais realista do grau de deslocabilidade da estrutura do edifício aos estados limites de serviço.

Além das considerações já descritas anteriormente, vale destacar, para essa análise, a grande influência da interação estrutura-solo nos resultados que se pretende avaliar. Foi visto, durante a pesquisa histórica da obra do Palácio da Justiça (Capítulo 4), que as fundações foram executadas em tubulões a céu aberto. Dessa forma, em razão da rigidez elevada característica desse tipo de fundação, adotou-se como hipótese uma condição de contorno dos pilares engastados na base do edifício.

Para a verificação em serviço do estado limite de deformação excessiva da estrutura, são apresentados a seguir, na Figura 6.13, os valores de deslocamentos horizontais máximos para o caso de vento com ângulo de incidência de 0°.

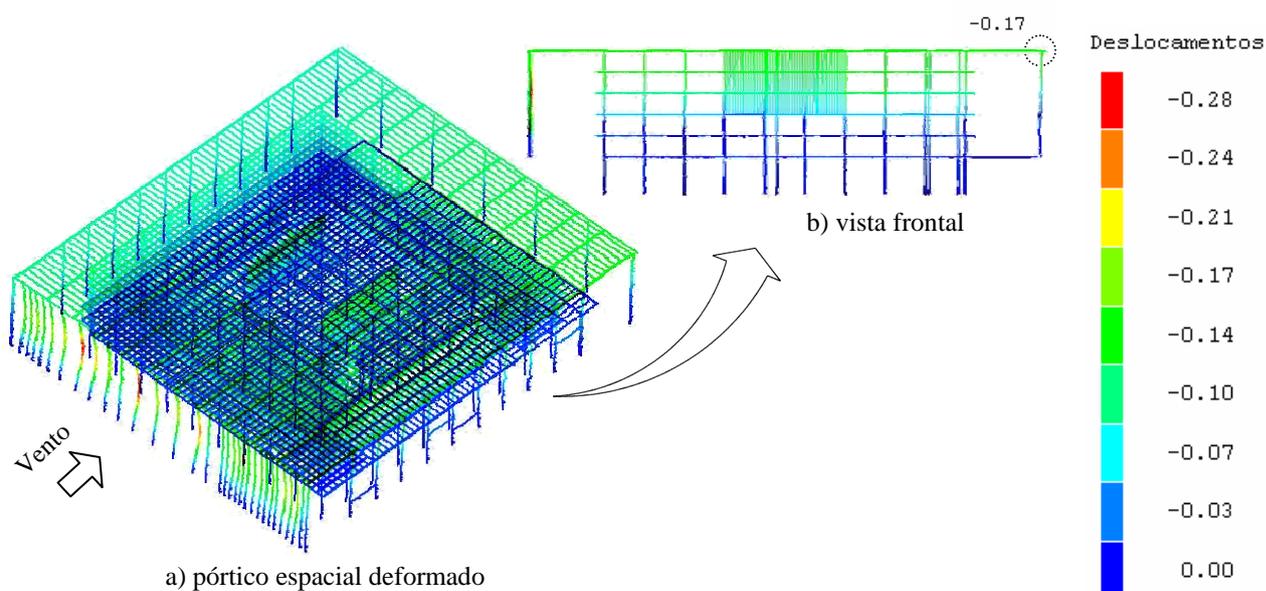


Figura 6.13 – Deslocamentos horizontais, em centímetros, pela ação do vento com incidência de 0° (CAD/TQS)

Observa-se que os maiores deslocamentos ocorrem nas “lâminas” que formam o *brise* da fachada oeste, de -0,28 cm.

A seguir, na Figura 6.14, são mostrados os valores dos deslocamentos horizontais para o caso de vento com incidência de 90°:

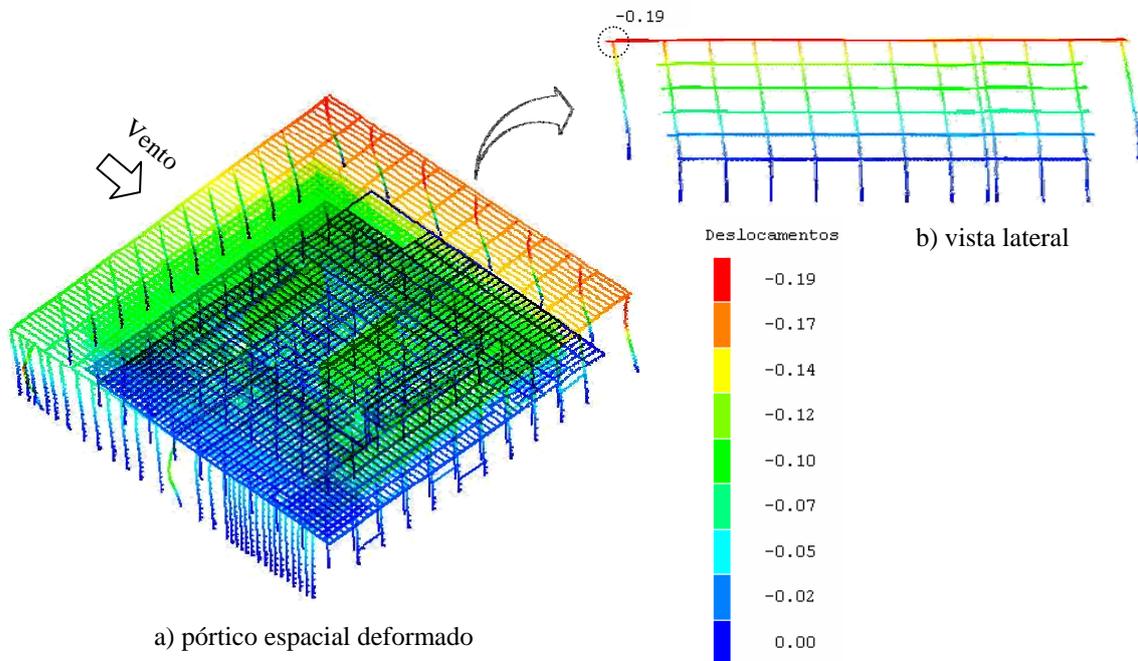


Figura 6.14 – Deslocamentos horizontais, em centímetros, pela ação do vento com incidência de 90° (CAD/TQS)

Para efeito de comparação com os limites apresentados na NBR 6118:2003, interessa o deslocamento máximo absoluto no topo do edifício. De acordo com a tabela 13.2 da norma, para que seja atendido o limite de deslocamento para os elementos não estruturais, no caso as paredes, deve-se limitar o movimento lateral do edifício, provocado pela ação do vento em combinação freqüente ($\psi_1=0,30$), em $H/1700$, onde H é a altura total do edifício:

$$\text{- deslocamento limite} \Rightarrow \frac{H}{1700} = \frac{2325 \text{ cm}}{1700} = 1,36 \text{ cm}$$

$$\text{- deslocamento a considerar} \Rightarrow 0,30 \cdot \delta_{\text{VENTO}} = 0,30 \cdot 0,19 \text{ cm} \cong 0,06 \text{ cm} < 1,36 \text{ cm}$$

Assim, para os valores encontrados, a estrutura atende com folga aos limites impostos pela norma atual, no item deslocamento horizontal provocado pela ação do vento, o que já era esperado considerando-se as características dessa estrutura: baixa altura e elevada rigidez.

Outra limitação da tabela 13.2 da NBR 6118:2003 é relacionada aos movimentos horizontais provocados pela diferença de temperatura na estrutura.

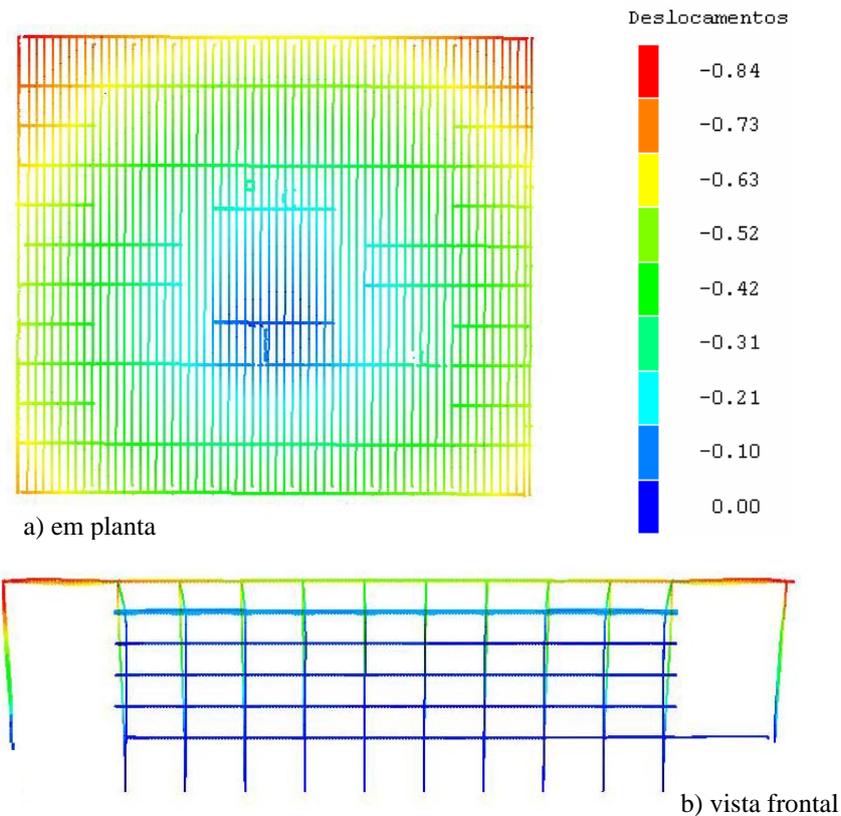


Figura 6.15 - Deslocamentos horizontais, em centímetros, pela variação de temperatura de +15°C (modelo pórtico espacial, CAD/TQS)

Na Figura 6.15, são apresentados os deslocamentos horizontais resultantes no modelo de pórtico espacial da influência de variação de temperatura, $\Delta T = +15^\circ\text{C}$. Nota-se que o deslocamento máximo, nos extremos da cobertura, é maior do que aquele obtido pela análise da cobertura isolada, em modelo de grelha. Tal diferença pode ser explicada pelo fato do pórtico espacial considerar, inclusive, os deslocamentos das barras verticais, os pilares, respondendo às ações solicitantes em conjunto com o restante da estrutura.

Para atender à norma atual, o deslocamento máximo horizontal de variação de temperatura, não pode ultrapassar o limite de $H_i/500$, onde H_i é o desnível entre dois pavimentos vizinhos, visando assegurar o adequado funcionamento de forros (elementos não estruturais). Dessa forma:

$$\text{- deslocamento limite} \Rightarrow \frac{H_i}{500} = \frac{345 \text{ cm}}{500} = 0,69 \text{ cm}$$

$$\text{- deslocamento a considerar} \Rightarrow \delta_{\text{COB.}} = 0,84 \text{ cm} > 0,69 \text{ cm}$$

O valor encontrado de 0,84 cm é superior ao limite estipulado pela norma NBR 6118:2003, em aproximadamente 22%. Apesar da diferença não ser excessiva, poderia ser apontada como uma das causas de problemas com os forros instalados na laje de cobertura, teto do 5º. pavimento. Esse resultado direciona para futuras inspeções desse problema, como parte de um programa de manutenção periódica da edificação.

6.4.2.1 - Estabilidade global do edifício

Como referência para a avaliação da estabilidade global de edifícios de concreto armado é bastante utilizada no meio técnico uma formulação baseada no coeficiente γ_z , formulação proposta por dois engenheiros brasileiros, Eng. Augusto Carlos Vasconcelos e Eng. Mário Franco (Belk A., 2007 apud Franco, M., Vasconcelos, A.C., 1991)

O coeficiente γ_z , adotado também pela NBR 6118:2003, pode ser utilizado na avaliação dos esforços de segunda ordem globais para estruturas reticuladas de, no mínimo, quatro andares, e é calculado pela expressão:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{\text{tot,d}}}{M_{1,\text{tot,d}}}} \quad (6.4)$$

onde:

$M_{1,\text{tot,d}}$ é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura;

$\Delta M_{\text{tot,d}}$ é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1ª ordem;

O cálculo de γ_z , para a estrutura em análise, foi realizado computacionalmente pelo Sistema CAD/TQS, no processamento do modelo de pórtico espacial. Esse cálculo segue

as prescrições da NBR 6118:2003, item 15.5.3, sendo feito aqui somente uma análise e interpretação dos resultados obtidos.

Primeiramente, vale entender o que representa esse parâmetro γ_z . Os valores mais comuns de estruturas com projeto adequado são, em geral, ligeiramente maiores que 1,0 (1,05, 1,10, 1,15, etc). Valores menores que 1,0 ou negativos indicam falhas no cálculo ou na análise estrutural, assim como valores muito superiores indicam que a estrutura seria instável (acima de 1,30, já indicam uma estrutura consideravelmente instável). De maneira simplificada, pode-se dizer que a parte decimal do valor de γ_z indica a magnitude dos efeitos globais de segunda ordem previstos na estrutura.

Para a estrutura do Palácio da Justiça, o maior valor de γ_z encontrado foi de 1,09, ocorrendo para o caso da combinação de ações, no ELU, provenientes de: peso próprio + cargas permanentes + 0,8 (cargas acidentais) + 0,86 (variações de temperatura) + 0,6 (ação do vento à 0°). Esse valor, 1,09, indica que os efeitos de 2ª ordem são menores que 10% dos efeitos de 1ª ordem (cerca de 9%), podendo se classificar a estrutura como de nós fixos (NBR 6118:2003, itens 15.4.2 e 15.5.3). Isso viria confirmar que os deslocamentos horizontais dos nós são pequenos e, por decorrência, os efeitos globais de 2ª ordem são desprezíveis.

7 - ESTRATÉGIAS PARA UM PROGRAMA DE MANUTENÇÃO

7.1 - INTRODUÇÃO

Após a avaliação da estrutura do Palácio da Justiça realizada neste trabalho, o objetivo deste capítulo é uma apresentação sucinta do problema, discutindo estratégias para a elaboração de um programa de manutenção, visando contribuir para a extensão da vida útil do edifício.

Antes de propor um programa de manutenção específico para a estrutura em estudo, serão abordados alguns conceitos fundamentais sobre manutenção de estruturas, ainda não explanados nos capítulos anteriores do presente trabalho.

7.2 - MANUTENÇÃO DE ESTRUTURAS

A manutenção de uma edificação pode ser entendida como um conjunto de atividades periódicas, de responsabilidade do(s) usuário(s), destinadas a manter o seu desempenho e dos componentes e materiais durante sua vida útil. Pode também ser uma atividade excepcional, quando tem a função de corrigir danos causados por um acidente, por exemplo, ou quando realizada para reparar danos causados por falhas de projeto, execução e utilização ou em casos de deficiência ou ausência de programa regular de manutenção.

A conscientização da necessidade de manutenção periódica é muito importante, uma vez que os gastos com esse processo tornam-se mais elevados à medida que se aumenta o intervalo entre as vistorias.

No caso específico de manutenção de estruturas, a “lei de evolução dos custos”, também chamada lei de Sitter, o nome de seu autor (apud Helene, 1992), nos indica que adiar uma intervenção pode significar o aumento dos custos diretos e indiretos em uma progressão geométrica de razão cinco. Em outras palavras, se aos recursos despendidos com o projeto e a execução corretos for atribuído o valor unitário, o custo da manutenção preventiva seria 5 vezes maior e o custo dos reparos necessários para manutenção corretiva, por não ter sido realizada as ações preventivas correspondentes, será igual a 25, conforme indicado na Figura 7.1. Se não forem tomadas as medidas previstas em um diagnóstico correto da

estrutura e a manutenção corretiva prorrogada, ela pode assumir um caráter extensivo, incluindo reforços da estrutura, escoramentos, etc, com esse fator podendo evoluir, segundo Sitter, para 125 vezes o valor dos recursos iniciais despendidos na edificação.

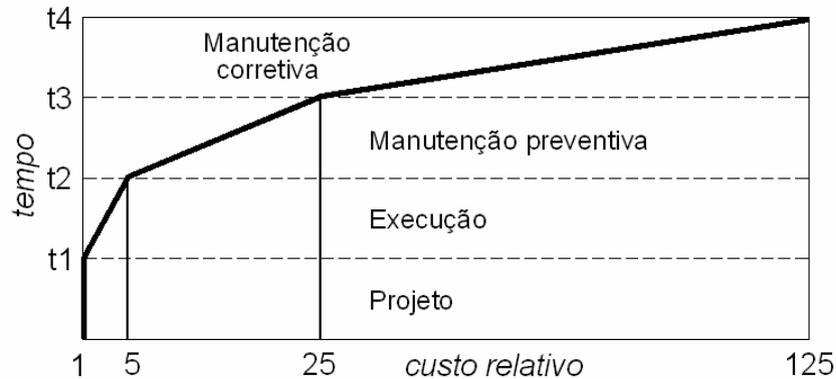


Figura 7.1 – Lei de evolução de custos (Helene, 1992 apud SITTER, 1984)

A manutenção de uma estrutura de concreto compreende um conjunto de atividades técnicas, cujo planejamento deve compreender, necessariamente, os períodos relacionados a duas etapas:

- Manutenção preventiva – envolve o conjunto de ações técnicas realizadas para prevenir a ocorrência de falhas ou lesões, tomadas com antecedência e a previsão de intervalos de tempo, durante o período de uso da estrutura. Baseia-se no diagnóstico apropriado de sintomas patológicos mediante inspeções periódicas competentes, condicionadas pela à natureza das ações, agressividade do ambiente e quantidade de vidas envolvidas (FIP, 1988).
- Manutenção corretiva – conjunto de ações técnicas cuja realização é decidida a partir do diagnóstico de problemas, que causem o mau desempenho ou afetem a essência funcional da edificação. As ações podem se propor a recuperar, reforçar ou mesmo substituir parte(s) do sistema.

Baseado nesses conceitos, na Figura 7.2 é apresentado um fluxograma com as possíveis etapas que compreendem um plano de manutenção.

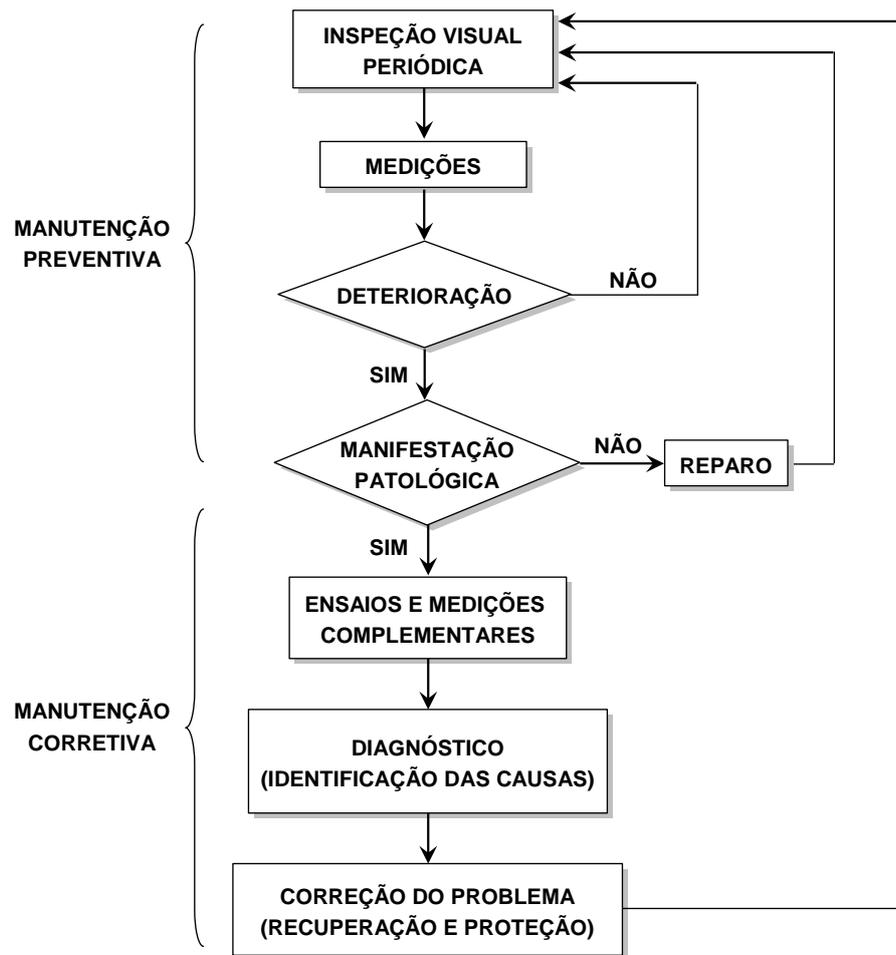


Figura 7.2 – Fluxograma para um plano de manutenção (adaptado de Castro *et al.*, 2003)

Hoje, com a evolução do conhecimento, sabe-se que a vida útil da estrutura depende, substancialmente, de níveis adequados de manutenção, principalmente porque os eventuais problemas estruturais, sendo descobertos em seu início, teriam seus efeitos minorados e, como visto, os custos de reparo seriam reduzidos. Portanto, é fundamental fazer prevalecer o conceito de que as estruturas, mesmo bem projetadas e construídas, dependem de manutenção.

A representação esquemática, mostrada na Figura 7.3, relaciona o uso (desempenho) de uma estrutura com a sua vida útil (tempo).

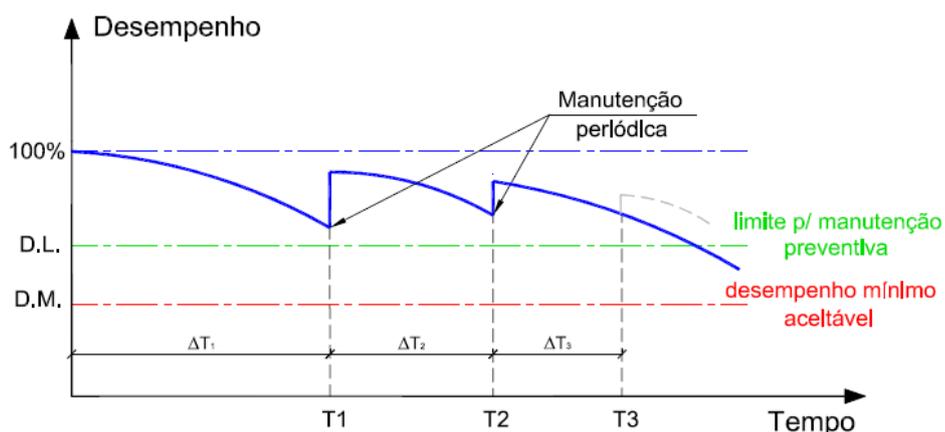


Figura 7.3 – Modelo de desempenho de uma estrutura sob manutenção periódica (adaptada de Cunha, 2006)

O gráfico da Figura 7.3 considera o desempenho de uma estrutura sujeita apenas a efeitos de seu desgaste natural, passando por manutenção periódica preventiva. Observa-se que sempre haverá uma perda residual de desempenho. Uma vez ultrapassado o desempenho limite previsto para a manutenção preventiva é necessário programar a realização de serviços de recuperação para manutenção corretiva, antes de se ultrapassar o limite crítico de aceitação.

No limite da vida da estrutura, o sistema tenderia para uma exigência de serviços e intervenção de reforço. Assim, é necessário ter consciência de que a manutenção é fundamental para que as estruturas desempenhem as funções para as quais foram projetadas.

7.3 - PROGRAMA DE MANUTENÇÃO PARA O PALÁCIO DA JUSTIÇA

Um programa de manutenção de estruturas deve ser precedido de uma metodologia de elaboração e operação, e justificada pelas vantagens que poderão ser observadas no desempenho da estrutura, ou seja, no prolongamento de sua vida útil.

Para a estrutura do Palácio da Justiça, tendo por base o modelo de desempenho da Figura 7.3, uma proposta de programa de manutenção pode ser representado pelo esquema da Figura 7.4, a seguir, em presença das inspeções e estudos efetuados neste trabalho, objeto dos capítulos anteriores.

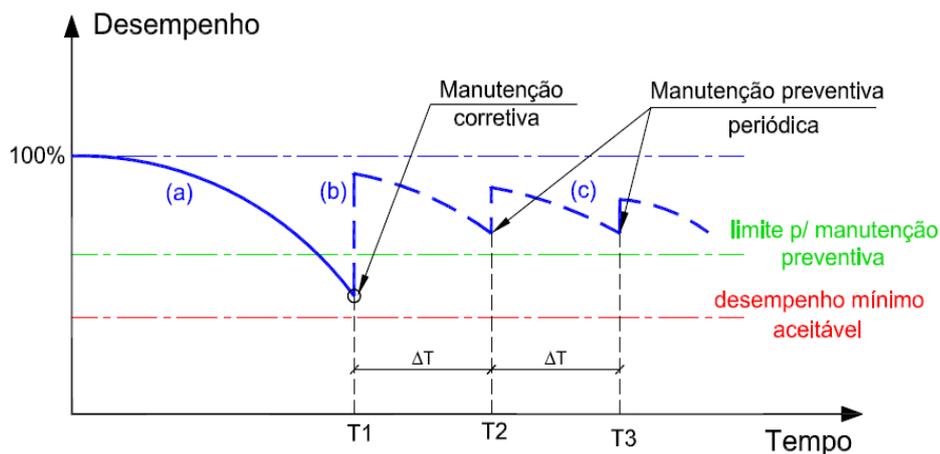


Figura 7.3 – Proposta de modelo para o desempenho da estrutura do Palácio da Justiça

O trecho (a), na Figura 7.4, busca representar o desempenho atual da estrutura do Palácio da Justiça, em que o nível de deterioração calculado para alguns elementos foi considerado crítico, mesmo com as obras de reparo realizadas, como mostrou o Capítulo 5. Assim, a estrutura já teria ultrapassado o primeiro limite de manutenção preventiva, sendo indicada a recuperação dos elementos afetados, como uma ação de manutenção corretiva, de modo a readquirir um nível satisfatório de desempenho, simulado pelo trecho (b) da figura. Uma vez restabelecido um desempenho aceitável da estrutura do Palácio da Justiça, passa a ser necessária a implantação de um programa de manutenção preventiva periódica para garantir o prolongamento da vida útil do edifício, representado pelo trecho (c).

7.3.1 - Manutenção corretiva

Um exemplo desse tipo de procedimento foi realizado recentemente na estrutura do Palácio da Justiça, nas vigas que formam o pergolado do jardim interno. Conforme analisado no Capítulo 5, pode-se admitir que essa recuperação veio contribuir para a extensão da vida útil desses elementos.

Com procedimentos similares ao adotado nas vigas do pergolado, devem ser sanadas as patologias identificadas nos demais elementos da estrutura, descritas no Capítulo 5. A Tabela 7.1 apresenta uma sugestão de prazos máximos de intervenção, para cada família de elementos estruturais avaliados por meio da Metodologia GDE/UnB.

Tabela 7.1 – Prazos para intervenção em elementos da estrutura do Palácio da Justiça

Família de elementos	Prazo para intervenção
Pilares das fachadas	Imediata
Vigas (bordo das fachadas)	Imediata
Lajes (avarandados)	Imediata
Elem. arquitetônicos - cascatas	Curto prazo – máximo de 1 ano
Brisas	Médio prazo – máximo de 2 anos

Apesar de alguns elementos em cada família apresentarem níveis reduzidos de deterioração, manifestações patológicas graves foram encontradas de forma generalizada em elementos essenciais, como a corrosão de armaduras nos pilares externos da estrutura do Palácio, causada pelo cobrimento de concreto deficiente. Dessa forma, as medidas de recuperação devem ser realizadas no conjunto de elementos e não somente em elementos isolados, em especial por se tratar de concreto aparente.

No que se refere à corrosão nas armaduras dos pilares, além dos procedimentos da recuperação, será necessário intervir para melhorar a qualidade do cobrimento desses elementos, para que, em outros trechos, não se iniciem novos pontos de corrosão. Após a execução dos reparos, devem ser adotadas medidas de proteção para prevenir a ocorrência de nova deterioração.

Com as intervenções para recuperação dos elementos mais afetados, a estrutura deve retomar um nível de desempenho satisfatório, passando então a ser objeto de ações de manutenção preventiva e, assim, estender a vida útil da edificação.

7.3.2 - Manutenção preventiva

Um plano de manutenção preventiva deve ser sempre baseado nos dados obtidos de inspeções periódicas, como indicam Souza e Ripper: “A inspeção periódica é elemento indispensável na metodologia de manutenção preventiva. Quando bem executada, é instrumento essencial para a garantia de durabilidade da construção” (1998).

Para definir a periodicidade das inspeções na estrutura do Palácio da Justiça, o principal fator a ser considerado é o acompanhamento das peças reparadas nos primeiros anos de

vida das intervenções de recuperação realizadas. Esse acompanhamento será fundamental para avaliar se as medidas tomadas cumpriram as funções pretendidas.

Nesse sentido, recomenda-se utilizar de duas categorias de inspeções, adaptadas da metodologia da Federação Internacional de Protensão (FIP, 1988):

- *Inspeção rotineira*: realizada em intervalos de, no máximo, 6 anos, com o uso de planilhas específicas da estrutura, elaboradas pelos técnicos responsáveis pela Divisão de Engenharia do Ministério da Justiça e, se possível, ouvidos os responsáveis pelo projeto estrutural;

- *Inspeção extensiva*: também realizada a cada 6 anos, intercalada com as rotineiras, objetivando uma investigação mais minuciosa dos elementos e das características dos materiais componentes da estrutura, executadas por profissionais qualificados.

Em síntese, sugere-se que a estrutura do Palácio da Justiça passe por inspeções alternadas a cada 3 anos: uma rotineira e outra extensiva.

As inspeções devem ser capazes de indicar os procedimentos necessários de reparo, com os prazos prescritos de intervenção cumpridos rigorosamente. Idealmente, assim que forem detectadas, as eventuais lesões devem ser reparadas, evitando que ultrapassem a “fase de iniciação” e atinjam a “fase de propagação”, em que a deterioração se agrava e os custos de reparo sobem exponencialmente.

a) Inspeção rotineira

É uma inspeção programada, destinada a coletar dados e efetuar as medições indicadas para investigar as condições físicas e funcionais da estrutura, verificando a ocorrência de modificações em relação às inspeções anteriores e assegurando se a estrutura se encontra em condições satisfatórias.

No caso do Palácio da Justiça, que dispõe de corpo técnico próprio da Divisão de Engenharia do Ministério da Justiça, hoje composto por 02 engenheiros, 01 arquiteta e 01 técnico em edificações, propõe-se que se incumbam das inspeções rotineiras. Para tanto, julga-se necessário a adoção de um planejamento das atividades de inspeção, que poderia

ser baseado na Metodologia GDE/UnB, adotada no presente trabalho. Para melhor resultado os técnicos devem ser treinados no emprego da metodologia e as atividades realizadas de forma contínua, inclusive considerando as eventuais mudanças do corpo técnico existente. Como sugestão, elaborou-se um conjunto de planilhas que evidenciam os pontos principais a serem investigados nas inspeções, conforme os elementos típicos da estrutura, trabalho apresentado no Apêndice B desta dissertação.

Os dados colhidos nas inspeções rotineiras, que são principalmente de caráter visual, devem indicar a necessidade de pequenos reparos estruturais pontuais ou, ainda, a necessidade de uma nova inspeção do tipo extensiva. Em qualquer inspeção, além de descrever a situação atualizada da estrutura, deve-se documentar, por meio de croquis e/ou fotos, a sintomatologia dos elementos.

b) Inspeção extensiva

É uma inspeção minuciosa, programada e intercalada entre inspeções rotineiras, mas que também pode ser efetuada em decorrência da detecção de danos. É acompanhada de medições detalhadas (efetuadas com instrumental de precisão), testes não-destrutivos e, quando necessário, de técnicas parcialmente destrutivas.

A inspeção extensiva deve ser planejada com base em uma cuidadosa avaliação da estrutura, ou de suas partes, utilizando-se os sentidos e a experiência do engenheiro especializado, que, se preciso, deverá fazer uma avaliação das providências emergenciais e serviços indispensáveis para a execução de reparos nos elementos que apresentarem danos graves.

Para o Palácio da Justiça, uma estratégia para realizar as inspeções extensivas, de maneira satisfatória e a custos razoáveis, seria por meio de convênios com instituições que possuem profissionais qualificados, engenheiros com experiência em investigação, manutenção e recuperação estrutural.

Como parte de um programa que poderia ser efetivado em curto prazo, pode-se citar os trabalhos desenvolvidos pelo Grupo de Patologia, Recuperação e Manutenção de Estruturas do Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC/UnB),

que há bastante tempo realiza trabalhos de consultoria para órgãos do Governo do Distrito Federal. Um exemplo relevante foi a avaliação da estrutura da Estação Rodoviária de Brasília, com propostas de recuperação e acompanhamento da execução dos serviços, para a Novacap, de 1995 a 97. Mais recentemente, foram avaliadas as condições das estruturas de 17 viadutos no setor central de Brasília, para a Secretaria de Obras do GDF.

A parceria de longo prazo com instituições públicas de ensino e pesquisa pode contribuir efetivamente com os órgãos responsáveis para o estabelecimento de programas eficazes de manutenção predial preventiva dos monumentos, a custos sempre menores que os de mercado. Poderia, ainda, contribuir para a capacitação de profissionais desses órgãos no tema e treinamento de alunos de graduação e pós-graduação na preservação de obras relevantes de nosso Patrimônio.

8 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

8.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

A monumentalidade e originalidade do conjunto arquitetônico projetado por Oscar Niemeyer na Esplanada dos Ministérios, em Brasília, foi algo inédito no Brasil e no mundo e mereceu reconhecimento internacional. Justifica-se, assim, que medidas para garantir uma avaliação contínua das condições estruturais desses edifícios sejam tomadas, a fim de que se possam elaborar e implantar programas de manutenção periódica e de preservação desses monumentos, que inclusive, fazem parte de um patrimônio cultural da humanidade, declarado em 1987, pela Unesco.

É muito difícil estabelecer um único procedimento para a realização de uma avaliação confiável da estrutura de um edifício existente. Assim, é necessário considerar uma combinação de abordagens que possam tornar mais eficiente um diagnóstico sobre a segurança, funcionalidade e estética da estrutura analisada e ajudar, ainda, na tomada de decisões. Em geral, essa combinação de abordagem deve ser feita baseada em, pelo menos, três aspectos:

- ✓ Análise histórica (documentos, projetos, etc.)
- ✓ Análise qualitativa (levantamento, investigação, etc.)
- ✓ Análise quantitativa (ensaios, modelos matemáticos, etc.)

O objetivo principal deste trabalho foi uma avaliação dos elementos estruturais do edifício Palácio da Justiça, determinando as condições atuais desta estrutura, em vista dos aspectos de segurança, funcionalidade, durabilidade e estética.

Por meio da pesquisa descrita no Capítulo 4, obteve-se um montante significativo de informações a respeito do Palácio da Justiça, onde:

- Caracterizou-se a história da construção desse monumento, evidenciando os serviços realizados, sua ordem cronológica, os valores gastos, a natureza e tecnologia da obra, as empresas responsáveis pela execução, materiais empregados, etc.;

- Do registro fotográfico, da época da construção, pôde-se verificar o arrojo dessa obra, constatando a difícil tarefa da execução das fôrmas em madeira, principalmente dos elementos arquitetônicos mais destacados, como as cascatas na fachada principal;
- Estudou-se a concepção arquitetônica adotada por Oscar Niemeyer, que diversificou a aparência de suas fachadas e apostou nos jogos com espelhos d'água como característica monumental do edifício;
- Do projeto estrutural, foram obtidas algumas plantas com desenhos originais da estrutura, de autoria do escritório do engenheiro Prof. Arthur Luiz Pitta, de S.Paulo – SP, que tinha em sua equipe o engenheiro Fausto Amadeu F. Favale, que contribuiu de forma decisiva, com seus depoimentos, ao desenvolvimento deste trabalho. Apesar de incompletos, os desenhos do projeto da estrutura foram essenciais para caracterizar a concepção adotada e permitir uma análise mais precisa do seu comportamento;
- Por fim, descobriram-se algumas modificações às quais o edifício foi submetido e a análise dessas intervenções foi essencial para entender alguns aspectos, como a textura da capa superficial dos elementos estruturais das fachadas.

8.2 - CONCLUSÕES

8.2.1 - Quantificação da deterioração da estrutura pela Metodologia GDE/UnB

De posse das informações coletadas, pôde-se realizar a avaliação estrutural propriamente dita, apresentada no Capítulo 5, em que se destacam os aspectos:

- a) Na consideração da agressividade do ambiente em que o Palácio da Justiça está inserido, de acordo com suas características e condições de exposição, a estrutura foi dividida em dois grupos. Para o grupo A, composto por elementos que compõem a estrutura externa do edifício, de concreto aparente, a agressividade foi classificada como moderada. Nesses elementos, pela maior facilidade de realizar as inspeções, foi possível uma avaliação mais abrangente da estrutura;

- b) Com o objetivo de reduzir a subjetividade na avaliação e diagnóstico de elementos estruturais, foi utilizada a Metodologia GDE/UnB, que busca quantificar o grau de deterioração de estruturas de concreto. Como resultado de uma primeira aplicação, foi obtido o grau de deterioração de 101, que, segundo a metodologia, indica um nível crítico de deterioração ($G_d > 60$), e alerta para a necessidade de intervenções urgentes para recuperação.

Diante do resultado encontrado, julgou-se oportuna a realização de ensaios e procedimentos para a caracterização do concreto, tanto do ponto de vista estrutural como da durabilidade, descritos no Capítulo 5. Desses ensaios, que foram realizados somente em alguns elementos, conclui-se:

- a) Nas vigas da cobertura, que formam o pergolado do jardim interno, o nível de deterioração por corrosão de armaduras era acentuado, com o deslocamento generalizado do concreto. Em vários trechos, havia armaduras em processo avançado de corrosão, com perda significativa da seção transversal das armaduras longitudinais de flexão e ruptura dos estribos. Por meio da aspersão de solução de fenolftaleína foram identificadas grandes profundidades de carbonatação do concreto. Assim, a frente de carbonatação que atingiu a região das armaduras, provocou a despassivação do aço e, na presença de oxigênio e umidade, fez desencadear o processo de corrosão. Nos resultados dos ensaios foi detectada outra influência da carbonatação, constatando-se que o refinamento da microestrutura do concreto (produto da carbonatação), se, por um lado, diminuiu a porosidade do concreto, pode ter influenciado nos resultados da resistência à compressão, com o valor obtido, de 33 MPa, em média, superando as expectativas baseadas nas informações do projeto original, que especificava uma resistência à compressão muito inferior, de 16 MPa;
- b) Para a análise dos elementos das fachadas, foram realizados ensaios em seis pilares externos. Notou-se nos resultados uma grande homogeneidade nas propriedades do concreto. O valor médio encontrado, de 28 MPa, nos ensaios de resistência à compressão, pode ser considerado como satisfatório, levando-se em consideração a especificação de projeto de uma tensão de ruptura mínima à compressão, $\sigma_r = 20$ MPa. O fator mais agravante nesses elementos foi a pequena espessura do concreto

de cobertura, que, baseado nos modelos de vida útil analisados por Figueiredo (2004), indicou uma grande probabilidade de falha na estrutura de concreto, com referência à corrosão nas armaduras de pilares.

Durante a realização deste trabalho, foi possível acompanhar a execução de obras contratadas pelo Ministério para limpeza do concreto aparente das fachadas e recuperação das vigas do pergolado do jardim interno. Após sua conclusão, pôde-se recalcular os graus de deterioração dos elementos reparados e da estrutura, de modo a atualizar a quantificação das manifestações de danos nos elementos avaliados. Dessa forma obteve-se:

- O novo grau de deterioração da estrutura, do emprego das fórmulas da Metodologia GDE/UnB, apontou o valor de $G_d = 74$, ainda indicando um nível crítico de deterioração ($G_d > 60$). Observa-se que houve uma diminuição de cerca de 27% no valor de G_d refletindo as providências tomadas. Entretanto, constata-se que a estrutura continua a exigir outras intervenções de recuperação, para o pleno restabelecimento de sua estética, funcionalidade e/ou segurança estrutural.

8.2.2 - Análise da estrutura do Palácio da Justiça por modelagem computacional

Com o objetivo de analisar a concepção estrutural adotada para o Palácio da Justiça foi realizada uma modelagem computacional, apresentada no Capítulo 6, valendo ressaltar:

- a) Na análise dos pavimentos isolados, utilizando-se o modelo de analogia de grelha, para a combinação freqüente de cargas no ELS, verificou-se que os deslocamentos verticais máximos foram obtidos nas regiões onde, no projeto original, foram indicados valores de contraflechas, que se mostraram compatíveis com os deslocamentos agora encontrados. Considerando que os deslocamentos iniciais foram compensados com as contraflechas indicadas em projeto, a estrutura foi submetida somente aos deslocamentos diferidos no tempo, da fluência do concreto. Esse resultado evidencia a boa qualidade do projeto realizado na década de 60 pelo Etalp, com ferramentas de cálculo bastante precárias com relação às atuais.
- b) Na cobertura, analisada de forma isolada, os deslocamentos obtidos, devido às cargas verticais, se mostraram compatíveis com os vãos dos elementos. As

indicações de contraflechas no projeto original também se mostraram adequadas, compensando os valores máximos de deslocamentos;

- c) Ainda na cobertura, realizou-se um estudo sobre a influência da variação de temperatura. Os deslocamentos horizontais encontrados expressaram pouca magnitude, considerando a grande extensão dos elementos, evidenciando a grande rigidez dessa estrutura. Direcionando para uma análise dos esforços gerados devido à variação de temperatura, constataram-se elevadas forças de tração solicitando as vigas da cobertura, que podem explicar as eventuais fissuras existentes;
- d) Com a adoção de um modelo de pórtico espacial, analisou-se a deslocabilidade da estrutura do edifício, em vista das ações horizontais. Os deslocamentos horizontais obtidos das combinações de ações do vento não tiveram valores significativos, atendendo às exigências da norma NBR 6118: 2003. Para o carregamento devido à variação de temperatura, os deslocamentos horizontais nos extremos da cobertura superaram o limite normativo para assegurar o funcionamento adequado de forros. Este último resultado é um ponto de alerta para inspeções futuras em programa de manutenção;
- e) Finalizando a análise via modelos computacionais, ainda como pórtico espacial, utilizou-se o coeficiente γ_z para a avaliação da estabilidade global do edifício. Para a combinação de carregamentos mais desfavorável, no ELU, o valor de γ_z encontrado foi de 1,09, ou seja, os efeitos de segunda ordem não ultrapassam 10% dos valores de primeira ordem, e, sendo assim, a estrutura pode ser classificada como de nós fixos (deslocamentos horizontais dos nós são pequenos).

8.2.3 - Proposta de programa de manutenção para a estrutura do Palácio da Justiça

O objetivo final do presente trabalho foi propor uma estratégia para a implantação de um programa de manutenção para a estrutura do edifício Palácio da Justiça. Dos resultados obtidos neste trabalho, emergem as conclusões:

- a) Mesmo com as obras de reparo realizadas, persiste a necessidade da realização de intervenções de manutenção corretiva, para recuperar os elementos estruturais, que apresentam nível de deterioração crítico. Essa medida fará com que a estrutura

volte a apresentar nível seguro de desempenho e, por meio de manutenções preventivas, possa garantir um prolongamento de sua vida útil;

- b) Os resultados encontrados com a Metodologia GDE/UnB indicam a necessidade de intervenções imediatas em determinados elementos, principalmente nos que compõem as fachadas do Palácio da Justiça, como os pilares, as vigas de bordo e as lajes dos avarandados;
- c) Com o intuito principal de acompanhar o desempenho das medidas necessárias para correção dos problemas constatados, sugere-se que as ações de manutenção preventiva sejam realizadas com base num programa elaborado especificamente para essa edificação. Recomenda-se que sejam realizadas inspeções a cada 3 anos, ora rotineira, ora do tipo extensiva;
- d) As inspeções deverão resultar em diagnósticos e laudos técnicos com as prescrições dos procedimentos adequados de reparo, quando necessários, que devem ser realizados obrigatoriamente no período previsto antes que as eventuais lesões se estendam ao período de propagação de uma deterioração;
- e) Os trabalhos de reparo recentemente concluídos na estrutura do Palácio, com limpeza do concreto aparente das fachadas e recuperação das vigas do pergolado do jardim interno, podem ser considerados satisfatórios. No entanto, conforme discute o item anterior, não foram precedidos de diagnósticos e laudos consistentes, nem abrangeram todas as manifestações de dano na edificação. É importante comentar, ainda, que essa prática vigora na maioria dos casos de intervenções com finalidade apenas corretiva e é uma das principais causas da situação precária dos monumentos de Brasília.

8.3 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em contato com o Prof. Arthur Luiz Pitta, responsável técnico pelo cálculo estrutural do edifício do Palácio da Justiça, o mesmo ressaltou seu apoio formal à pesquisa da presente dissertação, afirmando ser de extrema importância à conscientização sobre a necessidade de manutenção preventiva, principalmente para garantia da durabilidade das estruturas.

Pode-se dizer que, atualmente, esse mesmo reconhecimento do Prof. Pitta é censo comum entre os profissionais do meio técnico, apesar de ainda não se traduzir em medidas efetivas que resultem no estabelecimento de programas de manutenção eficientes. Dessa forma, recomenda-se que trabalhos desta natureza continuem a ser realizados, para que possa ser atingido o objetivo principal da proposta levantada no PECC/UnB, de preencher a lacuna na história da Engenharia Estrutural sobre os monumentos da capital.

Ainda em Brasília, podem-se listar diversas edificações, concebidas e executadas como ícones da Arquitetura e Engenharia nacionais e, assim, componentes deste conjunto de monumentos históricos de grande valor. Dentre os mais antigos que ainda não mereceram estudo de natureza similar ao atual, destacam-se:

- Palácio da Alvorada;
- Palácio do Planalto;
- Palácio do Supremo Tribunal Federal;
- Congresso Nacional;
- Teatro Nacional;
- Memorial JK;

Além dos trabalhos específicos para a continuação desta linha de pesquisa, em relação às características das avaliações estruturais realizadas, sugere-se:

- a) Elaboração de um programa estratégico emergencial de manutenção das estruturas do conjunto de monumentos de Brasília, hoje inexistente, com sugestões de fontes de recursos e cronograma para sua implementação pelos organismos competentes, dos governos federal e distrital, com participação efetiva da UnB;
- b) Estender as inspeções para a avaliação do desempenho de elementos não estruturais. Considerando que muitas estruturas de concreto armado são revestidas e de difícil inspeção, pode-se, por meio da análise do comportamento de elementos não estruturais, obter informações que auxiliem na avaliação do desempenho da estrutura;

- c) Extensão da Metodologia PECC/UnB para sistemas de revestimento, especialmente os de natureza cerâmica, em que os danos são hoje bastante frequentes, não só em Brasília, especialmente o deslocamento de pastilhas, azulejos e ladrilhos. Os elevados recursos despendidos em reparos, às vezes recorrentes, e as conseqüências que, inclusive, afetam a integridade física dos usuários justificam essa pesquisa;
- d) Revisão de algumas disposições de avaliação da Metodologia PECC/UnB, aliás, já em desenvolvimento em outra dissertação em curso, visando melhorar a forma de interpretação e quantificação de alguns danos, como, por exemplo, as manifestações de corrosão de armaduras e suas conseqüências;
- e) Implementar, à análise estrutural, técnicas de tomadas de decisões por meio de análises probabilísticas e estatísticas com enfoque *bayesiano* (Regra de Bayes);
- f) Estudos para permitir a evolução da Metodologia PECC/UnB com o desenvolvimento de um aplicativo computacional, com base em banco de dados, que possa, inclusive, fornecer orientações de curto prazo para as intervenções de maior urgência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, P. **Método Estatístico para Avaliação Quantitativa de Estruturas de Concreto Armado Pré-Moldado – Caso do I.C.C.** Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL, ABECE. **Checklist para vistorias de edificações em concreto armado.** Recife, PE, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **Ações e Segurança nas Estruturas - Procedimento. NBR 8681.** Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **Argamassa e Concreto Endurecidos – Determinação da Absorção de Água por Capilaridade. NBR 9779.** Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **Extração, Preparo, Ensaio e Análise de Testemunhos de Estruturas de Concreto – Procedimento. NBR 7680.** Rio de Janeiro, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **Forças Devidas ao Vento em Edificações. NBR 6123.** Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. NBR 6118.** Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- BAENA, A. M. **O Palácio do Ministério da Justiça: Histórico de sua construção,** Ministério da Justiça, Brasília, 1972.
- BELK, A. **Cálculo de Gama Z e RM2M1.** TQS News, São Paulo, Fevereiro de 2007, ano XI – No. 24. Disponível em <<http://www.tqs.com.br/jornal/download.htm>>. Acesso em: 23 de março de 2007.
- BOLDO, P. **Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro,** Dissertação de Mestrado,

- Brasília, DF, 2002 – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília.
- BOTEY, J. Ma. **Oscar Niemeyer – Works and Projects**. Editora Gustavo Gili. Barcelona, 1997.
- BUZAID, A. **O Ministério da Justiça: Relatório de 1969 a 1974**, Ministério da Justiça, Brasília, 1974.
- CASTRO, E. K. **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**, Dissertação (Mestrado), Brasília, DF, 1994. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília.
- CASTRO, P. et al. **Controle de qualidade e critérios de recepção**. Manual de reabilitação de estruturas de concreto. Reparo, reforço e Proteção. Red Rehabilitar, editores. São Paulo, 2003.
- COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON, CEB. **CEB-FIP Model Code 1990: Final Draft**. Bulletin D'Information, n°. 204, Lusane, July 1991.
- CLÍMACO, J. C. T. S., NEPOMUCENO, A. A., **Patologia, Recuperação e Manutenção de Estruturas – Notas de Aula**, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2005.
- CUNHA, J.C., **Inspeção, uso e manutenção em estruturas de concreto**. *In: Seminário estruturas de concreto para obras de saneamento (1º.SECOS)*. Belo Horizonte, 2006
- FAVALE, A.F.F. **Palácio da Justiça**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <alamoreira@argo.com.br> em 10 de junho de 2006.
- FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE LA PRÉCONTRAINTE – FIP. **Guide to good practice: Inspection and maintenance of reinforced and prestressed concrete structure**. Londres, Thomas Telford publications, 1988.
- FIGUEIREDO, C. R. **Estudo da carbonatação em estruturas de concreto armado em Brasília – Avaliação de pilares**. Tese de Doutorado, Publicação E.TD-003A/2004, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2004.

- FONTES, F.F. **Análise Estrutural de Elementos Lineares Segundo a NBR 6118:2003**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- HELENE, P.R.L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo: USP, 1993. Tese (Livre Docência), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- HELENE, P.R.L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo, Pini, 1992.
- ICOMOS, COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO. **Recomendações para análise, conservação e restauração estrutural do patrimônio arquitetônico**. Tradução de Silvia Puccioni, IPHAN. Paris, 2001.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, INMET. **Gráficos Climatológicos**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/html/clima.php> >. Acesso em: 20 dezembro 2006.
- LIMA, M.G., MORELLI, F. **Degradação das estruturas de concreto devido à amplitude térmica brasileira**. In: *Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto*, V. 7 a 10 junho 2003, São Paulo. Anais em CD. EPUSP, São Paulo, 2003.
- LOPES, B. A. R. **Sistema de Manutenção Predial para Grandes Estoques de Edifícios: Estudo para Inclusão do Componente “Estruturas de Concreto”**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 1998.
- MONTEIRO, B. E. **Reabilitação de estruturas de concreto**. CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações / ed. G. C. Isaia – São Paulo: IBRACON, 2005
- NIEMEYER, O. **Considerações sobre a Arquitetura Brasileira**. Rio de Janeiro, revista Módulo, nº52, Dezembro 1978 / Janeiro 1979.

- NIEMEYER, O., SUSSEKIND, J.C. **Conversa entre amigos: correspondência entre Oscar Niemeyer e José Carlos Sussekind**. Rio de Janeiro: Revan, 2002.
- NIEMEYER, O. **Forma e função na Arquitetura**. Revista de Arquitetura e Artes Visuais no Brasil. Rio de Janeiro, n^o.21, Dezembro 1960.
- NIEMEYER, O. **Metamorfose**. Módulo – Revista de Arquitetura. Rio de Janeiro n^o.58, Abril de 1980.
- NIEMEYER, O. **Minha experiência de Brasília**. Módulo – Revista de Arquitetura. Rio de Janeiro, 1976.
- NIEMEYER, O. **Palácio Residencial de Brasília**. Módulo – Revista de Arquitetura. Rio de Janeiro, 1957.
- NINCE, A.A.; **Levantamento de dados sobre a deterioração de estruturas na região Centro-Oeste**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, D.F, 1996.
- ORÍCO, Osvaldo. **Brasil, capital Brasília**. Brasília – Rio de Janeiro, Editora Distribuidora Record, 1961.
- PESSOA, D. F. **A Estrutura da Catedral de Brasília, Aspectos Históricos, Científicos e Tecnológicos de Projeto, Execução, Intervenções e Proposta de Manutenção**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2002.
- RED REHABILITAR. **Manual de Reabilitação de Estruturas de Concreto, Reparo, Reforço e Proteção**, editores. São Paulo, 2003.
- 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 de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2004.
- TAMANINI, L. F. **Memória da Construção**. Editora Royal Court. Brasília, 1994.
- VIOTTI, I. **Niemeyer corrige Brasília em quinze dias de prancheta**. Correio Brasiliense. Brasília, 1985. Da Editoria de Cidade, p.32.

VASCONCELOS, A. C. de – **O Concreto no Brasil: Recordes – Realizações – História**, Volume 1. São Paulo, Editora PINI, 1992.

VASCONCELOS, A. C. de – **O Concreto no Brasil: Professores – Cientistas - Técnicos**, Volume 2. São Paulo, Editora PINI, 1992.

APÊNDICES

APÊNDICE A – TABELAS DE AVALIAÇÃO (METOD. GDE/UnB, 2002)

Tabela A.1: Avaliação do pilar P69 do Palácio da Justiça

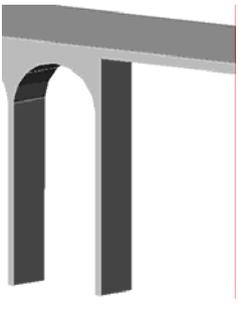
Nome do Elemento:		P69			Data da Vistoria:	15/08/2006
Local:		Pilar da Fachada Norte			Ralizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Croquis / Observações	Fotos	
carbonatação	7					
cobrimento deficiente	6	2	4,8			
contaminação por cloretos	10					
corrosão de armaduras	10	2	8			
desagregação	7					
desvio de geometria	8					
eflorescência	5					
esfoliação	8					
fissuras	10					
infiltração na base	6					
manchas	5	2	4			
recalque	10					
segregação	6					
sinais de esmagamento	10					
Grau de deterioração do elemento Gde = 12,2						Gde 0 - 15: Nível de Deterioração BAIXO

Tabela A.2: Avaliação do pilar P70 do Palácio da Justiça

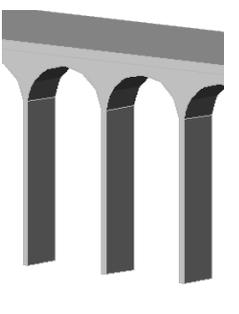
Nome do Elemento:		P70			Data da Vistoria:	15/08/2006
Local:		Pilar da Fachada Norte			Ralizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Croquis / Observações	Fotos	
carbonatação	7					
cobrimento deficiente	6	2	4,8			
contaminação por cloretos	10					
corrosão de armaduras	10	2	8			
desagregação	7					
desvio de geometria	8					
eflorescência	5					
esfoliação	8					
fissuras	10					
infiltração na base	6					
manchas	5	2	4			
recalque	10					
segregação	6					
sinais de esmagamento	10					
Grau de deterioração do elemento Gde = 12,2						Gde 0 - 15: Nível de Deterioração BAIXO

Tabela A.3: Avaliação do pilar P71 do Palácio da Justiça

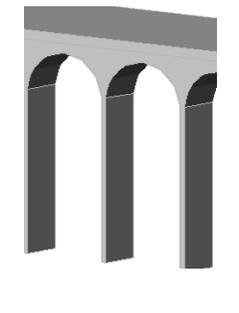
Nome do Elemento:		P71			Data da Vistoria:	15/08/2006
Local:		Pilar da Fachada Norte			Ralizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Croquis / Observações	Fotos	
carbonatação	7					
cobrimento deficiente	6	2	4,8			
contaminação por cloretos	10					
corrosão de armaduras	10	2	8			
desagregação	7					
desvio de geometria	8					
eflorescência	5					
esfoliação	8					
fissuras	10					
infiltração na base	6					
manchas	5	2	4			
recalque	10					
segregação	6					
sinais de esmagamento	10					
Grau de deterioração do elemento Gde = 12,2						Gde 0 - 15: Nível de Deterioração BAIXO

Tabela A.4: Avaliação do pilar P72 do Palácio da Justiça

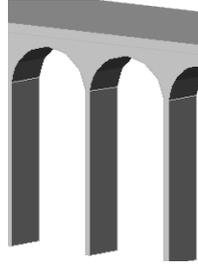
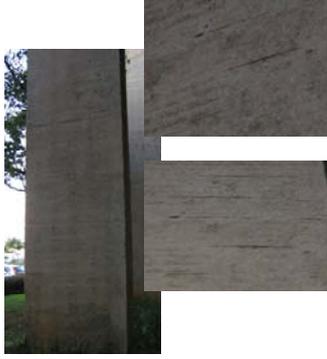
Nome do Elemento:	P72			Data da Vistoria:	15/08/2006
Local:	Pilar da Fachada Norte			Realizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Croquis / Observações	Fotos
carbonatação	7				
cobrimto deficiente	6	2	4,8		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10	2	8		
desagregação	7				
desvio de geometria	8				
eflorescência	5				
esfoliação	8				
fissuras	10				
infiltração na base	6				
manchas	5	2	4		
recalque	10				
segregação	6				
sinais de esmagamento	10				
Grau de deterioração do elemento Gde = 12,2				Gde 0 - 15: Nível de Deterioração BAIXO	

Tabela A.5: Avaliação do pilar P73 do Palácio da Justiça

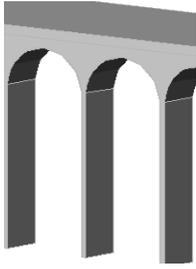
Nome do Elemento:	P73			Data da Vistoria:	15/08/2006
Local:	Pilar da Fachada Norte			Realizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Croquis / Observações	Fotos
carbonatação	7				
cobrimto deficiente	6	2	4,8		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10				
desagregação	7				
desvio de geometria	8				
eflorescência	5				
esfoliação	8				
fissuras	10				
infiltração na base	6				
manchas	5	2	4		
recalque	10				
segregação	6				
sinais de esmagamento	10				
Grau de deterioração do elemento Gde = 7,0				Gde 0 - 15: Nível de Deterioração BAIXO	

Tabela A.6: Avaliação do pilar P74 do Palácio da Justiça

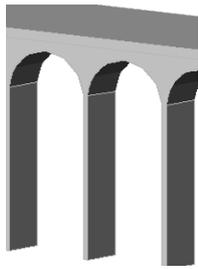
Nome do Elemento:	P74			Data da Vistoria:	15/08/2006
Local:	Pilar da Fachada Norte			Realizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Croquis / Observações	Fotos
carbonatação	7				
cobrimto deficiente	6	2	4,8		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10				
desagregação	7				
desvio de geometria	8				
eflorescência	5				
esfoliação	8				
fissuras	10				
infiltração na base	6				
manchas	5	2	4		
recalque	10				
segregação	6				
sinais de esmagamento	10				
Grau de deterioração do elemento Gde = 7,0				Gde 0 - 15: Nível de Deterioração BAIXO	

Tabela A.7: Avaliação do pilar P75 do Palácio da Justiça

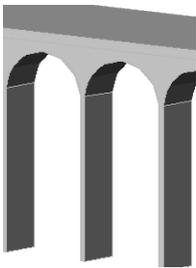
Nome do Elemento:	P75			Data da Vistoria:	15/08/2006
Local:	Pilar da Fachada Norte			Realizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Croquis / Observações	Fotos
carbonatação	7				
cobrimento deficiente	6	2	4,8		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10	2	8		
desagregação	7				
desvio de geometria	8				
eflorescência	5				
esfoliação	8				
fissuras	10				
infiltração na base	6				
manchas	5	2	4		
recalque	10				
segregação	6				
sinais de esmagamento	10				
Grau de deterioração do elemento Gde = 12,2				Gde 0 - 15: Nível de Deterioração BAIXO	

Tabela A.8: Avaliação do pilar P76 do Palácio da Justiça

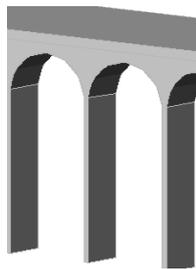
Nome do Elemento:	P76			Data da Vistoria:	15/08/2006
Local:	Pilar da Fachada Norte			Realizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Croquis / Observações	Fotos
carbonatação	7				
cobrimento deficiente	6	2	4,8		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10				
desagregação	7				
desvio de geometria	8				
eflorescência	5				
esfoliação	8				
fissuras	10				
infiltração na base	6				
manchas	5	2	4		
recalque	10				
segregação	6				
sinais de esmagamento	10				
Grau de deterioração do elemento Gde = 7,0				Gde 0 - 15: Nível de Deterioração BAIXO	

Tabela A.9: Avaliação do pilar P77 do Palácio da Justiça

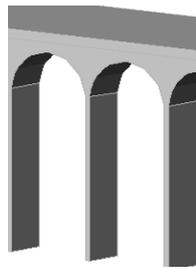
Nome do Elemento:	P77			Data da Vistoria:	15/08/2006
Local:	Pilar da Fachada Norte			Realizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Croquis / Observações	Fotos
carbonatação	7				
cobrimento deficiente	6	3	24		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10	2	8		
desagregação	7				
desvio de geometria	8				
eflorescência	5				
esfoliação	8				
fissuras	10				
infiltração na base	6				
manchas	5	2	4		
recalque	10				
segregação	6				
sinais de esmagamento	10				
Grau de deterioração do elemento Gde = 32,0				Gde 15 - 50: Nível de Deterioração MÉDIO	

Tabela A.10: Avaliação do pilar P78 do Palácio da Justiça

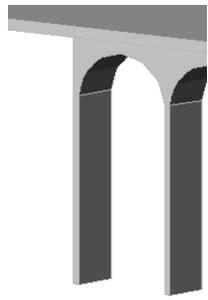
Nome do Elemento:	P78			Data da Vistoria:	15/08/2006
Local:	Pilar da Fachada Norte			Ralizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Croquis / Observações	Fotos
carbonatação	7				
cobrimento deficiente	6	2	4,8		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10	2	8		
desagregação	7				
desvio de geometria	8				
eflorescência	5				
esfoliação	8				
fissuras	10				
infiltração na base	6				
manchas	5	2	4		
recalque	10				
segregação	6				
sinais de esmagamento	10				
Grau de deterioração do elemento Gde = 12,2				Gde 0 - 15: Nível de Deterioração BAIXO	

Tabela A.11: Avaliação do pilar P79 do Palácio da Justiça

Nome do Elemento:	P79			Data da Vistoria:	15/08/2006
Local:	Pilar da Fachada Leste			Ralizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Fotos	
carbonatação	7				
cobrimento deficiente	6	2	4,8		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10	2	8		
desagregação	7				
desvio de geometria	8				
eflorescência	5				
esfoliação	8				
fissuras	10				
infiltração na base	6				
manchas	5	2	4		
recalque	10				
segregação	6				
sinais de esmagamento	10				
Grau de deterioração do elemento Gde = 12,2				Gde 0 - 15: Nível de Deterioração BAIXO	

Tabela A.12: Avaliação do pilar P80 do Palácio da Justiça

Nome do Elemento:	P80			Data da Vistoria:	25/09/2006
Local:	Pilar da Fachada Leste			Ralizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Fotos	
carbonatação	7				
cobrimento deficiente	6	2	4,8		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10	4	100		
desagregação	7				
desvio de geometria	8				
eflorescência	5				
esfoliação	8				
fissuras	10				
infiltração na base	6				
manchas	5	2	4		
recalque	10				
segregação	6				
sinais de esmagamento	10				
Grau de deterioração do elemento, Gde = 108,1				Gde > 80: Nível de Deterioração CRÍTICO Inspeção emergencial - Planejar intervenção imediata	

Tabela A.13: Avaliação do pilar P81 do Palácio da Justiça

Nome do Elemento:	P81			Data da Vistoria:	25/09/2006
Local:	Pilar da Fachada Leste			Ralizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Fotos	
carbonatação	7				
cobrimento deficiente	6	2	4,8		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10	2	8		
desagregação	7				
desvio de geometria	8				
eflorescência	5				
esfoliação	8				
fissuras	10				
infiltração na base	6				
manchas	5				
recalque	10				
segregação	6				
sinais de esmagamento	10				
Grau de deterioração do elemento, Gde =					11,0

Tabela A.14: Avaliação do pilar P82 do Palácio da Justiça

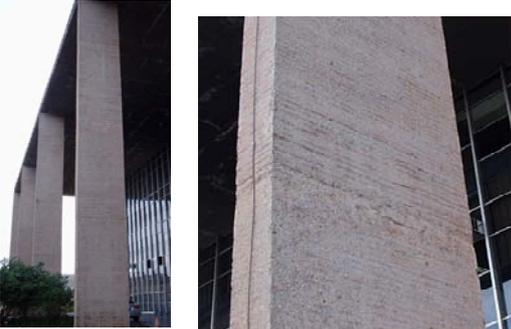
Nome do Elemento:	P82			Data da Vistoria:	25/09/2006
Local:	Pilar da Fachada Leste			Ralizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Fotos	
carbonatação	7				
cobrimento deficiente	6	2	4,8		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10	2	8		
desagregação	7				
desvio de geometria	8				
eflorescência	5				
esfoliação	8				
fissuras	10				
infiltração na base	6				
manchas	5	2	4		
recalque	10				
segregação	6				
sinais de esmagamento	10				
Grau de deterioração do elemento, Gde =					12,2

Tabela A.15: Avaliação do pilar P83 do Palácio da Justiça

Nome do Elemento:	P83			Data da Vistoria:	25/09/2006
Local:	Pilar da Fachada Leste			Ralizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Fotos	
carbonatação	7				
cobrimento deficiente	6	2	4,8		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10	2	8		
desagregação	7				
desvio de geometria	8				
eflorescência	5				
esfoliação	8				
fissuras	10				
infiltração na base	6				
manchas	5				
recalque	10				
segregação	6				
sinais de esmagamento	10				
Grau de deterioração do elemento, Gde =					11,0

Tabela A.16: Avaliação do pilar P84 do Palácio da Justiça

Nome do Elemento:	P84			Data da Vistoria:	25/09/2006
Local:	Pilar da Fachada Leste			Ralizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Fotos	
carbonatação	7				
cobrimento deficiente	6	2	4,8		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10	2	8		
desagregação	7				
desvio de geometria	8				
eflorescência	5				
esfoliação	8				
fissuras	10				
infiltração na base	6				
manchas	5	2	4		
recalque	10				
segregação	6				
sinais de esmagamento	10				
Grau de deterioração do elemento, Gde =				12,2	
				Gde 0 - 15: Nível de Deterioração BAIXO	

Tabela A.17: Avaliação do pilar P85 do Palácio da Justiça

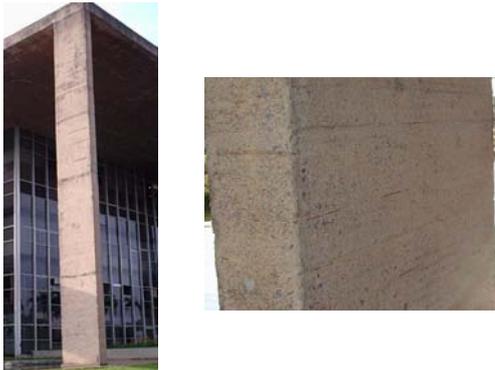
Nome do Elemento:	P85			Data da Vistoria:	25/09/2006
Local:	Pilar da Fachada Leste			Ralizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Fotos	
carbonatação	7				
cobrimento deficiente	6	2	4,8		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10	2	8		
desagregação	7				
desvio de geometria	8				
eflorescência	5				
esfoliação	8				
fissuras	10				
infiltração na base	6				
manchas	5	2	4		
recalque	10				
segregação	6				
sinais de esmagamento	10				
Grau de deterioração do elemento, Gde =				12,2	
				Gde 0 - 15: Nível de Deterioração BAIXO	

Tabela A.18: Avaliação dos pilares P86 a P95 do Palácio da Justiça

Nome do Elemento:	P86 - P95 e P86A (11 elementos)			Data da Vistoria:	31/09/2006
Local:	Pilar da Fachada Norte			Ralizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Fotos	
carbonatação	7				
cobrimento deficiente	6	3	24		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10	2	8		
desagregação	7				
desvio de geometria	8				
eflorescência	5				
esfoliação	8				
fissuras	10				
infiltração na base	6				
manchas	5	2	4		
recalque	10				
segregação	6				
sinais de esmagamento	10				
Grau de deterioração do elemento Gde =				32,0	
				Gde 15 - 50: Nível de Deterioração MÉDIO	

Tabela A.19: Avaliação das “lâminas” que formam o *brise*, fachada oeste do Palácio da Justiça

Nome do Elemento:	B1 - B30 (30 elementos)			Data da Vistoria:	31/09/2006
Local:	Brise - Fachada Oeste			Ralizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Fotos	
carbonatação	7				
cobrimto deficiente	6	2	4,8		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10	2	8		
desagregação	7				
desvio de geometria	8				
eflorescência	5				
esfoliação	8				
fissuras	10				
infiltração na base	6				
manchas	5	3	20		
recalque	10				
segregação	6				
sinais de esmagamento	10				
Grau de deterioração do elemento Gde = 27,8					Gde 15 - 50: Nível de Deterioração MÉDIO

Tabela A.20: Avaliação das vigas de bordo da cobertura do Palácio da Justiça

Nome do Elemento:	Vigas de bordo da cobertura (x3)			Data da Vistoria:		
Local:	Contorno da cobertura			Ralizada por:	André Moreira	
Danos	F _p	F _i	D	Fotos		
carbonatação	7					
cobrimto deficiente	6	2	4,8			
contaminação por cloretos	10					
corrosão de armaduras	10	4	100			
desagregação	7					
eflorescência	5	3	20			
esfoliação	8					
fissuras	10					
flechas	10					
infiltração	6					
manchas	5					
segregação	4					
sinais de esmagamento	8					
Grau de deterioração do elemento Gde = 119,9					Gde > 80: Nível de Deterioração CRÍTICO Inspeção emergencial - Planejar intervenção imediata	

Tabela A.21: Avaliação das vigas do pergolado, de 32 m, jardim interno do Palácio da Justiça

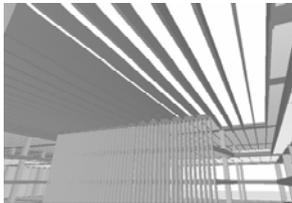
Nome do Elemento:	Vigas de 32 metros de vão livre (x6)			Data da Vistoria:	10/09/2006
Local:	Pergolado do jardim interno			Ralizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Croquis / Observações	Fotos
carbonatação	7	3	28	 <p>Viga com altura de 1 m e vão de 32 m, atuando somente peso próprio. Apresenta corrosão na armadura com ruptura dos estribos (perda de seção), manchas escuras e, diante ansaio, apresentou carbonatação.</p>	
cobrimto deficiente	6	2	4,8		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10	4	100		
desagregação	7				
eflorescência	5				
esfoliação	8				
fissuras	10				
flechas	10				
infiltração	6				
manchas	5	4	50		
segregação	4				
sinais de esmagamento	8				
Grau de deterioração do elemento Gde = 145,3				Gde > 80: Nível de Deterioração CRÍTICO Inspeção emergencial - Planejar intervenção imediata	

Tabela A.22: Avaliação das vigas do pergolado, de 18 m, jardim interno do Palácio da Justiça

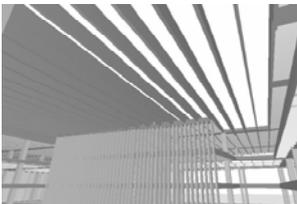
Nome do Elemento:	Vigas de 18 metros de vão livre (x16)			Data da Vistoria:	10/09/2006
Local:	Pergolado do jardim interno			Ralizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Croquis / Observações	Fotos
carbonatação	7	3	28		
cobrimto deficiente	6	2	4,8		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10	3	40		
desagregação	7				
eflorescência	5				
esfoliação	8				
fissuras	10				
flechas	10				
infiltração	6				
manchas	5	4	50		
segregação	4				
sinais de esmagamento	8				
Grau de deterioração do elemento Gde = 79,6				Gde 50 - 80: Nível de Deterioração ALTO	

Tabela A.23: Avaliação das lajes dos avarandados do Palácio da Justiça

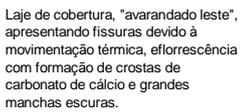
Nome do Elemento:	Laje de cobertura, "avarandados" (04 elem.)			Data da Vistoria:	25/09/2006		
Local:	Fachadas			Ralizada por:	André Moreira		
Danos	F _p	F _i	D	Croquis / Observações	Fotos		
carbonatação	7			 <p>Laje de cobertura, "avarandado leste", apresentando fissuras devido à movimentação térmica, eflorescência com formação de crostas de carbonato de cálcio e grandes manchas escuras.</p>			
cobrimto deficiente	6						
contaminação por cloretos	10						
corrosão de armaduras	10						
desagregação	7						
eflorescência	5	4	50				
esfoliação	8						
fissuras	10	2	8				
flechas	10						
infiltração	6						
manchas	5	3	20				
segregação	5						
Grau de deterioração do elemento Gde = 67,9						Gde 50 - 80: Nível de Deterioração ALTO Planejar intervenção em curto prazo	

Tabela A.24: Avaliação das cascatas, elementos arquitetônicos, do Palácio da Justiça

Nome do Elemento:	Cascatas - 6 Elementos			Data da Vistoria:	28/09/06
Local:	Fachada Sul			Ralizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Fotos	
carbonatação	7				
cobrimento deficiente	6	3	24		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10	3	40		
desagregação	7				
eflorescência	4				
esfoliação	8				
fissuras	8				
segregação	4				
sinais de esmagamento	10				
infiltração	5				
manchas	5				
Grau de deterioração do elemento Gde =					55,0

Tabela A.25: Avaliação dos semi-arcos, fachada sul, do Palácio da Justiça

Nome do Elemento:	Semi-Arcos, 9 elementos			Data da Vistoria:	
Local:	Fachada Sul			Ralizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Fotos	
carbonatação	7				
cobrimento deficiente	6				
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	7				
desagregação	7				
eflorescência	4				
esfoliação	8				
fissuras	8				
segregação	4				
sinais de esmagamento	10				
infiltração	5				
manchas	5	3	20		
Grau de deterioração do elemento Gde =					20,0

Tabela A.26: Avaliação dos arcos, fachada norte, do Palácio da Justiça

Nome do Elemento:	Arcos - 9 elementos			Data da Vistoria:	
Local:	Fachada Norte			Ralizada por:	André Moreira
Danos	F _p	F _i	D	Fotos	
carbonatação	7				
cobrimento deficiente	6	2	4,8		
contaminação por cloretos	10				
corrosão de armaduras	10	2	8		
desagregação	7				
eflorescência	4				
esfoliação	8				
fissuras	8				
segregação	4				
sinais de esmagamento	10				
infiltração	5				
manchas	5	3	20		
Grau de deterioração do elemento Gde =					27,8

APÊNDICE B – PLANILHAS PARA INSPEÇÃO ROTINEIRA

FICHA DE CADASTRO

Registro: _____

Expedida em ____ / ____ / ____

Responsável(is) pela inspeção:

Nome(s): _____

Profissão: _____

Cargo/função: _____

Empresa/órgão: _____

Data da(s) inspeção(ões): _____

Comentários gerais:

- Necessária inspeção especializada? (por engenheiro de estruturas)
 Sim Não Urgente? Sim Não

- Observações:

Tabela B.1: *Check list* para inspeção de pilares

Número do Pilar:	Data da Vistoria:		
Local:	Realizada por:		
Danos	x	F _i	Croqui / Fotos
carbonatação			
cobrimento deficiente			
contaminação por cloretos			
corrosão de armaduras			
desagregação			
desvio de geometria			
eflorescência			
esfoliação			
fissuras			
infiltração na base			
manchas			
recalque			
segregação			
sinais de esmagamento			
Observações:			
* Sempre que possível apresentar croquis dos elementos, contendo as respectivas patologias.			
** A lacuna "F _i ", Fator de Itensidade, deve ser preenchida caso a patologia manifestada possa ser mensurada.			
Este procedimento visa o monitoramento da estrutura.			

Tabela B.3: *Check list* para inspeção de lajes

Número da Laje:		Data da Vistoria:	
Local:		Realizada por:	
Danos		x	F_i
carbonatação			
cobrimento deficiente			
contaminação por cloretos			
corrosão de armaduras			
desagregação			
eflorescência			
esfoliação			
fissuras			
flechas			
infiltração			
manchas			
segregação			
Observações:			
* Sempre que possível apresentar croquis dos elementos, contendo as respectivas patologias.			
** A lacuna "F _i ", Fator de Itensidade, deve ser preenchida caso a patologia manifestada possa ser mensurada. Este procedimento visa o monitoramento da estrutura			

**Tabela B.5 - Classificação dos danos e fatores de intensidade da Metodologia
GDE/UnB (1)**

Tipos de danos	<i>Fator de intensidade do dano - Tipos de manifestação</i>
<i>carbonatação</i>	1 - localizada, com algumas regiões com pH<9, sem atingir a armadura; 2 - localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco; 3 - localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido; 4 - generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.
<i>cobrimento deficiente</i>	1 - menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura; 2 - menor do que o previsto em norma, permitindo a localização visual da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões; 3 - deficiente com armaduras expostas em extensões significativas.
<i>contaminação por cloretos</i>	2 - em elementos no interior sem umidade; 3 - em elementos no exterior sem umidade; 4 - em ambientes úmidos.
<i>corrosão de armaduras</i>	2 - manifestações leves; 3 - grandes manchas e/ou fissuras de corrosão; 4 - corrosão acentuada na armadura principal, c/perda relevante de seção.
<i>desagregação</i>	2 - início de manifestação; 3 - manifestações leves; 4 - por perda acentuada de seção e esfarelamento do concreto.
<i>deslocamento por empuxo</i>	3 - deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, estável; 4 - deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, instável.
<i>desvios de geometria</i>	2 - pilares e cortinas com excentricidade $\leq h/100$ ($h = altura$); 3 - pilares e cortinas com excentricidades $h/100 \leq e < h/50$ 4 - pilares e cortinas com excentricidades $\geq h/50$.
<i>eflorescência</i>	1 - início de manifestações; 2 - manchas de pequenas dimensões; 3 - manchas acentuadas, em grandes extensões. 4 - grandes formações de crostas de carbonato de cálcio.
<i>esfoliação</i>	2 - pequenas escamações do concreto; 3 - lascamento, de grandes proporções, com exposição da armadura; 4 - lascamento acentuado com perda relevante de seção.
<i>fissuras</i>	1 - abertura menores do que as máximas previstas em norma; 2 - estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma; 3 - aberturas excessivas; estabilizadas; 4 - aberturas excessivas; não estabilizadas.

**Tabela B.5 - Classificação dos danos e fatores de intensidade da Metodologia
GDE/UnB (2)**

Tipos de danos	Fator de intensidade do dano - Tipos de manifestação
<i>flechas</i>	1 - não perceptíveis a olho nu; 2 - perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos na norma; 3 - superiores a em até 40% às previstas na norma; 4 - excessivas.
<i>impermeabilização deficiente</i>	2 - danos na camada protetora e/ou perda de elasticidade do material da impermeabilização; 3 - descontinuada, degradada em alguns pontos (pontos de infiltração); 4 - degradação acentuada, com perda relevante da estanqueidade.
<i>infiltração</i>	1 - indícios de umidade; 2 - pequenas manchas; 3 - grandes manchas; 4 - generalizada.
<i>infiltração na base</i>	3 - indícios de vazamento em tubulações enterradas que podem comprometer as fundações; 4 - vazamentos em tubulações enterradas causando erosão aparente junto as fundações.
<i>manchas</i>	2 - manchas escuras de pouca extensão, porém significativas (< 50% da área visível do elemento estrutural); 3 - manchas escuras de grande extensão (>50%); 4 - manchas escuras em todo o elemento estrutural (100%).
<i>obstrução de juntas de dilatação</i>	2 - perda de elasticidade do material da junta; início de fissuras paralelas a juntas nas lajes adjacentes; 3 - presença de material não compressível na junta; grande incidência de de fissuras paralelas às juntas nas lajes adjacentes; 4 - fissuras em lajes adjacentes às juntas, com prolongamento em vigas e pilares de suporte.
<i>recalques</i>	2 - indícios de recalque pelas características das trincas na alvenaria; 3 - recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais; 4 - recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais.
<i>segregação do concreto</i>	1 - superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça; 2 - significativa em relação às dimensões da peça; 3 - profunda em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura; 4 - perda relevante da seção da peça.

APÊNDICE C – MENSAGENS RECEBIDAS DO ENG. FAUSTO A. F. FAVALE

Com o objetivo de registrar as informações recebidas do engenheiro Fausto Amadeu F. Favale, que participou do projeto estrutural do Palácio da Justiça, é transcrito aqui parte das mensagens que o mesmo enviou ao autor deste trabalho. Essas mensagens, três ao total, foram recebidas no período de junho a novembro de 2006, em resposta aos questionamentos enviados ao engenheiro Fausto Favale, essenciais para esclarecer aspectos históricos e de projeto do Palácio.

C.1 – Primeira mensagem recebida do Eng. Fausto Favale, em 10 de junho de 2006

Prezado Eng. André Moreira,

Primeiramente deixe apresentar-me. Sou Engenheiro Civil e Eletricista, formado em 1952 pela Escola de Engenharia Mackenzie, exercendo a engenharia estrutural desde o 4º ano da escola quando comecei meu estágio no escritório do Engº Arthur Luiz Pitta, que a época era o regente da cadeira de Concreto Armado do Mackenzie, com exceção do período de 57 a 63 quando trabalhei nas obras de Brasília para a Construtora Pacheco Fernandes, Dantas S.A. tendo sido o engenheiro responsável pela obras do Brasília Pálace Hotel, Palácio do Planalto, Hotel Nacional, Edifícios Alvorada e Casa de São Paulo Escritórios da Novacap e outras menores.

Após 63 retornei a São Paulo e ao cálculo estrutural em sociedade com o Dr. Pitta, formando junto com o meu colega de turma Engº. Lello Sisto Ranzini, o Escritório Técnico Arthur Luiz Pitta - ETALP no qual permaneci até fim de 97 quando, em sociedade com meu filho, fundamos a Favale Engenharia e Arquitetura S/C. Ltda.

Durante parte do regime militar o ETALP tinha como seu representante em Brasília o Engº. Joseph Kanio, engenheiro residente das obras do Congresso Nacional executada pela Construtora Nacional, e nesta época ganhamos concorrências para elaborar os projetos estruturais do Palácio da Justiça, Hospital das Forças Armadas, Supremo Tribunal Militar e mais algumas que não me recordo no momento.

O projeto estrutural do Palácio da Justiça foi iniciado por engenheiros do Departamento de Urbanismo e Arquitetura da Novacap e posteriormente ganhamos a concorrência para concluí-lo.

Os cálculos da Novacap foram preliminares e quando iniciamos nossos trabalhos constatamos que as fundações estavam subdimensionadas e me recordo que não havia precisão de nenhuma fundação para o “brise-soleil” da fachada lateral os quais, como você deve conhecer bem, são placas de formato trapezoidal, em

planta, tendo a parte central mais espessa para combater o efeito da perda de estabilidade (flambagem) devido ao peso próprio que é respeitável.

Nesta época, fins da década de 60, no ETALP estávamos desenvolvendo programa para computador, ainda eram os “main-frame”, utilizando a linguagem FORTRAN II que recebeu o nome de SPECON, Sistema de Projetos para Edifícios de Concreto, com o qual foram determinados os esforços nas vigas e pilares do prédio e posteriormente fazíamos o dimensionamento na mão utilizando o Estádio III, parábola –retângulo com coeficiente de segurança 1,65 como recomendava a NB1-60 e os desenhos eram todos feitos a mão pois não existiam as facilidades dos CAD e os “plotters”.

O fato mais interessante da obra foi que o DUA da Novacap comando na ocasião, se não me falha a memória, pelo Arq. Nauro Jorge Esteves, já que o Oscar Niemeyer estava exilado na Nigéria não conseguiu elaborar o desenho executivo das calhas da fachada principal e recebemos duas maquetes, em madeira de balsa, escala 1:50. Conservamos uma inteira e a outra foi seccionada transversalmente em faixas de 1,0 m de largura que serviram de base para desenhar as formas.

Pelas fotografias antigas você notará que na fachada principal, entre os pilares, havia um arco completo. Ao retornar ao Brasil e com a volta do regime democrático o Niemeyer conseguiu que a fachada fosse reformada passando para o que é hoje. A modificação da estrutura, que já estava concluída, foi também projetada pelo ETALP.

Prezado Engº Moreira, estas são as informações que creio são as mais interessantes sobre a obra, tendo alguma pergunta específica mande por e-mail que estando ao meu alcance lhe responderei.

Engº. Fausto Amadeu F. Favale

C.2 – Segunda mensagem recebida do Eng. Fausto Favale, em 01 de outubro de 2006, quando questionado da ausência de juntas de dilatação no projeto do Palácio da Justiça

Prezado Engº. André Moreira,

Não é só o Palácio da Justiça que não possui junta de dilatação, o Planalto, que tem dimensões em planta maiores, também não tem e se não me engano o Congresso também.

O Prof. Joaquim Cardoso não era de dar muita bola para o que preconizavam as normas em diversos aspectos, inclusive no que tange a colocação de juntas, e isto influenciou muito na arquitetura do Oscar, pois ou teríamos pilares duplos ou juntas "Gerber" que afetariam a arquitetura. Creio que seja esta a causa da inexistência das mesmas nas obras, pois não eram previstas no projeto arquitetônico nos quais era tabu mexer.

No Palácio do Planalto a inexistência das juntas obrigou, antes da inauguração, a liberação das alvenarias no último anda. Quanto à estrutura, por se tratar de lajes em caixão perdido, não são visíveis as fissuras ou trincas que eventualmente tenham surgido. As mesmas razões se aplicam para o Palácio da Justiça.

Quanto às dificuldades de projeto e execução daria para escrever um compendio bem volumoso. Já me passou pela cabeça fazer, porém venho adiando a mais de quarenta anos e acho que agora não restam forças para encarar esta tarefa.

Envio minhas saudações e votos de sucesso na empreitada que esta encetando.

Engº. Fausto Amadeu F. Favale

C.3 – Terceira mensagem recebida do Eng. Fausto Favale, em 26 de novembro de 2006, quando questionado sobre as fundações e a textura do concreto aparente na obra do Palácio da Justiça.

Prezado Engº. André Moreira,

Realmente quando o projeto estrutural foi encaminhado ao ETALP já havia uma planta com as cargas na fundação que eram menores do que as que determinamos, principalmente não havia fundações previstas para os "brise" da fachada da oeste.

As fundações são em tubulões cavados manualmente, conforme pode ser visto na foto da época.

Quanto a textura do concreto, nada posso informar, pois não participei da execução, provavelmente deve ter sido apicoado, quando desformado o aspecto não devia ser aceitável. Pelo que conheço não chegou a haver revestimento de mármore, lembremos que era a época do nascimento do concreto aparente (Le Corbusier).

A obra foi executada quando o Niemeyer estava "exilado". Quando ele retornou ao Brasil não ficou satisfeito com o visual, parecido com o Palácio dos Arcos (Itamaraty) e alterou a sua forma, sendo a modificação executada após a conclusão da estrutura, com projeto, também, do Etalp.

Eu é que lhe devo agradecimentos, pois parte das minhas memórias ficarão registradas na sua tese.

Um grande abraço,

Engº. Fausto Amadeu F. Favale

APÊNDICE D – TIPOS DE DANOS MAIS FREQUENTES EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

D.1 - INTRODUÇÃO

O presente texto foi extraído do *Roteiro de Inspeção*, parte integrante da metodologia destinada à avaliação quantitativa do grau de deterioração de estruturas de concreto de edificações usuais. Essa metodologia foi desenvolvida e testada em diversas edificações de naturezas distintas, trabalho constante de três dissertações de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da UnB (Referências: Castro, E. K., 1994; Lopes, B.A.R., 1998; Boldo, P., 2002, já tendo sido publicada em vários artigos, com a apresentação, em forma sintética, de resultados de sua aplicação (Castro, Clímaco e Nepomuceno (1995); Castro e Clímaco (1999); Lopes et alli (1999); Boldo e Clímaco (2002)).

A avaliação é feita mediante um programa de inspeções e tem por objetivo contribuir para a definição das ações necessárias à garantia da durabilidade da edificação, nos aspectos de segurança, funcionalidade e estética, auxiliando a tomada de decisões de engenheiros e técnicos da área de manutenção e recuperação de estruturas.

D.2 - PARÂMETROS DE INSPEÇÃO

D.2.1- Considerações Preliminares

D.2.1.1 - Agressividade do ambiente

O Projeto de Revisão da NBR 6118 dispõe sobre os requisitos para a durabilidade, considerando a agressividade do meio ambiente, 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 Tabela D.1, a seguir, apresenta a classificação da agressividade do ambiente, a ser considerada nos projetos de estruturas correntes:

Tabela D.1 – Classes de agressividade ambiental
(Tabela 1, PNB-1/2001)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Risco de deterioração da estrutura
I	fraca	insignificante
II	média	pequeno
III	forte	grande
IV	muito forte	elevado

A Tabela D.2, a seguir, apresenta, de maneira simplificada, como a agressividade do ambiente deve ser avaliada, em termos de macro e micro-climas relativos à estrutura:

Tabela D.2 – Classes de agressividade ambiental em função das condições de exposição
(Tabela 2, PNB-1/2001)

Macro-clima	Micro-clima			
	Ambientes internos		Ambientes externos e obras em geral	
	Seco ¹⁾ UR ≤ 65%	Úmido ou ciclos ²⁾ de Molhagem e secagem	Seco ³⁾ UR ≤ 65%	Úmido ou ciclos ⁴⁾ de Molhagem e secagem
Rural	I	I	I	II
Urbana	I	II	I	II
Marinha	II	III	----	III
Industrial	II	III	II	III
Especial ⁵⁾	II	III ou IV	III	III ou IV
Respingos de maré	----	----	----	IV
Submersa ≥ 3m	----	----	----	I
Solo	----	----	não agressivo I	úmido e agressivo II, III, IV

¹⁾ Salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de aptos. residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura.

²⁾ Vestiários, banheiros, cozinhas, lavanderias industriais e garagens.

³⁾ Obras em regiões secas, como o nordeste do país, partes protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos.

⁴⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

⁵⁾ Macro clima especial significa ambiente com agressividade bem conhecida, que permitirá definir a classe de agressividade III ou IV nos ambientes úmidos. Se o ambiente for seco, a classe de agressividade será sempre II nos ambientes internos e III nos externos.

D.2.1.2 - Identificação dos elementos estruturais

A aplicação da metodologia exige representações gráficas da estrutura (plantas de forma, croquis, etc.), que permitam localizar e identificar, da forma mais clara possível, os elementos vistoriados, quanto à sua natureza, pavimento, tipo de ambiente, etc. É, também, de grande valia uma documentação fotográfica da inspeção, que pode auxiliar o processo de avaliação de danos, diagnóstico e laudos técnicos.

D.2.2 - Tipos de danos em estruturas

Apresenta-se, a seguir, uma conceituação sucinta dos danos mais freqüentes em estruturas de concreto, em ordem alfabética, visando padronizar a terminologia e, permitir, posteriormente, a quantificação dos danos. Cabe ressaltar a importância de se recorrer a bibliografia complementar sobre o tema

a) Carbonatação:

Fenômeno decorrente da penetração do dióxido de carbono, CO₂, presente no ar, na rede de poros do concreto, e de sua reação com os constituintes alcalinos da pasta de cimento, principalmente o hidróxido de cálcio. A carbonatação da cal reduz o pH do concreto e provoca a despassivação das armaduras, ou seja, a sua capacidade de proteção do aço contra a corrosão. Pode ser detectada por meio de um ensaio simples, com a aplicação de fenolftaleína com indicador na superfície do concreto. A parte do concreto carbonatada fica incolor (pH < 8,5) e a parte não carbonatada adquire a cor vermelho-carmim.

b) Cobrimento deficiente

A PNB-1/2001, recomenda que o projeto e a execução devem considerar o cobrimento nominal (c_{nom}), que é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução (Δc). Quando houver um controle de qualidade rigoroso, pode ser adotado um valor $\Delta c=5\text{mm}$. Em caso contrário, nas obras correntes, seu valor deve ser de, no mínimo, $\Delta c=10\text{ mm}$, o que determina os cobrimentos nominais indicados na Tabela D.3.

Tabela D.3 – Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c=10\text{ mm}$ (Tabela 4, PNB-1/2001)

C _{nom} mm	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 1)			
		I	II	III	IV ³⁾
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	55
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

¹⁾ 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.

²⁾ 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 pelo exposto abaixo da tabela, respeitado um cobrimento nominal $\geq 15\text{mm}$.

³⁾ As 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 devem ter cobrimento nominal $\geq 45\text{mm}$.

Segundo a norma, os cobrimentos nominais e mínimos são sempre, referidos à superfície da armadura externa, em geral a face externa do estribo. O cobrimento nominal de uma determinada barra deve sempre ser:

$$c_{nom} \geq \Phi \text{ barra}$$

$$c_{nom} \geq \Phi \text{ feixe} = \Phi_n = \Phi \sqrt{n}$$

$$c_{nom} \geq 0,5 \Phi \text{ bainha}$$

c) Contaminação por cloretos:

Contaminação do concreto causada pelo emprego de aditivos à base de cloretos na execução do concreto, principalmente em peças pré-moldadas, ou pela penetração de cloretos presentes no meio ambiente (como no caso de regiões à beira-mar). As manifestações mais comuns são as fissuras, locais ou generalizadas, sobre as armaduras e a presença de manchas no concreto devido à retenção de umidade, freqüentemente com a criação de fungos. Os cloretos podem ser incorporados pelo uso da água da rede pública no amassamento do concreto ou introduzido através da limpeza de pisos e fachadas, com a utilização de soluções de HCl em baixas concentrações (ácido muriático) (Nepomuceno, 1999).

d) Corrosão de armaduras:

A corrosão é um processo físico-químico gerador de óxidos e hidróxidos de ferro, produtos que ocupam um volume significativamente superior (em até 6 vezes) ao volume corroído das armaduras, sujeitando o concreto a elevadas tensões de tração (de até 15 MP_a). Essas tensões ocasionam a fissuração e o posterior lascamento do cobrimento do concreto (Cánovas, 1988). No início, a corrosão se manifesta com o aparecimento de manchas marrom avermelhadas ou esverdeadas na superfície do elemento estrutural, devido à lixiviação dos produtos de corrosão e evoluindo com o tempo, podendo chegar até à perda total da seção da armadura.

e) Desagregação:

Separação física de placas ou fatias de concreto, com perda de monolitismo e, na maioria das vezes, perda da capacidade de engrenamento entre os agregados e da capacidade aglomerante da pasta (Sousa, 1999). É um fenômeno característico de ataques químicos do concreto, em formas diversas: reação álcali-agregado, reações expansivas com sulfatos.

f) Deslocamentos por empuxo

Deslocamento de peças estruturais devido ao empuxo de terra, em especial sobre paredes de contenção, proveniente da pressão ativa exercida por um maciço não-coesivo, sobre um anteparo vertical. As cortinas devem ser providas de drenos, para evitar o acúmulo de água entre o terrapleno e a mesma, que resultaria em acréscimo do empuxo hidrostático. Além disso, o deslocamento pode ser causado pela saturação do maciço, podendo, ainda, ser agravado pela passagem de veículos.

g) Desvios de geometria:

Perda de alinhamento de elementos estruturais com relação ao seu eixo, produzindo excentricidade de carga. Pode ter como causas: deficiências na execução por movimentação ou incorreção de formas, ou movimentação da estrutura, por esforços não considerados corretamente ou imprevistos.

h) Eflorescência:

Hidrólise da pasta de cimento e dissolução dos produtos de cálcio pela ação de águas puras e brandas. Teoricamente, a hidrólise da pasta continua até que a maior parte do hidróxido de cálcio tenha sido retirada por **lixiviação**; isto expõe os outros constituintes cimentícios à decomposição química. O processo produz géis de sílica e alumina com pouca ou nenhuma resistência e perda significativa da resistência da pasta de cimento pela lixiviação da cal (Mehta, 1994). O fenômeno

causa o aumento da porosidade do concreto, sendo similar à osteoporose do osso humano, e pode levar, em um espaço de tempo relativamente curto, o elemento estrutural à ruína (Souza, 1999). Quando o produto lixiviado interage com o CO₂ presente no ar, resulta na precipitação de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície do concreto. O pesquisador russo Skrylnikov (1933) chamava, figuradamente, esta forma de deterioração de “a morte branca do concreto” (Moskvin, 1980).

i) Esfoliação:

Ocorrência de lascas ou escamas que se destacam do concreto não resultantes de ataque químico, devido a um ou mais dos fatores: choques, pressão ou expansão no interior do concreto, etc.

j) Falha de concretagem (nichos ou ninhos de concreto):

Deficiência na concretagem da peça, com exposição de agregados, devido a um ou mais dos fatores: dosagem inadequada, diâmetro máximo do agregado graúdo não condizente com as dimensões da peça, lançamento e/ou adensamento inadequados, taxas excessivas e espaçamento inadequado de armaduras e perda de nata de cimento por aberturas nas formas.

k) Fissuração inaceitável:

A PNB-1/2001 dispõe que a fissuração é nociva quando a abertura das fissuras na superfície do concreto ultrapassa os seguintes valores:

- 1) 0,3 mm para peças de edifícios usuais, para as classes de agressividade II e IV (Tabelas 1 e 2), na ausência de exigência específica, como por exemplo, impermeabilidade ;
- 2) 0,4 mm para classe de agressividade I, se não houver nenhum outro comprometimento.

Não se deve considerar aqui as fissuras de ataque químico responsável por desagregação e de corrosão.

l) Flechas excessivas:

A PNB-1/2001 apresenta, dentre outros, os limites de deslocamento de peças estruturais referentes à aceitabilidade sensorial, acima dos quais podem ocorrer sensações desagradáveis aos usuários, e os relativos à estrutura em serviço, que podem impedir a utilização adequada da edificação. Os limites estão expostos na Tabela D.4, a seguir.

m) Impermeabilização deficiente:

A impermeabilização pode ser definida como um sistema de vedação constituído por materiais rígidos, plásticos ou elásticos, com a finalidade de impedir a penetração de umidade ou líquidos no concreto. No caso de reservatórios e cortinas, deve ser projetada para resistir às pressões hidrostáticas, o que não é necessário para as lajes de cobertura, terraços, calhas, onde não ocorre este tipo de pressão. Os danos podem ser causados por ações mecânicas, previsão incorreta de movimentos da estrutura e perda de elasticidade dos materiais utilizados.

n) Infiltração:

Penetração de águas, agressivas ou não, em peças estruturais, através de fissuras, ninhos de concretagem, juntas de concretagem mal executadas ou devido a alta permeabilidade do concreto. Pode ainda, ter origem em danos na impermeabilização, deficiências no escoamento de águas pluviais, vazamento em tubulações, etc.

Tabela D.4 - Limites para deslocamentos
(Tabela 18, PNB-1/2001-modificada)

Aceitabilidade sensorial			
Razões da limitação	Exemplos	Deslocamento limite	Deslocamento a considerar
Visual	Deslocamentos em elementos estruturais visíveis	L / 250	Deslocamento total
Outros	Vibrações que podem ser sentidas no piso	L / 350	Deslocamentos devidos a carga acidental
Estrutura em serviço			
Razões da limitação	Exemplos	Deslocamento limite	Deslocamento a considerar
Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	L / 250 ¹⁾	Deslocamento total
Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	L / 350 + contraflecha ²⁾	Deslocamento total
		L / 600	Deslocamento incremental após a construção do piso
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios de medidas de grande precisão	De acordo com recomendação do fabricante	Deslocamentos que ocorrem após nivelamento do aparelho
Observações: 1) Todos os valores limites de deslocamentos supõem elementos de vão L suportados em ambas as extremidades por apoios que não se movem. Quando se tratar de balanços, o vão equivalente a ser considerado deve ser o dobro do comprimento do balanço. 2) Para o caso de elementos de superfície, os limites prescritos consideram que o valor L é o menor vão. 3) Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contraflechas. 1) As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por contraflechas, de modo a não se ter acúmulo de água. 2) Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que L/350.			

o) Infiltração na base:

A infiltração na base de pilares e/ou blocos de fundação, que pela sua gravidade, deve ser tratada como dano específico. Pode ser proveniente de deficiência no escoamento de águas pluviais, vazamento em tubulações, etc.

p) Manchas:

Ocorrência de manchas escuras no concreto, devido à contaminação por fungos, mofo, etc., principalmente nas fachadas expostas.

q) Obstrução de juntas de dilatação:

A junta de dilatação é uma separação física entre duas partes de uma estrutura, para que estas partes possam se movimentar sem transmissão de esforço entre elas. A presença de material rígido ou de material de preenchimento que tenha perdido a sua elasticidade produz tensões indesejáveis na estrutura, podendo ocasionar fissuras nas lajes adjacentes à junta, com a possibilidade de se propagar às vigas e pilares próximos. Os sistemas de vedação/enchimento das juntas devem acomodar a amplitude do movimento da mesma.

r) Recalque:

Os recalques de fundações estruturais ocorrem quando os limites das deformações admissíveis do solo são ultrapassados. Causados por cargas estáticas (deformação elástica, escoamento lateral e adensamento), cargas dinâmicas (vibrações, tremores de terra), operações vizinhas (abertura de escavações, execução de novas estruturas), erosão do subsolo (infiltração proveniente, por exemplo, da ruptura de tubulações subterrâneas), alteração química do solo, alteração do nível do lençol freático (Caputo, 1981). O recalque provoca movimentação na estrutura, que conforme o seu tipo, pode ser afetada, principalmente pelo assentamento total máximo, pela inclinação ou pelos assentamentos diferenciais.

s) Sinais de esmagamento do concreto:

Início do processo de desintegração do concreto. No caso de pilares, caracteriza-se pelo aparecimento de fissuras diagonais. É causado por sobrecargas excessivas ou movimentação da estrutura, podendo evoluir para um intenso lascamento do concreto, com perda de seção e flambagem das armaduras.

t) Vazamentos em reservatórios:

Perda de líquido através de fissuras no concreto, ninhos, juntas de concretagem mal executadas, ou ainda por falhas na impermeabilização ou alta permeabilidade do concreto.

D.3. REFERÊNCIAS DO APÊNDICE D

1. ABNT (2001) - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2001), "Texto concluído da revisão da norma PNB-1 (NBR 6118): Projeto de estruturas de concreto".
2. BOLDO, P. (2002) - "Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro", Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, DF, janeiro.
3. BOLDO, P., CLÍMACO, J.C.T.S. (2002) - "Avaliação quantitativa do grau de deterioração de estruturas de concreto de edificações públicas", resumo aprovado para o ENTAC 2002 - Foz do Iguaçu – PR.
4. BOLDO, P., CLÍMACO, J.C.T.S. (2002) - "Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro", resumo aprovado para as XXX Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural – Brasília - DF.

5. CÁNOVAS, M.F. (1988), "Patologia e terapia do concreto armado", Editora Pini, São Paulo, 522p.
6. CAPUTO, H. P. (1981), "Mecânica dos Solos e suas aplicações", V. 2, Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., Rio de Janeiro, 488p.
7. CASTRO, E. K. (1994) - "Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado", Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, DF, 185p, dezembro.
8. CASTRO, E.K., CLÍMACO, J.C.T.S., NEPOMUCENO, A.A. (1995) - "Desenvolvimento de uma metodologia de manutenção de estruturas de concreto armado", 37ª Reunião Anual do Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, Anais, Vol.1, pp. 293-307, Goiânia, julho.
9. CASTRO, E.K., CLÍMACO, J.C.T.S. (1999) - "Avaliação da estrutura de uma edificação residencial após o reparo de elementos danificados", 41o Congresso Brasileiro do Concreto - IBRACON, Anais, Salvador.
10. LOPES, B.A.R. (1998) - "Sistema de manutenção predial para grandes estoques de edifícios: estudo para inclusão do componente estrutura de concreto". Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 308p, setembro.
11. LOPES, B.A.R., CLÍMACO, J.C.T.S., NEPOMUCENO, A.A., CASTRO, E.K. (1999) - "Sistema de manutenção para grandes estoques de edifícios", CONPAT 99, Anais, Vol. 3, pp 1897-1905, Montevideo - Uruguai, outubro.
13. MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P. J. M. (1994), "Concreto, Estrutura, Propriedades e Materiais". Editora PINI, São Paulo, 580p.
14. MOSKVIN, V.; IVANOV, F.; ALEKSEYEV, S.; GUZEYEV, E. (1983), "Concrete and Reinforced Concrete Deterioration and Protection", Mir Publishers, Moscow, Russia, 400p.
15. NEPOMUCENO, A.A. (1999), "Patologia, recuperação e manutenção de estruturas", Notas de Aula, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, Agosto.
16. SOUZA, V.C.M. e RIPPER, T. (1999), "Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto", Editora PINI, São Paulo, 250p.
17. VARGAS, M. (1981), "Introdução à Mecânica dos Solos", Editora McGraw-Hill, São Paulo, 509p.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)