

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NOS VIADUTOS, PONTES E
PASSARELAS DO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE.**

FELICE JOSÉ LANER

Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de Mestre em
Engenharia.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil da Universidade Federal do Rio Grande
do Sul

Porto Alegre, 2001

Prof^a. Denise Carpena Dal Molin
Dra. Universidade de São Paulo
Orientadora

Prof. Francisco de Paula Simões Lopes Gastal
Coordenador do Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil

BANCA EXAMINADORA

Dario Lauro Klein
Ms.C. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Dr. pela University of Leeds

Washington Almeida Moura
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Pequenos passos individuais no caminho do conhecimento produzem gigantescos avanços no saber coletivo, para uma humanidade consciente, portanto, livre.

Ao que tem de mais sincero e dedicado, minha companheira Gislane.

Às minhas filhas que tanto adoro, Estella e Julliana.

AGRADECIMENTOS

Sempre que um esforço acima do normal se impõe, amigos, conselheiros e orientadores se manifestam, na forma do ser humano e no espírito coletivo de interpretação das dificuldades. Agradeço sinceramente:

à professora Denise pela orientação, dedicação e a sensibilidade de conduzir trabalhos,

aos amigos norianos que, na medida das dificuldades, souberam corresponder,

à Regina e ao Ori que na qualidade de referência não descansaram da condição de apoiadores, motivadores e conselheiros,

aos colegas Nelson e Gustavo que percorreram uma trajetória comum de dificuldades, superadas pela amizade que transcendeu os limites do curso,

ao engenheiro Bruno pela dedicada colaboração no fornecimento de materiais e informações,

aos colegas Geísa e Maurício pelo apoio na bibliografia,

aos meus pais e à minha família que souberam dar a este esforço o devido grau de importância, em especial, à minha esposa e companheira que sobrepujou as dificuldades de mãe, cedendo parte deste tempo precioso para auxiliar no desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FOTOS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE EQUAÇÕES.....	IX
LISTA DE REAÇÕES.....	X
LISTA DE QUADROS.....	X
LISTA DE ANEXOS.....	X
RESUMO.....	XI
ABSTRACT.....	XII
CAPÍTULO 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.1 INTRODUÇÃO	1
1.2 JUSTIFICATIVA	7
1.3 OBJETIVOS	9
1.3.1 Objetivo geral	9
1.3.2 Objetivos específicos	10
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	11
1.5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	12
CAPÍTULO 2 INFLUÊNCIA DAS FALHAS DO PROCESSO PRODUTIVO NA DURABILIDADE DE OBRAS-DE-ARTE.....	13
2.1 DURABILIDADE	13
2.2 VIDA ÚTIL	14
2.3 INFLUÊNCIA DO MEIO AMBIENTE NA DEGRADAÇÃO DAS ESTRUTURAS	16
2.3.1 Atmosferas e climas urbanos	17
2.4 INFLUÊNCIA DO PROCESSO PRODUTIVO NA DEGRADAÇÃO DAS ESTRUTURAS	17
2.4.1 Origem das Manifestações Patológicas	17
2.4.1.1 Fase de Planejamento e Projeto	18
2.4.1.2 Fase de Execução	19
2.4.1.3 Fase de Uso e Manutenção	20
2.4.2 Tipos de Falhas no Processo Produtivo de Obras-de-Arte	20
2.4.2.1 Falhas de Concretagem	20
2.4.2.2 Falhas em Juntas de Dilatação	23
2.4.2.3 Falhas em Instalações de Drenagem	24
2.4.2.4 Falhas em Encontros de Obras-de-Arte	25
2.4.2.5 Falhas na Pista de Rolamento	26
2.4.2.6 Falhas de Aparelhos de Apoio	28
CAPÍTULO 3 PRINCIPAIS MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO EM OBRAS-DE-ARTE DE CONCRETO ARMADO.....	31
3.1 MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO ARMADO	31
3.1.1 Corrosão do Concreto	31
3.1.1.1 Hidrólise, lixiviação e eflorescência	31
3.1.1.2 Troca Iônica	33
3.1.1.3 Reações Expansivas	34
3.1.1.3.1 Reação expansiva por sulfatos	34
3.1.1.3.2 Reação expansiva por álcali-agregado	35

3.1.1.4 Ação do Fogo	36
3.1.2 Corrosão das Armaduras	38
3.1.2.1 Mecanismos de Despassivação da Armadura	38
3.1.2.1.1 Carbonatação	39
3.1.2.1.2 Cloretos	41
3.1.2.2 Mecanismo da Corrosão do Aço	42
3.1.3 Fissuração	47
3.1.3.1 Fissuras do Concreto no Estado Fresco	49
3.1.3.1.1 Dessecação superficial	49
3.1.3.1.2 Assentamento plástico ou sedimentação	50
3.1.3.1.3 Movimentação das fôrmas e escoramento	52
3.1.3.2 Fissuras no Estado Endurecido	52
3.1.3.2.1 Movimentação Térmica	52
3.1.3.2.1.1 Interna	52
3.1.3.2.1.2 Externa	53
3.1.3.2.2 Movimentação hidráulica	54
3.1.3.2.3 Sobrecargas	55
3.1.3.2.4 Fundações	55
CAPÍTULO 4 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS UTILIZADOS.....	57
4.1 DEFINIÇÕES	57
4.1.1 Classificação das Pontes e Viadutos	58
4.2 ORIGEM E FORMULAÇÃO DOS DADOS DE PESQUISA	59
4.2.1 Sobre o Método de Vistoria	62
4.2.1.1 Fator de Intensidade do Dano (FI)	64
4.2.1.2 Fator de Relevância Estrutural (FR)	64
4.2.1.3 Fator de Gravidade do problema (FG)	65
4.2.1.4 Grau de Risco do Elemento (GRE)	66
4.2.1.5 Grau de Risco da Família de Elementos (GRF)	66
4.2.1.6 Grau de Risco da Estrutura (GR)	67
4.3 METODOLOGIA DE PESQUISA	68
4.3.1 Coleta de Dados	68
4.3.2 Agrupamento, Formulação dos Dados e Obtenção de Resultados	70
CAPÍTULO 5 RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS.....	72
5.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E CONDIÇÕES GERAIS DOS VIADUTOS, PONTES E PASSARELAS VISTORIADAS	73
5.2 PERCENTUAL DE INCIDÊNCIA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM VIADUTOS, PONTES E PASSARELAS	75
5.3 ANÁLISE DAS FAMÍLIAS DE ELEMENTOS QUE MAIS CONTRIBUÍRAM PARA O GR	97
5.4 RESULTADOS DAS RECUPERAÇÕES DOS VIADUTOS ELEVADA DA CONCEIÇÃO E OBIRICI	105
5.5 ESTUDO DO GR PARA OS CINCO VIADUTOS QUE SOFRERAM INTERVENÇÃO	111
CAPÍTULO 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	124
6.1 CONCLUSÕES	126
6.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	129
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	130
ANEXOS.....	136

LISTA DE FOTOS

Foto 2.1	Falha de concretagem, Viaduto Imperatriz Leopoldina.....	21
Foto 2.2	Elevação e ruptura da junta de dilatação.....	23
Foto 2.3	Infiltração pela junta de dilatação , Viaduto Tiradentes.....	23
Foto 2.4	Obstrução da galeria pluvial , Viaduto Tiradentes.....	24
Foto 2.5	Desníveis entre a estrutura e o encontro, Viaduto Tiradentes.....	25
Foto 2.6	Excesso de asfalto, Viaduto Açorianos.....	27
Foto 2.7	Deslocamento do tabuleiro medido em dezembro de 1990, Viaduto da Conceição	27
Foto 2.8	Deslocamento do tabuleiro medido em dezembro de 1992, Viaduto da Conceição	28
Foto 2.9	Má execução e esmagamento do aparelho de apoio, Viaduto Tiradentes.....	28
Foto 3.1	Fissura, umidade, lixiviação, Viaduto Imperatriz Leopoldina.....	33
Foto 3.2	Descascamento devido a ação do fogo, Viaduto Imperatriz Leopoldina.....	37
Foto 3.3	Corrosão manifestada em fissuração, Viaduto Imperatriz Leopoldina.....	45
Foto 3.4	Corrosão da armadura com descascamento, Ponte Vicente da Fontoura.....	45
Foto 3.5	Fissuração da laje inferior, Ponte Érico Veríssimo.....	49
Foto 3.6	Fissuração por retração hidráulica/térmica, Ponte Vicente da Fontoura.....	55
Foto 5.1	Prova de carga, carregamento total, ensaio à flexão, trecho isostático do Viaduto da Conceição.....	91
Foto 5.2	Instrumentação do trecho isostático, defletômetro, Viaduto da Conceição.....	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Diagrama de equilíbrio Termodinâmico. Potencial <i>versus</i> pH para o sistema imunidade.....	39
Figura 3.2	Célula de corrosão em concreto armado.....	43
Figura 3.3	Tipos de corrosão de armadura e fatores que os provocam	44
Figura 3.4	Representação esquemática dos diversos tipos de fissuras que podem ocorrer no concreto.....	47
Figura 5.1	Tipo de obra <i>versus</i> manifestações patológicas em instalações pluviais.....	75

Figura 5.2	Tipo de obra <i>versus</i> manifestações patológicas em instalações diversas.....	76
Figura 5.3	Tipo de obra <i>versus</i> manifestações patológicas em guarda-corpos de concreto.....	77
Figura 5.4	Tipo de obra <i>versus</i> manifestações patológicas guarda-corpos metálicos.....	78
Figura 5.5	Tipo de obra <i>versus</i> manifestações patológicas em pavimentos.....	79
Figura 5.6	Tipo de obra <i>versus</i> manifestações patológicas em juntas de dilatação.....	81
Figura 5.7	Tipo de obra <i>versus</i> manifestações patológicas em estruturas de pilares.....	83
Figura 5.8	Tipo de obra <i>versus</i> problemas apresentados em aparelhos de apoio.....	86
Figura 5.9	Tipo de obra <i>versus</i> manifestações patológicas em estruturas de encontros.....	88
Figura 5.10	Tipo de obra <i>versus</i> manifestações patológicas em estruturas de tabuleiros.....	90
Figura 5.11	Tipo de obra <i>versus</i> manifestações patológicas em estruturas de caixões.....	95
Figura 5.12	Tipo de obra <i>versus</i> manifestações patológicas em estruturas de vigas.....	96
Figura 5.13	Viaduto <i>versus</i> Incidência do GRF.....	98
Figura 5.14	Percentual da média do GRF ponderado para o conjunto dos viadutos.....	99
Figura 5.15	Pontes com médios GR <i>versus</i> Incidência do GRF.....	100
Figura 5.16	Percentual da média do GRF ponderado em função do GR para o conjunto de pontes.....	101
Figura 5.17	GR passarelas <i>versus</i> Incidência do GRF ponderado.....	102
Figura 5.18	Percentual da média do GRF ponderado em função da contribuição do GR para o conjunto das passarelas.....	103
Figura 5.19	Manifestações patológicas nas instalações pluviais nos viadutos Conceição e Obirici.....	105
Figura 5.20	Manifestações patológicas nas pavimentações dos viadutos da Elevada da Conceição e Obirici.....	106
Figura 5.21	Manifestações patológicas em juntas de dilatação dos viadutos da Elevada da Conceição e Obirici.....	108
Figura 5.22	Manifestações patológicas em aparelhos de apoio dos viadutos da Elevada da Conceição e Obirici.....	109
Figura 5.23	Manifestações patológicas em estruturas de tabuleiros dos viadutos da Elevada da Conceição e Obirici.....	110
Figura 5.24	Viadutos que sofreram algum tipo de intervenção <i>versus</i> GRF.....	111
Figura 5.25	Contribuição média do GRF para o GR para os viadutos que sofreram algum tipo de intervenção (vistoria 1991).....	113
Figura 5.26	Contribuição média do GRF para o GR para os viadutos que sofreram algum tipo de intervenção (vistoria 1997).....	114

Figura 5.27	Viadutos vistoriados em 91 e 97 <i>versus</i> GR.....	115
Figura 5.28	Influência das classificações dos viadutos segundo o GR (vistoria 91).....	120
Figura 5.29	Influência das classificações dos viadutos segundo o GR (vistoria 97).....	121
Figura 5.30	Influência das classificações das pontes segundo o GR (vistoria 93).....	122
Figura 5.31	Influência das classificações das passarelas segundo o GR (vistoria 93).....	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Influência da temperatura sobre a coloração e perda de resistência no concreto	38
Tabela 3.2	Classificação das figuras intrínsecas.....	48
Tabela 4.1	Valores de LIM.....	67
Tabela 4.2	Classificação do GR para obras-de-arte.....	68
Tabela 5.1	Classificação do GR	116
Tabela 5.2	Classificação dos viadutos, relatório de vistoria de 1991.....	116
Tabela 5.3	Classificação dos viadutos, relatório de vistoria de 1997.....	117
Tabela 5.4	Classificação das pontes, relatório de vistoria de 1993.....	118
Tabela 5.5	Classificação das passarelas, relatório de vistoria de 1993.....	119

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1	Profundidade de carbonatação.....	41
Equação 4.1	Grau de Risco do Elemento.....	66
Equação 4.2	Grau de Risco da Família de Elementos.....	66
Equação 4.3	Coeficiente de majoração do Grau de Risco do Elemento.....	67
Equação 4.4	Grau de Risco da Estrutura.....	67

LISTA DE REAÇÕES

Reação 3.1	Ataque por Sulfato de Sódio.....	34
Reação 3.2	Carbonatação.....	40
Reação 3.3	Oxidação.....	43
Reação 3.4	Redução.....	43
Reação 3.5	Formação de ferrugem I.....	43
Reação 3.6	Formação de ferrugem II.....	44
Reação 3.7	Formação de ferrugem III.....	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1	Quadro de extensão e localização dos viadutos, passarelas e pontes.....	60
Quadro 5.1	Quadro geral das obras-de-arte (viadutos, pontes e passarelas).....	74

LISTA DE ANEXOS

Anexo I	Planilha de inspeção de pontes – geral.....	136
Anexo II	Planilha de inspeção do pavimento.....	137
Anexo III	Planilha de inspeção de juntas de dilatação.....	138
Anexo IV	Planilha de inspeção de pilares.....	139
Anexo V	Planilha de inspeção dos aparelhos de apoio.....	140
Anexo VI	Planilha de inspeção da face inferior do tabuleiro.....	141
Anexo VII	Planilha de inspeção das instalações.....	142
Anexo VIII	Planilha de inspeção das vigas laterais	143
Anexo IX	Planilha de inspeção de encontros.....	144
Anexo X	Planilha de inspeção do caixão.....	145

RESUMO

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NOS VIADUTOS, PONTES E PASSARELAS DO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE.

Felice José Laner

Porto Alegre, como todo o grande centro urbano, não se viabilizaria na função de polo cultural, administrativo e comercial, sem a construção de grande parte de seus viadutos, pontes e passarelas. A cidade sofre com o agravante de ter seu centro seccionado pela Lagoa do Guaíba e com a ausência de um sistema de transporte fluvial coletivo que possibilitaria o escoamento pelas águas. O transporte metroviário tem sido uma solução adotada pela maioria das cidades que se aproximam do porte de Porto Alegre, no entanto, é uma solução que multiplica as obras-de-arte e se configura em uma alternativa cara que exige da administração pública, estar preparada para a conservação destas obras desde a sua concepção.

Nos últimos dez anos foram tomadas algumas medidas inéditas na história de preservação das obras-de-arte pelo município de Porto Alegre, medidas que representaram uma tomada de decisão importante no que se refere à vistoria especial, onde aprofundou o cadastramento de todas as obras, levantou dados específicos em planilhas de inspeção, classificou as obras, segundo seus respectivos graus de riscos, apontou obras para a recuperação, desenvolveu projetos de recuperação para algumas delas e definiu um método de vistoria e avaliação.

Constatou-se que, em torno de 70% das obras-de-arte do município estão em uma faixa de idade entre 20 e 30 anos. Este é um dado que acentua a responsabilidade de se criar um plano de manutenção e que não se reduza ao planejamento, mas sim, alcance uma posição de importância nas prioridades do orçamento público e dê continuidade ao envolvimento da sociedade científica e técnica nas vistorias e projetos. Considerando-se a vida útil destas obras em aproximadamente 50 anos, pode-se afirmar que 70% delas estão passando de sua idade média, sem sofrer nenhum tipo de manutenção ou conservação.

Os resultados mostraram que cinco famílias de elementos pertencentes às obras-de-arte são predominantemente responsáveis pelos seus graus de riscos, no entanto, quatro delas – juntas de dilatação, instalações pluviais, tabuleiros e pavimentos - são comuns às obras de maior relevância. Um mapa de influência apresentado neste trabalho demonstra o quanto as vistorias puderam servir de ferramenta para diagnosticar as obras-de-arte, possibilitando uma leitura direta do grau de risco das estruturas e comparando as alterações deste quadro entre diferentes vistorias realizadas.

ABSTRACT

PATHOLOGIC MANIFESTATIONS IN VIADUCTS, BRIDGES AND PEDESTRIAN
OVERPASSES IN THE COUNTY OF PORTO ALEGRE.**Felice José Laner**

As all large urban centers, Porto Alegre would not be feasible as a cultural, administrative and trading center, without the building of most of its viaducts, bridges and pedestrian overpasses. The city also bears the disadvantage of having its downtown area severed by the Guaíba lagoon, and the lack of a fluvial mass transportation system, which would enable a water transportation transit. The subway transportation has been a solution adopted by most cities the size of Porto Alegre. However that is a solution that multiplies the works of art and becomes an expensive alternative, requiring the public administration being ready for the maintenance of such works since their drafting.

Some unusual measures have been taken in the last ten years in the history of preservation of works of art by the county of Porto Alegre; measures that represent an important decision making regarding especial inspections, whereby it has deepened the inventory of all works, surveyed specific data in inspection tabulations, classified the works according to their respective risk levels, pointed out works to be recovered, developed recovery projects of some of them, and defined a method of inspection and assessment.

It was ascertained that about 70% of the county's works of art are in the range of 20 to 30 years of age. Such are figures that point out for the responsibility of devising a maintenance planning, and that it does not become restricted to planning, but reach a position of importance in the priorities of the public budget, and give continuity to the engagement of the scientific and technical community in inspections and projects. Should we consider the life span of such works as about 50 years, we would be able to affirm that 70% of them are beyond their middle age without undergoing any kind of maintenance or conservation.

The results have showed that five classes of elements in the works of art are predominantly responsible for their rates of risk. However, four of them - expansion seams, pluvial facilities, deckings, and floors - are common to those most relevant works of art. A map of influence presented in this paper illustrates how much the inspections were able to function as tools, in order to diagnose the works of art, making possible a direct reading of the risk levels the works of art and comparing the alterations of such picture among the different inspections carried out.

CAPÍTULO 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 INTRODUÇÃO

As pontes e viadutos são elementos de vital importância para o transporte de cargas em estradas rodoviárias e pode-se afirmar serem imprescindíveis para o escoamento da produção no Brasil. São responsáveis por fazerem a ligação nos pontos críticos das estradas, garantindo uma trajetória de continuidade (OLIVEIRA, 1999).

A substituição gradativa do transporte ferroviário pelo rodoviário no país e a conseqüente estagnação do transporte naval, decorrente do chamado “Plano de Metas – 1957/60”, constituiu-se a mais sólida decisão consciente em prol da industrialização na história econômica do país. Esse plano, segundo LESSA (1983), daria continuidade ao processo de substituição de importações que se vinha desenvolvendo nos dois decênios.

As pontes e viadutos fundamentaram o conceito de PFEIL (1979) para obras-de-arte que foi “a transposição de obstáculos à continuidade do leito normal de uma via, como rios, braços de mar, vales profundos, outras vias etc.”. Deste modo, serviram de elementos de ligação para os trechos críticos de rodovias já existentes e para o aumento significativo da malha rodoviária durante este período.

De acordo com LESSA (1983), as metas do plano foram totalmente atingidas, já que de 1955 a 1961 foram construídos 12169 km e pavimentados 7215 km de rodovias federais e também construídos 23245 km e pavimentados 3785 km de rodovias estaduais.

A tendência de construção de estradas, deste período, representou a preparação e o desencadeamento do desenvolvimento industrial do país. As obras-de-arte, por sua vez, alcançaram o *status* de *standard* da modernidade, a tal ponto que uma cidade adquiria importância na medida da quantidade e robusteza de suas obras-de-arte. Nos projetos de campanhas políticas esteve sempre presente o plano de construção ou a citação da execução de uma grande obra-de-arte.

O setor público, para cumprir a meta do plano, foi ampliado através de grandes empresas e autarquias. No caso das rodovias federais e estaduais, estruturaram-se o Departamento Nacional de Estrada e Rodagem (DNER) e o Departamento Autônomo de Estradas e Rodagem (DAER), respectivamente.

No Rio Grande do Sul, foram construídos 1500 pontes e viadutos distribuídos nas vias federais e estaduais, para cumprir o Plano de Metas (OLIVEIRA, 1999) .

Na cidade de Porto Alegre, após vistorias realizadas pelo Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) e pela Fundação Universidade – Empresa de Tecnologia e Ciência (FUNDATEC) , nos anos de 1991 a 1993, através de um convênio firmado entre a fundação e a Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PMPA), foram registrados 11 viadutos, 23 pontes e 12 passarelas construídos e mantidos pelo município (LEME e FUNDATEC, 1991,1993,1997).

As obras-de-arte nas grandes cidades assumem características diferenciadas das construídas nas rodovias, a começar pela geometria que geralmente é determinada pelo estreito espaço imposto pela grande densidade populacional urbana. A valorização imobiliária e a necessidade de ocupação das áreas públicas para equipamentos urbanos de grande importância determinam traçados muitas vezes tortuosos e irregulares para as obras-de-arte. Pode-se dizer que estes são determinados pela dinâmica de crescimento da cidade, que segundo SINGER apud ARAÚJO (1977): “Apesar de ser uma decisão individual, se configura como uma ação coletiva, na medida em que os parâmetros de decisão são gerados em nível da coletividade. Estes parâmetros são pautados, em sua maior parte, nas questões de rentabilidade do solo dentro da lógica capitalista”.

Observa-se que as condições adversas para a construção das obras-de-arte nas grandes cidades criam parâmetros de projeto que devem ser considerados:

- desenhos que dificultam a manutenção;
- a arquitetura que exige um sistema construtivo¹ mais complexo para a engenharia;
- o sistema construtivo, que na maioria das vezes, dificulta a utilização de estruturas pré-moldadas por falta de espaço e difícil acesso;
- as estruturas de geometria geralmente em curva ou em grande elevação, cujas solicitações de esforços mecânicos acabam por provocar deslocamentos não desejáveis à superestrutura e encontros da obra;

¹ Entende-se aqui por sistema construtivo, o conjunto de elementos constituintes da obra-de-arte, considerando as condições tecnológicas e de fabricação, sejam eles estruturais, sejam eles as instalações ou acessórios complementares.

- o local, junto a cruzamentos de trânsito intenso, onde a emissão de gases, principalmente o gás carbônico, propicia um meio agressivo às estruturas, podendo provocar manifestações patológicas próprias deste ambiente, como a carbonatação e a corrosão;
- as construções executadas pelo poder municipal como terminais de linhas de ônibus, capatazias de serviços e banheiros públicos, com a finalidade de aliviar o impacto da concentração populacional excessiva, aproveitando os espaços, junto às obras-de-arte.
- a localização geográfica que geralmente adquire importância comercial, decorrente de um mercado consumidor significativo, que por conseqüência, gera ocupações irregulares, por exemplo, depósito de papaleiros e moradia de famílias. As ocupações prejudicam os encontros das obras no que se refere ao solapamento pela retirada gradual do aterro; prejudicam também os tabuleiros, pilares e encontros estruturados já que é usado fogo para cozinhar e aquecer, acelerando assim o processo de carbonatação e lascamento dos elementos estruturais; em alguns casos provocam entupimentos das instalações pluviais; dificultam o acesso à vistoria e manutenção regular.

Sem muita reserva, pode-se afirmar que as pontes e viadutos das grandes cidades são verdadeiros equipamentos urbanos, indispensáveis para a vida cotidiana de suas populações porque, antes de mais nada, definem os principais escoamentos de vias, articulando cruzamentos de grandes avenidas, encurtando caminhos e compensando acidentes geográficos. A ponto de, na falta de um viaduto ou ponte e até mesmo passarela, a vida de uma cidade, ou parte dela, pode se tornar um verdadeiro caos. Como exemplo pode-se citar a Ponte dos Remédios na cidade de São Paulo que, em 1997, assumiu um privilegiado espaço na grande mídia durante aproximadamente duas semanas, devido à sua interdição, determinada por um dano de risco. Na realidade, tanta repercussão se deveu ao impacto gerado no trânsito desta grande cidade, intolerável pelos usuários que pagam seus impostos, confiando ao poder público a solução também do problema viário. Comenta-se, portanto, sobre obras que definem a precisão de minutos nos horários e compromissos da população com atividades profissionais intensas, proporcionadas pelas grandes cidades; é por isto e pelo seu custo geralmente elevado, que estas assumem importância relevante no plano de grandes projetos, previstos nos orçamentos públicos.

O aumento da velocidade média e a intensificação do fluxo de veículos das vias que contém equipamentos de pontes e viadutos tendem a aumentar, pela

diminuição de semáforos e aumento das vias expressas, assim como pela preferência de utilização destas vias por grande parte dos usuários.

Como consequência, a travessia de vias por pedestres se torna sempre mais perigosa e muitas vezes inviável, devido à demora no alívio do trânsito. As alternativas adotadas pelo poder público apresentam muitas vezes soluções temporárias. A alternativa mais prática e barata é a instalação de semáforos de pedestre, cuja eficiência se evidencia por um período muito curto. São normalmente soluções que recaem novamente no problema gerador, a redução da velocidade média do fluxo de veículos no trânsito. Problema típico de ser solucionado com a construção de uma ponte ou um viaduto. Para interromper este ciclo, a construção de passarelas em locais estratégicos constitui uma boa solução. São equipamentos mais seguros e mais rápidos para a travessia de pedestres.

A construção civil no Brasil demonstra ser muito lenta na adoção de novos sistemas construtivos por se configurar como um setor de produção eminentemente artesanal, e conseqüentemente, a industrialização ainda não predomina. Em nosso país a mão-de-obra, principalmente da construção, de baixo custo e despreparada, por falta de investimento, e a atualização dos profissionais de engenharia, no que tange à aplicação de novos sistemas, não chega a acompanhar o ritmo do desenvolvimento tecnológico global. No setor de construção civil o investimento não satisfaz as necessidades de construção das obras-de-arte das grandes cidades. Estas obras são geralmente construídas em pontos nevrálgicos das cidades, onde a interdição por necessidade de manutenção deve ser muito localizada e de considerável rapidez para que o impacto social seja o menor possível. Para atender tais requisitos as intervenções devem provocar o menor impacto possível e pré programadas. Para isso a durabilidade destas obras deve garantir uma vida útil que justifique seu custo elevado, que seja de fácil manutenção e vistoria e que apresente, no seu conjunto, elementos de fácil substituição: aparelhos de apoio, aparelhos de juntas de dilatação, aparelhos pluviais, entre outros.

Uma vez estabelecido um padrão de sistemas construtivos, com base no limite histórico da construção civil no Brasil, que, como já discutido, se ajusta muito lentamente a projetos de tendência holística, define-se uma inércia de utilização de técnicas, materiais, mão-de-obra, normas, concepções e procedimentos que se alongam durante décadas, tornando vagaroso o movimento da aplicação e das introduções de novas tecnologias.

Inserida no grupo das grandes cidades, Porto Alegre apresenta uma particularidade geográfica que dificulta imensamente o sistema viário e conseqüentemente o seu trânsito. O centro da cidade tem escoamento restrito numa varredura de aproximadamente 180° apenas, na orientação nordeste-sudeste, região onde a concentração comercial é maior, onde se localizam o centro administrativo do município e do estado, e os centros hoteleiro, cultural, educacional e de serviços. As demais radiais são constituídas pela orla da lagoa do Guaíba, na orientação noroeste-sudoeste. Sem um sistema de transporte fluvial que contribuísse para aliviar o sistema viário, a cidade conta imprescindivelmente com suas obras-de-arte para viabilidade do trânsito. Portanto, trata-se de uma cidade que não pode prescindir de um cuidado especial destes equipamentos, no que tange a vistorias periódicas e manutenção preventiva.

A ação preventiva têm uma grande importância para que se possa monitorar as condições da obra e evitar, através da manutenção, que os problemas existentes evoluam, resguardando desta forma o enorme patrimônio representado pelas obras-de-arte.

Nos Estados Unidos, por exemplo, existiam, em 1988, 587.717 pontes. Logicamente, diante de um número tão elevado de obras, as falhas acontecem com freqüência, especialmente na ausência de manutenção. Nesse país, no período compreendido entre 1951 e 1988, foram observadas 114 falhas, que acarretaram 89 colapsos totais (HARIK apud KLEIN et al,1993).

Sucessivas administrações públicas no passado foram norteadas e, de certa forma, amparadas pelo meio científico profissional, por concepções que definiam as estruturas de concreto como perenes (KLEIN et al, 1993).

KLEIN et al (1993) comentam que “Várias décadas se passaram em que o único pensamento foi o de construir obras, geralmente de concreto pois este fora elegido, numa conceituação errônea, como um material perene. Com o passar do tempo estas estruturas passaram a apresentar problemas, que foram sendo agravados pelo descaso com as atividades de manutenção. Raras foram as exceções a este quadro, em que as autoridades tenham estabelecido um planejamento sério sobre manutenção das obras de arte ao invés de assumir uma posição omissa, marcada por intervenções esparsas e apressadas desencadeadas pelo agravamento de algum quadro patológico especialmente alarmante. Essa postura, além de não se preocupar com a segurança dos usuários, constitui uma

grave ofensa ao erário público, pois os gastos associados com a recuperação de uma estrutura crescem exponencialmente com o tempo”.

Um acontecimento característico que representa bem o que KLEIN et al comentam acima foi noticiado na revista O Empreiteiro (1997). A matéria trata uma realidade dura com muita ironia, mas é merecedora de apuração justa, para que questões como estas passem a ser tratadas como um crime de responsabilidade à segurança do usuário e ao erário público, como se referiram os autores. A matéria é sobre a constatação de um dano grave na ponte dos Remédios, na cidade de São Paulo, e assim inicia: “Era uma vez uma ponte que, por absoluta falta de paternidade, ficou quase 30 anos sem sofrer manutenção. Até que um dia (3 de junho de 1997, uma terça-feira), passando de carro pelo local, um engenheiro da Regional da Lapa notou, por acaso, uma profunda fenda na estrutura da obra-de-arte. Dado o alerta, São Paulo começou a viver um drama viário”.

Diante de inúmeras situações de interdições em obras-de-arte, que representaram riscos de ruína e que efetivamente apresentaram colapso, evidencia-se o quadro de descaso com a manutenção e procedimentos de projetos e construção destas obras, por parte do poder público. Aos poucos, constata-se sinais de mudanças nessa realidade. OLIVEIRA (1999) identifica estas mudanças na divisão e concessão de trechos da malha rodoviária, via licitação, para empresas que adquirem o direito contratual de exploração destes trechos, através da cobrança de pedágios, assim como o compromisso de sua manutenção e conservação. Medidas que certamente merecem ser avaliadas com maior profundidade, no que se refere às suas conseqüências e solução do problema. Não se tem ainda certeza se constitui uma alternativa que venha trazer melhorias à malha rodoviária, ou somente a trechos que são mais significativos para a exploração. Embora, sem dúvida nenhuma, evidencia-se mudanças.

No caso do município de Porto Alegre, pode-se também constatar mudanças nessa realidade. A administração municipal, através do convênio (LEME, FUNDATEC e PMPA), tem investido nesta última década num programa de vistoria e manutenção de obras-de-arte. Uma de suas etapas foi a inspeção em todas estas obras da malha viária do município, com o objetivo de diagnosticar os problemas existentes, para fins de estabelecer um posterior sistema de manutenção com base em critérios de prioridade de intervenção.

Este estudo teve como princípio, criar um método de inspeção e avaliação que possibilitasse aos técnicos do Programa de Obras-de-arte (PROA), da Secretaria

Municipal de Obras e Viação(SMOV), acompanhar o desempenho destas estruturas, para promover a manutenção preventiva (KLEIN et al, 1993). O resultado destas inspeções e avaliações teve como finalidade a classificação de obras-de-arte, em escalas de BAIXO, MÉDIO, ALTO grau de risco e estado CRÍTICO.

1.2 JUSTIFICATIVA

As obras-de-arte são estruturas de alto custo de construção, reparo e recuperação. Quando de uma intervenção necessária, cria grande transtorno e custo social incalculável. Sendo assim, é de pronto justificado o investimento em ações preventivas, tanto no que se refere ao conhecimento mais apurado das manifestações patológicas, como no que consiste em técnicas de manutenção preventiva durante a utilização.

Existem muitas formas preventivas para se minimizar o efeito dos diversos tipos de danos que podem ocorrer nas estruturas. Porém, segundo ANDRADE (1997), na maioria das vezes não se sabe a relação custo/benefício entre a utilização de uma determinada medida com relação aos custos iniciais das obras. A fim de contribuir para solucionar tal problema, GERWICK apud ANDRADE (1997) realizou um estudo comparando as medidas que foram adotadas em pontes, estruturas marinhas e plantas industriais a fim de maximizar a vida útil das obras, sob o ponto de vista da corrosão de armaduras, comparando os custos das mesmas com os custos iniciais das construções. As comparações foram feitas nos Estados Unidos no ano de 1994 e algumas delas podem ser evidenciadas através dos exemplos abaixo (ANDRADE, 1997):

- emprego de baixas relações a/c, aliado ao uso de cimentos com adições, adequados para as condições de exposição, com agregados não reativos e com uma espessura de cobrimento compatível traria um acréscimo de aproximadamente 9% com relação ao custo inicial, porém garantiria um período de 20 anos com uma baixa atividade de manutenção. Esses foram os procedimentos adotados em um porto no Kuwait (GERWICK, 1994), construído em 1962, onde só foram detectados os primeiros sinais de corrosão de armaduras em 1992.
- O uso de baixas relações a/c, juntamente com o uso de cimentos com adições, adequados para as condições de exposição, com agregados não reativos e uma espessura de cobrimento compatível, aliado ao emprego de um revestimento a

base de epóxi na armadura e o uso de selantes acarretaria em um custo adicional de 19%, mas, em contrapartida, estenderia o período de vida útil de uma estrutura para 80 anos ou mais, com um período de manutenção praticamente negligenciável durante um período de 40-50 anos. Tais alternativas foram aplicadas na Alsea Bridge nos EUA, onde a estrutura estava inserida em um local de grande agressividade ambiental.

Como aponta ANDRADE (1997), atualmente toda a comunidade científica está preocupada em tentar determinar a vida útil das estruturas com o máximo de confiabilidade, principalmente aquelas que desempenham funções importantes dentro de uma determinada situação e onde são gastos grandes volumes de recursos para a sua construção e manutenção, como é o caso das pontes, barragens e estruturas.

Pode-se também justificar este trabalho através dos custos de intervenção a cada fase da obra para atingir um certo nível de durabilidade e proteção. Estes crescem exponencialmente quanto mais tarde for essa intervenção, como demonstra a regra de SITTER apud HELENE (1997), cujo significado pode ser assim exposto:

- fase de projeto: toda medida tomada a nível de projeto com o objetivo de aumentar a proteção e a durabilidade da estrutura, como por exemplo, aumentar o cobrimento da armadura, reduzir a relação a/c do concreto ou aumentar fck, especificar certas adições, ou tratamentos protetores de superfície, e outras tantas implica num custo que pode ser associado ao número 1 (um);
- fase de execução: toda medida extra-projeto, tomada durante a fase de execução propriamente dita, implica num custo 5 (cinco) vezes superior ao custo que acarretaria tomar uma medida equivalente na fase de projeto, para obter-se o mesmo nível final de durabilidade ou vida útil da estrutura. Um exemplo típico é a decisão em obra de reduzir a relação a/c para aumentar a durabilidade. A mesma medida tomada na fase de projeto permitiria o redimensionamento automático da estrutura considerando um novo concreto de resistência à compressão mais elevada, de maior módulo de deformação e de menor fluência. Esses predicados permitiriam reduzir as dimensões dos componentes estruturais, reduzir as fôrmas e o volume de concreto, reduzir o peso próprio e reduzir as taxas de armadura. Essas medidas, tomadas quando da construção da obra, apesar de eficazes e oportunas do ponto de vista da vida útil, não mais propiciam a mesma economia e otimização da estrutura caso fossem tomadas na fase de projeto;

- fase de manutenção preventiva: as operações de manutenção do tipo pinturas freqüentes, limpezas de fachada sem beirais e sem proteções, impermeabilizações de coberturas e reservatórios mal projetados, e outras, necessárias para assegurar as boas condições da estrutura durante o período da sua vida útil, podem custar até 25 vezes mais que medidas corretas tomadas na fase de projeto estrutural ou arquitetônico. Por outro lado podem ser cinco vezes mais econômicas que aguardar a estrutura apresentar problemas patológicos evidentes que requeiram uma manutenção corretiva. Podem-se considerar aqui que as mesmas recomendações são úteis no que se refere a obras de arte, mantendo a ressalva, é claro, para os elementos específicos relativos a estas estruturas.
- fase de manutenção corretiva: corresponde aos trabalhos de diagnóstico, reparo, reforço e/ou proteção das estruturas que já perderam sua vida útil de projeto e apresentam manifestações patológicas evidentes. A estas atividades pode-se associar um custo 125 vezes superior ao custo das medidas que poderiam e deveriam ter sido tomadas na fase de projeto e que implicariam num mesmo nível de durabilidade que se estime dessa obra após essa intervenção corretiva.

Por fim, torna-se importante na medida em que disponibiliza a pesquisa como um instrumento destinado aos órgãos responsáveis diretos pela manutenção (neste caso a SMOV), como fonte de interpretações dos dados de vistoria, no que se refere ao desmembramento do grau de risco de uma determinada estrutura, ponderando a importância dos respectivos elementos que a compõem, no sentido de auxiliar para a decisão de intervenções preventivas específicas, precisas, controladas e com sua freqüência prevista.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

A partir das informações obtidas nos relatórios da Secretaria Municipal de Obras e Viação (SMOV), sistematizar os dados planilhados, executados pelo LEME, com a finalidade de chegar a resultados que permitam, principalmente, servir de subsídios para a manutenção rotineira das obras-de-arte de Porto Alegre, assim como promover subsídios, através destes dados, para alguns procedimentos que devem ser adotados já na concepção e elaboração dos projetos e especificações das

obras a serem contratadas, de forma a garantir maior durabilidade e ampliar a vida útil das mesmas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar as obras-de-arte do município de Porto Alegre, agrupá-las por tipo/função, idade e dimensões;
- comparar as incidências das manifestações patológicas nos diferentes tipos de obras, com a finalidade de analisar as causas de suas ocorrências;
- verificar as famílias de elementos² que contribuíram significativamente para a constituição do grau de risco (GR) das estruturas nos diferentes tipos de obras;
- verificar a contribuição destas famílias de elementos mais significativas para o grau de risco (GR) das estruturas pela média aritmética do grau de risco de cada família de elementos (GRF), ponderada para o conjunto de viadutos que sofreram algum tipo de intervenção, comparando-as entre as vistorias de 1991 e 1997;
- analisar a incidência de manifestações patológicas destas famílias mais significativas nos viadutos recuperados, Elevada da Conceição e Obirici, comparando as vistorias de 1991 e 1997;
- verificar as possíveis melhorias destas famílias de elementos mais significativas nos 5 (cinco) viadutos que sofreram algum tipo de intervenção;
- comparar o grau de risco (GR) dos viadutos entre as vistorias de 1991 e 1997;
- classificar os viadutos, pontes e passarelas segundo o grau de risco (GR);

- elaborar um mapa de influência para cada tipo de obra que possibilite a visualização direta do enquadramento de cada viaduto, ponte e passarela na zona do respectivo grau de risco (GR), permitindo fazer uma leitura das condições do conjunto das obras-de-arte no município de Porto Alegre para cada vistoria realizada.

² Família de elementos é a denominação dada ao conjunto de elementos que compõem uma obra-de-arte que, por sua vez, se dividiu em famílias de: Instalações diversas, Encontros, Instalações pluviais, Pavimentos, Juntas de dilatação, Aparelhos de apoio, Pilares e Tabuleiros (vigas e lajes de superestrutura) (KLEIN et al).

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Na sua forma geral, o trabalho é apresentado em três partes, sendo que a primeira parte, composta pelos três primeiros capítulos, é uma abordagem introdutória do assunto da pesquisa, estabelecendo seus argumentos, suas justificativas, uma abordagem conceitual dos problemas patológicos que freqüentemente manifestam-se nas obras-de-arte em estudo, procurando relacionar as definições da bibliografia com a descrição das causas dos problemas encontrados nas obras; na segunda parte, composta pelo quarto e quinto capítulos, respectivamente, apresenta-se a metodologia de pesquisa e a pesquisa propriamente dita, através da análise dos dados coletados e relacionada com a revisão bibliográfica; a terceira parte, composta pelo capítulo seis, leva à conclusão final do trabalho.

O conteúdo dos 6 capítulos está resumido a seguir:

- No capítulo 1, levantou-se os principais argumentos do trabalho, procurando contextualizar e caracterizar seu objeto, com a finalidade de limitar seu universo para fins de estudos;
- No capítulo 2, apresenta-se uma revisão de conceitos, das manifestações patológicas que tem influência nas falhas do processo produtivo peculiar à obras-de-arte. Aborda-se os conceitos de durabilidade e vida útil, a influência do meio nestas estruturas e problemas que podem decorrer da fase de planejamento, projeto e execução deste tipo de obra.
- No capítulo 3, é feita uma revisão de conceitos, diagnósticos e prognósticos das manifestações patológicas e dos mecanismos de deterioração do concreto armado. Mecanismos que são, geralmente, desencadeados em decorrências das falhas abordadas no capítulo 2.
- No capítulo 4, apresenta-se a descrição da metodologia de coleta de dados, sua definição e qualificação. A formulação e agrupamento dos dados, os procedimentos utilizados, seus limites, precisão e confiabilidade. Também foi apresentada a metodologia de vistoria desenvolvida pela FUNDATEC, cuja importância está diretamente relacionada com a fonte de dados utilizada.
- No capítulo 5, apresenta-se a análise dos dados coletados, relacionando-se com a revisão bibliográfica, fazendo-se as respectivas análises.
- No capítulo 6, faz-se a conclusão, as recomendações e considerações finais.

1.5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A busca de material nos arquivos da Secretaria Municipal de Obras e Viação (SMOV) demonstrou que nem toda a documentação pretendida foi encontrada, embora, àquelas que determinaram a finalidade central do estudo estivessem presentes.

Não foram encontrados, no entanto, os relatórios de 1991 relativos à inspeção do Viaduto Túnel da Conceição, sentido bairro e sentido centro, o que determinou restrições na coleta de dados da incidência de suas manifestações patológicas. Não obteve-se, portanto, os dados de planilhas de inspeção dos referidos viadutos, embora os dados do Grau de Risco das Famílias de Elementos (GRF) e Grau de Risco da Estrutura (GR) constassem no Relatório Geral destas Obras, o que permitiu incluir estas duas obras na análise do GRF e do GR (conforme Capítulo 5).

Encontrou-se também, dificuldades para reunir todo o acervo fotográfico, o que trouxe algum prejuízo na identificação localizada de cada manifestação patológica, já que este foi um trabalho bem elaborado pela FUNDATEC.

Os relatórios de 1997, elaborados pela SMOV, abrangem somente os viadutos, o que na realidade restringiu o universo das obras-de-arte no que se refere ao cruzamento de informações e dados no período. Portanto, as conclusões referentes à degradação destas estruturas, ao longo deste período, são válidas para um tipo de obra, assim como os efeitos das intervenções ficaram restritos aos cinco viadutos recuperados.

CAPÍTULO 2 INFLUÊNCIA DAS FALHAS DO PROCESSO PRODUTIVO NA DURABILIDADE DE OBRAS-DE-ARTE

2.1 DURABILIDADE

De acordo com o comitê 201 do ACI a durabilidade do concreto de cimento Portland é definida como a sua capacidade de resistir à ação de intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração; isto é, o concreto durável conservará a sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao seu meio ambiente, (MEHTA et al, 1994).

Segundo JOHN apud OLIVEIRA (1999), a durabilidade é a resistência do material à degradação e existe uma correlação entre as propriedades de cada material, a agressividade do meio a qual está exposta a obra e a magnitude dos esforços atuantes que irão definir a taxa de degradação e, por sua vez, a vida útil do material. A durabilidade não pode ser associada a um material isolado mas se deve associá-la a uma determinada situação: *material* + meio *ambiente*.

SILVA FILHO (1994), relacionou diversos conceitos de durabilidade apresentados abaixo:

- Durabilidade é a capacidade de resistir a mudanças de estado, ou seja, de suas propriedades.
- Durabilidade está associada com capacidade de resistir às condições para as quais foi projetada, sem deterioração, por muitos anos.
- Durabilidade é a capacidade de um material de manter o seu bom comportamento e desempenho em condições de segurança, sob as condições previstas de serviço, durante o tempo previsto de duração.

Já CREMONINI (1988) diz que a durabilidade é a capacidade de uma obra e de seus componentes manter seus desempenhos iniciais em níveis mínimos aceitáveis. Esses níveis mínimos seriam definidos pelas atividades desenvolvidas pelos seus usuários, de modo que estas possam continuar a serem executadas.

A durabilidade pode ser facilmente entendida se associada ao desempenho; enquanto a durabilidade de um único material de uma estrutura está comprometido, o desempenho ainda pode estar em níveis aceitáveis. Um exemplo disso é o revestimento de pontes; enquanto a durabilidade do asfalto está comprometida uma

vez que apresenta diversas falhas, o desempenho da estrutura muito pouco é comprometido uma vez que a finalidade para o qual a mesma foi construída continua praticamente igual (ligar um ponto a outro) (OLIVEIRA, 1999).

No entanto, o conceito de durabilidade mais difundido é o proposto pelo CEB-FIB MC-90 (1990): “as estruturas de concreto devem ser projetadas, construídas e operadas de tal forma que, sob condições ambientais esperadas, elas mantenham suas segurança, funcionalidade e aparência aceitáveis durante um período de tempo, implícito ou explícito, sem requerer altos custos para manutenção e reparo”.

Este conceito pode ser interpretado nas afirmações do eng. Bruno Waichel, da Secretaria Municipal de Obras e Viação (SMOV) de P. Alegre, em seu trabalho, “Recuperação Estrutural do Viaduto Obirici”, apresentado no IV CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES (1997):

“Uma obra de engenharia do porte do Viaduto Obirici, essencial para o sistema viário da cidade de Porto Alegre, deve funcionar em condições de segurança. As incógnitas existentes quanto à estabilidade estrutural devem ser banidas em sua totalidade. A segurança quanto ao uso do acesso urbano deve ser total, visto que um acidente além das conseqüências trágicas traria transtornos insuperáveis ao usuário pela dificuldade de circulação dos veículos, dos pedestres, além da necessidade de investimentos maciços em curto espaço de tempo para a execução dos reparos. Em função da experiência adquirida com o desenvolvimento da obra recomenda-se: as obras-de-arte devem estar sujeitas a constante monitoramento; os monitoramentos deverão conduzir a informações que indiquem os diversos processo de degeneração existentes, indicando as metodologias de manutenção ou recuperação; os órgãos públicos responsáveis por estes patrimônios devem possuir instrumentos de rápido acesso que permitam a realização de recuperações e manutenções”.

2.2 VIDA ÚTIL

A qualidade de uma obra depende diretamente dos materiais empregados, dos projetos e de sua manutenção, para garantir uma vida útil que responda sua expectativa de utilização e o investimento empregado.

ROSTAM (1994) apresenta três tipos de vida útil consideradas por ele como relevantes: vida útil técnica, funcional e econômica.

- Vida útil técnica: é o tempo em serviço até que um estado inaceitável de deterioração é alcançado;
- Vida útil funcional: é o tempo em serviço em que a estrutura torna-se obsoleta de um ponto de vista do seu desempenho funcional devido a mudanças de requisitos;
- Vida útil econômica: é o tempo em serviço em que a substituição da estrutura é economicamente mais viável que mantê-la em serviço.

Segundo a ASTM (1982) , vida útil pode ser considerada como o período de tempo, após a instalação de um material, componente ou sistema, em que as propriedades do mesmo ficam acima de valores mínimos aceitáveis. Para tanto, admite-se que o fim da vida útil de um material é definido pelo momento em que suas propriedades, sob determinadas condições de uso, deterioram-se de uma maneira que a continuação de seu uso é considerada insegura e antieconômica (HELENE, 1993) .

HELENE (1993) classifica vida útil em 4 categorias que estão voltadas principalmente para a corrosão da armadura:

- vida útil de projeto: nessa fase os agentes agressivos ainda não penetraram no concreto de forma a causar danos à estrutura;
- vida útil de serviço: os efeitos dos agentes agressivos começam a se manifestar, apresentando fissuração do concreto e manchas devido à corrosão da armadura;
- vida útil total: a ruptura e colapso parcial ou total da estrutura;
- vida útil residual: é o período de tempo no qual a estrutura será capaz de desenvolver as suas funções, contando após uma vistoria e/ou intervenção.

É através de operações de manutenção e/ou recuperação que se pode aumentar o período durante o qual a estrutura mantém um desempenho acima do mínimo admissível. No entanto, mesmo que as propriedades e características dos materiais constituintes não sejam degradados a ponto de comprometer seriamente o seu desempenho, uma obra só pode ser considerada útil enquanto preencher as finalidades para as quais foi planejada (SILVA FILHO, 1994).

A questão da vida útil das estruturas de concreto deve ser enfocada de forma holística, sistêmica e abrangente, envolvendo equipes multidisciplinares. Deve

também ser considerada como resultante de ações coordenadas e realizadas em todas as etapas do processo construtivo: concepção ou planejamento; projeto; fabricação de materiais e componentes; execução propriamente dita e principalmente durante a etapa de uso da estrutura. É nessa etapa onde serão realizadas as operações de vistoria, monitoramento e manutenções preventivas e corretivas, indispensáveis numa consideração correta e sistêmica da vida útil (HELENE, 1997).

2.3 INFLUÊNCIA DO MEIO AMBIENTE NA DEGRADAÇÃO DAS ESTRUTURAS

Segundo ANDRADE (1997), o meio ambiente pode ser definido como a localidade onde as estruturas estão inseridas. Já o CEB (1993) se refere às condições ambientais como sendo o conjunto de ações físicas e químicas aonde o concreto está exposto e que não são consideradas como efeitos de carregamento ou devido às movimentações que podem ocorrer em função de problemas de ordem estrutural.

Com a grande utilização do concreto para a construção de obras-de-arte e considerando os locais que estas obras estão inseridas, faz-se necessário uma avaliação adequada da agressividade ambiental ou atmosfera circundante, com base em dados e registros meteorológicos, para se prever a durabilidade das estruturas, estudo que deve ser explorado na etapa de planejamento. Trata-se de apresentar informações sobre a variação de temperatura, as ocorrências de precipitação, os poluentes, a umidade do ar, entre outras.

Faz-se necessário, ainda, estudar condições microclimáticas, como por exemplo, pontos que permitam o acúmulo de umidade e concentração de gases e outros elemento agressivos ao concreto armado. Segundo ANDRADE (1997), o microclima é muito mais variável que o macroclima, pois as estruturas de concreto podem estar sujeitas a uma maior ou menor variação de fatores como umidade e temperatura em certas áreas, fato que acontece após uma chuva, ou em lajes que recebem radiação solar intensa durante o dia e resfriam à noite, por exemplo.

As obras-de-arte de Porto Alegre são estruturas que se aproximam muito das condições descritas por ANDRADE (1997), pelas obras apresentarem grandes áreas expostas às intempéries e o município apresentar grandes variações de temperatura entre o dia e a noite, assim como uma umidade relativa (U.R.) alta.

2.3.1 Atmosferas e Climats Urbanos

Atmosferas urbanas são atmosferas de cidades ao ar livre, em centros populacionais maiores. Suas impurezas são, normalmente, em forma de óxidos de enxofre (SO_2), fuligem ácida e outros agentes agressivos, tais como CO_2 , NO_x , H_2S , SO_4^- , entre outros (HELENE, 1986).

De acordo com a umidade relativa (U.R.), pode-se caracterizar o ar como, (HELENE, 1986):

- Ar seco U.R. até 30%;
- ar normal U.R. entre 50 e 60%;
- ar úmido U.R. entre 80 e 90%;
- ar saturado U.R. de 100%.

Segundo HELENE (1986), a umidade do ar é um dos fatores mais importantes que afetam a velocidade da corrosão nas estruturas de concreto armado e protendido, “esta aumenta consideravelmente ao alcançar umidade relativa de 75%, caracterizado como o valor de umidade crítica”.

A concentração de CO_2 , a umidade relativa do ar (U.R.), a precipitação e a variação de temperatura constituem os principais parâmetros atmosféricos e climáticos para estudar o nível de deterioração das obras-de-arte em climas urbanos, objeto deste estudo.

2.4 INFLUÊNCIA DO PROCESSO PRODUTIVO NA DEGRADAÇÃO DAS ESTRUTURAS

2.4.1 Origem das Manifestações Patológicas

A análise da degradação das estruturas não pode se desenvolver sem considerar as características das manifestações patológicas e sua respectiva fase ou etapa de ocorrência. São condições necessárias para obter-se mais certeza do diagnóstico e mais segurança ao projetar estas estruturas.

2.4.1.1 Fase de Planejamento e Projeto

A atividade do cálculo estrutural que antes concebia estruturas de grandes massas com inércia considerável e por isto resistentes ao processo de degradação, atualmente, com o desenvolvimento crescente da teoria das estruturas e do cálculo estrutural, as mesmas estão ficando cada vez mais esbeltas, sendo mais sujeitas à ação dos agentes agressivo (ANDRADE, 1997).

As fissuras por deficiências de projeto, segundo SOUZA et al (1998), são aquelas decorrentes de erros em dimensionamento de elementos estruturais ou, então, por falta de detalhamento destes projetos para a orientação da execução. São erros que, normalmente, resultam na manifestação de fissuras em estruturas do tipo flexão, tração, cortante, torção, perda de aderência, cargas concentradas, flexocompressão e compressão (com ou sem confinamento).

Algumas fissuras que ocorrem com maior raridade, devido à contribuição das lajes às vigas, funcionando como viga T , são as seguintes:

- fissuração por flexão, como conseqüência da insuficiência da seção de aço diante do momento positivo;
- fissuração por esmagamento do concreto, por insuficiência da armadura de compressão;
- fissuração por cisalhamento, por insuficiência de armaduras para combate ao cortante.

É importante, também, citar alguns casos de manifestações de fissuras em lajes que são:

- fissuração de flexão, devido à insuficiência de armadura para os momentos negativos, que surgem na face superior;
- fissuração por flexão, devido à insuficiência de armadura para os momentos positivos, que surgem na face inferior;
- fissuração por deficiência de armadura para combate aos momentos volventes (em lajes de grandes vãos), na face superior da laje;
- fissuração por deficiência de armaduras para combate aos momentos volventes (em lajes de grandes vãos), na face inferior da laje.

As obras-de-arte apresentam problemas decorrentes de projetos como as demais estruturas e são compostas essencialmente por vigas e lajes de grandes dimensões expostas às intempéries, por isto, estão sujeitas às fissuras descritas anteriormente. No entanto, devido ao alto custo, deve-se dispor de mais tempo e dedicação às especificações e ao detalhamentos destas obras na fase de planejamento e projeto.

2.4.1.2 Fase de Execução

Nesta fase, as atividades relacionadas à produção do concreto (mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura) são as que mais influenciam na durabilidade do mesmo (CÁNOVAS, 1988). CUSENS, apud ANDRADE (1997), apresentou um trabalho de análise realizado pelo ACI, mostrando que 74% dos erros que ocorrem na etapa de construção estão relacionados a procedimentos inadequados estabelecidos durante o lançamento e cura do concreto, aliado a problemas no posicionamento da armadura. Se forem tomados cuidados em tais etapas, verifica-se uma diminuição da quantidade das fissuras provocadas por dessecação superficial ou movimentação térmica, que são as portas de entrada dos agentes de degradação para o interior do concreto (GERWICK, 1994).

As fissuras que, normalmente, surgem durante a execução de obras-de-arte são as que ocorrem em consolos e dentes gerber quando os respectivos apoios não funcionam adequadamente. Neste caso, a execução do vínculo de apoio pode ser transformado em vínculo de engastamento, que por sua vez gera um momento cujo braço é muito curto para suportar o grande esforço produzido. Portanto, apresenta-se um caso típico de fissuração do consolo ou da viga que se apoia sobre ele.

Outro caso comum de fissuras por falhas na execução de obras é decorrente da inversão da armadura principal para absorver momentos negativos nos elementos de estrutura em balanço. Trata-se de marquises, sacadas, tabuleiros com encontros em balanços, cuja armadura principal deve estar situada na sua face superior, mas que por erro de interpretação de projeto ou deslocamento durante a execução, estas armaduras, ou parte delas, acabam posicionando-se na face inferior destas estruturas. Portanto, a ausência do aço na posição de resistência à tração, na face superior da estrutura, faz com que estas solicitações se transfiram para o concreto, que por não suportar tais esforços de tração, tendem a fissurar.

Na fase de execução são comuns os demais problemas discutidos em 2.4.2.

2.4.1.3 Fase de Uso e Manutenção

É especificamente na fase de utilização que os danos provocados pelas manifestações patológicas começam a ser mais evidentes, ocasionando assim uma grande elevação dos custos das obras (MAYS, 1992). Atualmente, as obras são construídas tendo-se como objetivo apenas uma redução do seu custo inicial, não se dando a atenção devida aos seus custos durante a sua vida útil (*life cycle costs*), citado por (ANDRADE, 1997).

Segundo CEB (1992), antes mesmo da entrega da obra deve-se realizar uma inspeção inicial e se preparar um manual de manutenção, para que as atividades especificadas no mesmo sejam desenvolvidas durante sua vida útil.

Para obras-de-arte, em especial, deve existir uma vistoria periódica que relacione, sistematicamente, os problemas manifestados e sua evolução, tendo em vista a exposição de suas estruturas às intempéries e aos agentes agressivos.

2.4.2 Tipos de Falhas no Processo Produtivo de Obras-de-Arte

Abaixo são relacionadas algumas falhas decorrentes das diversas fases mencionadas acima e como evitá-las para aumentar a durabilidade das obras e garantir sua vida útil.

2.4.2.1 Falhas de Concretagem

As falhas de concretagem são defeitos provenientes da época de construção, decorrente de imperfeições na colocação ou compactação do concreto. As falhas podem ser produzidas por diversos fatores, tais como:

- segregação do concreto, durante o transporte ou lançamento na forma;
- falta de espaço para penetração do concreto entre as armaduras;
- fuga de nata de cimento por aberturas na fôrma;
- deficiência ou ausência de vibração.

As falhas de concretagem deixam as armaduras expostas e sujeitas à corrosão, conforme foto 2.1.

Para evitar as falhas de concretagem devem existir procedimentos, os quais o engenheiro tenha presente no momento da execução. Os mais comuns, recomendados por BAUER (1994), são:

- lançamento do concreto logo após o amassamento num intervalo máximo de 1 hora, sem retardador de pega;



Foto 2.1 Falha de concretagem, Viaduto Imperatriz Leopoldina (FUNDATEC, 1991).

- a altura de queda livre do concreto não poderá ultrapassar 2 m;
- a colocação de trombas de chapas ou de lona no interior da fôrma;
- emprego de concreto mais plástico e rico em cimento no início da concretagem, mudando mais tarde, para concreto menos plástico e menos rico, porém sempre da mesma resistência;
- a colocação de 5 a 10 cm de espessura de argamassa de cimento, feita com o mesmo traço do concreto que vai ser utilizado, porém sem o agregado graúdo. Desta maneira, o agregado graúdo, que vai chegar primeiro à superfície, encontrará uma camada de argamassa, que o absorverá, evitando a formação do conhecido defeito denominado “ninho de pedras”, que é constituído de agregado com pouca ou nenhuma argamassa para ligá-lo;
- quando o lançamento for submerso o concreto deverá ser de consistência plástica e ser levado dentro da água por um tubulão, mantendo-se a ponta do tubo imersa no concreto já lançado, a fim de evitar que ele caia através da água e que provoque agitação prejudicial;

- encher primeiramente os pilares até o fundo das vigas e em seguida colocar as ferragens das lajes e vigas, para prosseguir a concretagem;
- quanto às vigas é indicado parar a concretagem, quando necessário, na metade ou a um terço do vão;
- junta vertical para vigas apresenta uma boa solução pela facilidade de compactação, pois é possível fazer uma fôrma de contenção vertical que permita a passagem do aço de armação e não do concreto, evitando a formação de nata de cimento, em função da vibração, em superfícies inclinadas;
- as emendas de concretagem nas lajes armadas num só sentido devem ser feitas com enchimento até um terço do vão, sendo aceito até a metade do mesmo;
- na concretagem de lajes armadas em dois sentidos, convém concretar apenas o terço médio de cada vão;
- ao se concretar vigas e lajes, nunca se deve fazer o concreto até o final da laje e posteriormente a laje total, visto que, em geral, a seção resistente da viga é a sua altura, e, normalmente, ela funciona como parte da laje, formando um T;
- aplicar o vibrador em distâncias iguais a uma vez e meia o raio de ação;
- introduzir e retirar a agulha lentamente, com velocidade de 5 a 8 cm / s, de modo que a cavidade formada pelo vibrador se feche naturalmente;
- não deslocar a agulha do vibrador de imersão horizontalmente;
- a espessura da camada deverá ser aproximadamente igual a $\frac{3}{4}$ do comprimento da agulha;
- não introduzir a agulha até menos de 10 a 15 cm da fôrma, para não deformá-la e evitar a formação de bolhas e de calda de cimento ao longo dos moldes;
- não vibrar além do necessário, tempo este em que desaparece as bolhas de ar superficiais e a umidade na superfície é uniforme;
- exercer a vibração durante intervalos de tempo de 5 a 30 s, conforme a consistência do concreto.

Para obras de vulto deve ser elaborado um plano de concretagem com um estudo conjunto entre o engenheiro estrutural, o engenheiro construtor e o engenheiro tecnologista de concreto.

2.4.2.2 Falhas em Juntas de Dilatação

A construção de juntas de dilatação é uma forma preventiva de evitar fissuras, principalmente por movimentação térmica e retração hidráulica. São aberturas criadas em peças de concreto com grandes dimensões ou volume (concreto massa).

As aberturas insuficientes das juntas de dilatação provocam a desagregação das superfícies de concreto laterais das juntas e geram tensões tangenciais não previstas, conforme fotos 2.2 e 2.3.



Foto 2.2 Elevação e ruptura da junta de dilatação, Viaduto Tiradentes (FUNDATEC,1991).



Foto 2.3 Infiltração pela junta de dilatação, Viaduto Tiradentes (FUNDATEC,1991).

Quando as juntas são necessárias, segundo JOHNSON (1973), deve-se estudar uma maneira que obrigue as águas a seguir um caminho mais longo e tortuoso antes de penetrar nestas juntas. Se possível deve-se preenchê-las ou estancá-las.

As juntas de dilatação são pontos vulneráveis que, segundo manual do DNER (1980), estão sujeitos a diversos defeitos, tais como:

- junta aberta – desgaste e quebra do concreto nos cantos; em alguns casos os cantos são protegidos por cantoneiras ancoradas no concreto, as quais tendem a soltar-se sob o impacto dos veículos;
- juntas revestidas – chapa de revestimento solta por efeito de impacto de veículos;
- juntas com lâmina de vedação – acúmulo de terra e sujeira na junta, com conseqüente expulsão do material durante a dilatação da obra.

2.4.2.3 Falhas em Instalações de Drenagem

As falhas em instalações de drenagem de obras-de-arte, conforme foto 2.4, devem ser evitadas para que, de fato, não se deixe a água acumular em pontos críticos como, por exemplo, encontros de apoio e vigas, nos caixões, nos encontros com tabuleiros ou vigas, nas contenções, na pista de rolamento, nos aparelhos de apoio, entre outros. Para se evitar estas falhas deve-se ter os seguintes cuidados:



Foto 2.4 Obstrução da galeria pluvial, Viaduto Tiradentes (FUNDATEC, 1991).

- as superfícies horizontais devem ter um caimento mínimo de escoamento;
- nos muros de contenção, deve-se prever orifícios de drenagem em número suficiente para o escoamento de águas;
- prever canais semicirculares de escoamento das águas ao longo das superfícies planas;
- nos muros de contenção os vertedores devem ser construídos de maneira a não escoar na parede de concreto. Os concretos não devem receber águas diretas dos orifícios de drenagem. Portanto, as obras devem ser protegidas destas águas.

Nas obras-de-arte, a acumulação de águas pluviais pode ser provocada por três fatores:

- inclinação deficiente ou inadequada da pista de rolamento;
- rebaixamentos locais da pista;
- deficiência ou entupimento dos tubos de drenagem.

2.4.2.4 Falhas em Encontros de Obras-de-arte

Os encontros são elementos de ligação entre as superestruturas das obras-de-arte e seus acessos. Estão sujeitos às falhas já apontadas para os materiais, bem como a defeitos estruturais ou de fundação, conforme foto 2.5. Abaixo são apresentadas, pelo manual do DNER (1980), as falhas de maior frequência:



Foto 2.5 Desnível entre a estrutura e o encontro, Viaduto Tiradentes (FUNDATEC, 1991).

- recalques diferenciais ou erosão podem produzir falhas de alinhamento ou fissuras nos encontros;
- dimensionamento dos encontros apenas para o empuxo do solo, sem levar em conta a pressão da água de drenagem;
- havendo entupimento dos drenos, os esforços horizontais atuantes sobre a parede são acrescidos da pressão hidrostática da água, causando uma sobrecarga na obra.

2.4.2.5 Falhas na Pista de Rolamento

As principais deficiências observadas são:

- falta de caimento ou problemas de escoamento de águas pluviais;
- irregularidades ou ruptura da camada de revestimento ou pavimentação;
- falhas nas juntas do tabuleiro;
- desnível na transição do tabuleiro sobre o terrapleno;
- efeitos da erosão sobre o aterro.

As falhas sobre a pista de rolamento das pontes e viadutos geram acréscimos de solicitações para as estruturas destas obras e, segundo manual do DNER (1980), os ressaltos, depressões, desníveis de juntas, conforme foto 2.6, produzem importantes efeitos dinâmicos (impacto), que aumentam as solicitações de cargas móveis, muitas vezes provocando deslocamento do tabuleiro quando os aparelhos de apoio estão em más condições, conforme demonstram as fotos 2.7 e 2.8.

Nas pontes com extremos em balanço, e sem laje de transição, as cargas móveis produzem grandes solicitações dinâmicas, ao passar do terrapleno para ao tabuleiro, ou vice-versa.

Os recapeamentos com concreto asfáltico, muito utilizados para corrigir as falhas superficiais da pista de rolamento, produzem aumentos substanciais no peso próprio da obra, a menos que as camadas anteriores de pavimentação sejam previamente removidas.



Foto 2.6 Excesso de asfalto, Viaduto Açoriano (FUNDATEC, 1991).



Foto 2.7 Deslocamento do tabuleiro medido em dezembro de 1990, Viaduto Elevada da Conceição (FUNDATEC, 1990).

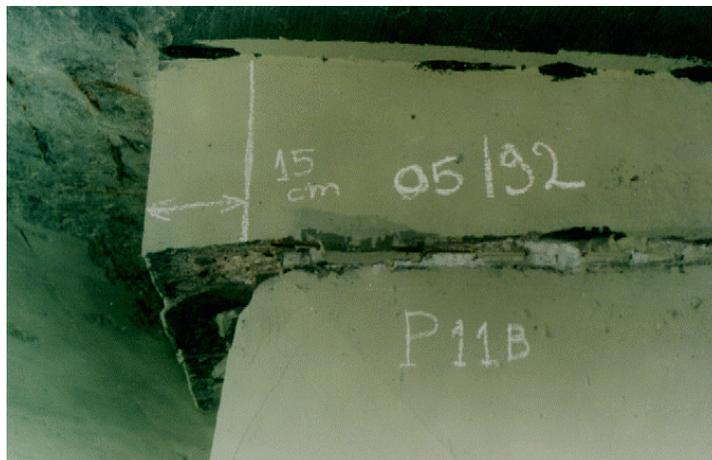


Foto 2.8 Deslocamento do tabuleiro medido em maio de 1992, Viaduto Elevada Conceição (FUNDATEC, 1992).

2.4.2.6 Falhas de Aparelhos de Apoio

As falhas nos aparelhos de apoio dificultam a superestrutura movimentar-se livremente, podendo dar origem a elevadas tensões entre esta e seu apoio, conforme fotos 2.7, 2.8 e 2.9, gerando fissuramento, esmagamento e desagregação do concreto nestas regiões de contato.

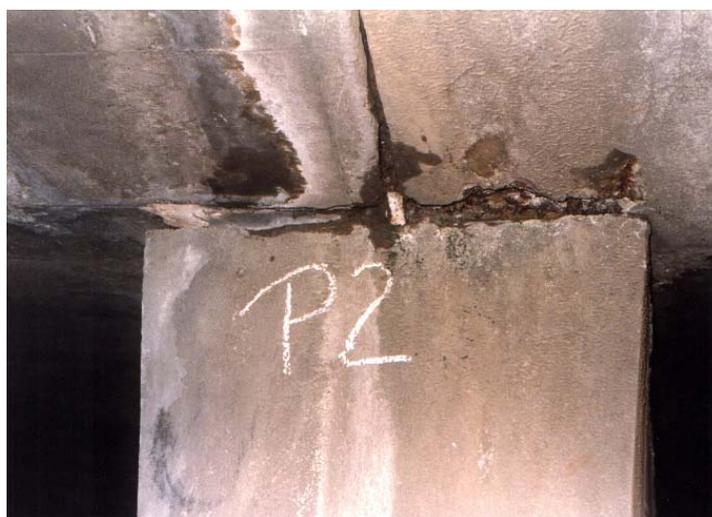


Foto 2.9 Má execução e esmagamento do aparelho de apoio, Viaduto Tiradentes (FUNDATEC, 1991).

Alguns dos aparelhos de apoio mais usados, suas características e ocorrências possíveis de defeitos são:

- apoios fixos - formados por lâminas de chumbo, foram usadas durante muitos anos em pontes de concreto. A observação revelou, entretanto, que os pequenos movimentos de rotação da viga produzem um efeito de laminação progressiva, expulsando o chumbo, até que a viga se apoie diretamente sobre o concreto do pilar ou encontro;
- rótulas de concreto - esses apoios são adequados para vigas de concreto com pequenos ângulos de rotação. Os apoios fixos formados por lâminas de concreto de alta resistência, praticamente não apresentam deterioração, quando bem executados;
- apoios metálicos - quando a superfície em que se assenta o apoio não é bem drenada, por deficiência construtiva ou por acúmulo de detritos, os apoios sofrem corrosão; as rótulas de aço, quando oxidadas, oferecem elevada resistência à rotação da viga, dando origem a momentos não previstos no projeto; nos apoios metálicos móveis, pendulares ou de rolos, o acúmulo de detritos e a corrosão impedem o livre deslocamento longitudinal da viga; nos aparelhos de rolo, a saída dos roletes de sua posição entre as chapas podem oferecer resistência aos movimentos do aparelho de apoio; uma outra incidência importante, nos apoios metálicos, é a existência de folga entre a viga e o apoio;
- neoprene - é um material muito estável cujas falhas encontradas, normalmente, são devidas à falsificação da borracha sintética;

Deve ser também examinada a posição do aparelho, para ver se há desvios ou excentricidades. Havendo erro de posição, o aparelho deve ser recolocado (DNER, 1980). Geralmente as falhas em aparelhos de apoio são facilmente reparadas, levantando-se a viga com macacos.

A manutenção e limpeza periódicas nos aparelhos de apoio se tornam imprescindíveis porque são elementos fundamentais na durabilidade obras-de-arte. Os aparelhos de apoio deslizantes, quando a manutenção e limpeza não são realizadas, tendem a bloquear-se, com o tempo, pela influência da corrosão e de acumulação de sujeiras, entre outros (JOHNSON, 1973). Os esforços longitudinais passam então a não ser resistidos somente pelos apoios fixos, sendo absorvidos também pelos deslizantes, provocando tensões tangenciais no maciço de concreto que o suporta.

As tensões resultam em fissuras. Este dano pode ser evitado com armação de estribos. Em teoria, estes estribos não são necessários, mas quando utilizados, oferecem uma boa prevenção sem acarretar em custo considerável.

Sinalização

A sinalização, embora seja uma manifestação patológica de grande importância, não foi considerada neste estudo tendo em vista o seu peso atribuído no relatório geral através do fator de gravidade do problema (FG), que para defini-lo, foram estabelecidos quais os problemas mais relevantes quanto aos aspectos de durabilidade e segurança estrutural (sobrecargas, colisões, degradação das juntas ou aparelhos de apoio, entre outros), cujo valor estabelecido foi 4, para a sinalização horizontal e 5, para a sinalização vertical. Numa escala de 0 à 10, podemos considerar que o peso 4 e 5 são valores secundários na constituição do grau de risco das estruturas. Considerando ainda que esta manifestação patológica está incluída na planilha de inspeção da família de pavimentos que tem o fator de relevância estrutural 3 numa escala de 1 à 5, entre as famílias de elementos. Portanto, a sua contribuição para a constituição do GR das estruturas não faz parte do grupo de manifestações patológicas mais significativas. Sendo assim, não fez parte do objeto de estudo deste trabalho.

CAPÍTULO 3 PRINCIPAIS MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO EM OBRAS-DE-ARTE DE CONCRETO ARMADO

3.1 MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO ARMADO

São mecanismos que ocorrem por ações químicas ou físicas e resultam na deterioração da massa resistente do concreto, podendo comprometer uma peça ou toda a estrutura, conforme a intensidade de sua ação. Genericamente, os três mecanismos principais de deterioração de estruturas de concreto armado são: corrosão do concreto, corrosão das armaduras e fissuração.

3.1.1 Corrosão do Concreto

A corrosão do concreto é o mecanismo que, normalmente, por ação química, provoca a desagregação ou lascamento do mesmo.

3.1.1.1 Hidrólise, Lixiviação e Eflorescência

A lixiviação é uma manifestação patológica que ocorre freqüentemente nas estruturas de concreto e pode ser definida por um processo químico de remoção de compostos hidratados da pasta de cimento que reduz o pH do concreto. CINCOTTO (1997) considera a lixiviação por ação de meio ácido sobre o concreto (pH entre 4 e 5), da água pura sobre o concreto (pH superior a 5,5) - classificada pela norma CETESB³ como grau de agressividade forte - e por ação de água bicarbonatada sobre concreto (pH acima de 7 com no máximo de 8,8). A reação por troca de cátions entre as soluções ácidas e os constituintes da pasta de cimento Portland gera sais solúveis de cálcio, acetato de cálcio, e bicarbonato de cálcio, que são removidos por lixiviação.

A agressividade das águas é função direta de sua velocidade, quantidade e tempo de permanência no concreto (SOUZA et al , 1998). Quanto mais pura for a água, menos dura ela é porque contém menos carbonato de cálcio e de magnésio, portanto maior o seu poder de dissolução. “Admite-se que toda água com menos de

³CETESB/L1.007 – Norma brasileira – Agressividade do Meio ao Concreto Classificação, publicada em 1978 pela Cetesb – Cia. De Tecnologia de Saneamento Ambiental.

150 mg/l = 150ppm = 0,0015% de sólidos (resíduos) dissolvidos (não evaporáveis) é agressiva ao concreto” (HELENE, 1988).

As águas puras e moles, contendo pouco ou nenhum íon de cálcio, tendem, quando entram em contato com a pasta de cimento Portland, a hidrolisar ou dissolver os seus produtos contendo cálcio. Estas águas podem ser provenientes da condensação de neblina ou vapor, ou ainda, drenada de regiões montanhosas ou provenientes da água mole da chuva e da fusão de neve e gelo (JORGE, 2001).

Já a acidez das águas, geralmente, se deve ao CO_2 dissolvido, que é encontrado em concentrações significativas em águas minerais, água do mar e água subterrânea quando restos de animais ou vegetais estão em contato com estas. Como regra, quando o pH da água subterrânea ou água do mar é maior ou igual a 8, a concentração de CO_2 livre é geralmente desprezível; quando o pH é menor que 7, concentrações danosas de CO_2 livre podem estar presentes (MEHTA et al, 1994).

A lixiviação se manifesta em superfícies de concreto na forma de manchas brancas, seguidas de precipitação de géis com conseqüente formação de estalactite, ou estalagmite, conforme foto 3.1. A sua sintomatologia básica, segundo HELENE (1997), é uma superfície arenosa ou com agregados expostos sem a pasta superficial, com eflorescência de carbonato, com elevada retenção de fuligem e com risco de desenvolvimento de fungos e bactérias. É muito comum a ocorrência desta eflorescência nas obras-de-arte que apresentam ruptura ou inexistência de elementos de vedação de juntas. As águas carbonatadas, ao encontrar um caminho preferencial, se dispersam pelas superfícies das paredes de juntas em direção à superfície do tabuleiro, representadas na foto 2.3.

O principal efeito deletério da lixiviação, segundo MEHTA et al (1994), é a dissolução do hidróxido de cálcio, Ca(OH)_2 , da pasta de cimento. Por serem cristais grandes, sob forma de prismas hexagonais, constituem 20 a 25% do volume de sólidos na pasta hidratada. Ao serem dissolvidos deixam vazios, provocando maior porosidade na matriz da pasta de cimento do concreto, tornando seu meio mais ácido. Observa-se uma redução do pH do extrato aquoso dos poros superficiais do concreto do componente estrutural com risco de despassivação da armadura.



Foto 3.1 Fissura, umidade e lixiviação, Viaduto Imperatriz Leopoldina (FUNDATEC, 1991).

A eflorescência é resultado da lixiviação dos compostos calcários que pode, em certas condições, formar depósitos de sais na superfície do concreto. Resultado de um concreto mal adensado, fissurado ou ainda com juntas mal executadas, com falhas por onde a água percola e evapora na superfície, deixando sais residuais.

A eflorescência é mais provável de ocorrer, segundo NEVILLE (1997), quando um tempo frio e chuvoso é seguido por um período seco e quente; com essa seqüência há uma pequena ou nenhuma carbonatação inicial, a cal é dissolvida pela umidade superficial e o Ca(OH)_2 finalmente trazido para a superfície.

O uso de material proveniente do litoral na fabricação de concreto, quando contaminado por sais, pode provocar a eflorescência, na medida em que estes sais forem dissolvidos e transportados para a superfície do maciço de concreto, formando depósito de sais.

O uso de ácidos diluídos com escovação da superfície do concreto pode ser uma boa medida de remoção da eflorescência quando recém formada.

3.1.1.2 Troca iônica

A troca iônica define-se pela reação entre os componentes da pasta endurecida do concreto com as substâncias existentes na solução agressiva, formando compostos facilmente solúveis que são posteriormente removidos em solução por uma corrente de água ou permanecem no lugar de sua formação, mas sem capacidade aglomerante (CASSAL, 2000).

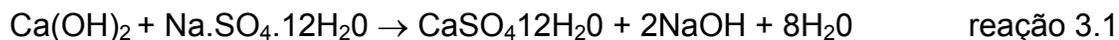
3.1.1.3 Reações Expansivas

São, geralmente, reações que geram novos compostos no interior da pasta de cimento endurecida. Em sua fase inicial, a reação gera aumento de resistência do concreto, diminuindo a sua porosidade, devido à formação de novos cristais que preenchem o poros, aumentando sua compactidade. Em sua fase seguinte, com a continuidade do crescimento dos cristais, geram-se tensões internas que podem resultar na destruição do concreto (CASSAL, 2000).

3.1.1.3.1 Reação expansiva por sulfatos

Os sulfatos têm origem natural em águas freáticas, mas podem se originar de fertilizantes ou efluentes industriais. Contendo sulfato de sódio em contato com o hidróxido de cálcio da pasta de cimento e umidade suficiente para a reação, ocorre o ataque químico, depositando uma parte como gesso e lixiviando grande parte do Ca(OH)_2 . O Ca(OH)_2 pode ainda reagir com o sulfato de magnésio, potássio e cálcio.

Ataque por sulfato de sódio ao Ca(OH)_2 :



No caso da reação entre o sulfato de cálcio e o Ca(OH)_2 , não há aumento do volume total mas, devido às diferenças de solubilidade do C_3A e do gesso, forma-se etringita orientada acicular (forma de agulha) na superfície do C_3A . Assim, ocorre um aumento localizado de volume e, ao mesmo tempo, um aumento de porosidade em algum outro ponto (NEVILLE, 1997).

É possível duas abordagens dos fatores atenuantes do ataque por sulfato. A primeira consiste em limitar o teor de C_3A do cimento, isto é, usar cimento resistente a sulfatos. A segunda abordagem consiste em reduzir a quantidade de Ca(OH)_2 da pasta de cimento hidratada usando cimentos compostos com escória de alto forno ou pozolanas. O efeito da pozolana é duplo. Primeiro reage com o Ca(OH)_2 de modo que este composto não fica mais disponível para reação com os sulfatos. Segundo, em relação ao cimento Portland comum, um mesmo teor de cimento resulta em menor quantidade de Ca(OH)_2 gerada (NEVILLE, 1997).

3.1.1.3.2 Reação expansiva por álcali-agregado

A reação álcali-sílica mais freqüente é a que ocorre entre os constituintes de sílica ativa do agregado e os álcalis do cimento. Pode ser desagregante e se manifesta por fissuração. A abertura das fissuras pode ser desde 0,1 mm chegando até 10 mm, em casos extremos. Raramente as fissuras têm profundidade maior do que 25 mm ou no máximo 50 mm. Em geral não são fissuras prejudiciais à compressão do concreto, embora possam facilitar a entrada de agentes agressivos. São fissuras de distribuição irregular, lembrando um pouco uma grande teia de aranha.

Com base no estudo de HOBBS apud NEVILLE (1997) sobre cimentos de baixo teor de álcalis, é levantada a hipótese de que se evita uma reação álcali-sílica deletéria limitando o teor de álcalis do concreto. Somente é válida esta hipótese se forem satisfeitas duas condições: não haver outra origem de álcalis no concreto, senão a de cimento Portland, e não haver concentração localizada de álcalis em alguns pontos.

A ASTM classificou os cimentos com menos do que 0,6% de Na_2O equivalente como de baixa alcalinidade, e com mais do que 0,6% de Na_2O equivalente como de alta alcalinidade. Segundo MEHTA et al (1994), na prática, acredita-se que conteúdos alcalinos no cimento iguais ou menores do que 0,6%, normalmente são suficientes para impedir danos devidos à reação álcali-agregado, independentemente do tipo de agregado reativo.

DIAMOND e HELMUTH apud NEVILLE (1997), apresentaram considerações sobre o mecanismo das reações álcali-sílicas. Acredita-se que a formação de gel somente ocorra na presença de íons Ca^{++} . Isso é importante para impedir as reações expansivas álcali-sílica com a inclusão de pozolanas no concreto, que retiram o $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Para que haja a reação álcali-sílica a umidade mínima no interior do concreto deverá ser em torno de 85% a 20° C. A reação ocorre na presença de água (NEVILLE, 1997).

Uma boa medida para prevenir a reação álcali-sílica, segundo NEVILLE (1997), é adicionar cinza volante da classe **F** usada em um teor de 58% do total do material cimentício, medida que se mostrou bastante eficaz para evitar a expansão, mesmo em teores de álcalis de 5kg por m³ de concreto. É importante que a cinza

volante seja bem fina. Se necessário, deve ser moída para melhorar a sua eficácia para redução da expansão.

3.1.1.4 Ação do Fogo

A ação do fogo, nas estruturas em estudo, ocorre em função das ocupações irregulares de pessoas sem acesso à moradia que, para aquecerem-se no inverno e fazerem suas refeições, ateam fogo junto aos encontros e pilares, locais escolhidos para abrigarem-se.

Em geral, as estruturas de concreto apresentam bom desempenho aos efeitos do fogo, quando comparadas às estruturas de madeira ou de aço, embora este desempenho dependa diretamente do grau de controle e dimensões de fabricação das peças. A permeabilidade do concreto, o tamanho da peça e a taxa de aumento da temperatura são importantes porque governam o desenvolvimento de pressões internas dos produtos gasosos de decomposição (MEHTA et al, 1994).

São apresentados por MEHTA et al (1994) os efeitos da ação do fogo sobre o concreto.

“O concreto é um material incombustível e não emite gases tóxicos quando exposto a altas temperaturas. Diferentemente do aço, quando sujeito a temperaturas da ordem de 700 a 800 °C, o concreto é capaz de manter resistência suficiente por períodos relativamente longos, permitindo assim operações de resgate pela redução do risco de colapso estrutural.

O efeito do aumento de temperatura na pasta hidratada de cimento depende do grau de hidratação e da umidade. Uma pasta de cimento Portland bem hidratada consiste principalmente em silicato de cálcio hidratado, hidróxido de cálcio e sulfoaluminato de cálcio hidratado. Uma pasta saturada contém uma grande quantidade de água livre e água capilar, além da água adsorvida. Os vários tipos de água são prontamente perdidos ao elevar-se a temperatura do concreto. Entretanto, do ponto de vista de proteção ao fogo, nota-se que devido ao considerável calor de vaporização necessário para conversão da água em vapor, a temperatura do concreto não se elevará até que a água evaporável tenha sido removida.”

No caso de incêndio ocorrem danos ao concreto sob forma de descascamento superficial, conforme foto 3.2, quando a taxa de aquecimento for alta e a permeabilidade da pasta de cimento for alta. O descascamento ocorre quando a

pressão do vapor dentro do material aumenta a uma taxa maior do que o alívio de pressão causado pela liberação de vapor para a atmosfera.

Quando a temperatura atinge 300 °C, a água entre as camadas de C-S-H e a parte da água quimicamente combinada do C-S-H e do sulfato-aluminato hidratado também será perdida. A desidratação adicional da pasta de cimento devido à decomposição do hidróxido de cálcio começa a cerca de 500 °C, embora seja preciso temperaturas de 900 °C para a decomposição completa do C-S-H (MEHTA et al, 1994).

Já as armaduras começam a perder sua resistência a cerca de 400 °C, havendo mesmo, em temperaturas inferiores, uma ligeira elevação na resistência à tração.



Foto 3.2 Descascamento devido à ação do fogo, Viaduto Imperatriz Leopoldina (FUNDATEC, 1991).

O combate ao incêndio pode trazer prejuízos à estrutura de concreto devido ao resfriamento rápido por ação da água utilizada que se segue normalmente a uma elevação brutal de temperatura, provocando choques térmicos sucessivos que podem produzir importantes fissurações.

Para melhor identificação, em função de recuperação futura, demonstra-se abaixo uma relação entre a temperatura atingida, a aparência do concreto e a perda de resistência do mesmo.

Tabela 3.1 Influência da temperatura sobre a coloração e perda de resistência no concreto (CÁNOVAS, 1988).

Temperatura C ⁰	Cor do concreto	Resistência residual em % da resistência inicial
20	Cinza	100
200	Cinza	95
300	Rosa	95
400	Rosa	88
500	Rosa	75
600	Vermelho	55
900	Cinza avermelhado	10
1.000	Amarelo alaranjado	0

3.1.2 Corrosão das Armaduras

A corrosão das armaduras é uma das principais causas de ocorrências patológicas e responsável pelos principais danos causados em estruturas de concreto armado em muitos lugares do mundo.

O meio favorável para a ocorrência da corrosão depende de uma atmosfera úmida contaminada por gases ácidos e fuligem. O mecanismo de corrosão do aço no concreto é eletroquímico, tal qual a maioria das reações corrosivas em presença de água ou ambiente úmido (U.R. > 60%) (HELENE, 1986).

3.1.2.1 Mecanismo de Despassivação da Armadura

Para que inicie o processo de corrosão, é necessário que ocorra a despassivação do aço, que inicialmente é garantida pelo elevado pH do concreto (em torno de 12 a 13).

A alcalinidade do concreto deriva dos álcalis presentes do cimento e das reações de hidratação dos silicatos de cálcio (C₃S e C₂S) que liberam certa porcentagem de Ca(OH)₂, podendo atingir cerca de 25% (≅100 kg/m³ de concreto) da massa total de compostos hidratados presentes na pasta (HELENE 1980).

O hidróxido de cálcio tem um pH da ordem de 12,6 (à temperatura ambiente) que proporciona uma passivação do aço, conforme se verifica na figura 3.1 POURBAIX apud (HELENE, 1986).

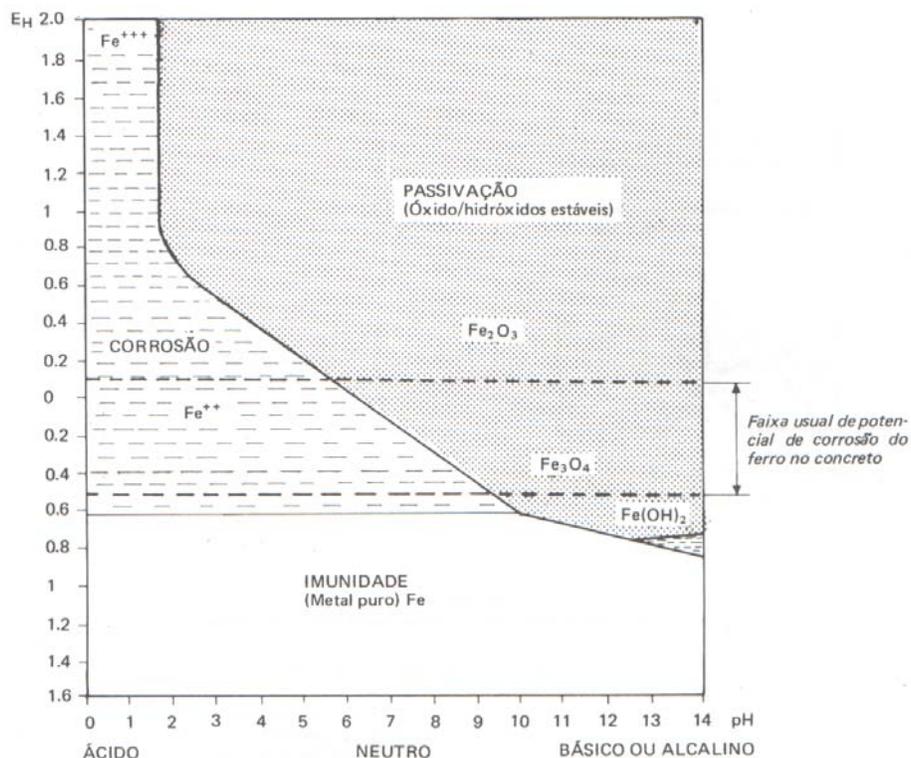


Figura 3.1 Diagrama de equilíbrio termodinâmico. Potencial x pH para o sistema imunidade (HELENE, 1986).

Os dois mecanismos principais de perda da película passivadora do aço são a carbonatação e a penetração de cloretos do ambiente.

3.1.2.1.1 Carbonatação

Normalmente o concreto oferece uma proteção natural ao aço contra a corrosão. É um material eminentemente básico que garante à sua armadura um meio alcalino ideal e, portanto, a mantém passivada, porque na composição do concreto se encontram hidróxido de cálcio, álcalis, entre outros, que produzem um meio com pH acima de 12, nas primeiras idades, até 13 nos concretos de mais idade. O problema é que a passividade pode desaparecer em pontos localizados ou completamente.

A alta alcalinidade, obtida principalmente à custa da presença do hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 liberado das reações de hidratação, pode ser reduzida com o tempo. Segundo HELENE (1986), essa redução ocorre, essencialmente, pela ação do CO_2 presente na atmosfera e outros gases ácidos, tais como SO_2 e H_2S . Esse processo, denominado carbonatação do concreto, ocorre lentamente, segundo a reação principal:



Como o pH do carbonato de cálcio situa-se em torno de 9, ocorre uma redução da alcalinidade do concreto.

O que determina a ação da carbonatação nas estruturas de concreto é a existência de CO_2 . O ar contém o CO_2 , que na presença de umidade, reage com a pasta de cimento hidratada. Na realidade o agente agressivo é o ácido carbônico resultante da reação, pois o CO_2 gasoso não é reativo.

Os gases contidos na atmosfera são o resultado da combustão do carvão, dos derivados do petróleo empregados para fins domésticos, industriais ou veicular. Essas combustões, segundo CÂNOVAS (1988), produzem atmosferas contaminadas de gases carbônico e sulfúrico que estarão em contato com as superfícies das estruturas e que, em presença da umidade do ambiente, transformar-se-ão em ácidos carbônico ou sulfúrico que terminarão, ao longo do tempo, produzindo uma agressão e corrosão sobre o concreto armado.

O teor de CO_2 , em grandes cidades, segundo NEVILLE (1997), pode chegar a 0,3% e, excepcionalmente, até 1%. Um exemplo de concreto exposto a concentrações muito altas de CO_2 é o de revestimentos de túneis para veículos.

A intensidade da carbonatação depende diretamente da umidade relativa do ar (U.R.) que, segundo HELENE (1986), em ambientes climatizados (U.R. $\leq 65^\circ \text{C}$ e temperaturas de 23°C) combinados à atmosfera contaminada, pode ser cerca de 10 vezes mais intensa do que em ambientes úmidos devido à diminuição da permeabilidade do CO_2 no concreto por efeito da presença de água. Condições estas apresentadas pela cidade de Porto Alegre.

A espessura de carbonatação na sua forma de avanço em direção ao aço, considerando os concretos armados e protendidos, pode ser considerada como uma frente de carbonatação. Esta frente pode ser visualizada mediante um indicador químico apropriado como é a fenolftaleína que se torna incolor na zona carbonatada e toma uma cor vermelho-carmin na região que permanece alcalina (não

carbonatada) (ANDRADE, 1992). Uma vez que a frente de carbonatação atinja a armadura, a passividade do aço é perdida e o mesmo poderá iniciar a corroer.

A velocidade de avanço da carbonatação é um processo lento que se atenua com o tempo, ajustando-se a uma lei parabólica (ANDRADE, 1992).

$$X = K \sqrt{t} \quad \text{equação 3.1}$$

X = profundidade

t = tempo

K = constante

Um fator de confiabilidade na durabilidade da estrutura, que tem grande influência na região externa, é a história da cura do concreto. Segundo NEVILLE (1997), nem a resistência nem a relação água/cimento proporcionam informações quanto à microestrutura da pasta de cimento endurecida na região da superfície do concreto enquanto está se processando a difusão do CO₂.

3.1.2.1.2 Cloretos

Os elementos mais perigosos para que haja a corrosão são os íons Cl⁻, que podem proceder do meio ambiente ou serem incorporados no concreto através do uso de aditivos aceleradores ou agregados contaminados pela água do mar. Numa certa proporção eles exercem a função despassadora. Para isso, é preciso que estejam em um teor determinado, dependendo do tipo de cimento, isto é, que não sejam íons combinados mas livres e que, além disso, exista a presença de umidade. Em geral, segundo CÁNOVAS (1988), 1% de CaCl₂ sobre a massa de cimento é considerado perigoso. Deve-se considerar que, dependendo do tipo de cimento e umidade do meio, existem casos em que proporções menores que 1% produzem a despasseiração.

Como medida preventiva para proteção contra a corrosão foram estabelecidos os conteúdos máximos permissíveis de cloreto em dosagens de concreto pelo ACI Building Code 318⁴. Por exemplo, a máxima concentração de íon Cl^- solúvel em água, no concreto endurecido, com uma idade de 28 dias, contando todos os constituintes (incluindo agregados, materiais cimentantes, aditivos e adições), não devem exceder a 0,06, 0,15 e 0,30% sobre a massa do cimento para concreto protendido, concreto armado exposto a cloretos quando em serviço e outros concretos armados, respectivamente. Concretos armados que permanecerão secos ou protegidos da umidade quando em serviço podem conter até 1,00% de Cl^- sobre a massa do cimento (MEHTA et al, 1994).

Além de serem capaz de destruir a película passivadora, os íons cloretos não são consumidos nas reações (atuam como catalizadores) e aumentam a condutividade do meio, intensificando a cinética da corrosão das armaduras.

3.1.2.2 Mecanismo da Corrosão do Aço

Uma vez que se encontre despассивado o aço, o processo eletroquímico da corrosão pode iniciar. Segundo NEVILLE (1997), “quando existe uma diferença de potencial entre dois pontos do aço no concreto, forma-se uma célula eletroquímica: formam-se uma região anódica e uma região catódica ligadas pelo eletrólito na forma de água dos poros da pasta endurecida, conforme figura 3.2. Os íons de ferro, Fe^{++} , com carga elétrica positiva no ânodo, passam para solução, enquanto os elétrons, e^- , com carga elétrica negativa, passam pelo aço para o cátodo, onde são absorvidos pelos constituintes do eletrólito e combinam com a água e o oxigênio para formar íons de hidroxila, OH^- . Esses íons se deslocam pelo eletrólito e combinam com os íons ferrosos formando hidróxido ferroso que, por outra oxidação, transformam-se em hidróxido férrico (ferrugem)”.

⁴ AMERICAN CONCRETE ISNTITUTE. Building Code Requeriments for Reinforced concrete: reported by ACI Committee 318. In: _ACI Manual of concrete Praticce. Detroit, 1992. Part 3.

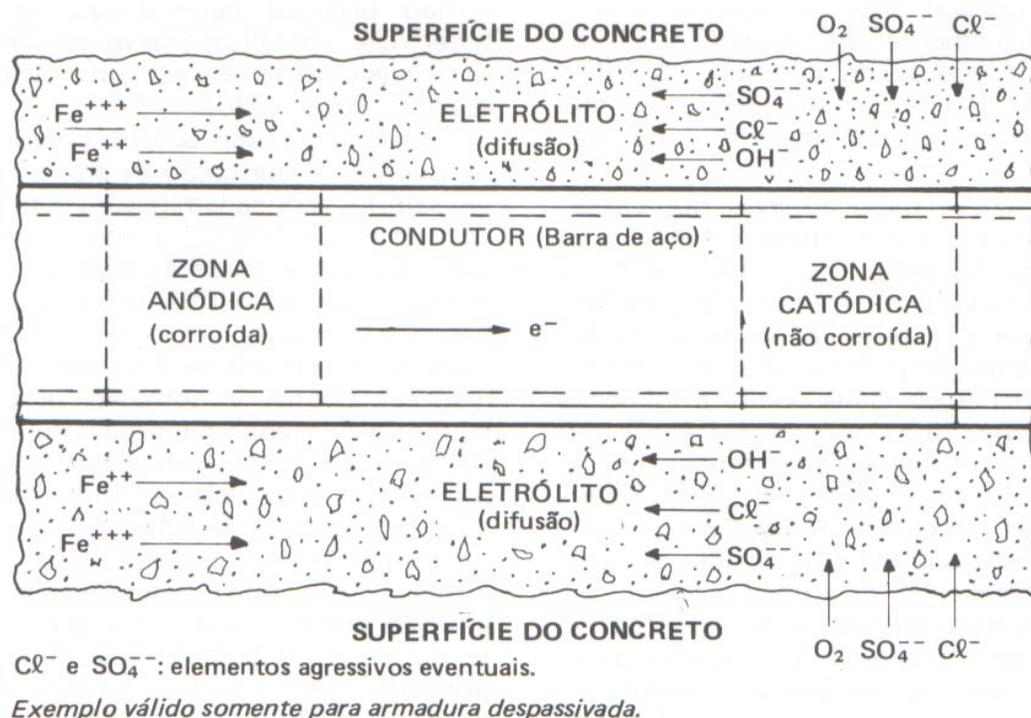


Figura 3.2 – Célula de corrosão em concreto armado (HELENE, 1986)

Segundo HELENE (1986), para ocorrer o processo de corrosão, é necessário que haja oxigênio para formação da ferrugem (óxido/hidróxido de ferro), além do eletrólito, representado pela umidade dos poros. Se isso não ocorrer, não é possível a seguinte reação:

- Nas zonas anódicas, o ferro perde elétrons, ocasionando a dissolução do metal:



- Nas zonas catódicas, em meios neutros e aerados, ocorre:

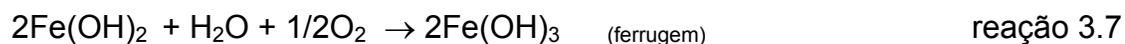


- Acarretando as seguintes reações de corrosão com formação de ferrugem:





ou $\text{Fe} \cdot \text{O}$



ou $\text{FeO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$

A transformação de aço metálico em produtos de corrosão é acompanhada, segundo MEHTA et al (1994), por um aumento no volume o qual, dependendo do estado de corrosão, pode ser de até 600 por cento do metal original. Conclui-se que esse aumento de volume seja a causa principal da expansão e fissuração do concreto.

A corrosão pode se apresentar de formas diversas. Em geral são classificadas pela extensão da área atacada. Os tipos de corrosão mais freqüentes são: generalizada, localizada, por pite e fissurante, conforme figura 3.3 (ANDRADE, 1992).

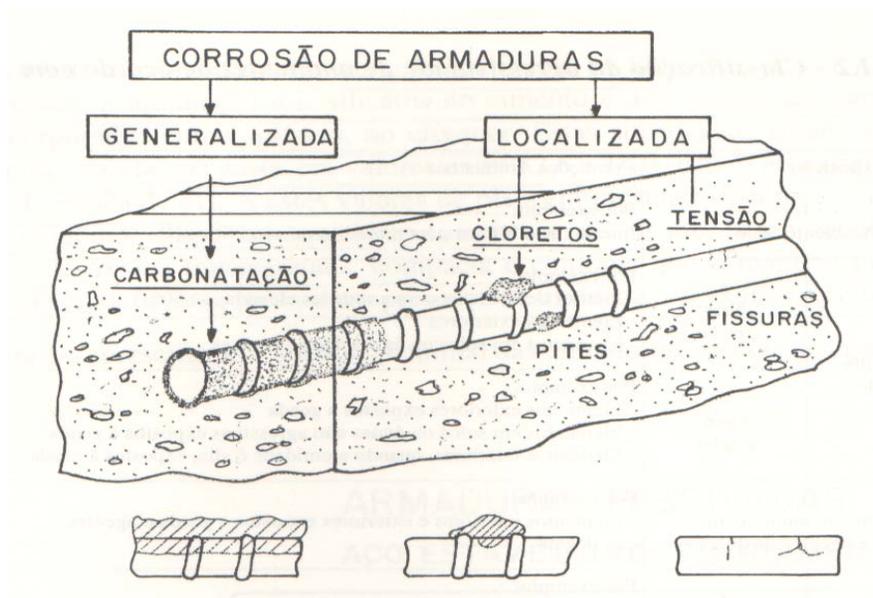


Figura 3.3 - Tipos de corrosão de armadura e fatores que os provocam (ANDRADE, 1992).

A corrosão localizada é rara em concreto armado, sendo mais freqüente em fios e cordoalhas para concreto protendido. Em alguns casos pode ser chamada de corrosão sob tensão, cuja principal característica é romper sem aviso, ou seja, ocasionar uma ruptura frágil em uma seção definida, sem que haja uma prévia

deformação da estrutura que alerte e permita corrigir o problema em tempo. Foi o que ocorreu, por exemplo, na construção da Ponte do Guaíba (RS) (WOLYNEC apud HELENE, 1993).

Geralmente os sintomas da manifestação da corrosão aparecem em forma de fissuras, conforme foto 3.3. Essas fissuras acompanham, normalmente, a direção da armadura principal e a direção dos estribos.



Foto 3.3 Corrosão manifestada em fissuração, Viaduto Imperatriz Leopoldina (FUNDATEC, 1991)

Outro sintoma importante é o destacamento do concreto devido à expansão do aço, conforme foto 3.4. Nas áreas de intensa corrosão, já em estágios de desenvolvimento, pode-se observar manchas na superfície do concreto.



Foto 3.4 Corrosão da armadura com destacamento, Ponte Vicente da Fontoura (FUNDATEC, 1993).

A proteção do aço pelo cobrimento do concreto tem a finalidade de propiciar um meio alcalino elevado pela massa de cobertura que evite a corrosão por passivação do aço. Diferentes concretos devem corresponder a diferentes cobrimentos para manter o nível de proteção (HELENE, 1986).

Um bom cobrimento das armaduras, com um concreto de alta compactidade, sem “ninhos”, com teor de argamassa adequado e homogêneo, garante, por impermeabilidade, a proteção do aço ao ataque de agentes agressivos externos.

A norma brasileira, NBR-6118 (NB1/78), prevê que para qualquer barra de armadura, inclusive de distribuição, de montagem e estribos, deve ter cobrimento de concreto pelo menos igual ao seu diâmetro, mas não menor que:

a) para concreto revestido com argamassa de espessura mínima de 1 cm:

- em laje no interior de edifícios 0,5 cm
- em paredes no interiores de edifícios 1,0 cm
- em lajes e paredes ao ar livre 1,5 cm
- em vigas, pilares e arcos no interior de edifícios 1,5 cm
- em vigas, pilares e arcos ao ar livre 2,0 cm

b) para concreto aparente:

- no interior de edifícios 2,0 cm
- ao ar livre 2,5 cm

Para parâmetros de projeto, a seção 7.7 do ACI Building Code 318-83 especifica requisitos mínimos para cobrimento do concreto . É recomendado um cobrimento mínimo de concreto de 50 mm para paredes e lajes e 63 mm para outros elementos.

O ACI 224 R-80⁵ também especifica 0,15 mm como abertura máxima de fissura permissível na face tracionada das estruturas de concreto armado sujeitas a molhagem e secagem ou aspersão da água do mar. O CEB Model Code recomenda a limitação da abertura da fissura a 0,1 mm na superfície do aço para elementos de concreto expostos a cargas fletoras freqüentes e 0,2 mm para os demais. As recomendações do FIP (International Prestressing Federation) especificam que a

⁵ AMERICAN CONCRETE ISNTITUTE. Control of Kracking in Concritre Structures: reported by ACI Committee 224R-90. In: _ACI Manual of concrete Praticce. Detroit, 1991. Part 3.

abertura da fissura em pontos próximos à armadura principal não deve exceder a 0,004 vezes o cobrimento nominal (i.e., a abertura máxima permissível da fissura para um cobrimento de 50 mm é 0,2 mm e para um cobrimento de 75 mm é de 0,3 mm) (MEHTA et al, 1994).

3.1.3 Fissuração

As fissuras podem ser consideradas como a manifestação patológica característica das estruturas de concreto, sendo um dos danos de ocorrência mais comum. Geralmente, quando as deformações são acentuadas, é que as fissuras mais chamam a atenção e despertam para estudos de suas causas. Na figura 3.4 as fissuras não estruturais são representadas esquematicamente e na tabela 3.2 são descritos os diversos tipos de fissuras.

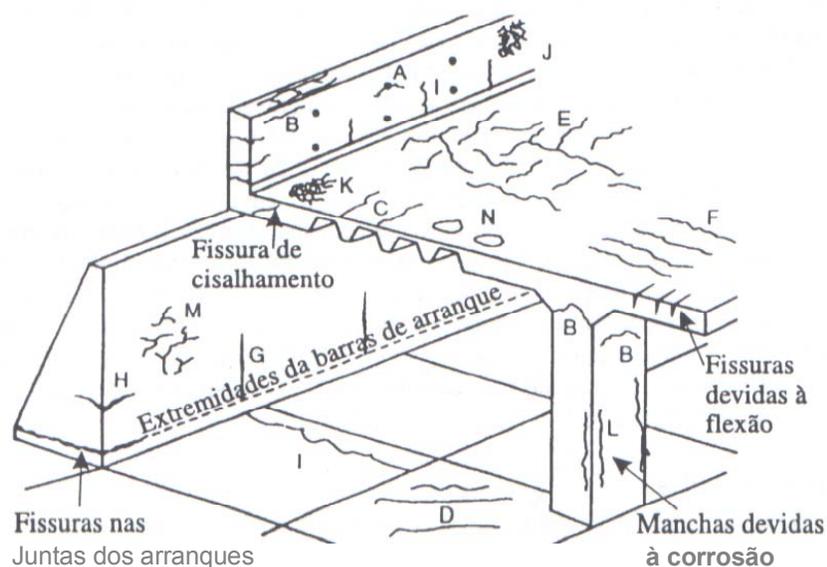


Figura 3.4 – Representação esquemática dos diversos tipos de fissuras que podem ocorrer no concreto (NEVILLE, 1997).

A posição das fissuras nos elementos estruturais, sua abertura, sua trajetória, seu espaçamento, entre outros, podem servir para indicar a causa ou as causas que as motivaram, servindo assim como sintomas de manifestações patológicas, como mostra a foto 3.5. As fissuras se diferenciam, pelo seu movimento relativo, por serem

ativas ou passivas. Ativas quando permanecem em movimento de abertura e passivas quando cessou este movimento.

Um dos principais perigos das fissuras é serem portas abertas para a corrosão das armaduras, no caso das estruturas de concreto armado.

Tabela 3.2 Classificação das fissuras intrínsecas (NEVILLE, 1997)

TIPO	SÍMBOLO FIGURA 3.4	SUBDIVISÃO	POSIÇÃO MAIS COMUM	CAUSA PRIMÁRIA	CAUSA SECUNDÁRIA	MEDIDAS PREVENTIVAS E CORRETIVAS	TEMPO SURGIMENTO
Assentamento plástico	A	Sobre a armadura	Seções Espessas	Exsudação excessiva	Secagem rápida	Revibração ou redução de exsudação	10 minutos a 3 horas
	B	Arqueamento	Topo pilares				
	C	Variação profundidade	Lajes variáveis				
Retração plástica	D	Diagonal	Lajes e pavimentos	Secagem rápida prematura	Exsudação lenta	Melhorar cura inicial	30 minutos a 6 horas
	E	Aleatória	Lajes	Secagem rápida prematura ou armadura próxima da superfície			
	F	Sobre a armadura	Lajes armadas				
Contração térmica prematura	G	Restrição interna	Paredes espessas	Calor excessivo	Resfriamento rápido	Reduzir calor ou isolar	1 dia a 2 ou 3 semanas
	H	Restrição externa	Lajes espessas	Gradiente térmico excessivo			
Retração hidráulica a longo prazo	I		Lajes e paredes delgadas	Juntas ineficazes	Retração excessiva Cura ineficiente	Reduzir água Melhorar cura	Algumas semanas ou meses
Gretamento	J	Junto às fôrmas	Paredes	Fôrmas impermeáveis	Misturas ricas Cura inadequada	Melhorar cura e acabamento	1 a 7 dias às vezes mais tarde
	K	Concreto desempenado	Placas	Acabamento excessivo	Misturas ricas Cura inadequada		
Corrosão da armadura	L	Carbonatação	Colunas e vigas	Cobrimento inadequado	Concreto de baixa qualidade	Eliminar causas inadequadas	Mais de 2 anos
		Cloretos					
Reação álcali-agregado	M		Locais úmidos	Agregado reativo e cimento com alto teor de álcalis		Eliminar causas inadequadas	Mais de 5 anos
Bolhas	N		Lajes	Água de exsudação aprisionada	Usar desempenadeira metálica	Eliminar causas relacionadas	Ao toque
Fissuração	P		Bordas de placas		Agregado danificado por congelamento	Reduzir tamanho do agregado	Mais de 10 anos

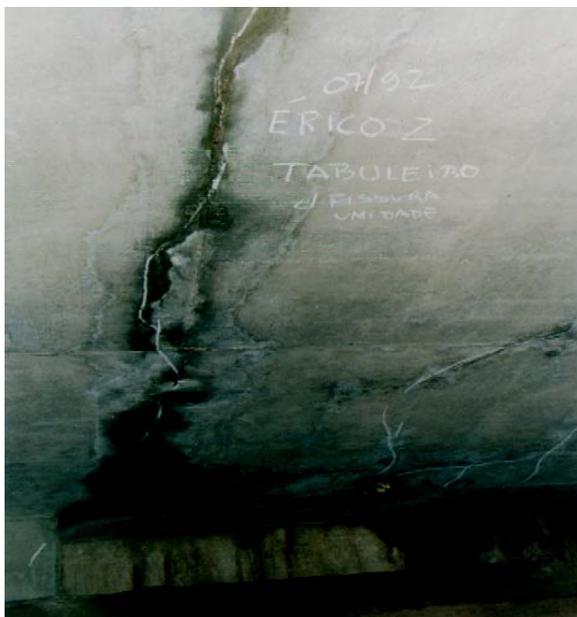


Foto 3.5 Fissuração da laje inferior, Ponte Érico Veríssimo (FUNDATEC, 1993)

Devido à importância desta manifestação patológica em estruturas de concreto armado e protendido, serão abordados os tipos mais freqüentes de fissuração nos elementos estruturais.

3.1.3.1 Fissuras do Concreto no Estado Fresco

São as fissuras que ocorrem no período anterior ou início do endurecimento, logo após o lançamento do concreto. O período costuma variar de uma a doze horas, dependendo da temperatura, umidade do concreto e do uso de aditivos modificadores do tempo de pega, aceleradores ou retardador (RIPPER apud DAL MOLIN, 1988).

3.1.3.1.1 Dessecação superficial

Dessecação superficial do concreto é a perda excessiva de água de amassamento no seu estado fresco, seja por evaporação, por absorção dos agregados ou por absorção das formas.

Segundo DAL MOLIN (1988), a maior superfície de exposição e a menor espessura do elemento corresponde a uma maior probabilidade de ocorrência do fenômeno. Conforme ILIESCU apud DAL MOLIN (1988), quanto maior a relação

superfície livre/volume dos elementos, maiores as conseqüências da dessecação superficial.

O microclima, que contribui imensamente para a intensificação do estado de fissuração, depende da alta temperatura do concreto, baixa umidade relativa do ar e vento em alta velocidade. Quando a taxa de evaporação excede 1kg/m^2 por hora, são necessárias medidas preventivas para evitar a fissuração (MEHTA et al, 1994). As medidas de prevenção que devem ser tomadas para evitar a fissuração são abaixo listadas:

- umedecimento da sub-base (lastro) e das fôrmas;
- umedecimento dos agregados quando secos e absorventes;
- construção de quebra-vento temporário para reduzir a velocidade dos ventos sobre a superfície do concreto;
- manter baixa a temperatura do concreto fresco pelo resfriamento do agregado e da água de amassamento;
- proteger o concreto temporariamente, com mantas, tais como lona de polietileno durante qualquer demora apreciável entre lançamento e acabamento;
- reduzir o tempo entre lançamento e início da cura pela eliminação de atrasos durante a concretagem;
- minimizar a evaporação, proteger o concreto logo após o acabamento pelo uso de sacos aniagem saturados, espargimento de água, ou de um composto de cura, (MEHTA et al, 1994).

Em pontes e viadutos observa-se com muita freqüência a ocorrência da dessecação superficial nos pavimentos de encontros, construídos em placas de concreto.

3.1.3.1.2 Assentamento plástico ou sedimentação

O assentamento plástico ocorre nas primeiras horas após o lançamento do concreto, pelo fenômeno da sedimentação das partículas sólidas no sentido da gravidade, enquanto que o ar aprisionado e a água de amassamento tendem a ascender para a superfície, pelo fenômeno da exsudação.

O mecanismo de geração das fissuras ocorre com a evaporação superficial da água e a perda do ar por exsudação que, segundo DAL MOLIN (1988), causa uma redução de volume da massa de concreto ainda no estado plástico (não endurecido). O acomodamento desta massa de concreto na fôrma, ao encontrar algum obstáculo, no caso de armaduras e agregados de maiores dimensões, assim como o atrito com a própria fôrma, em função do deslocamento para baixo, pode produzir fissuras.

As conseqüências mais comuns do assentamento plástico do concreto são a perda de aderência das barras de armadura e fissuras estratificadas no caso de pilares.

É importante apresentar alguns fatores que, segundo DAL MOLIN (1988), colaboram para o aumento do assentamento plástico. São eles:

- a quantidade e a velocidade da exsudação, que depende da dosagem do concreto, teor de água, temperatura, finura do cimento, finura do material pozzolânico, granulometria do agregado e a ação de alguns aditivos;
- utilização excessiva de vibradores provocando segregação, cujo vibrador em contato com a armadura, acarreta em perda de aderência das barras;
- falta de estanqueidade das fôrmas, provocando perda de água e diminuindo o volume da massa de concreto fresco, aumentando, portanto, o assentamento da mistura.

Segundo NEVILLE (1997), a exsudação diminui quando o cimento tem um teor elevado de álcalis, um teor elevado de C_3A ou quando se adiciona cloreto de cálcio. Uma temperatura mais elevada, dentro da faixa normal, aumenta a velocidade de exsudação, mas a capacidade total de exsudação provavelmente não é afetada. As misturas ricas são menos propensas à exsudação do que as pobres.

Cuidados especiais devem existir na fabricação das obras-de-arte, devido aos grandes volumes das peças de concreto e as altas taxas de armadura ou bainhas de protensão que constituem obstáculos naturais ao assentamento do concreto.

Alguns países exigem impermeabilização da laje do tabuleiro antes do revestimento nas recomendações de projetos, para reduzir o problema, segundo MEHTA et al (1994), os custos de reparos e substituição associados a tabuleiros de pontes de concreto danificados pela corrosão da armadura tornaram-se o principal custo de manutenção, para isto, muitas repartições de estradas prevêm uma membrana à prova d'água.

3.1.3.1.3 Movimentação das fôrmas e escoramento

São fissuras que, por movimentação das fôrmas, ocorrem quando estas não resistem aos esforços aplicados ao concreto no estado fresco. Esforços estes decorrentes do peso próprio da massa de concreto.

A movimentação pode ocorrer devido a insuficiência no contraventamento e amarração das fôrmas que provocam sua abertura. O escoramento deve estar suficientemente apoiado para evitar recalques do concreto no estado plástico, principalmente em obras-de-arte cujas peças têm considerável peso próprio.

As fôrmas são peças que ao movimentarem-se podem comprometer toda a estrutura antes de entrar em serviço, ou então, deformá-la de maneira a comprometer sua estética.

As fissuras decorrentes desta movimentação podem ser interna ou externa às peças de concreto. Quando existir comunicação entre essas fissuras pode ocorrer a entrada de agentes agressivos, favorecendo o processo de corrosão das armaduras.

3.1.3.2 Fissuras no Estado Endurecido

São fissuras que ocorrem no concreto após o endurecimento. Podem se manifestar nas primeiras semanas após o lançamento do concreto ou após períodos prolongados de tempo.

3.1.3.2.1 Movimentação térmica

São fissuras que podem ocorrer por diversas circunstâncias por influências internas ou externas ao concreto.

3.1.3.2.1.1 Interna

A influência do calor de hidratação na fissuração se deve principalmente à baixa condutibilidade do concreto que possibilita a existência de um gradiente térmico entre o interior da massa e a sua superfície, dando lugar ao esfriamento das camadas externas e, conseqüentemente, retração das mesmas, enquanto o núcleo está ainda quente e dilatado.

É de se esperar a produção de fissuras, sempre que a diferença entre a temperatura ambiente e a do núcleo do maciço do concreto seja superior a 20 °C. E fissuras internas ocorrem em função do alto calor de hidratação do cimento, após este processo químico completar-se totalmente, estas fissuras tornam-se estáveis.

As fissuras de contrações térmicas se cortam aproximadamente segundo ângulos retos e a distância entre fissuras paralelas, segundo CÁNOVAS apud DAL MOLIN (1988), varia de 2 a 4 vezes sua profundidade, dando, portanto, lugar a uma rede reticular formada por um elevado número de fissuras cuja profundidade pode ser elevada.

3.1.3.2.1.2 Externa

As fissuras por movimentação térmica externa são decorrentes dos esforços de tração, devido a contrações de peças estruturais pelo efeito térmico absoluto das variações de temperatura ambiente sobre elementos estruturais de pequena seção e grande comprimento. O aspecto das fissuras de retração térmica externa é muito semelhante ao da fissuração por retração hidráulica, sendo perpendicular ao eixo principal dos elementos estruturais, com espessuras constantes que produzem seu seccionamento.

Conforme estudos de ARANHA (1994), a abertura destas fissuras é da ordem de 1/2500 de sua profundidade, a distância entre fissuras paralelas é da ordem de 2 a 4 vezes sua profundidade. São fissuras não estabilizadas, portanto, são ativas e de ocorrência cíclica.

Em geral, as coberturas planas expostas estão mais sujeitas às mudanças térmicas naturais; ocorrem, desta forma, movimentos diferenciados entre os elementos horizontais e verticais, menos submetidos a estas variações. O coeficiente de dilatação térmica linear do concreto, segundo CHAND apud THOMAZ (1989), é aproximadamente duas vezes maior que o das alvenarias de uso corrente, considerando-se aí a influência das juntas de argamassa. Este fato determina, em grande parte das obras-de-arte, fissurações horizontais no contato de ligação entre a estrutura de concreto e as alvenarias de encontros ou de edificações construídas para funcionar como capatazias de serviços.

Ocorrem, também, diferenças significativas de movimentação entre as superfícies superiores e inferiores das lajes de cobertura, sendo que, normalmente,

as superfícies superiores são solicitadas por movimentações de maior intensidade, por estarem mais expostas às intempéries.

No caso de movimentação térmica das vigas, quando as estruturas não possuírem juntas de dilatação ou quando as mesmas forem mal projetadas, podem aparecer fissuração aparente em pilares, que se manifestam na forma de fissuras ligeiramente inclinadas.

As estruturas de muros muito extensos, bastante comum em estruturas de encontros de obras-de-arte, geralmente apresentam fissuras devido a movimentações térmicas, sendo essas fissuras, segundo PFEFFERMANN apud THOMAZ (1989), tipicamente verticais, com aberturas da ordem de 2 a 3 mm. Em função da natureza dos componentes de alvenaria, as fissuras manifestam-se a cada 4 ou 5 m.

As obras-de-arte geralmente apresentam uma maior exposição à deformação por movimentação térmica, considerando que seus tabuleiros são constituídos por lajes expostas e normalmente de grandes dimensões. Estas estruturas podem vir a sofrer os efeitos da dilatação e contração térmica, desde que apresentem problemas nos apoios ou nas juntas de dilatação que impeçam sua livre movimentação. Problemas estes que podem ser decorrentes de projetos mal elaborados ou de falta de uma manutenção adequada.

Obras deste porte necessitam ser projetadas com juntas de movimentação. Devem ser projetadas com aparelhos de apoio que possibilitem a livre movimentação da superestrutura, que constem em seus projetos os detalhamentos da adequada consolidação dos encontros com a estrutura principal. É necessário, também, ser elaborado um plano de manutenção que mantenha estes elementos de ligação e de apoio em boas condições de funcionamento.

3.1.3.2.2 Movimentação hidráulica

As fissuras de retrações, do tipo hidráulica, aparecem em função da redução dos elementos estruturais pela saída da água dos poros, que induzem o concreto a trabalhar por tração. Segundo CÁNOVAS (1988), devido ao concreto ter baixa resistência a este efeito físico, é levado a fissurar ou a trincar, se o elemento está impedido de deformar-se, conforme foto 3.6.



Foto 3.6 Fissuração por retração hidráulica/térmica Ponte Vicente da Fontoura (FUNDATEC,1993).

As fissuras são de mesma espessura nas vigas ligadas a pilares de grande rigidez, seccionam totalmente no sentido perpendicular ao seu eixo. Porém, se os pilares têm pouca rigidez, as vigas podem deformar sem tensões importantes, transmitindo estas tensões aos pilares que passam a trabalhar à flexão em uma das faces.

A retração nos pilares pode não ser muito importante, mas se torna perigosa quando estes são seccionados. As vigas ligadas a estes elementos, de forma hiperestática, estão sujeitas a verdadeiros recalques diferenciais.

3.1.3.2.3 Sobrecargas

Resultam de solicitações superiores aos esforços previstos em projetos. A tipologia dessas fissuras segue padrões próprios de acordo com as solicitações, sejam elas de tração, compressão, flexão, cisalhamento ou torção (ARANHA, 1994).

Suas causas prováveis podem ser por sobrecargas não previstas, armadura e/ou ancoragem insuficientes, posicionamento incorreto das armaduras e concreto com resistência insuficiente.

3.1.3.2.4 Fundações

O aparecimento de fissuras no concreto, provocadas por problemas nas fundações, geralmente é decorrente de recalques diferenciais e pode ter as seguintes causas (DNER , 1980):

- ruptura do solo;
- recalque provocado por consolidação do solo;
- estimativa incorreta do atrito lateral mobilizado, desconsideração do efeito de agrupamento de estacas;
- definição incorreta do ângulo de cravação;
- falhas de concretagem de estacas moldadas *in loco*;
- atrito negativo desenvolvido pelo lançamento de aterros e pelo adensamento de camadas argilosas;
- solapamento da base do terreno por infiltração de água ou por retirada do material de proteção.

Os movimentos provocados por recalques diferenciais com distorção angular superior a $1/300$, geralmente provocam a incidência de fissuras inclinadas nas paredes, enquanto que distorções de ordem de $1/150$ já são suficientes para provocar o surgimento de danos em componentes estruturais (THOMAZ , 1988).

CAPÍTULO 4 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS UTILIZADOS

4.1 DEFINIÇÕES

Com a finalidade de definir o significado dos termos deste trabalho, são apresentados alguns conceitos gerais para auxiliar na sua objetividade.

Obras-de-arte	são obras de transposição de obstáculos à continuidade do leito normal de uma via, como rios, braços de mar, vales profundos, outras vias, entre outros
Viadutos	obras destinadas a transpor obstáculos sem água, como avenidas, estradas e vales que geralmente se adequam ao espaço urbano
Pontes	obras que passam sobre uma lâmina de água
Passarelas	obras destinadas aos pedestres, geralmente com largura inferior à encontrada nas pontes e viadutos
Pontes urbanas	obras que apresentam pistas de rolamento com largura igual à rua ou às avenidas onde elas se localizam, passeios laterais ou centrais, correspondentes às calçadas e canteiros da via urbana, muitas vezes as pontes urbanas apresentam tráfego misto, rodoviário e ferroviário (linha de trem, bonde ou metrô)

As obras-de-arte estão divididas em três partes básicas: subestrutura, mesoestrutura e superestrutura.

- Subestrutura ou infraestrutura: são os blocos, sapatas, estacas, tubulões e as peças de ligação dos diversos elementos (bloco de cabeça de estaca) que servem para transmitir ao solo os esforços recebidos da mesoestrutura;
- mesoestrutura: são os elementos intermediários, isto é, os pilares e encontros que recebem os esforços da superestrutura bem como os esforços provenientes de outras solicitações como pressão do vento e movimentação das águas;
- superestrutura: geralmente constituída por lajes, juntas e vigas principais e secundárias. É considerada por PFEIL (1979) como a parte útil da obra sob o ponto de vista da sua finalidade (OLIVEIRA , 1999).

TAKEYA apud OLIVEIRA (1999) subdivide as obras em:

- superestrutura estrutura principal
 estrutura secundária
- aparelhos de apoio

4.1.1 Classificação Das Pontes e Viadutos

TAKEYA apud OLIVEIRA (1999) apresenta uma classificação de pontes segundo os critérios mais importantes. Esses critérios estão divididos em 8 itens, são eles:

- material da superestrutura:
 - de madeira;
 - de alvenaria;
 - de concreto simples;
 - de concreto armado;
 - de concreto protendido;
 - de aço;
 - mistas.

- comprimento:

Apesar de não ser considerado fundamental e também não haver um consenso quanto aos limites, pode-se classificar pontes da seguinte forma:

- galerias (bueiros) de 2 a 3 metros;
 - pontilhões de 3 a 10 metros;
 - pontes acima de 10 metros.
- natureza do tráfego:
 - rodoviárias;
 - ferroviárias;
 - passarelas;
 - aquedutos;
 - mistas.

- desenvolvimento planimétrico: é segundo o desenvolvimento em planta do traçado das pontes. As pontes podem ser subdivididas em retas ortogonais e retas esconsas. As pontes retas ortogonais são aquelas cujo eixo forma ângulo de 90^0 com o eixo do apoio do tabuleiro. Já as pontes retas esconsas formam ângulos menores que 90^0 com o eixo de apoio do tabuleiro. As pontes curvas são aquelas que apresentam o eixo curvo principal.
- desenvolvimento altimétrico: é considerado segundo o desenvolvimento vertical de altitude.
 - Horizontal: quando o eixo longitudinal do perfil do tabuleiro for nivelado;
 - em rampa: quando o eixo longitudinal do perfil do tabuleiro for inclinado;
 - convexo: quando o eixo longitudinal do perfil do tabuleiro for curvo para cima;
 - tabuleiro côncavo: quando o eixo longitudinal do perfil do tabuleiro for curvo para baixo.
- sistema estrutural da superestrutura:
 - ponte pênsil, quando a estrutura for suspensa por tirantes verticais;
 - ponte em arco, quando a estrutura for suspensa por vigas em arco;
 - ponte em viga, quando a estrutura for suspensa por vigas niveladas e apoiadas nos pilares;
 - ponte em pórtico, quando a estrutura for suspensa por vigas niveladas e engastadas nos pilares;
 - ponte estaiada, quando a estrutura for suspensa por tirantes inclinados.

4.2 ORIGEM E FORMULAÇÃO DOS DADOS DE PESQUISA

Após o levantamento de dados das planilhas de Inspeção feito junto à Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PMPA), verificou-se que na Secretaria de Obras Viárias (SMOV) do município foi dado início a um trabalho pioneiro de vistoria de obras-de-arte (viadutos, pontes e passarelas). O universo vistoriado foi constituído de 11 viadutos, 12 passarelas e 23 pontes, conforme quadro 4.1. O período de vistoria correspondeu ao ano de 1991, para os viadutos e 1993, para as pontes e passarelas.

Quadro 4.1 Quadro de extensão e localização dos viadutos, passarelas e pontes.

VIADUTOS	EXTENSÃO(m)	LOCALIZAÇÃO
Viaduto Açorianos	202	Av. Borges de Medeiros
Viaduto D. Pedro I	135	Av. Borges de Medeiros
Viaduto Elevada da Conceição	765	Rua da Conceição
Viaduto Imperatriz D. Leopoldina	213	Av. João Pessoa
Viaduto Ildo Meneghetti	26	Rua Ramiro Barcelos
Viaduto Obirici	380	Av. Assis Brasil
Viaduto Loureiro da Silva	59	Rua Duque de Caxias
Viaduto Otávio Rocha	40	Av. Duque de Caxias
Viaduto Tiradentes	165	Av. II Perimetral
Viaduto Túnel da Conceição A	150	Rua da Conceição
Viaduto Túnel da Conceição B	250	Rua da Conceição
PASSARELAS	EXTENSÃO(m)	LOCALIZAÇÃO (logradouro mais próximo)
CARRIS	25	Rua Albion
CEEE	40	Rua Flélix Cunha Rodrigues
C.T.G. 35	30	Rua Barão do Amazonas
Lucas De Oliveira	30	Rua Lucas de Oliveira
Parque Moinhos de vento	60	Rua 24 de Outubro
Princesa Isabel	30	Av. Princesa Isabel
PUC	30	Rua Cristiano Fischer
Rodoviária	60	Rua da Conceição
Santa Cecília	30	Rua Santa Cecília
Simpala	30	Rua Salvador França
Zero Hora	35	Rua Érico Veríssimo
Veríssimo Rosa	35	Rua Veríssimo d Rosa

PONTES	EXTENSÃO(m)	LOCALIZAÇÃO
Azenha	21	Av. Azenha
Antônio de Carvalho	33	Av. Antônio de Carvalho
Arroio Feijó	24	Rua Q da Vila Nova Gleba
Barão do Amazonas	26.3	Rua Barão do Amazonas
Borges de Medeiros	32.6	Av. Borges de Medeiros
Capitão Coelho	72	Ilha da Pintada
CEEE	26	Av. Ipiranga nº 8300
Cristiano Fischer	20.8	Rua Cristiano Fischer
Edvaldo Pereira Paiva	79	Av. Edvaldo Pereira Paiva
Érico Veríssimo I	26.5	Av. Érico Veríssimo
Érico Veríssimo II	26.5	Av. Érico Verissimo
Euclides da Cunha	24.6	Rua Euclides da Cunha
Getúlio Vargas	34.5	Av. Getúlio Vargas
João Pessoa	30	Av. João Pessoa
Praia de Belas	27	Av. Praia de Belas
Ramiro Barcelos	26.6	Rua Ramiro Barcelos
Salvador França I	24.3	Rua Salvador França
Salvador França II	27.85	Rua Salvador França
Santana	29.9	Rua Santana
Sertório	10	Av. Sertório
Silva Só I	25.5	Rua Silva Só
Silva Só II	25.9	Rua Silva Só
Vicente da Fontoura	28.1	Rua Vicente da Fontoura

A realização destas vistorias baseou-se na Norma NBR 9452/86 - “Vistoria de Pontes e Viadutos de Concreto” e no procedimento 123/87 - “Boletim e Inspeção e Vistoria em Pontes e Viadutos de Concreto Armado e Protendido” - publicado pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). Em 1997 foi realizada uma segunda vistoria pela SMOV (para os viadutos e túneis), com a finalidade de avaliar as possíveis melhorias nos viadutos que sofreram algum tipo de intervenção e a possível piora nos demais.

Analisando a documentação existente constatou-se que não havia nenhum tipo de controle ou acompanhamento das obras de arte em utilização, anterior às vistorias. Sendo assim, os problemas patológicos eram sempre enfrentados à medida que se apresentavam na forma de emergência.

A pesquisa encontrou fundamentação teórico-prática na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), através do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME), cujos trabalhos podem ser exemplificados pelas vistorias e projetos desenvolvidos para a PMPA. O Programa de Obras-de-arte (PROA) da PMPA, por sua vez, assimilou grande parte do trabalho elaborado, em sua rotina e procedimentos, o que resultou numa segunda vistoria realizada em 1997, para os viadutos.

Parte da equipe do PROA que acompanhou as vistorias de 1991 e 1993 constituiu a equipe de 1997 que teve como coordenador o eng. Bruno Waichel. Esta segunda equipe foi formada pelos professores do LEME para aplicar o método desenvolvido.

Considerando que os dados apresentados são de grande confiabilidade e controle, optou-se pela sua sistematização e comparação para se obter explicações possíveis das ocorrências de problemas patológicos.

4.2.1 Sobre o Método de Vistoria

O método de vistoria foi desenvolvido pela FUNDATEC/UFRGS, sob a coordenação do LEME que estabeleceu critérios de valoração por problema manifestado, equacionou os problemas de forma ponderada, pelo seu grau de importância, através de elementos agrupados que, por sua vez, tem seu peso na determinação do grau de risco da estrutura.

A classificação das estruturas encontra-se em escala de BAIXO, MÉDIO, ALTO grau de risco e estado CRÍTICO. Com esta classificação foi possível dimensionar a segunda etapa dos trabalhos que correspondeu a uma análise mais aprofundada das obras com problemas mais sérios, com o objetivo de elaborar projetos de recuperação estrutural (KLEIN et al 1991).

Os critérios adotados nas inspeções das Obras-de-arte orientaram-se em conceitos apresentados por KLEIN et al (1991), DNER (1987) e NBR 9452 (1986).

A seguir são apresentados a metodologia empregada na realização das vistorias, os critérios adotados na divisão das obras em seus componentes, e definições dos parâmetros empregados no cálculo do grau de risco. Estes foram elaborados por KLEIN et al (1991) e apresentados na XXV Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural (1991).

“Segundo NBR 9452 (1986) existem três tipos de vistoria, a saber:

- *Vistoria Cadastral – esta vistoria é de referência e nela são anotados os principais elementos para a segurança e durabilidade da obra. A vistoria cadastral é complementada com o levantamento dos principais documentos e informes construtivos da obra vistoriada.*
- *Vistoria Rotineira – destinada a manter o cadastro da obra atualizado, devendo ser realizada a intervalos de tempo regulares, não superiores a um ano, e também aquela motivada por ocorrências excepcionais.*
- *Vistoria Especial – é uma vistoria pormenorizada da obra, visual e/ou instrumental, realizada por engenheiro especialista com a finalidade de interpretar ocorrências danosas detectadas pela vistoria rotineira.*

Como as obras-de-arte em questão nunca haviam sido inspecionadas, foi decidido realizar uma vistoria visual, detalhada, incluindo um levantamento de fissuras e com documentação fotográfica, da obra e seu estado de conservação e das principais ocorrências observadas. Esta caracteriza-se, portanto, como uma Vistoria Especial.

As obras inspecionadas foram subdivididas em seus elementos componentes, cada grupo deles formando as denominadas Famílias de Elementos. Estas receberam as seguintes denominações: Instalações Diversas, Encontros, Instalações

Pluviais, Pavimento, Juntas de Dilatação, Aparelhos de Apoio, Pilares e Tabuleiros (Vigas e Lajes da superestrutura, vigas no caso de pontes).

Para conduzir a vistoria de forma sistemática, foi desenvolvido um Caderno de Inspeções que foi usado para cada obra vistoriada, contendo as características gerais da obra em questão e uma lista das possíveis manifestações patológicas encontradas em cada elemento ou família de elementos da mesma.

Na vistoria, cada engenheiro vistoriador preencheu individualmente os formulários (planilhas de inspeção, anexos de 1 a 10) constantes do Caderno de Inspeções (relatório individual), atribuindo uma nota para cada manifestação patológica observada, em função de sua intensidade. A nota final, denominada fator de intensidade (FI), definida a seguir, correspondia à média das notas atribuídas pelos vistoriadores.

Em função destas notas e dos parâmetros, definidos a seguir, foi determinado o grau de risco da estrutura.

4.2.1.1 Fator de Intensidade do Dano (FI)

Este fator, atribuído pelos vistoriadores na obra, considerou a intensidade de cada manifestação patológica, encontrada em cada elemento, e varia em uma escala de 0 a 4, como segue:

0 – elemento em perfeitas condições, sem lesões.

1 – elemento em bom estado, lesões leves.

2 – elemento em estado razoável, lesões toleráveis.

3 – elemento em más condições, lesões graves.

4 – elemento em péssimas condições, estado crítico.

4.2.1.2 Fator de Relevância Estrutural (FR)

Este fator considera a importância de cada tipo de elemento, dentro do conjunto de elementos em que a obra foi subdividida, em função de sua responsabilidade no comportamento estrutural e bom desempenho da mesma.

Este fator, definido em função do tipo de estrutura, variou para obras-de-arte de Viadutos em uma escala crescente com a importância do elemento, como segue:

- 1 – *Instalações Diversas*
- 2 – *Encontros*
- 3 – *Instalações Pluviais e Pavimento*
- 4 – *Juntas de Dilatação e Aparelhos de Apoio*
- 5 – *Pilares, Vigas e Tabuleiros*

Este fator, definido em função do tipo de estrutura, variou para obras-de-arte de Pontes e Passarelas em uma escala crescente com a importância do elemento, como segue:

- 3 – *Instalações Diversas e Condições Gerais*
- 5 – *Encontros, Instalações Pluviais e Vigas Laterais*
- 6 – *Pavimento, Juntas de Dilatação e Aparelhos de Apoio*
- 8 – *Pilares*
- 10 – *Tabuleiros*

4.2.1.3 Fator de Gravidade do Problema (FG)

O fator de gravidade do problema considerou o provável grau de comprometimento estrutural ou de desempenho causado pela manifestação patológica detectada sobre um elemento. Para sua definição foram estabelecidos quais os problemas mais relevantes quanto aos aspectos de durabilidade e segurança estrutural (sobrecargas, falta de cobrimento de concreto à armadura, entre outros) e, para cada um deles, foi examinado sob que forma seus efeitos foram manifestados (fissuração, corrosão, entre outros). Assim, para cada problema específico, e em função do elemento que apresenta o problema, foi estabelecida uma nota dentro de uma escala de 0 a 10.

Nota-se que a mesma manifestação patológica pode ter importâncias diferenciadas segundo o elemento considerado e sua relevância no contexto estrutural.

4.2.1.4 Grau de Risco do Elemento (GRE)

O grau de risco de um elemento isolado de uma estrutura foi definido pela expressão:

$$GRE = \frac{\sum (FG \times FI)}{\sum FG} \times 100 \quad \text{equação 4.1}$$

A cada manifestação patológica apresentada por um elemento corresponde um valor para FG e, de acordo com sua intensidade, um valor para FI. O $\sum FG$ representa a soma dos valores atribuídos para todas as manifestações patológicas integrantes da planilha de inspeção de um dado elemento.

4.2.1.5 Grau de Risco da Família de Elementos (GRF)

O grau de risco de uma família de elementos, um conjunto de pilares por exemplo, é definido pela expressão:

$$GRF = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i \times GRE_i}{n} \quad \text{equação 4.2}$$

Onde : n = número de elementos componentes da família.

GRE = grau de risco de cada elemento.

δ = coeficiente de majoração.

O coeficiente de majoração σ evidenciou elementos altamente danificados, aumentando sua contribuição no cálculo do GRF. Este reduz a possibilidade de dispersão de um elemento em estado crítico dentro de uma família de elementos em bom estado.

$$\delta = \sqrt{\frac{(n - m) + 2}{2}} \quad \text{para } GRE > LIM \quad \text{equação 4.3}$$

$$\delta = 1 \quad \text{para } GRE \leq LIM$$

Onde : m = número de elementos da família com $GRE > LIM$

LIM = valor do GRE acima do qual um elemento está comprometido.

Os valores do LIM para alguns elementos, no caso de obras-de-arte, são apresentados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 Valores de LIM

Elemento	LIM
Pilares	100
Aparelhos de apoio	200
Encontros	95
Juntas de dilatação	210
Tabuleiros	100

4.2.1.6 Grau de Risco da Estrutura (GR)

O grau de risco da estrutura como um todo, um conjunto de todas as K famílias de elementos, foi definido pela expressão:

$$GR = \frac{\sum_{i=1}^K (FR_i \times GRF_i)}{\sum_{i=1}^K FR_i} \quad \text{equação 4.4}$$

Onde : k = número de famílias de elementos presentes em cada obra.

FR = fator de relevância estrutural do elemento.

GRF = grau de risco da família de elementos.

Os valores de GR , obtidos pela expressão acima, classificam uma estrutura em função de uma escala, como apresentada pela tabela 4.2, para o caso de obras-de-arte.

É importante ressaltar que nesta classificação o termo risco não quer significar necessariamente colapso da estrutura, mas sim um conjunto de disfunções acumuladas pela obra que a fazem merecer maior ou menor cuidado ou brevidade quanto a sua recuperação.

Tabela 4.2 Classificação do GR para obras-de-arte”

Grau de risco	GR
BAIXO	0 – 100
MÉDIO	100 – 200
ALTO	200 – 300
CRÍTICO	> 300

4.3 METODOLOGIA DE PESQUISA

A seguir descreve-se a metodologia de pesquisa adotada neste, com a finalidade de tornar mais objetiva as elaborações e formulações dos dados do trabalho e, com isso, facilitar o entendimento na condução dada pela análise e resultados dos dados disponíveis.

4.3.1 Coleta dos Dados

De posse das planilhas de Inspeção dos Relatórios Individuais de cada obra, foi possível lançá-las, em sua totalidade, em um microcomputador para serem agrupadas e comparadas, e tiveram o seguinte universo e ordenação:

- Relatório Geral: é o relatório resumo de cada tipo de obra (viadutos, pontes e passarelas) que consta a metodologia empregada na vistoria, critérios adotados e definições, a classificação das obras-de-arte vistoriadas, segundo o GR, conclusões, recomendações, lista dos Relatórios Individuais e, no anexo, um modelo de cada Planilha de Inspeção e uma classificação das obras, segundo o GRF.
- Relatório Individual: é o relatório de cada obra vistoriada que consta a descrição da obra, um croqui de identificação, as Planilhas de Inspeção, o levantamento fotográfico, a avaliação das condições da obra, a classificação da obra, segundo o GRF, as atividades propostas e o mapa de fissuração dos elementos.
- Planilha de Inspeção Geral (anexo I⁶): é a planilha que constam informações da geometria e notas finais (FI) das Condições Gerais de cada obra.
- Planilha de Inspeção das Instalações (anexo IX⁶): é a planilha que constam informações e notas finais dos problemas ocorridos (FI) nas Instalações Pluviais, Instalações Diversas (passeios, guarda-rodas, canteiro central, drenagem, guarda-corpo de concreto e guarda-corpo metálico) de cada obra.
- Planilha de Inspeção de Pavimento (anexo II⁶): é a planilha que constam informações e notas finais dos problemas ocorridos (FI) do Pavimento de cada obra.
- Planilha de Inspeção de Pilares (anexo IV⁶): é a planilha que constam informações e notas finais dos problemas ocorridos (FI) nas condições gerais, no concreto e na armadura de pilares de cada obra.
- Planilha de Inspeção de Aparelhos de Apoio (anexo V⁶): é a planilha que constam informações dos materiais e notas finais dos problemas ocorridos (FI) nos aparelhos de apoio de obra.
- Planilha de Inspeção de Encontros (anexo VIII⁶): é a planilha que constam informações e notas finais dos problemas ocorridos (FI) nas condições gerais, no concreto e na armadura de encontro de cada obra.

⁶ O valores que constam nos anexos são dos FG's adotados pelo LEME, mas as planilhas de inspeção individuais que são registrados os FI's são as mesmas dos FG's e por isto foram usadas como exemplo.

- Planilha de Inspeção de Juntas de Dilatação (anexo III⁶): é a planilha que constam informações e notas finais dos problemas ocorridos (FI) nas juntas de dilatação de cada obra.
- Planilha de Inspeção da face inferior dos Tabuleiros (anexo VI⁶): é a planilha que constam informações e notas finais dos problemas ocorridos (FI) nas condições gerais, no concreto e na armadura de tabuleiros de cada obra.
- Planilha de Inspeção de Caixão (anexo X⁶): é a planilha que constam informações e notas finais dos problemas ocorridos (FI) nas condições gerais, no concreto e na armadura de caixões de cada obra.
- Planilha de Inspeção de Vigas Laterais (anexo VII⁶): é a planilha que constam informações e notas finais dos problemas ocorridos (FI) no concreto e na armadura de vigas laterais de cada obra.

4.3.2 Agrupamento, Formulação dos Dados e Obtenção de Resultados

Durante a análise, agrupou-se inicialmente os dados por Planilhas de Inspeção, formando a família de elementos de cada obra, evidenciando o percentual de incidência de cada problema patológico para cada tipo de obra, de forma a compará-las.

No caso das instalações, as Planilhas de Inspeção foram subdivididas em problemas em instalações pluviais, problemas em instalações diversas, problemas em guarda-corpos de concreto e problemas em guarda-corpos metálicos.

O critério adotado para o percentual de incidência de problemas patológicos foi determinado pelo número de ocorrências de cada problema numa determinada família de elementos de uma obra. Independente da nota (FI) que recebeu dos avaliadores, determinou-se o percentual pela razão do número de ocorrências e o número de elementos, multiplicado por cem.

Num segundo momento, comparou-se os GRF's ponderados entre as obras de mesmo tipo (viadutos, pontes e passarelas) para estabelecer as famílias de elementos que mais contribuíram para o GR de cada obra.

O critério adotado para este cálculo foi determinado pelos GRF's de cada família multiplicado pelo FR correspondente e dividido pelo somatório dos GRF's ponderados de cada obra, multiplicado por cem.

Uma vez obtido o gráfico comparativo, observou-se as cinco famílias de maior contribuição para o GR e predominantes no total das obras. Calculou-se a média aritmética do percentual de cada família (para todas as famílias), do total de obras do mesmo tipo, e fez-se uma nova comparação, que resultou no percentual médio de contribuição para o GR do conjunto de cada tipo de obra.

Num terceiro momento, comparou-se as vistorias de 1991 e 1997 e o número de incidências de problemas patológicos para os viadutos Elevada da Conceição e Obirici que foram totalmente recuperados. Os dados foram apurados das Planilhas de Inspeção das cinco famílias de maior contribuição para o GR, identificadas anteriormente, para avaliar as possíveis melhorias nestas obras.

Num quarto momento, comparou-se, nas vistorias de 1991 e 1997, os GRF's das cinco famílias de elementos que mais contribuíram para o GR, dos cinco viadutos que sofreram algum tipo de intervenção, para avaliar as possíveis melhorias nestas obras.

Fez-se uma outra comparação utilizando a média ponderada das cinco famílias de mesmo tipo, que mais contribuíram para o GR, dos cinco viadutos que sofreram algum tipo de intervenção, obtendo-se o percentual de contribuição de cada família na constituição do GR do conjunto, entre as vistorias de 1991 e 1997.

Para o cálculo somou-se os GRF's multiplicados pelos respectivos FR das mesmas famílias dos cinco viadutos, dividiu-se por cinco e multiplicou-se por cem.

Num quinto momento, comparou-se os GR's das vistorias de 1991 e 1997, para os dez viadutos que obteve-se os Relatórios Individuais.

Por fim, elaborou-se mapas de influências por tipo de obra, segundo o GR. Fez-se ainda uma comparação entre as vistorias de 1991 e 1997, para os dez viadutos comentados acima.

CAPÍTULO 5 RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS

Após analisar-se as ocorrências de problemas patológicos, a partir do relatório das planilhas de Inspeção, passou-se a comparar os dados de gráficos. Tornou-se importante apresentá-los considerando o grau de risco de cada obra.

Os resultados foram apresentados em duas partes. A primeira parte compara, analisa e comenta os percentuais de incidências patológicas em viadutos, pontes e passarelas dos relatórios de 1991 e 1993. É feita a comparação entre as obras, dos problemas relativos às famílias de elementos de instalações pluviais, de instalações diversas, de guarda-corpos de concreto, de guarda-corpos de metal, de pavimentos, de juntas de dilatação, de estruturas de pilares, de aparelhos de apoio, de estruturas de encontros, de estruturas de tabuleiros, de estruturas de caixão e de estrutura de vigas.

A segunda parte apresenta três etapas principais: a primeira utiliza o Grau de Risco da Família de elementos (GRF) ponderado para verificar quais destas famílias são representativas na constituição do Grau de Risco das estruturas (GR), e 5 famílias de elementos passam a representar o grupo de maior contribuição para a constituição do GR; a segunda passa a analisar as alterações entre as vistorias realizadas em 1991 e 1997, em número de incidências de problemas patológicos relativos às cinco famílias representativas, nos viadutos Elevada da Conceição e Obirici que sofreram intervenções de recuperação; a terceira analisa os GRF's representativos dos cinco viadutos que sofreram algum tipo de intervenção entre as vistorias de 1991 e 1997, segue analisando a média de cada família representativa ponderada para o GR do conjunto dos viadutos que sofreram algum tipo de intervenção entre estas vistorias, compara a alteração dos GR's entre 1991 e 1997 dos viadutos, com exceção do viaduto Otávio Rocha (não localizado) para 1997, classifica os viadutos, pontes e passarelas segundo o GR nos baixo, médio e alto GR para as vistorias de 1991 (viadutos), 1993 (pontes e passarelas) e 1997 (viadutos), com exceção do viaduto Otávio Rocha (não localizado) para 1997, e analisa a expressão de influência das obras dentro dos limites de baixo, médio e alto GR, com exceção do viaduto Otávio Rocha (não localizado) para 1997.

Para a análise dos gráficos das figuras 5.1 à 5.12 e 5.19 à 5.23 foi considerado apenas a incidência das manifestações patológicas, desconsiderando desta forma, o fator de intensidade do dano (FI). Esta decisão foi tomada por não ser

possível equacionar os danos ponderados, pois o número gerado de combinações inviabilizaria fazer as comparações de todos os tipos de obras, com todas as manifestações patológicas. Sendo assim decidiu-se compará-las sempre que detectada tais manifestações pelos vistoriadores e registradas nas planilhas de inspeção. As ponderações foram levadas em conta quando comparados os graus de risco das famílias de elementos (GRF) que, por sua vez, tiveram sua ponderação na comparação do grau de risco das estruturas (GR). Por fim, foi possível desenvolver a análise comparando os GRF's e GR's como decorrência das incidências de manifestações patológicas não ponderadas.

5.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E CONDIÇÕES GERAIS DOS VIADUTOS, PONTES E PASSARELAS VISTORIADAS

Os dados do quadro 5.1 apresentam as características das obras-de-arte utilizadas para este estudo. Os dados foram extraídos das planilhas de inspeção gerais dos viadutos, pontes e passarelas que fazem parte dos relatórios de vistoria de 1991 e 1993. Os relatórios pertencem ao patrimônio da SMOV, Prefeitura Municipal de Porto Alegre.

Não foi possível obter dados geométricos e das condições gerais das obras de Túneis, obtendo-se apenas suas extensões que constaram no relatório geral dos viadutos.

Como se pode observar, 78% dos viadutos apresentam largura de pista num intervalo de 10 a 20m e 67% destas obras com 2 pistas, caracterizando-se como obras de médio porte e considerável volume de tráfego. As pontes, por sua vez, apresentam 46% de suas pistas com larguras variando de 10 a 30m, caracterizando-se como obras de pequeno porte, com baixo volume de tráfego. As passarelas, em sua totalidade, possuem pistas com larguras em um intervalo 0 a 10m.

Quanto à idade, pode-se observar que 78% dos viadutos estão numa faixa de 20 a 30 anos sem nenhuma conservação, onde as condições gerais de ajardinamento, pintura, assentamentos irregulares e excesso de sujeira são apontados como problemas em 99% destas obras. As pontes apresentam idade de 20 a 30 anos numa incidência de 34% das 12 obras que tiveram registro e, nas condições gerais, apresentam problemas em 99% de sua totalidade. As passarelas apresentam problemas nas condições gerais em 98%.

Quanto à extensão, os viadutos apresentam comprimentos que variam de 100 a 300m em 67% de sua totalidade. Já 83% das pontes variam de 20 a 40m.

Quadro 5.1 Quadro geral das obras-de-arte. Características geométricas e condições gerais (Fonte: relatórios FUNDATEC/LEME 1991 e 1993).

Quadro Geral das Obras-de-Arte - GEOMETRIA																		
GEOMETRIA	Nº de pistas		Largura das pistas				Nº de vãos					Nº faixa p/pista			Encontros			
	1 pista	2 pistas	0 a 10 m	10 a 20 m	20 a 30 m	30 a 40 m	1	2	3 a 4	5 a 6	10 a 11	1	2	3 e 4	Concreto armado	Alvenaria	Balanço	
VIADUTOS Total=9	3	6	2	7			3		2	3	1		4	5	9			
PONTES Total=23			11	10	2		21	2				3	6	14	14	9		
PASSARELAS Total=12	12		12				11	1				12						
Quadro Geral das Obras-de-Arte – CONDIÇÕES GERAIS																		
CONDIÇÕES GERAIS	Idade das obras (em anos) *						Problemas de ajardinamento	Problemas de pintura	Assentamentos irregulares	Excesso de sujeira	Extensão das obras (em metros)							
	0 a 10	10 a 20	20 a 30	30 a 40	40 a 50	67 anos					0 a 20	20 a 40	40 a 60	60 a 100	100 a 200	200 a 300	300 a 400	761 m
VIADUTOS		1	7			1	8	9	8	9		1	2		3	3	1	1
PONTES		3	5	2	2		22	20	12	20	2	19	2					
PASSARELAS		1		1			11	12	2	9								
OBS.	Obteve-se sobre os túneis somente informações de suas extensões																	
	*Obteve-se informações sobre a idade de apenas 9 viadutos, 12 pontes e 2 passarelas																	
	As respectivas idades correspondem ao período atual (2001)																	

5.2 PERCENTUAL DE INCIDÊNCIA DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM VIADUTOS, PONTES E PASSARELAS

INSTALAÇÕES PLUVIAIS

O gráfico da figura 5.1 demonstra o percentual de incidência das manifestações patológicas em instalações pluviais. Foram analisados 9 (nove) viadutos, 23 (vinte e três) pontes e 12 (doze) passarelas, com base no relatório de vistoria.

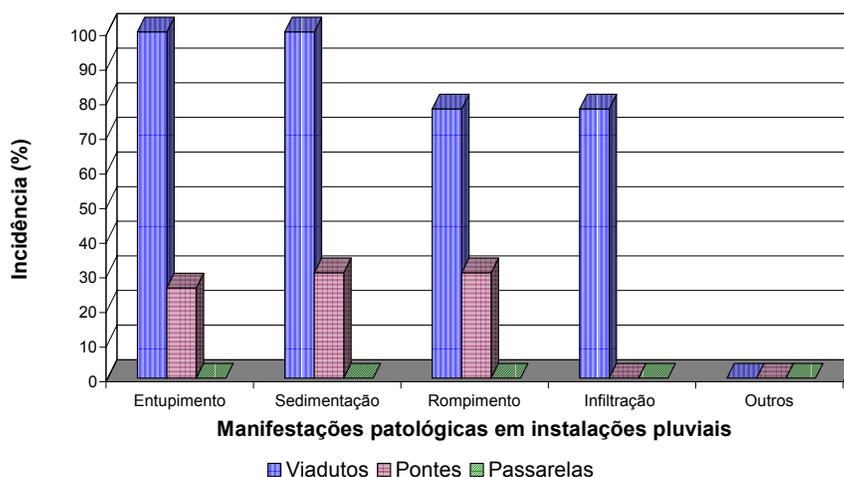


Figura 5.1 Tipo de obra *versus* manifestações patológicas em instalações pluviais.

Os viadutos superam as pontes no total de incidências dos problemas manifestados. Apresentaram entupimento e sedimentação em todas as obras, uma alta incidência em rompimento e infiltração das instalações pluviais. O resultado da análise apresenta um quadro crítico e possivelmente tenha influenciado no desencadeamento de diversas outras patologias que necessitam da presença de umidade para manifestar-se.

INSTALAÇÕES DIVERSAS

O gráfico da figura 5.2 apresenta o percentual de incidência das manifestações patológicas em instalações diversas. Foram analisadas as mesmas obras mencionadas anteriormente. A demonstração das instalações diversas tem como finalidade apresentar o quadro geral das obras-de-arte, seu estado de

conservação no que tange aos aspectos primários de estética, funcionamento e utilização.

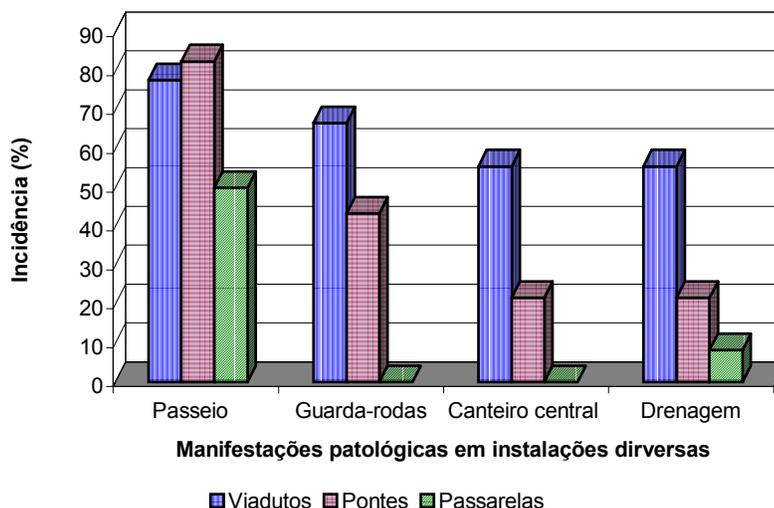


Figura 5.2 Tipo de obra *versus* manifestações patológicas em instalações diversas.

Pode-se considerar que as instalações diversas das obras, com base nos aspectos primários de estética, funcionamento e utilização, encontravam-se em estado crítico. Em mais de 50% das obras os passeios demonstraram algum tipo de problema. A proteção de guarda-rodas, que faz parte dos viadutos e pontes, apresentaram problemas em mais de 50%. Os problemas de drenagem predominaram em viadutos, embora nas pontes tiveram considerável ocorrência.

GUARDA-CORPOS DE CONCRETO

O gráfico da figura 5.3 apresenta o percentual de incidência de manifestações patológicas em guarda-corpos de concreto. Foram analisados (8) oito guarda-corpos de viadutos, (9) nove guarda-corpos de pontes e (1) um guarda-corpo de passarelas.

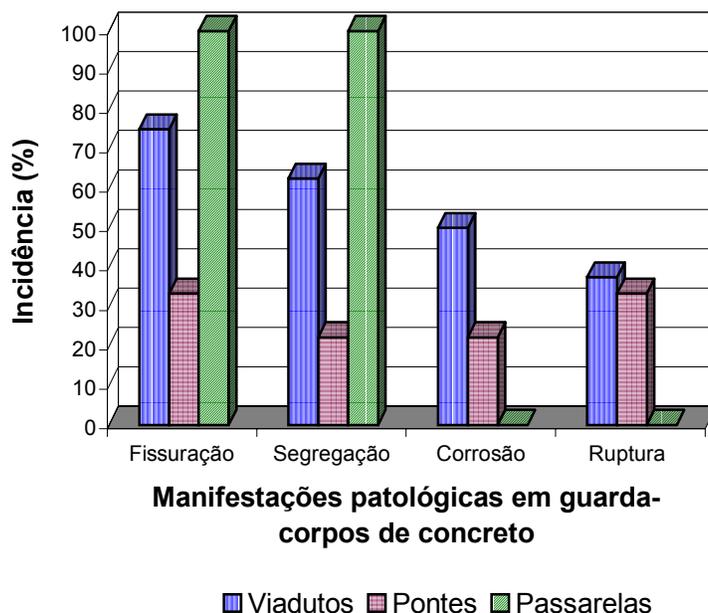


Figura 5.3 Tipo de obra *versus* manifestações patológicas em guarda-corpos de concreto.

O problema mais crítico em guarda-corpos de concreto foi a incidência de fissuração, mais concentrada nos viadutos. A fissuração que não tenha sido oriunda da corrosão, torna-se causadora da intensificação deste problema, principalmente tratando-se de elementos que estão expostos a ambientes muito agressivos, como é o caso dos viadutos. Como já discutido no Capítulo 3, estes equipamentos urbanos estão situados nas regiões críticas de uma cidade, onde a concentração de CO_2 é alta, pela emissão dos veículos do tráfego intenso. Os guarda-corpos são elementos que se constituem numa distância e altura, em viadutos e pontes, de boa recepção dos escapamentos de CO_2 dos veículos. Sendo assim, somado à umidade, se constitui um ambiente próprio para a carbonatação, seguida da provável despassivação do aço e corrosão das armaduras.

O impacto de veículo nos guarda-corpos de viadutos e pontes, constituiu outro fator de grande responsabilidade pela destruição parcial ou danificação destes elementos, diminuindo assim a sua durabilidade.

A alta incidência de fissuração e segregação do concreto nas passarelas é devido a estas apresentarem somente um elemento para a análise, e este manifestou problemas.

GUARDA-CORPOS METÁLICOS

O gráfico da figura 5.4 apresenta o percentual de incidência de manifestações patológicas em guarda-corpos metálicos. Foram analisados (2) dois guarda-corpos de viadutos, (2) dois guarda-corpos de pontes e (9) nove guarda-corpos de passarela.

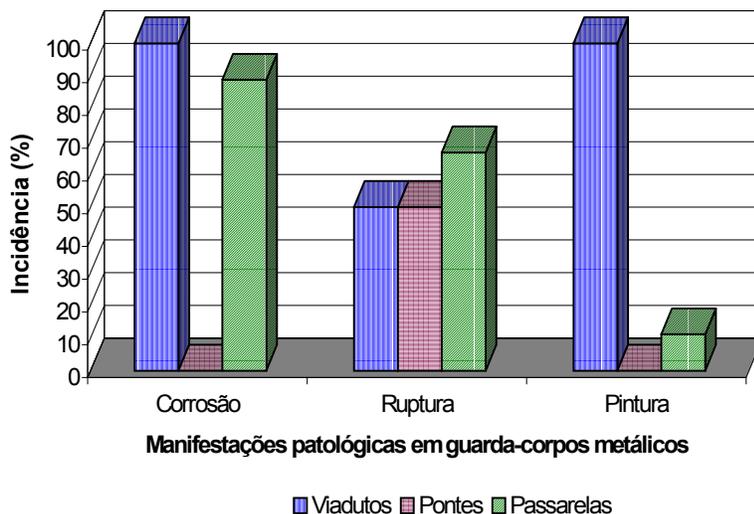


Figura 5.4 Tipo de obra *versus* manifestações patológicas em guarda-corpos metálicos.

As passarelas apresentaram um alto número de elementos com corrosão e ruptura. Os viadutos, com um número pequeno destes elementos, demonstraram que a corrosão possivelmente é resultado da falta de pintura.

PAVIMENTOS

O gráfico da figura 5.5 mostra o percentual de obras-de-arte afetadas pelas manifestações patológicas em pavimentos. Foram considerados (9) nove viadutos, (23) vinte e três pontes e (12) doze passarelas. A análise destes dados têm como principal finalidade o aspecto de durabilidade.

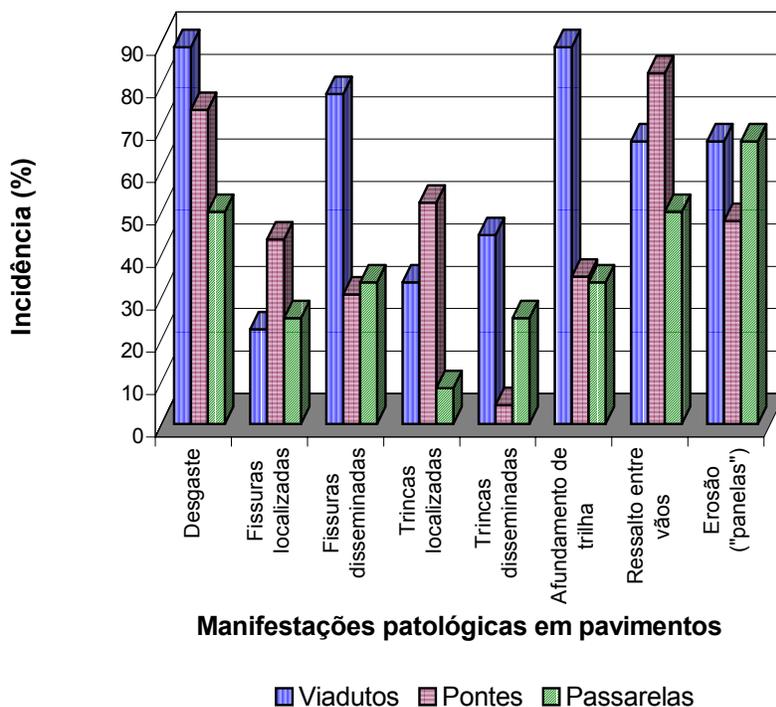


Figura 5.5 Tipo de obras *versus* manifestações patológicas em pavimentos.

Os viadutos superaram as pontes e passarelas nas manifestações patológicas de desgaste, fissuras disseminadas, trincas disseminadas e afundamento de trilha, nos pavimentos. Salienta-se que apenas um viaduto possui pavimento de concreto convencional, sendo os demais de concreto asfáltico.

As pontes superaram os viadutos e passarelas nas manifestações patológicas de fissuras localizadas, trincas localizadas e ressalto entre vãos, nos pavimentos. Salienta-se que 30% das pontes possuem pavimentos de concreto convencional e 70% restantes, de concreto asfáltico.

As passarelas apresentaram uma considerável incidência relativa de erosão (“panelas”) nos pavimentos. Salienta-se que (8) oito passarelas possuem pavimentos de concreto asfáltico, (2) dois de madeira e as demais não obteve-se informação.

É importante salientar que o concreto asfáltico pode ter sido o maior responsável pelo afundamento de trilha, devido à incidência desta manifestação patológica ser menor nas pontes, tendo em vista os pavimentos de concreto asfáltico serem em proporção menor quando comparados aos de concreto convencional dos viadutos. É importante destacar, também, que as passarelas devem ter recebido um concreto asfáltico de menor qualidade ou reparos com menor freqüência nos pavimentos.

As pontes são formadas por (1) um vão entre (2) dois encontros, em 95% de seu total. Já os viadutos são formados, em média, por (5) cinco vãos entre (2) dois encontros. Considerando o número de “entre vãos” ser maior nos viadutos e a incidência desta patologia ser menor nestas obras, existe a possibilidade de serem os encontros os que mais contribuíram para os problemas de “ressaltos entre vãos”. Entre as causas possíveis desta manifestação patológica, a mais freqüente é devida aos recalques diferenciais ou erosão que produzem falhas de alinhamento ou fissuras nos encontros.

Considerando o aspecto de durabilidade das obras, pode-se afirmar que os pavimentos foram os grandes responsáveis por ocorrências patológicas de efeitos de cargas dinâmicas, e sobrecargas. Os efeitos de cargas dinâmicas são causados pelas irregularidades do tipo ressaltos entre vãos, erosão (“panelas”), afundamentos de trilhas e desgaste dos pavimentos. Os efeitos de sobrecargas são causados pelas sucessivas recapagens, sem a retirada da camada anterior.

Portanto, avaliando o grau de incidência dos problemas acima, pode-se afirmar que a conservação dos pavimentos não tem sido satisfatória para garantir a durabilidade dos viadutos e pontes.

JUNTAS DE DILATAÇÃO

Outra família de elementos a ser analisada são as juntas de dilatação, representadas no gráfico da figura 5.6, que demonstra as manifestações patológicas

nestes elementos, no total de 71 (setenta e uma) juntas vistoriadas em viadutos, 6 (seis) juntas em pontes e 3 (três) juntas em passarelas, cujo resultado é dado pelo percentual de juntas com problemas patológicos para cada tipo de obra. A principal finalidade em avaliar os dados de juntas é relacionar estes com a durabilidade das obras.

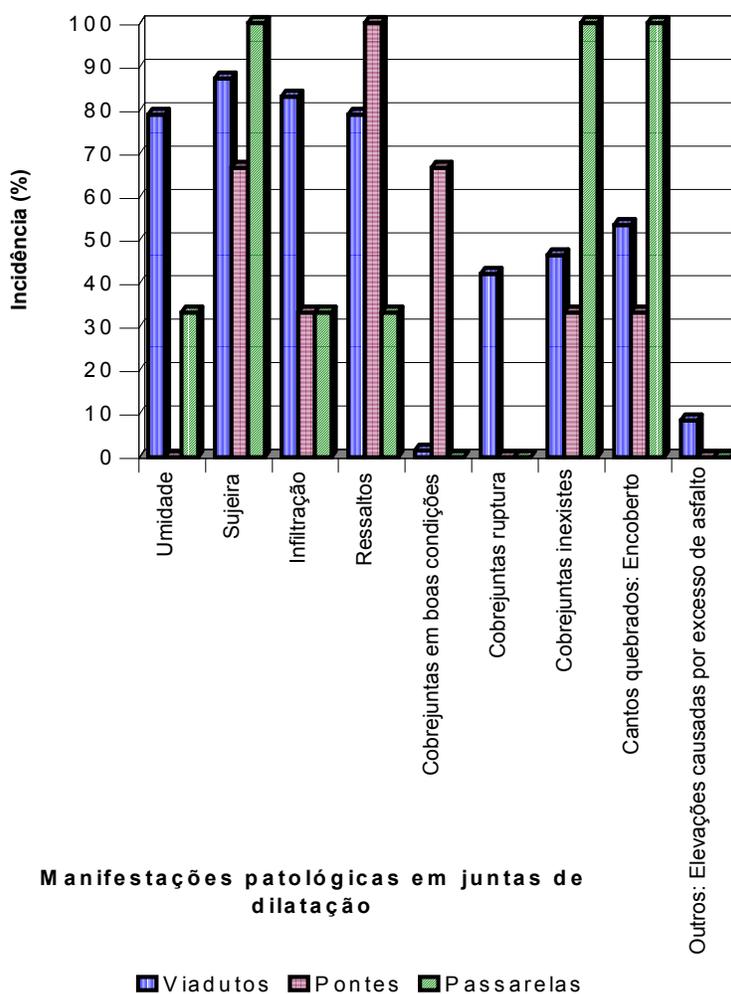


Figura 5.6 Tipo de obras versus manifestações patológicas em juntas de dilatação.

Nas juntas vistoriadas em viadutos predominaram problemas de umidade, infiltração e ruptura de cobrejuntas (elementos de ligação das juntas).

As juntas de pontes predominaram os problemas de ressaltos e cobrejuntas em boas condições.

As juntas de passarelas predominaram os problemas de sujeira, cantos quebrados junto aos encontros e a inexistência de cobrejuntas.

É importante comentar que os problemas de umidade e infiltração, oriundos de juntas, predominantes em viadutos, neste caso, foram os agentes desencadeadores do maior número de manifestações patológicas que serão demonstradas no decorrer desta análise de dados e já comentadas anteriormente, na revisão bibliográfica. As mais relevantes foram a lixiviação, a corrosão, a eflorescência, o comprometimento dos aparelhos de apoio, a degradação de juntas, apoios, pilares, encontros e tabuleiros. É possível que a infiltração e umidade predominantes em viadutos decorram do grande índice de inexistência e rompimento de cobrejuntas.

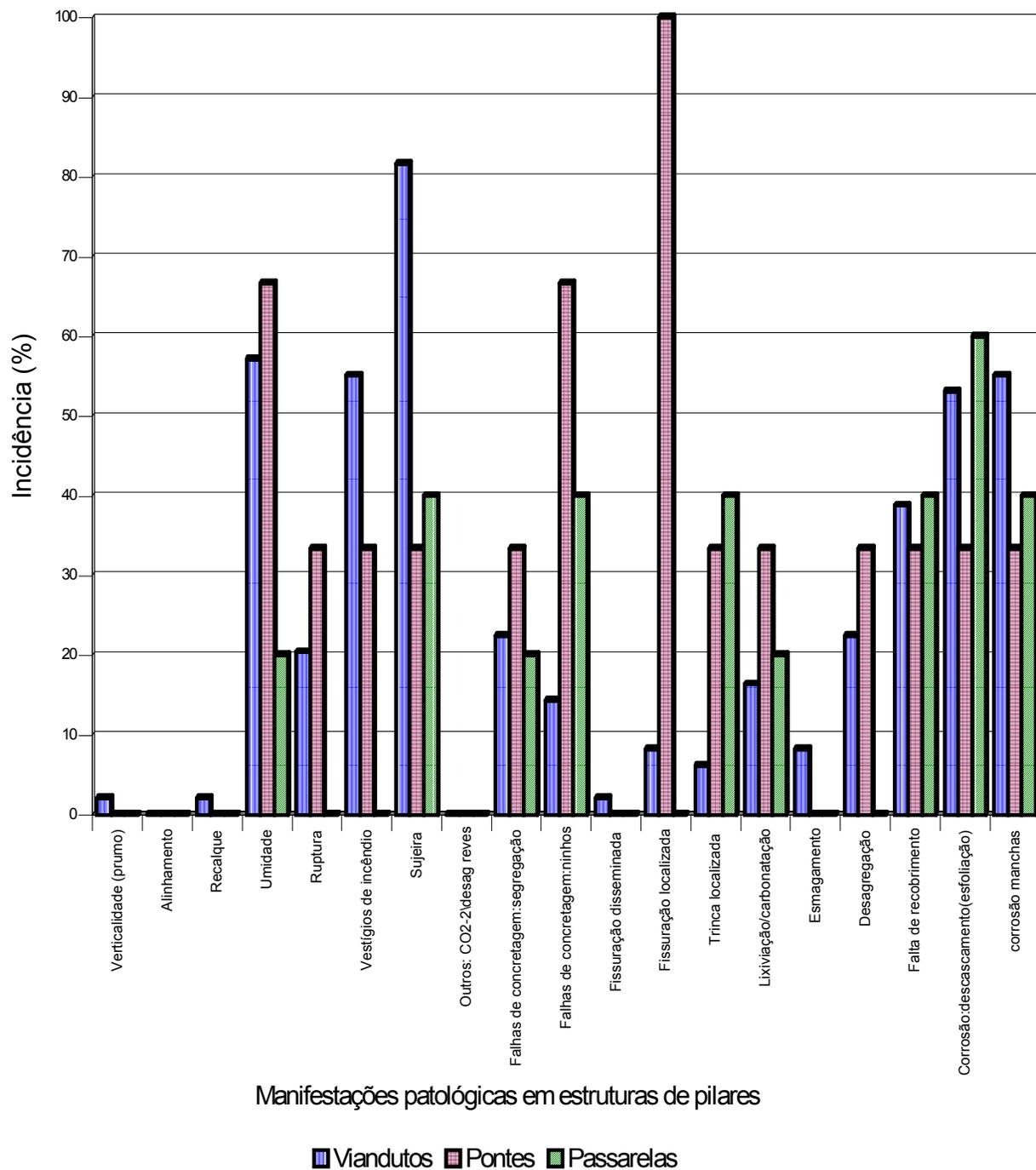
A concentração de resíduos (sujeira), predominante em juntas de passarelas, e com grande incidência nos viadutos e pontes, é relevante devido à colmatação de juntas e concentração de umidade, que afetam as paredes destas juntas, provocando, com o tempo, sua desagregação.

Os ressaltos em juntas, predominantes nas pontes, foram possivelmente decorrentes de concentração de sujeiras por motivo do alto índice de cobrejuntas inferiores em boas condições, possibilitando a sua retenção, sem a respectiva limpeza periódica. No entanto, a decorrência mais significativa pode ter sido devida aos ressaltos de pavimentos que são normalmente formados nas juntas, pelas camadas sucessivas de recapagem.

Do ponto de vista da durabilidade da obra, os dados analisados demonstram que a conservação das juntas não é satisfatória.

PILARES

O gráfico da figura 5.7 apresenta as manifestações patológicas ocorridas em estruturas de pilares. Demonstra o percentual de incidência de cada problema observado para comparar os diferentes tipos de obras. Foram analisados 41 (quarenta e um) pilares de viadutos, 3 (três) pilares de pontes e 5 (cinco) pilares de passarelas. A análise dos dados de estruturas de pilares é feita com base nos aspectos de durabilidade e segurança.



A figura 5.7 Tipo de obra *versus* manifestações patológicas em estruturas de pilares.

Os viadutos apresentaram problemas predominantes nos pilares em vestígios de incêndio, sujeira, fissuração disseminada, esmagamento e corrosão na forma de manchas, superando as pontes e passarelas. Apresentaram, ainda, problemas na verticalidade e recalque de pilares, numa incidência baixa, sem ocorrência nas pontes e passarelas.

As pontes apresentaram problemas predominantes nos pilares em umidade, ruptura, falhas de concretagem (segregação), falhas de concretagem (ninhas), fissuração localizada, lixiviação/carbonatação e desagregação, superando os viadutos e passarelas.

As passarelas apresentaram problemas predominantes nos pilares, superando os viadutos e pontes em trinca localizada, falta de cobertura e corrosão na forma de descascamento (esfoliação).

Verificou-se detalhadamente as planilhas de inspeção com a finalidade de esclarecer a ocorrência de verticalidade e recalque nos pilares. Constatou-se que no problema de recalque houve incidência em apenas um pilar do viaduto Elevada da Conceição cujo “Fator de Intensidade” (FI), para o elemento afetado, foi 1. No problema de verticalidade constatou-se a incidência em um pilar do viaduto Imperatriz Leopoldina, cujo FI, para o elemento afetado, foi 1. O fator de intensidade leva em consideração a intensidade de cada manifestação patológica, em uma variação de nota de 0 a 4. Portanto, pode-se considerar uma situação de dano leve e elementos em bom estado.

No viaduto Elevada da Conceição, as vibrações transmitidas aos tabuleiros pelo fluxo intenso de veículos, detectadas pela vistoria, podem ter sido causadoras do recalque do pilar, tendo em vista que podem ocasionar o aparecimento de esforços dinâmicos e sobrecarga. Os ressaltos, as sobrelevações decorrentes das sucessivas recapagens (provocando sobrecarga), os afundamentos de trilha, a ruptura e erosão dos pavimentos causados pelo tráfego pesado de veículos são defeitos relevantes apontados pela vistoria que dão origem às vibrações transmitidas aos tabuleiros.

No viaduto Imperatriz Leopoldina, observou-se que o pilar afetado pela falta de verticalidade está localizado num trecho crítico, apontado pela vistoria. Os pilares subsequentes, que apoiam o mesmo tramo do afetado, apresentaram esmagamento dos aparelhos de apoio e os pilares que dão apoio ao outro tramo, onde uma das faces apoia no pilar afetado, encontraram-se em estado crítico de ruptura e corrosão

generalizada. Neste caso também, o relatório aponta, da mesma forma, problemas de vibração da estrutura.

Outra ocorrência importante é a elevada taxa de corrosão nos pilares de viadutos, em torno de 50%, que pode estar relacionada com o nível de infiltração apresentada na figura 5.1 e com a presença de umidade e sujeira apresentadas na figura 5.7. A corrosão é uma manifestação patológica que necessita da presença de umidade para sua ocorrência, como mostra a bibliografia (Capítulo 3). Mais uma ocorrência importante foi a desagregação do concreto que pode estar relacionada com quatro outros problemas apresentados: o de esmagamento, lixiviação/carbonatação, falhas de concretagem e vestígio de incêndio.

Nas pontes pode-se destacar as falhas de concretagem, a fissuração localizada, ruptura, desagregação e carbonatação/lixiviação nos pilares. Embora o número de elementos não seja significativo, pode-se chamar a atenção para a manifestação patológica de lixiviação/carbonatação, por estarem, os elementos, em contato direto com águas agressivas, como demonstra o relatório individual, e apresentarem uma taxa altíssima de fissuração localizada, conforme a figura 5.7 acima. Já as rupturas dos pilares podem estar relacionadas com choques de materiais carregados pelas correntes d'água, em período de grandes precipitações, por se tratarem de pilares localizados no arroio dilúvio, conforme relatório.

Portanto, o aspecto de durabilidade nas estruturas de pilares é crítico, principalmente em viadutos. Quanto ao aspecto de segurança, não apresentaram indícios de colapso ou necessidade de reforço.

APARELHOS DE APOIO

O gráfico da figura 5.8 apresenta o percentual de incidência dos problemas em aparelhos de apoio que ocorreram em viadutos, pontes e passarelas. O objetivo da análise de comparação é apontar as condições de ocorrência dos problemas no que se refere à durabilidade das obras. Foram analisados 42 (quarenta e dois) aparelhos de apoio nos viadutos, 10 (dez) aparelhos nas pontes e 5 (cinco) aparelhos nas passarelas.

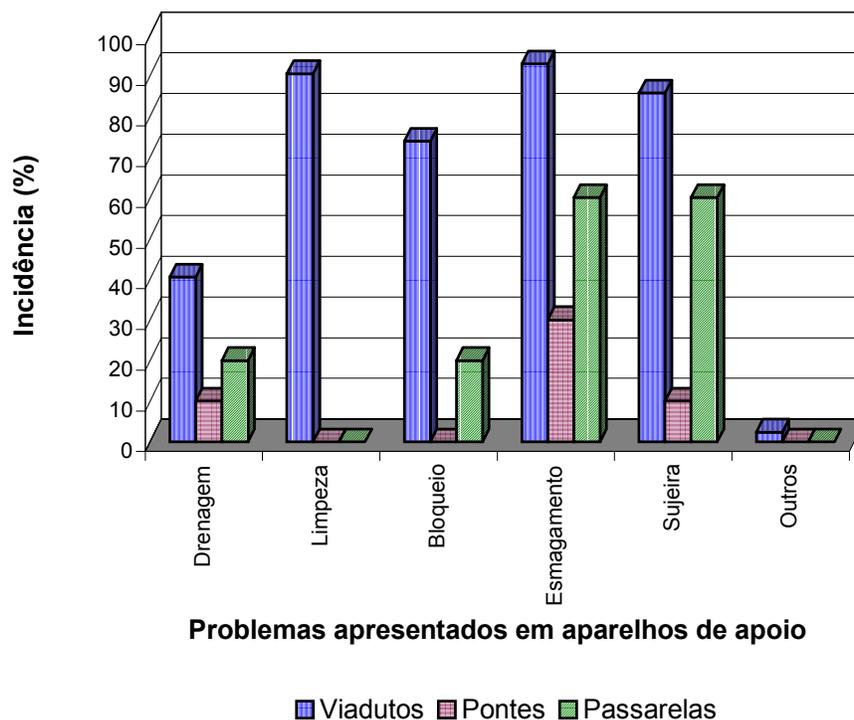


Figura 5.8 Tipo de obras *versus* problemas apresentados em aparelhos de apoio.

Nos viadutos predominaram todos os problemas ocorridos em aparelhos de apoio, superando as pontes e passarelas. Supõem-se que os aparelhos de apoio são mais solicitados nestas obras. No entanto, pode-se observar no gráfico que por acúmulo de sujeira nos berços dos aparelhos e falta de limpeza dos mesmos, apresentados em grande incidência nos viadutos, possivelmente tenham desencadeado os demais problemas devidos à dificuldade de drenagem nesta região, o bloqueio no funcionamento dos aparelhos e o decorrente esmagamento.

Outras possibilidades que se apresentaram foram as de ordem interativa com os problemas dos demais elementos vinculados. Supõem-se que as rupturas de cobrejuntas ou sua inexistência, como demonstra o gráfico 5.6, interferiram na vida útil dos aparelhos de apoio, na medida em que permitiram a entrada de sujeira e a infiltração de água, o que aconteceu predominantemente nos viadutos. O precário funcionamento dos aparelhos de apoio pode ainda provocar danos de esmagamento e ruptura nos apoios de pilares.

Portanto, o quadro geral demonstra que a conservação e substituição dos aparelhos de apoio não tem sido satisfatórias para garantir a durabilidade das obras.

ENCONTROS

O gráfico da figura 5.9 demonstra o percentual de incidências das manifestações patológicas, por tipo de obra, ocorridas em estruturas de encontros. Foram analisados, a partir dos relatórios, 14 (catorze) encontros de viadutos, 19 (dezenove) encontros de pontes e 9 (nove) encontros de passarelas. Os dados foram analisados considerando os aspectos de durabilidade e segurança.

Os viadutos superaram em muito as pontes e passarelas nas principais manifestações patológicas de encontros, demonstradas no gráfico da figura 5.9. Este fato pode ter ocorrido em função destas obras serem uma particularidade no sistema construtivo destes elementos. A começar pela importância que estes, representam para os viadutos, sendo que são verdadeiras estruturas vinculadas para permitir a elevação dos mesmos. Os viadutos são estruturas que normalmente sobrepõem vias, partindo do mesmo nível de cota em rampa destas vias. Os encontros nestes casos são estruturados para resolver esta transição inclinada e geralmente são em concreto armado. Frontal e lateralmente funcionam como contenções de terra, usadas para preencher as rampas.

Os encontros, típicos de viadutos, são estruturas sujeitas a todas as manifestações patológicas comuns ao concreto armado, com o agravante de estarem em contato com o solo e a umidade decorrente. Sendo assim, estes elementos nos viadutos podem apresentar mais problemas, por serem mais complexos quando comparados aos elementos de pontes e passarelas.

O gráfico da figura 5.9 demonstra nos viadutos a ocorrência predominante de problemas de alinhamento, falhas de concretagem por segregação, falhas de concretagem na forma de ninhos, fissuração disseminada, fissuração localizada, trincas disseminadas, trincas localizadas, lixiviação/carbonatação, esmagamento, desagregação, falta de cobertura, corrosão por descascamento (esfoliação) e corrosão com manchas.

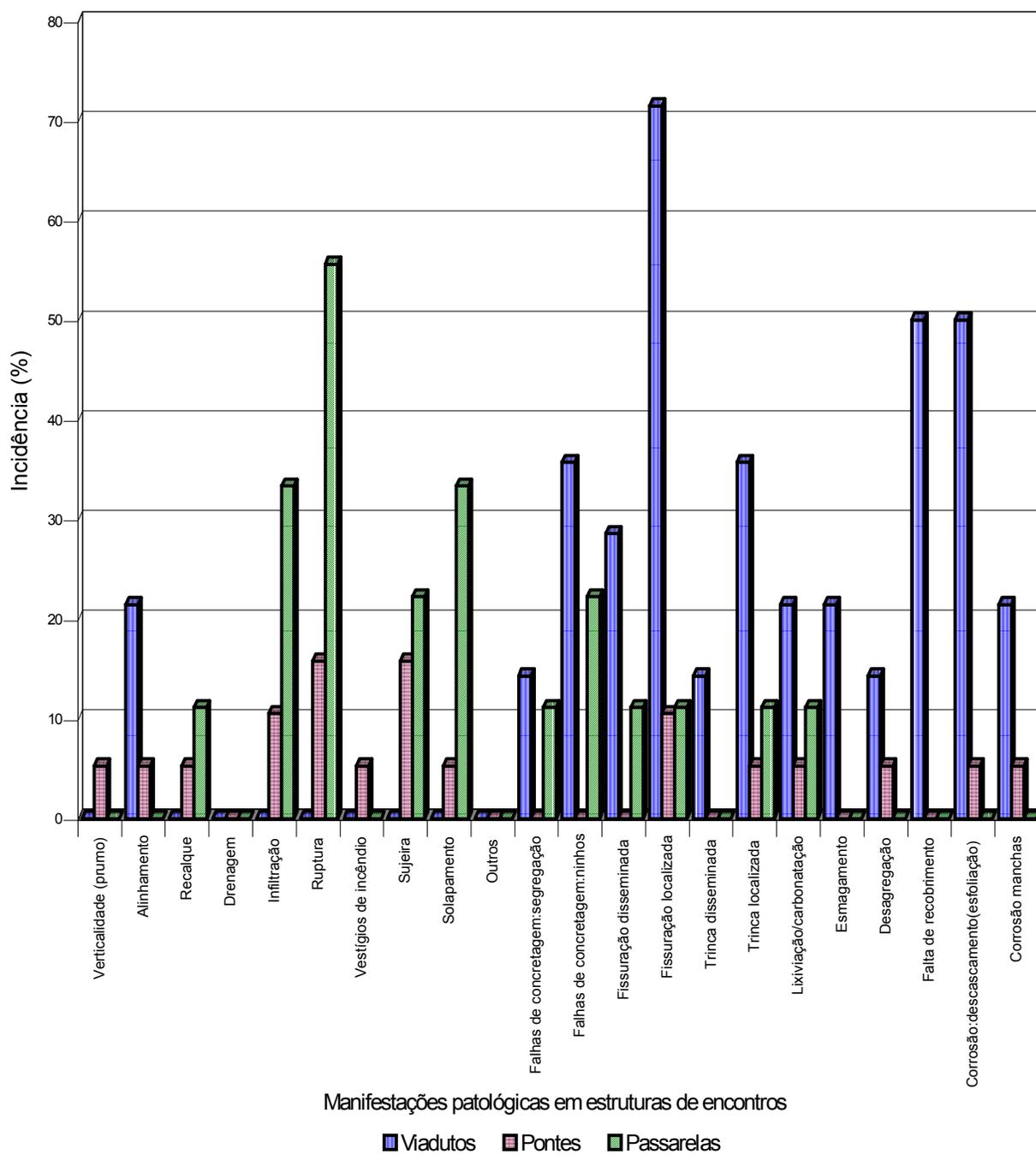


Figura 5.9 Tipo de obra *versus* manifestações patológicas em estruturas de encontros.

Um dos problemas em evidência é a falha de concretagem por ninhos, em 36% dos encontros de viadutos, gerado na execução e representa ter sido a causa

de outras manifestações patológicas como trincas localizadas, desagregação, falta de cobertura e corrosão (esfoliação) do aço.

A falta de cobertura das armaduras provocam normalmente a fissuração localizada do concreto (ocorrência em 72% dos encontros de viadutos) pela corrosão do aço, com o aparecimento de manchas.

As trincas localizadas, com uma incidência de 35% nos viadutos, podem ter sido decorrentes dos deslocamentos das superestruturas devido às vibrações, comentadas anteriormente.

A lixiviação/carbonatação e corrosão podem ter sido as causas da desagregação do concreto e descascamento (esfoliação). Já o esmagamento do concreto possivelmente decorreu, em grande parte, da deterioração dos aparelhos de apoio e deslocamentos da superestrutura, pelas vibrações.

No aspecto de durabilidade observou-se que os encontros estão num estado satisfatório de forma geral, embora estejam no estado crítico em algumas manifestações patológicas como corrosão, por exemplo, e na particularidade dos viadutos. No aspecto de segurança não houve nenhuma recomendação de reforço.

TABULEIROS

O gráfico da figura 5.10 apresenta a incidência percentual das manifestações patológicas em estruturas de tabuleiros para cada tipo de obra. Foram analisados 53 (cinquenta e três) tabuleiros de viadutos, 23 (vinte e três) tabuleiros de pontes e 9 (nove) tabuleiros de passarelas. Apresenta, também, as condições gerais de iluminação e pintura destes elementos em seu estado de conservação.

Os viadutos superaram as pontes e passarelas em praticamente todos os problemas patológicos apresentados em estrutura de tabuleiros, a exemplo dos problemas em estrutura de encontros analisados anteriormente.

Os problemas de umidade em 79% dos tabuleiros de viadutos se configuram possivelmente pelas infiltrações através das juntas, mau funcionamento das instalações pluviais e fissuração do pavimento permitindo um caminho preferencial das águas sem serem impedidas por falta de impermeabilização da laje. Águas estas, que se acumularam no interior das estruturas, muitas vezes pela deposição de sujeiras, cuja contribuição pode ser a de reter a umidade e provocar entupimento destas instalações.

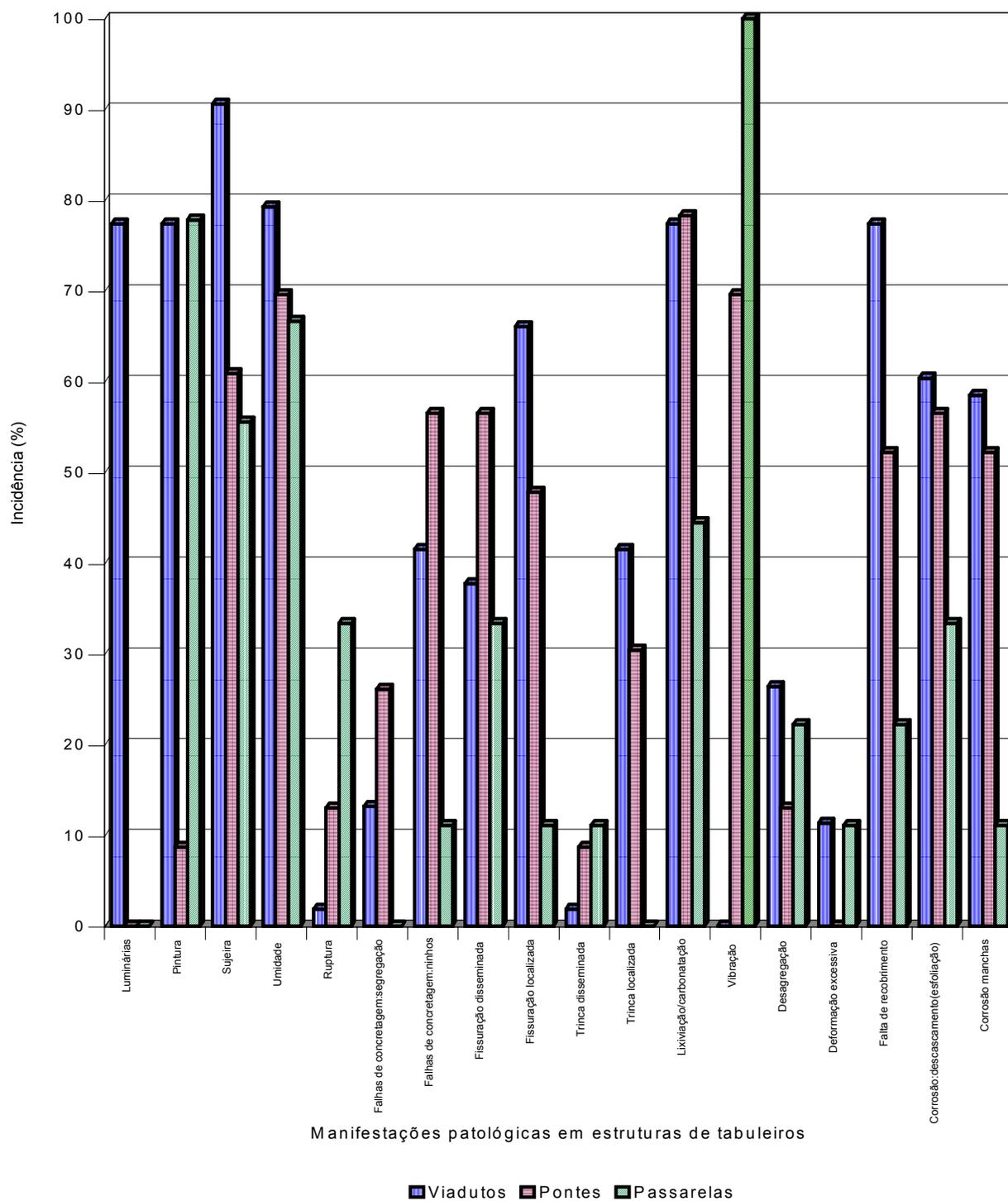


Figura 5.10 Tipo de obra *versus* manifestações patológicas em estruturas de tabuleiros.

Os problemas patológicos que predominaram em viadutos foram: problemas de pintura, sujeira, umidade, fissuração localizada, lixiviação/carbonatação, desagregação, deformação excessiva, falta de cobertura, corrosão na forma descascamento e corrosão na forma de manchas.

A manifestação de fissuração localizada nos viadutos, com 65% de ocorrência, e as trincas localizadas, com 42%, são problemas que tiveram sua contribuição significativa nos viadutos Elevada da Conceição e Obirici, devido ao Grau de Risco (GR) que estas obras apresentaram e devido à incidência de tabuleiros ($\cong 50\%$) no total destes elementos. Foram obras que sofreram intervenções especiais, pelo mau estado de funcionamento, onde foram aprofundadas as investigações para avaliar os diversos problemas detectados e observar, principalmente, a elevada densidade de fissuração. Nas duas obras foram realizadas provas de carga para avaliar as deformações e o estado limite de utilização das estruturas, conforme fotos 5.1 e 5.2.



Foto 5.1 Prova de carga, carregamento total, ensaio à flexão, trecho isostático do Viaduto Elevada Conceição, (FUNDATEC/1992).



Foto 5.2 – Instrumentação do trecho isostático, defletômetro, Viaduto Elevada Conceição (FUNDATEC, 1992).

A primeira vistoria nos viadutos foi realizada em 1991. Em especial o viaduto Obirici, apesar das recomendações do relatório de vistoria, sofreu intervenção somente em 1995, passando-se aproximadamente 4 anos. Durante a intervenção, observou-se degradação acentuada desta obra, como descreve o relatório de 1995:

*“Pode-se afirmar sem medo de errar que a degradação ocorrida nos últimos quatro anos foi muito maior do que a ocorrida nos dezesseis anteriores. A degradação aumentou progressivamente através da razão geométrica. Os estados limites de utilização há muito estão ultrapassados. **Foi atingido o estado limite último.** A primeira viga do encontro estruturado, próximo à Brasiliano de Moraes, junto ao pilar P0, **rompeu generalizadamente.** É mister e urgente a interrupção do tráfego para correção desta viga e de todos os elementos estruturais que compõem os dois encontros”*, (WAICHEL et al, 1995).

A vistoria de 1995 detectou, também, novas anomalias, além das que se agravaram no período de 4 anos, como descreve o respectivo relatório, resumido nos seguintes tópicos:

- trincas nas transversinas de vão e apoio denotando uma grave deficiência no comportamento estrutural destas peças. Esta deficiência pode ser decorrente de solicitação além das condições idealizadas em projeto, como por exemplo torção no tabuleiro pelo esmagamento de aparelho de apoio, ou mesmo por uma sistemática perda de eficiência na armadura protendida transversal.
- Início de fissuração por flexão nas lajes de fundo, na região entre as vigas principais. Esta anomalia ocorre em regiões com elevadas tensões de tração, tanto nos vãos de 37 metros como nos menores. O não cadastramento destas fissuras na vistoria de 1991 indica que apareceram posteriormente, portanto a protensão teve a sua eficiência reduzida ou a estrutura esteve sujeita a níveis de solicitação ainda não registrados, com provável carregamento superior ao previsto.

Portanto, o esmagamento dos aparelhos de apoio que provocou torção no tabuleiro somado à perda sistemática de eficiência na armadura protendida, possivelmente foram os responsáveis pelo aparecimento gradual de trincas no referido tabuleiro. O que talvez pode ter ocorrido para os demais viadutos que apresentaram alta incidência de fissuração e trincas nos tabuleiros. A deformação excessiva, com 11% de ocorrência, pode ter sido decorrente, igualmente, da perda de protensão.

A fissuração e trincas possivelmente desencadearam uma seqüência de problemas que interagiram pelas sucessivas ocorrências. O concreto, estando de “portas abertas” para os agentes agressivos e a umidade, e apresentando falta de cobertura da armadura em 77% dos tabuleiros de viadutos, pode ter estabelecido condições suficientes para o avanço rápido da frente de lixiviação/carbonatação (ocorrência de 77%) em direção ao aço que, por sua vez, deve ter gerado o processo de corrosão que se apresentou em forma de descascamento, com 60%, e em forma de manchas, com 58%.

As pontes apresentaram um quadro similar ao dos viadutos, com alta incidência de fissuração localizada (48%), fissuração disseminada (57%), trincas localizadas (30%), falta de recobrimento das armaduras (52%), lixiviação/carbonatação (78%), corrosão na forma de descascamento (57%),

corrosão na forma de manchas (52%), dos tabuleiros analisados. O que reforça as suposições anteriores.

É importante destacar que os tabuleiros de pontes (70%) e de passarelas (100%) apresentaram uma grande incidência de problema de vibração do concreto que, no caso das pontes, pode ter sido responsável por falhas de concretagem na forma de ninhos, ocorridas em 56% dos tabuleiros.

No aspecto de durabilidade pode-se observar que os tabuleiros formaram o conjunto de elementos estruturais com maior deficiência, portanto muito crítico. No aspecto de segurança pode-se destacar os viadutos Obirici e Elevadada Conceição que foram submetidos à provas de carga para a verificação da capacidade resistente de sua estrutura.

ESTRUTURAS DE CAIXÕES

O gráfico da figura 5.11 apresenta as manifestações patológicas em estruturas de caixões, sua incidência percentual com relação a viadutos. Foram analisados três caixões vistoriados em dois viadutos, com base no aspecto de durabilidade.

A vistoria apresentou somente três caixões em dois viadutos devido a falta de acesso aos demais, por ausência de janelas de inspeção. Portanto, a análise se torna restrita. No entanto, se fez necessário colocar os dados dos caixões para alguns comentários.

Observa-se o problema de sujeira para avaliar a possibilidade de evitar este tipo de estrutura já que proporciona o armazenamento de muitos resíduos no seu interior, apresenta também uma grande incidência de falhas de concretagem, fissuração localizada e lixiviação/carbonatação. Deve-se considerar que a obra contendo dois caixões é relativamente nova, foi concluída em 1982.

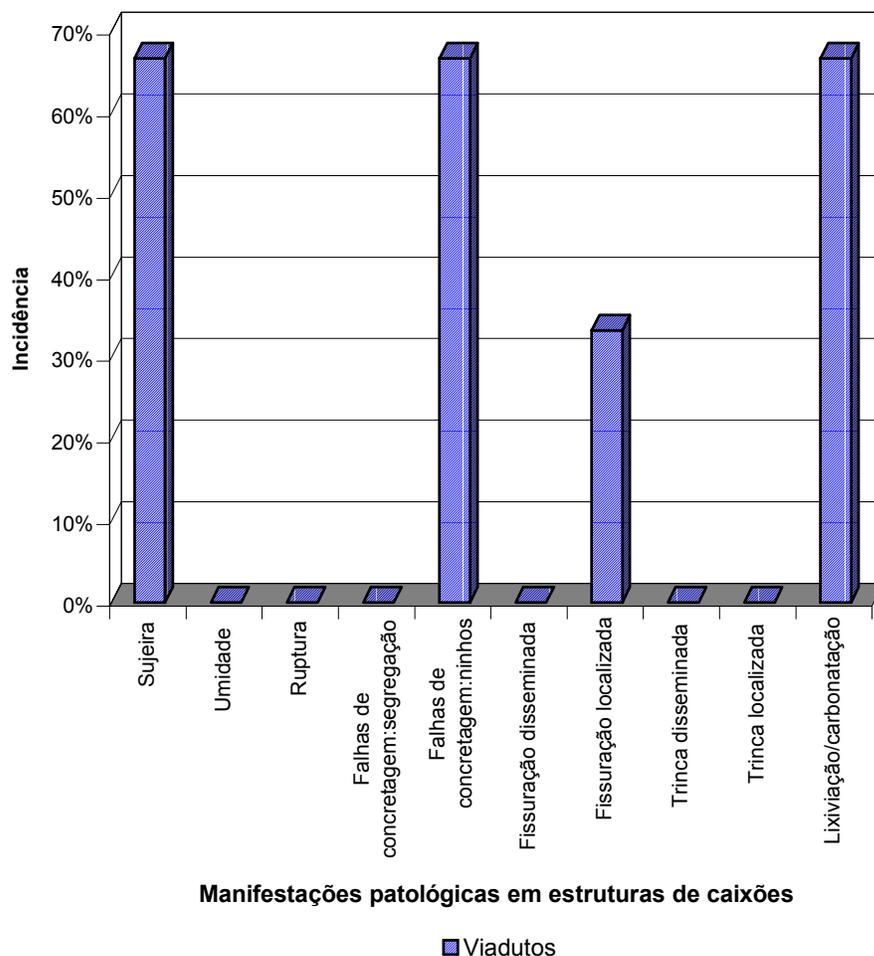


Figura 5.11 Tipo de obra *versus* manifestações patológicas em estruturas de caixões.

ESTRUTURAS DE VIGAS

O gráfico da figura 5.12 apresenta o percentual de incidência das manifestações patológicas em estruturas de vigas. Foram analisadas 19 (dezenove) vigas em pontes e 7 (sete) vigas em passarelas do relatório de vistoria, com base em aspectos de durabilidade e segurança.

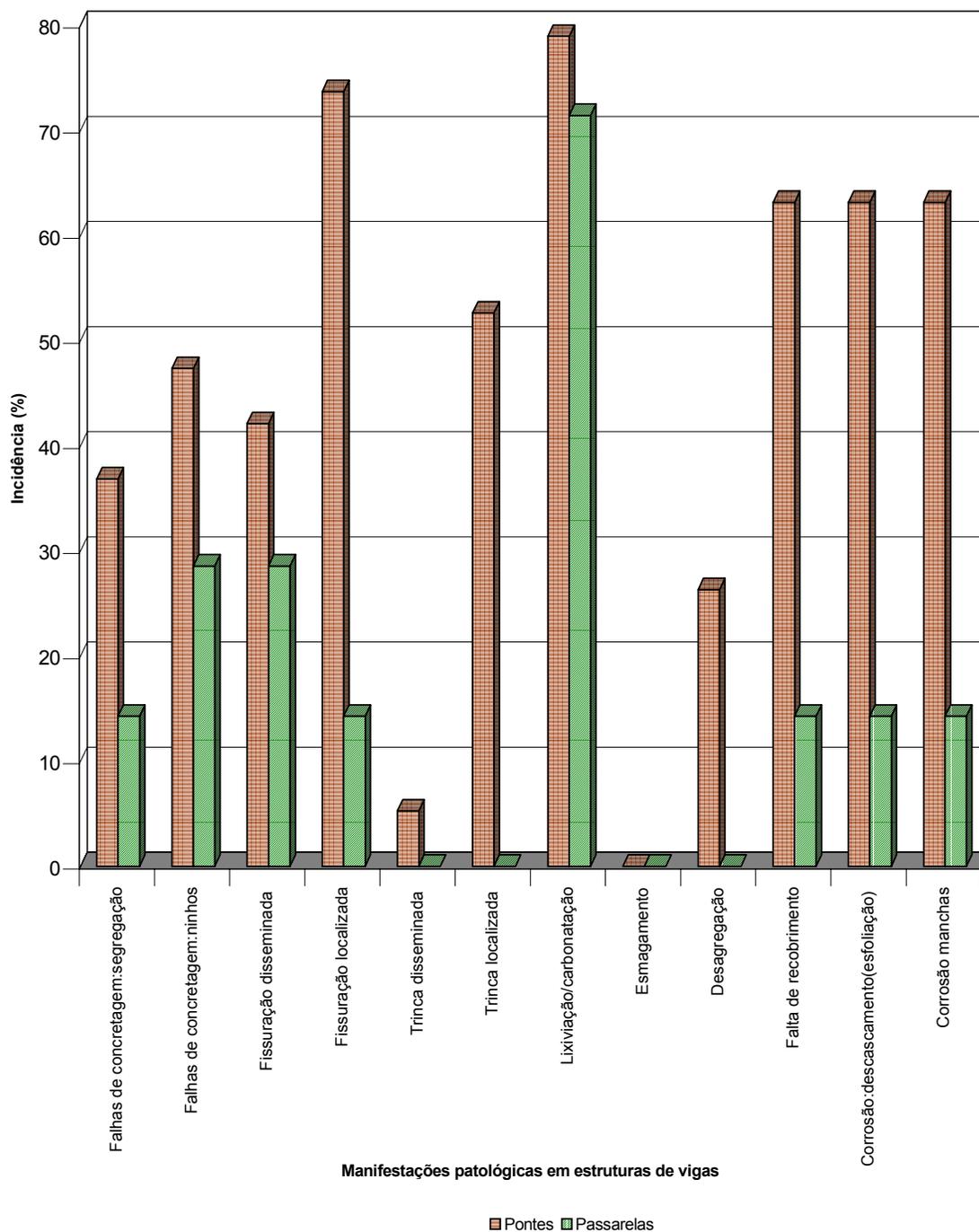


Figura 5.12 Tipo de obra *versus* manifestações patológicas nas estruturas de vigas.

As pontes superaram as passarelas em todos os problemas patológicos apresentados em estrutura de vigas.

Os problemas patológicos que predominaram em pontes foram: falhas de concretagem por segregação, falhas de concretagem por ninho, fissuração disseminada, fissuração localizada, trincas localizadas, lixiviação/carbonatação, desagregação, falta de cobrimento, corrosão na forma descascamento e corrosão na forma de manchas.

Da mesma forma que em tabuleiros, embora as causas sejam outras, a fissuração e trincas possivelmente desencadearam uma seqüência de problemas que interagiram por sucessivas ocorrências. As estruturas de vigas fissuradas permitiram a entrada de agentes agressivos e umidade, apresentando falta de cobrimento da armadura em 62%, o que pode ter estabelecido condições suficientes para o avanço rápido da frente de carbonatação (lixiviação/carbonatação ocorrência de 78%) em direção ao aço que, por sua vez, deve ter gerado o processo de corrosão que se apresentou em forma de descascamento, com incidência de 62% e em forma de manchas, com 62% de incidência.

As vigas de pontes apresentaram considerável incidência de falhas de concretagem por segregação (38%) e falhas de concretagem por ninhos (48%), o que pode ter contribuído para a alta incidência de lixiviação/carbonatação (78%), desagregação do concreto (25%) e corrosão por descascamento (62%).

Observando a incidência de fissuração disseminada (28%) e a incidência de fissuração localizada (13%), supõem-se que tais problemas tenham contribuído, em grande parte, para a ocorrência de lixiviação/carbonatação em 70% das vigas nas passarelas.

No aspecto de durabilidade as vigas apresentaram problemas críticos. No aspecto de segurança, não houve recomendações de reforço.

5.3 ANÁLISE DAS FAMÍLIAS DE ELEMENTOS QUE MAIS CONTRIBUÍRAM PARA O GR

VIADUTOS

Iniciou-se comparando o Grau de Risco das Famílias de elementos (GRF) ponderado, para cada obra, com a finalidade de verificar o percentual de incidência de cada família de elementos na contribuição do Grau de Risco da estrutura (GR) de cada viaduto e representado no gráfico da figura 5.13.

O grau de risco da família de elementos ponderado é o GRF multiplicado pelo seu respectivo peso, estipulado pela importância que determinada família de elementos tem para a estrutura de uma obra.

Verifica-se nos viadutos que um grupo de cinco famílias de elementos é predominantemente responsável pela constituição do GR, em todas as obras analisadas. As famílias de elementos que constituem este grupo são formadas pelas juntas (28%), Instalações pluviais (21%), tabuleiros (15%), pavimentos (15%) e apoios (10%), respectivamente.

O gráfico da figura 5.14 representa a supremacia destas cinco famílias de elementos, pela média dos GRF de mesmo tipo de família, para todas as obras, com a finalidade de demonstrar sua contribuição no conjunto dos viadutos.

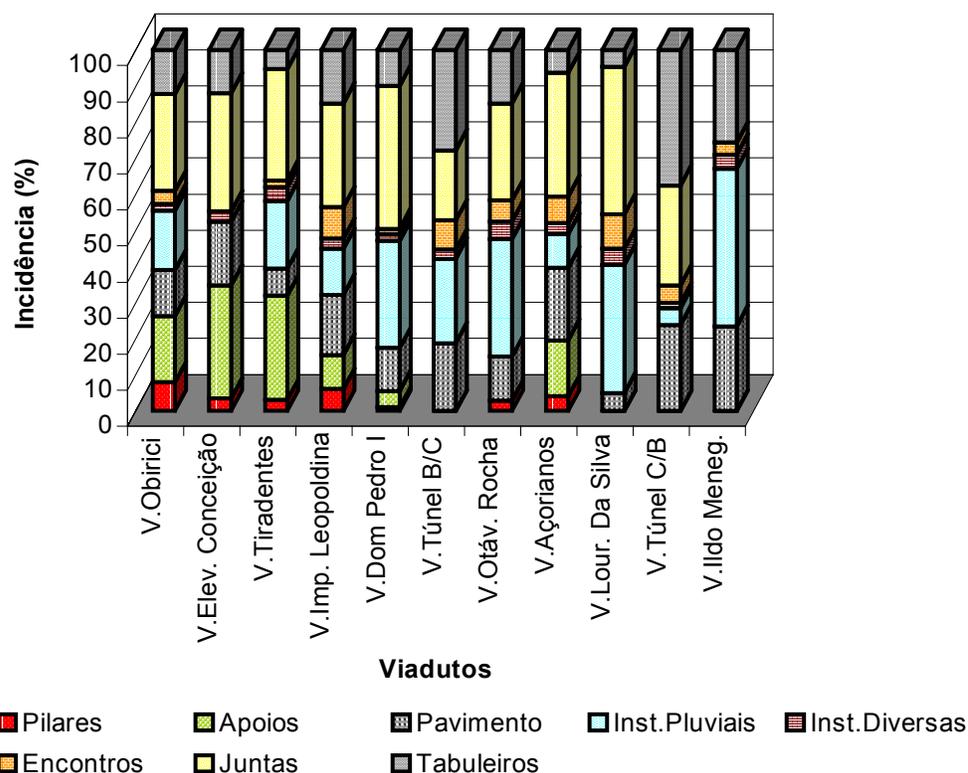


Figura 5.13 Viaduto *versus* incidência do Grau de Risco da Família de elementos (GRF), ponderado.

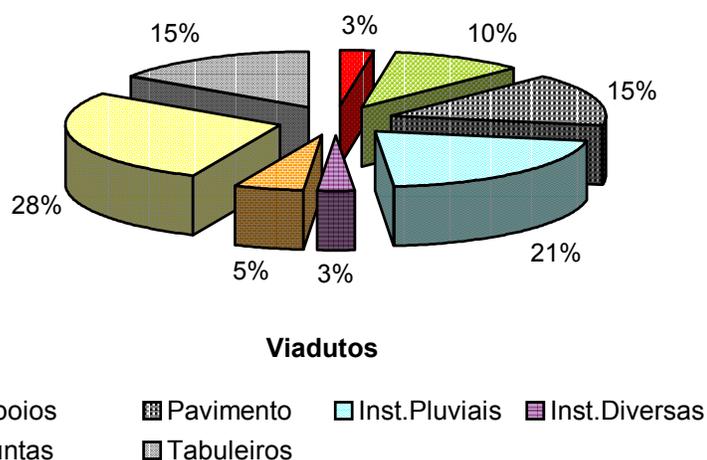


Figura 5.14 Percentual da média do Grau de Risco da Família de elemento (GRF) ponderada em função da contribuição do Grau de Risco das estruturas (GR), para o conjunto dos viadutos.

PONTES

No gráfico da figura 5.15 se fez a comparação do Grau de Risco das Famílias de elementos (GRF) ponderado, para cada obra, com a finalidade de verificar o percentual de incidência de cada família de elementos na contribuição do Grau de Risco da estrutura (GR) de cada ponte. Foram consideradas para análise somente 9 pontes, das 23 vistoriadas. A limitação no número de pontes teve a finalidade de reduzir a amostra para as 9 que apresentaram médio grau de risco e a dificuldade de representar as 23 nos gráficos. As principais manifestações patológicas estão representadas neste grupo (9 pontes), o que se aproxima das condições dos viadutos, para fins de comparação. As demais pontes apresentaram baixo grau de risco, no relatório geral.

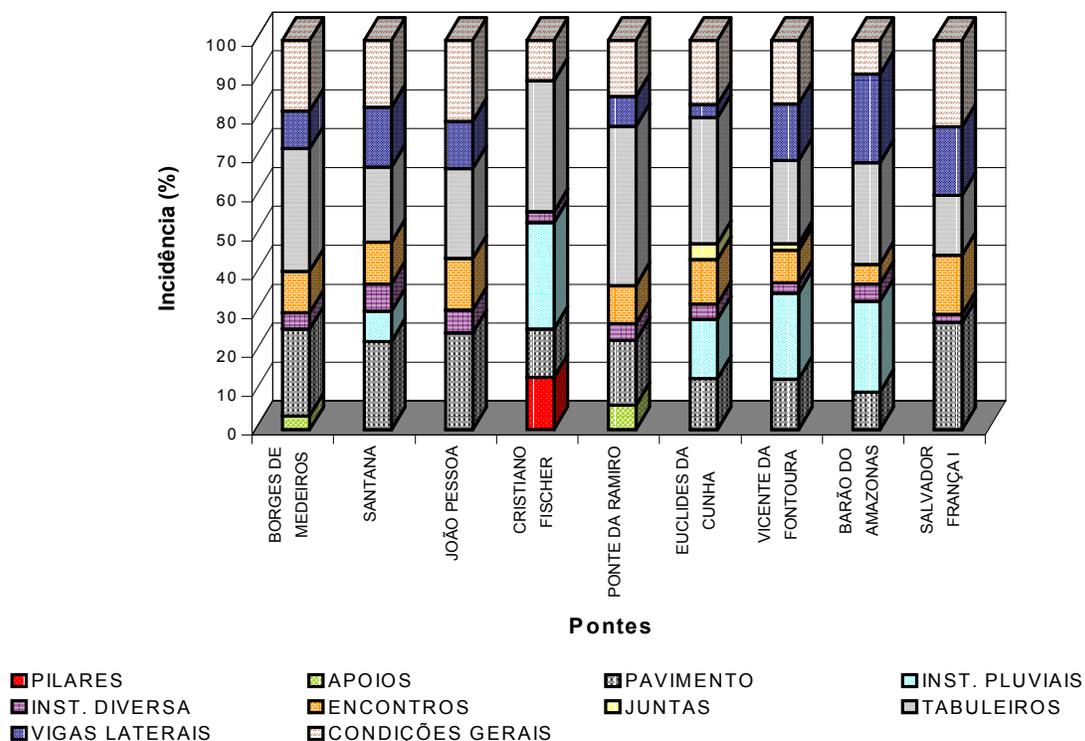


Figura 5.15 Pontes com médio Grau de Risco (GR) *versus* incidência do Grau de Risco da Família de elementos (GRF), ponderado.

Verifica-se nas pontes, da mesma forma que nos viadutos, que um grupo de cinco famílias de elementos são predominantemente responsáveis pela constituição do GR, no conjunto das obras analisadas. As famílias de elementos que constituem este grupo são formadas pelos tabuleiros (28%), pavimentos (18%), condições gerais (16%), vigas laterais (12%), Instalações pluviais (11%), respectivamente.

Pode-se, portanto, construir um gráfico (figura 5.16) que represente a supremacia destas cinco famílias de elementos pela média dos GRF das mesmas famílias, com a finalidade de demonstrar sua contribuição para o GR no conjunto das pontes.

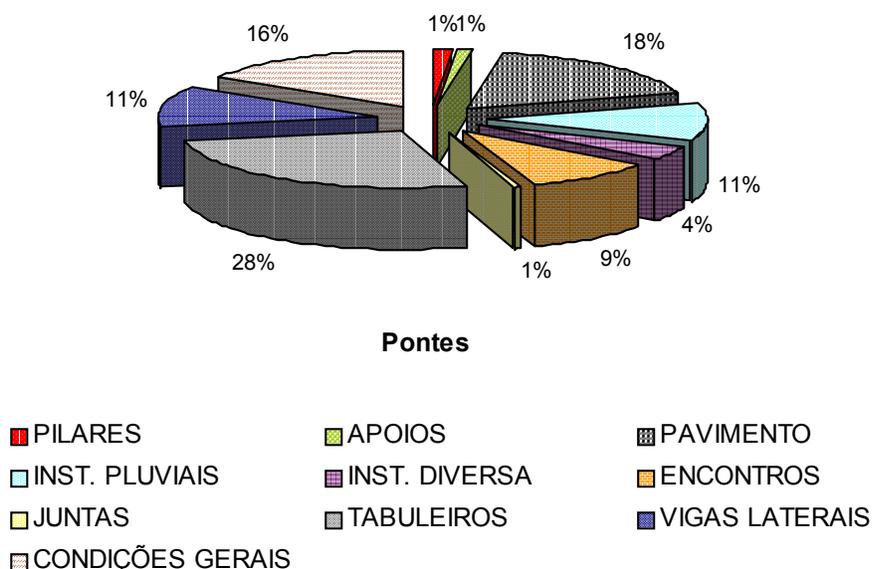


Figura 5.16 Percentual da média do Grau de Risco da Família de elemento (GRF) ponderada em função da contribuição do Grau de Risco das estruturas (GR), para o conjunto das pontes pertencentes ao grupo do médio Grau de Risco GR.

PASSARELAS

No gráfico da figura 5.17 fez-se a comparação do Grau de Risco das Famílias de elementos (GRF) ponderado, para cada obra, com a finalidade de verificar o percentual de incidência de cada família de elementos na contribuição do Grau de Risco da estrutura (GR) de cada passarela. Foram consideradas para análise somente 9 (nove) passarelas, das 12 (doze) vistoriadas. Limitou-se o número de passarelas em função das outras 3 serem construídas em estruturas metálicas e madeira, que não serão abordadas na análise.

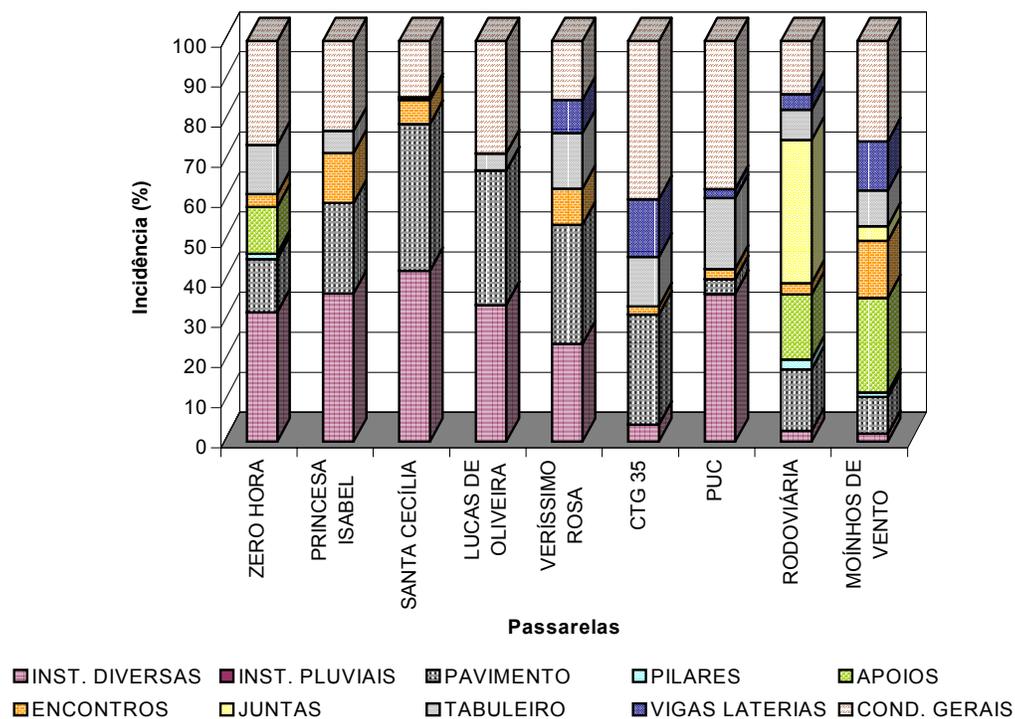


Figura 5.17 Passarelas (GR) *versus* incidência do Grau de Risco da Família de elementos (GRF), ponderado.

Verifica-se nas passarelas, da mesma forma que nos viadutos e pontes, um grupo de cinco famílias de elementos que são predominantemente responsáveis pela constituição do GR, no conjunto das obras analisadas. As famílias de elementos que constituem este grupo são formadas pelas condições gerais (24%), instalações diversas (24%), pavimento (21%), tabuleiros (9%), encontros (6%), respectivamente. Embora a família de encontros e de aparelhos de apoio apresentem aparente empate de 6% no gráfico, foi escolhida a família de encontros para constituir o grupo pela sua ligeira superioridade nos décimos de percentual.

Pode-se, portanto, construir um gráfico (figura 5.18) que represente a supremacia destas cinco famílias de elementos pela média dos GRF das mesmas famílias, com a finalidade de demonstrar sua contribuição para o GR no conjunto das passarelas.

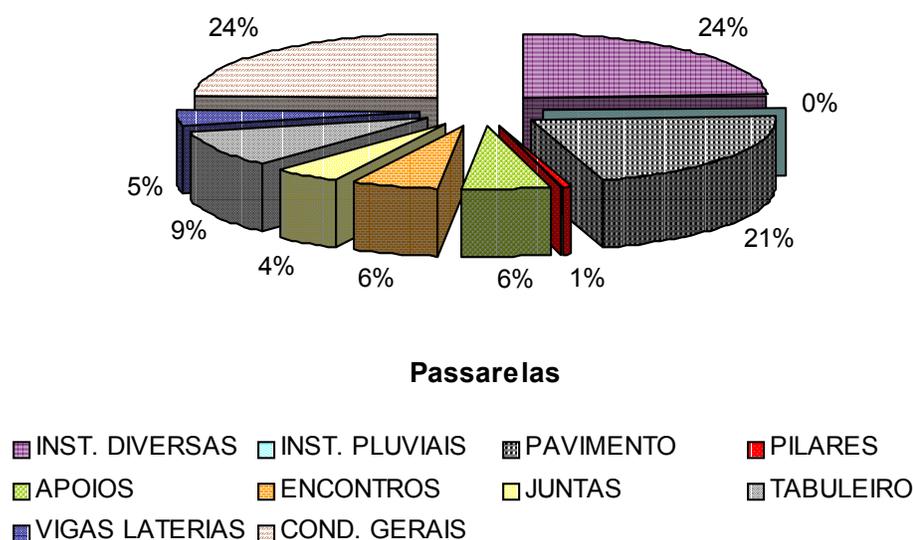


Figura 5.18 Percentual da média do Grau de Risco da Família de elementos (GRF) ponderada em função da contribuição do Grau de Risco das estruturas (GR), para o conjunto das passarelas em concreto.

É importante observar que algumas famílias de elementos são comuns para os viadutos, pontes e passarelas na constituição dos grupos de cinco famílias predominantes na formação do GR. A principal delas é a família de tabuleiros, cujos dados, quando analisados de forma abrangente, para os três tipos de obras, e quando consideradas as planilhas de inspeção estudadas anteriormente, na forma de gráficos de percentual de incidência, reforça as suposições feitas.

Verificou-se nos gráficos anteriores que os problemas patológicos em tabuleiros que predominaram em viadutos, pontes e passarelas foram: pintura, sujeira, umidade, fissuração localizada, lixiviação/carbonatação, desagregação, deformação excessiva, falta de cobrimento, corrosão na forma de descascamento e corrosão na forma de manchas.

Como foi discutido, a fissuração e as trincas possivelmente desencadearam uma seqüência de problemas.

É importante destacar que os tabuleiros de pontes (70%) e de passarelas (100%) apresentaram uma grande incidência de problema de vibração do concreto que, no caso das pontes, pode ter sido responsável por falhas de concretagem na forma de ninhos, ocorridas em 56% dos tabuleiros.

Comentou-se que, no aspecto de durabilidade, pode-se observar que os tabuleiros pertencem à família de elementos estruturais, nos três tipos de obras, com grande percentual de incidências patológicas.

Outra família de elementos que constitui o grupo de cinco predominantes famílias é o conjunto de pavimentos. Comentado anteriormente, observou-se que, em viadutos e pontes, estes elementos, quando mau conservados, representam o agravamento, principalmente dos tabuleiros, pelo efeito da sobrecarga e carga dinâmica.

Um destaque pode ser dado para as juntas, como uma das famílias de elementos constituintes do grupo de maior contribuição para o GR. Nos viadutos, em particular, esta família liderou em grau de contribuição. Em comentários feitos anteriormente, chamou-se a atenção para a maior densidade de juntas dos viadutos, quando comparados às pontes e passarelas. Supôs-se que estes elementos representaram, quando não conservados, um caminho preferencial de infiltração e concentração de umidade, portanto, um ambiente favorável a um elenco de manifestações patológicas, conforme já foi comentado. Nas recomendações do relatório de vistoria dos viadutos, ficou orientado para posteriores projetos, a necessidade de “ minimizar o número de juntas de cada obra, e, quando necessárias, adequá-las para um melhor funcionamento”.

As instalações pluviais apareceram nos viadutos e pontes, como família de elementos contribuintes, por favorecer a infiltração e umidade, tendo conseqüências sérias, segundo comentário acima.

Em decorrência das vistorias realizadas em 1991, o relatório fez diversas recomendações que resultaram na recuperação de 2 (dois) viadutos e intervenção de reparação e substituição de alguns elementos, para outros 3 viadutos. A seguir se abordará o resultado das intervenções dos viadutos recuperados, demonstrando as possíveis melhorias de desempenho nas famílias de elementos mais significativas e apontadas, como partes do grupo que mais contribuiu para a formação do GR destas obras.

5.4 RESULTADOS DAS RECUPERAÇÕES DOS VIADUTOS ELEVADA DA CONCEIÇÃO E OBIRICI

INSTALAÇÕES PLUVIAIS

No gráfico da figura 5.19 apresentam-se as alterações decorrentes das intervenções de recuperação nos viadutos da Elevada da Conceição e Obirici, referente ao número de incidências de problemas patológicos nas instalações pluviais. Os resultados comparativos considerando as vistorias realizadas nos anos de 1991 e 1997.

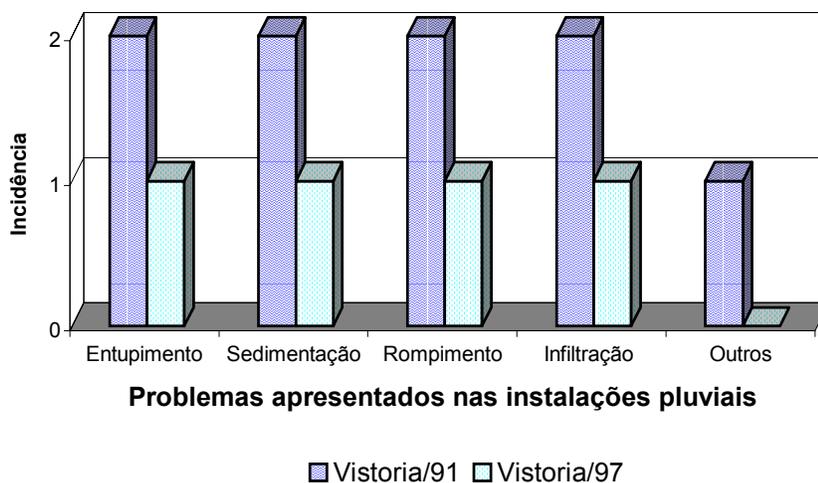


Figura 5.19 Manifestações patológicas nas instalações pluviais *versus* número de incidências nos Viadutos da Elevada da Conceição e Obirici em vistorias de 1991 e 1997.

Verifica-se que, após as intervenções de recuperação dos viadutos, houve uma acentuada melhoria (em torno de 50%), embora, não tenha sido considerado o Fator de Intensidade das manifestações patológicas (FI) e sim, simplesmente o seu número de incidência. Outro fato a se considerar se refere ao viaduto Elevada da

Conceição que não teve melhoria considerável em instalações pluviais, no entanto, o gráfico reflete melhoria devido ao viaduto Obirici ter crescido em 100%.

Observa-se portanto, que existiu uma significativa melhoria nesta família de elementos e refletida no gráfico da figura 5.24, assim como aí foi justificado o fato desta melhoria ter sido parcial (50%).

PAVIMENTOS

No gráfico da figura 5.20 apresentam-se as alterações decorrentes das intervenções de recuperação nos viadutos da Elevada da Conceição e Obirici, referente ao número de incidências de problemas patológicos nas pavimentações. Resultados comparativos em vistorias realizadas nos anos de 1991 e 1997.

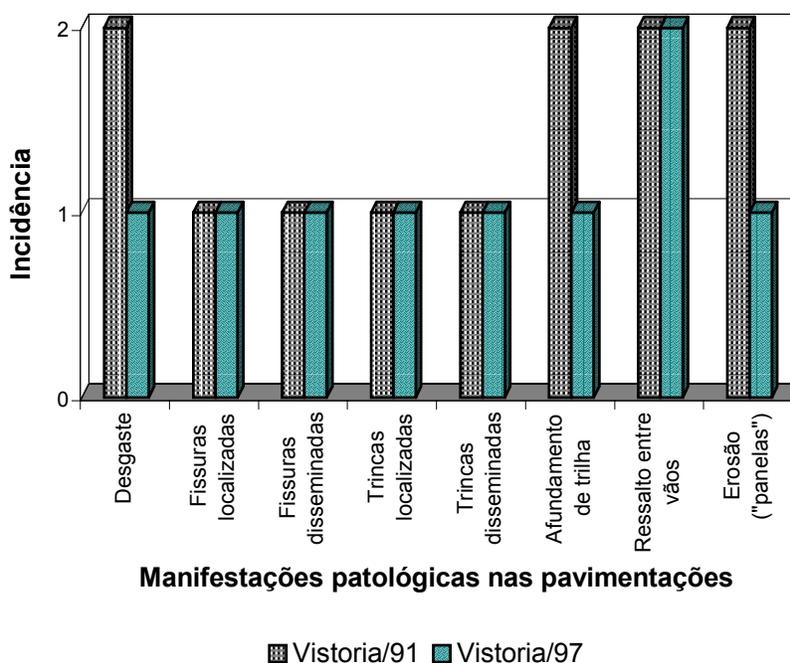


Figura 5.20 Manifestações patológicas nas pavimentações *versus* número de incidências nos Viadutos da Elevada da Conceição e Obirici em vistorias de 1991 e 1997.

Verifica-se que após as intervenções de recuperação dos viadutos, houve uma acentuada melhoria (em torno de 50%) nos problemas patológicos de desgaste, afundamento de trilhas e erosão ("panelas"). Os demais problemas patológicos desta família não apresentaram melhorias, embora, não tenha sido considerado o Fator de Intensidade das manifestações patológicas (FI) e sim, simplesmente o seu número

de incidência. Resultado que proporcionou melhoria para esta família de elementos, retratada no gráfico da figura 5.24.

JUNTAS DE DILATAÇÃO

No gráfico da figura 5.21 apresenta-se as alterações decorrentes das intervenções de recuperação nos viadutos da Elevada da Conceição e Obirici, referente ao número de incidências de problemas patológicos em juntas de dilatação. Resultados comparativos em vistorias realizadas nos anos de 1991 e 1997.

Verifica-se, que após as intervenções de recuperação dos viadutos, houve uma acentuada melhoria nos problemas patológicos de umidade, infiltração, ressaltos, cobrejuntas, e uma moderada melhoria no problema de sujeira. Observa-se a inexistência de cobrejuntas, constatada em quase todas as juntas, sem ter encontrado a causa nos relatórios de 1997 o que pode ser decorrente de um erro de preenchimento das planilhas, já que o campo de “cobrejuntas” na planilha tem três opções: “boas condições”, “ruptura” e “inexistência”, possivelmente deve ter sido interpretado como “ruptura inexistente”. Outra observação é referente aos cantos quebrados que tiveram melhoria de 100%.

Os projetos de recuperação destas obras indicaram, para recuperar o cantos de juntas, a utilização da adição de sílica ativa numa proporção de 10% em massa do cimento ARI no concreto de alta resistência $f_{c28} \geq 50$ Mpa e uma relação $a/c = 0,36$. O que, possivelmente, tenha sido uma fator relevante nos resultados.

O gráfico da figura 5.24 demonstra que a família de juntas correspondeu à família com melhor desempenho, após a recuperação das obras que sofreram algum tipo de intervenção. Sendo assim pode-se afirmar que a solução proposta para a recuperação de juntas é bastante adequada e possivelmente proporcionou a melhoria significativa do estado geral das obras-de-arte recuperadas.

A melhoria significativa de problemas como ressaltos e cantos quebrados foi resultado direto do bom desempenho da recuperação de juntas. São juntas que têm resistido mais ao tempo e diminuiu bastante a necessidade de manutenção nestas obras, conforme parecer do setor de conservação,

Na incidência de problemas patológicos não foi considerado o Fator de Intensidade das manifestações patológicas (FI) e sim, simplesmente o seu número de incidência.

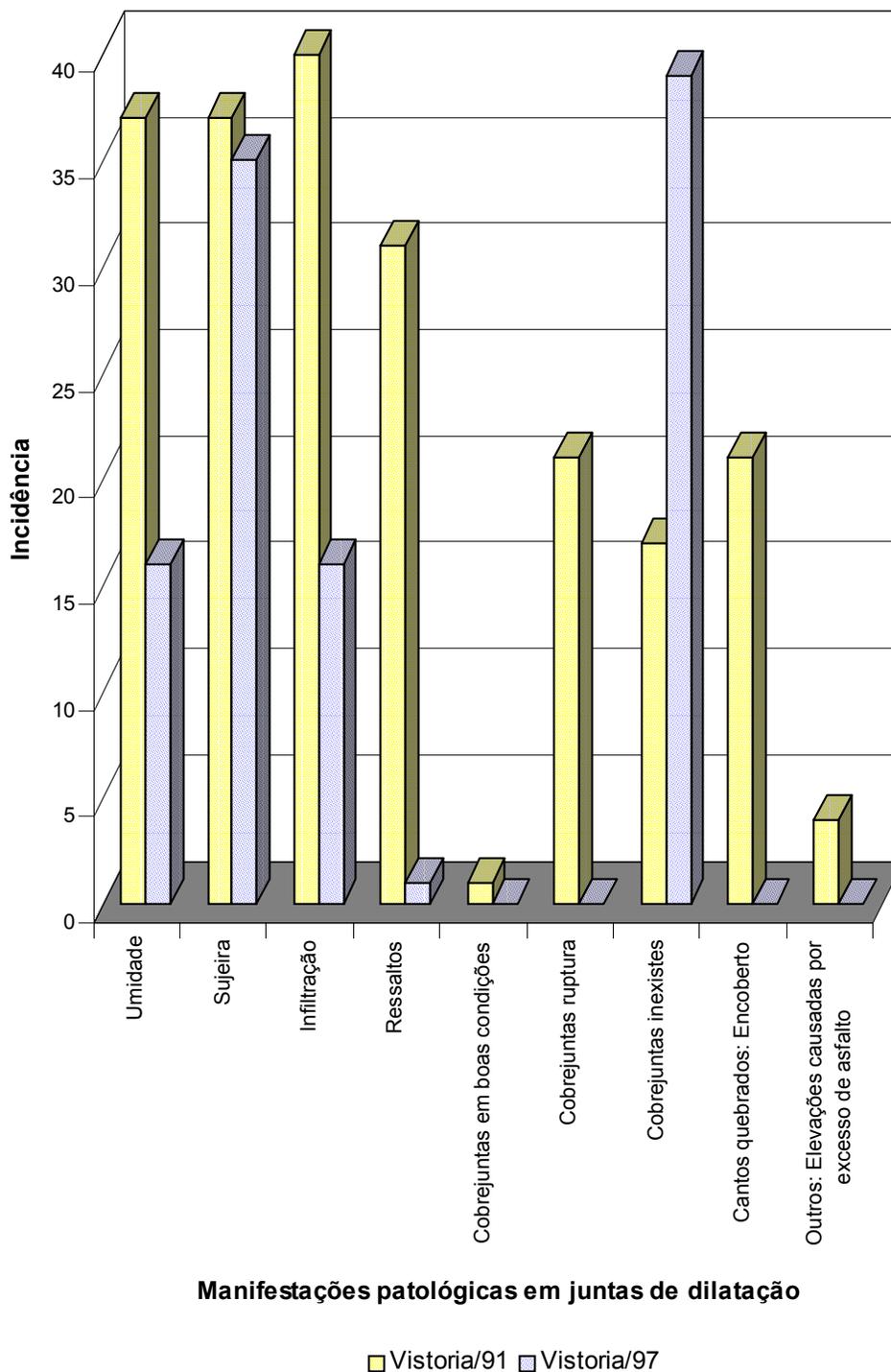


Figura 5.21 Manifestações patológicas em juntas de dilatação *versus* número de incidências nos Viadutos da Elevada da Conceição e Obirici em vistorias de 1991 e 1997.

APARELHOS DE APOIO

No gráfico da figura 5.22 apresenta-se as alterações decorrentes das intervenções de recuperação nos viadutos da Elevada da Conceição e Obirici, referente ao número de incidências de problemas patológicos em aparelhos de apoio. Resultados comparativos em vistorias realizadas nos anos de 1991 e 1997.

Observa-se que as manifestações patológicas nas famílias de aparelhos de apoio apresentaram melhoria de 60% na drenagem, 40% na limpeza, 90% em bloqueios e 80% em esmagamento.

O gráfico da figura 5.24 demonstra que nem todas as obras recuperadas sofreram intervenção nesta família de elementos e, no caso destes dois viadutos, apresentou uma significativa melhoria embora, levanta a suposição que esta família de elementos se degrada mais rapidamente, comparada às demais, o que sugere uma frequência de manutenção diferenciada, assim como, uma frequência de vistoria de no máximo 2 anos, considerando os 5 anos decorrentes (92 a 96), o que foi um período demasiadamente longo. O que demonstra o estado já de degradação das obras, após este período.

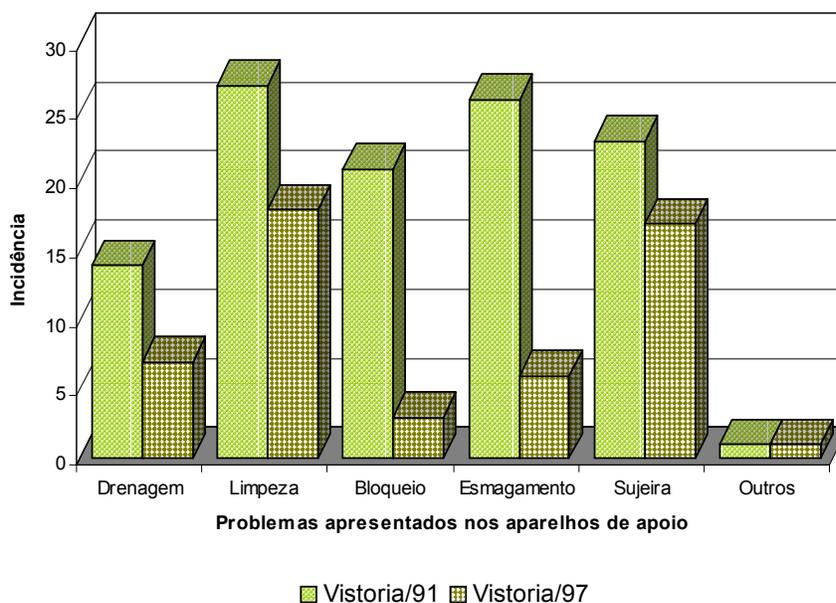


Figura 5.22 Manifestações patológicas em aparelhos de apoio *versus* número de incidências nos Viadutos da Elevada da Conceição e Obirici em vistorias de 1991 e 1997.

ESTRUTURAS DE TABULEIROS

No gráfico da figura 5.23 apresenta-se as alterações decorrentes das intervenções de recuperação nos viadutos da Elevada da Conceição e Obirici, referente ao número de incidências de problemas patológicos em estruturas de tabuleiros. Resultados comparativos em vistorias realizadas nos anos de 1991 e 1997.

Observa-se que os problemas patológicos nas famílias de estruturas de tabuleiros apresentaram melhorias de 25% em pinturas, 40% em sujeiras, 27% em umidade, 100% em rupturas, 100% em falhas de concretagem por segregação, 60% em falhas de concretagem por ninhos, 53% em fissuras disseminadas, 16% em fissuras localizadas, 47% em trincas localizadas, 100% em desagregação, 30% em deformação excessiva, 100% em corrosão e uma piora de 10% em falta de cobertura.

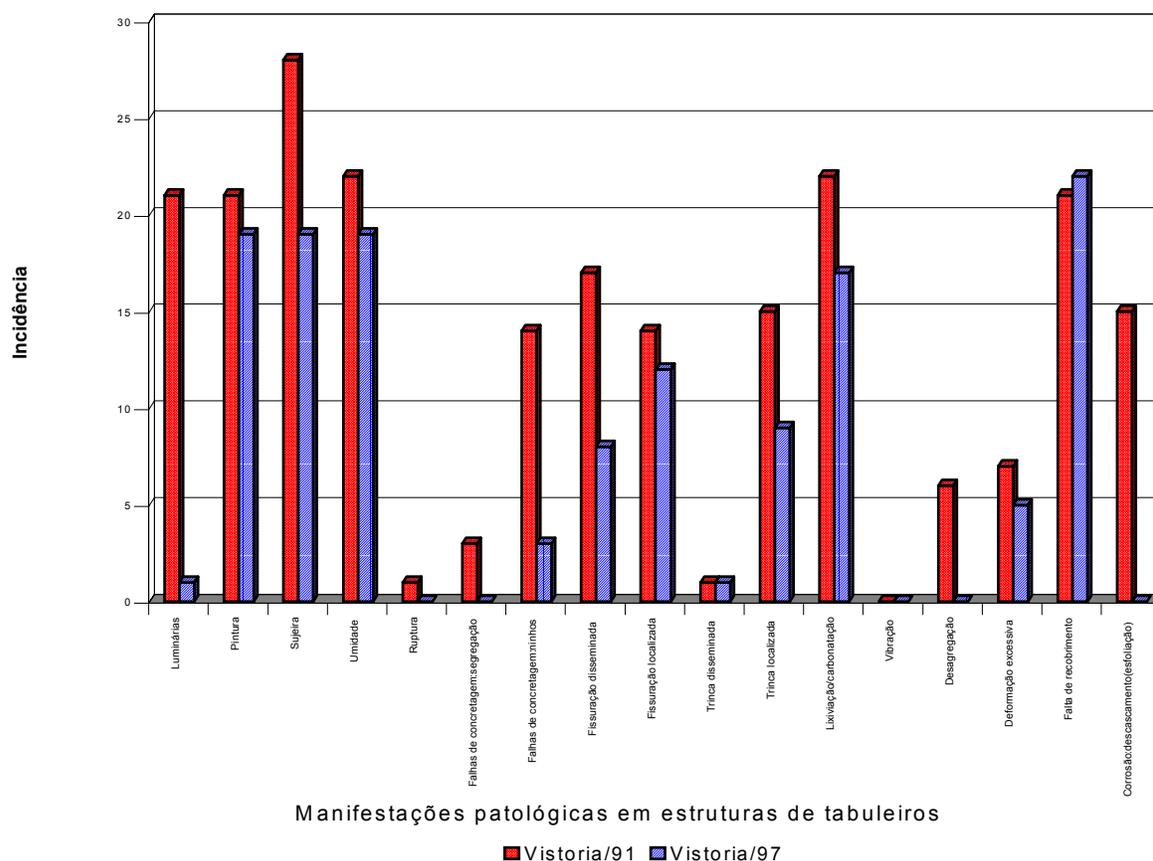


Figura 5.23 Manifestações patológicas em estruturas de tabuleiro *versus* número de incidências nos Viadutos da Elevada da Conceição e Obirici em vistorias de 1991 e 1997.

5.5 ESTUDO DO GR PARA OS CINCO VIADUTOS QUE SOFRERAM INTERVENÇÃO

Os viadutos que sofreram algum tipo de intervenção tiveram suas condições gerais melhoradas representadas através das famílias de elementos no gráfico da figura 5.24, que compõem o grupo de 5 famílias que mais contribuíram para o GR de cada uma das obras.

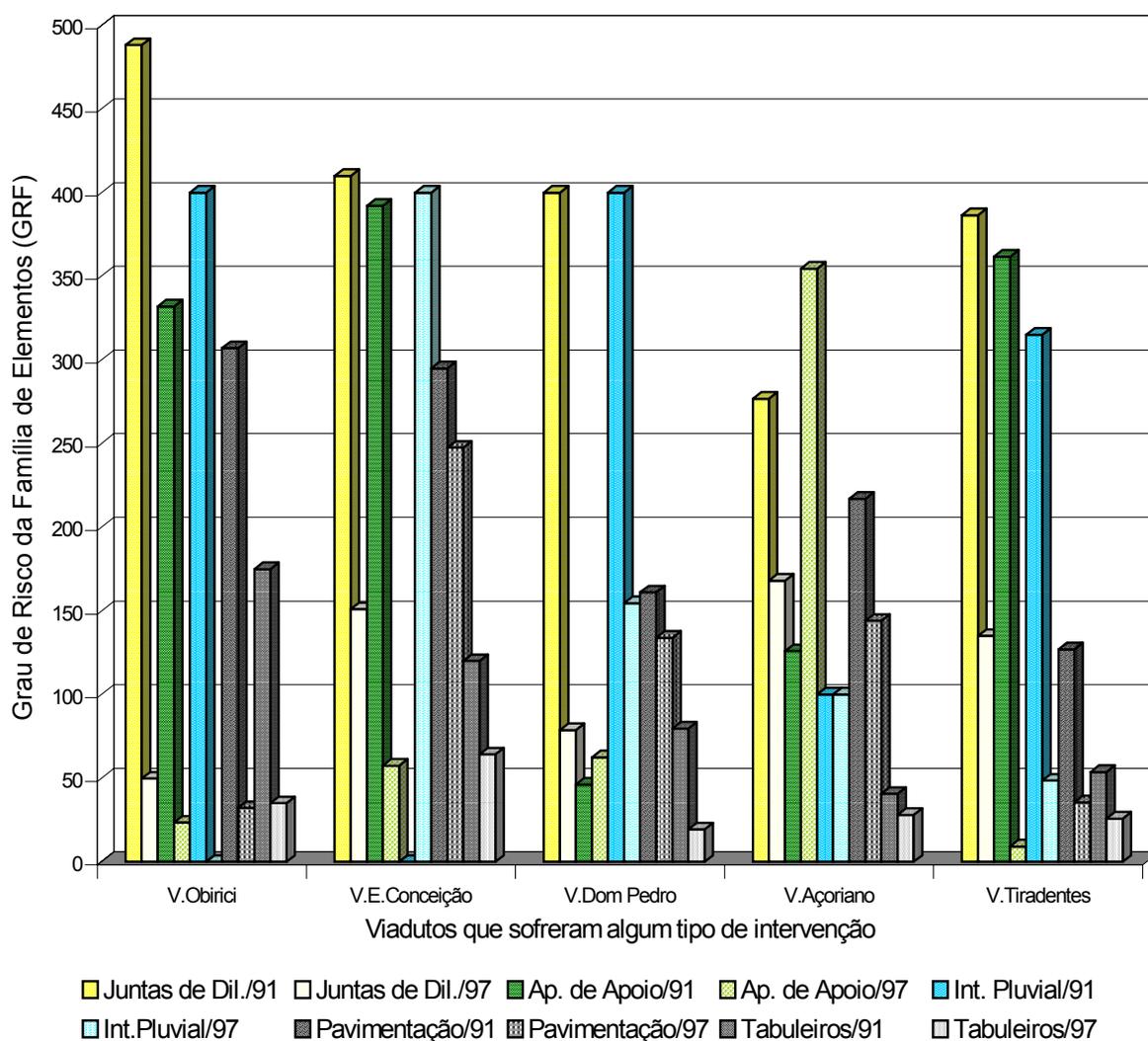


Figura 5.24 Viadutos que sofreram algum tipo de intervenção *versus* grau de risco da Família de elementos (GRF).

Verifica-se que o Viaduto Obirici apresentou acentuada melhoria em todas as famílias de elementos identificadas no gráfico da figura 5.24.

Observa-se ainda que o Viaduto da Elevada da Conceição não apresentou melhoria na família de elementos de instalações pluviais. O relatório de 1991 informa que a operação de recuperação das instalações pluviais estavam em andamento no referido ano. Em consultas o eng. Waichel, que também assina o relatório, obteve-se a informação da conclusão destas obras, no entanto, afirma que o sistema reconstruído comprovou não ser uma solução apropriada que, possivelmente, não eliminou os problemas patológicos de origem.

O Viaduto dos Açorianos piorou consideravelmente a família de aparelhos de apoio que, pode ter sido decorrente da melhora insuficiente da família de juntas de dilatação. A família de juntas do viaduto dos açorianos apresentou poucas melhorias quando comparada aos demais viadutos do gráfico acima. A causa da deterioração dos aparelhos de apoio foi atribuída às infiltrações através das juntas de dilatação pelo relatório de 1991, quando das atividades propostas em caráter prioritário de recuperação das juntas.

No Viaduto Dom Pedro I a situação das juntas e aparelhos de apoio se repete, porém, em menor grau. A família de juntas teve uma considerável melhoria que refletiu-se numa piora pouco significativa da família de aparelhos de apoio.

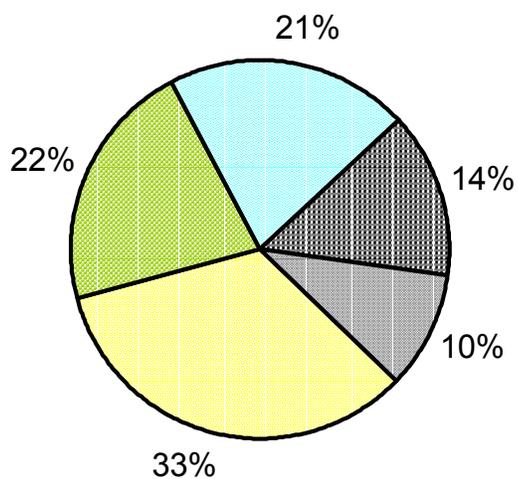
O relatório mencionado não propõem a atividade de recuperação dos aparelhos de apoio para os viadutos dos Açorianos e Dom Pedro I.

O Viaduto Tiradentes teve um bom desempenho em todas as famílias de elementos do gráfico acima.

O resultado do desempenho da família de elementos de pavimentos demonstra que o asfalto se degrada rapidamente, o que levanta a hipótese do material ser de má qualidade, assim com, sugere um estudo criterioso na utilização de outros materiais para este fim, placas de concreto por exemplo.

Quando compara-se as cinco famílias de elementos que mais contribuíram para a formação do GR, de forma ponderada, pela média dos viadutos que sofreram algum tipo de intervenção, pode-se observar no gráfico 5.25 e o gráfico 5.26 a alteração da contribuição deste conjunto de famílias para a formação do GR do conjunto destes cinco viadutos, entre as vistorias de 1991 e 1997.

Viadutos



■ Juntas/91 ■ Aparelho de ap/91 ■ Pluvial/91 ■ Pavimento/91 ■ Tabuleiro/91

Figura 5.25 Contribuição média das famílias que mais representaram para o GR em função do conjunto do Viaduto Obirici, Elevada da Conceição, Dom Pedro I, dos Açorianos e Tiradentes que sofreram algum tipo de intervenção, relatório de 1991.

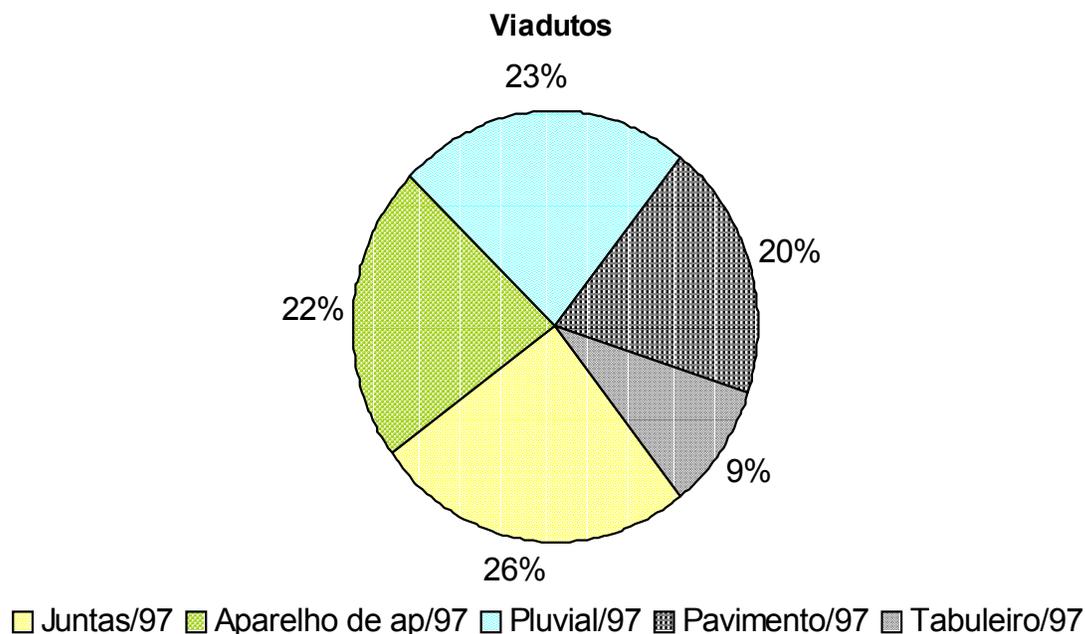


Figura 5.26 Contribuição média das famílias que mais representaram para o GR em função do conjunto do Viaduto Obirici, Elevada da Conceição, Dom Pedro I, Açorianos, Tiradentes que sofreram algum tipo de intervenção, relatório de 1997.

Fazendo-se a comparação do GR entre todos os viadutos vistoriados em 1991 e 1997 no gráfico da figura 5.27, observa-se que somente o Viaduto dos Açorianos, dos que sofreram algum tipo de intervenção, piorou o GR. Os demais viadutos vistoriados, que não sofreu nenhum tipo de intervenção, pioraram o GR.

A discrepância ocorrida no Viaduto dos Açorianos se deve ao agravamento da família de elementos de aparelhos de apoio que se acentuou, possivelmente, em função de não ter sido recuperada durante a intervenção, conforme vimos anteriormente.

O estado geral das obras-de-arte apresentado pela comparação dos respectivos GR's no gráfico da figura 5.27 demonstra que diante de procedimentos de manutenção e, principalmente, considerando como prioridade as principais famílias responsáveis por desencadear um conjunto de manifestações patológicas, as obras recuperam a condições de uso com níveis menores de manutenção conseqüentemente. De 5 obras que sofreram algum tipo de intervenção entres as vistoria de 1991 e 1997, 4 delas apresentaram diminuição expressiva no

seus respectivos GR's, apenas uma teve um ligeiro aumento deste grau, justificado pela falta de manutenção em uma das família de elementos de grande importância. Já as demais obras que não sofreram nenhum tipo de intervenção tiveram aumentos significativos em seus respectivos GR's. O que comprava a importância da manutenção para a conservação destas obras.

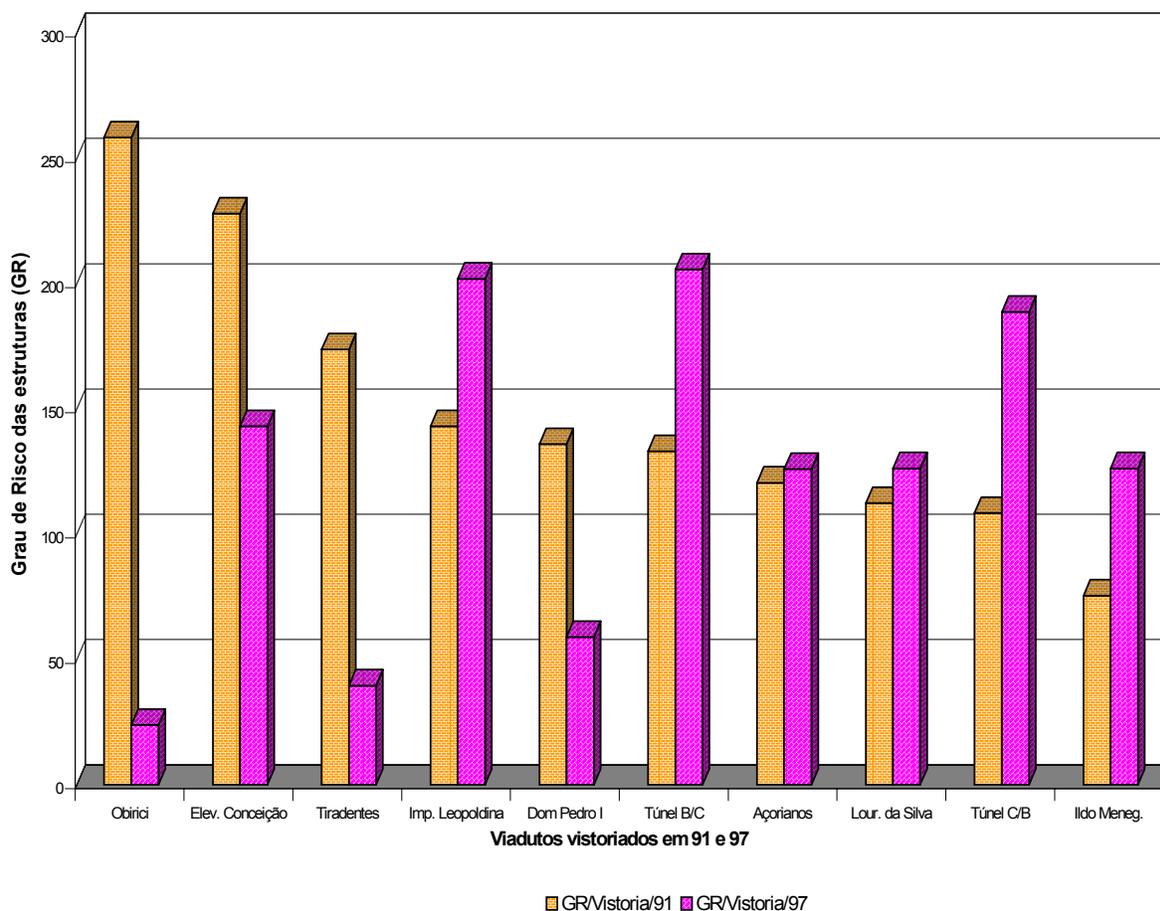


Figura 5.27 Viadutos vistoriados em 1991 e 1997 versus Grau de Risco das estruturas (GR).

A classificação das obras foram dadas pelos limites do Grau de Risco (GR), estipulados nos relatórios, conforme segue:

Tabela 5.1 Classificação do GR.

Grau de Risco (GR) Classificação	Variação do GR
BAIXO	0 – 100
MÉDIO	100 – 200
ALTO	200 – 300
CRÍTICO	> 300

Foram analisados 11(onze) viadutos vistoriados, correspondentes às obras-de-arte, conforme tabela 5.2.

Tabela 5.2 Classificação dos viadutos, relatório de vistoria de 1991.

OBRAS-DE-ARTE	EXTENSÃO(m)	GR	CLASSIFICAÇÃO	%
Viaduto Obirici	380	258	Alto	18,2
Elevada da Conceição	761	228	Risco	
Viaduto Tiradentes	165	173		
Viaduto Imperatriz D. Leopoldina	213	143		
Viaduto D. Pedro I	135	135		
Túnel da Conceição B	250	133	Médio	72,8
Viaduto Otávio Rocha	40	132		
Viaduto Açorianos	202	120	Risco	
Viaduto Loureiro da Silva	59	112		
Túnel da Conceição A	150	108		
Viaduto Ildo Meneghetti	26	75	baixo risco	9,0

Conclusões da vistoria de 1991:

O exame dos dados constantes no relatório permite as seguintes conclusões:

- apresentam-se em "Alto Grau de Risco" 18,2% das obras vistoriadas;
- com "Médio Grau de Risco" 72.8% das obras vistoriadas;

- apresentam “Baixo Grau de Risco” 9% das obras vistoriadas;
- os aparelhos de apoio apresentam-se com 50% em estado crítico e/ou de alto risco, 80% das juntas, 45% das instalações pluviais e 36% dos pavimentos encontram-se na mesma situação;
- os elementos pilares, tabuleiros, encontros e instalações diversas apresentam-se em sua totalidade classificados com médio e baixo risco.

Foram analisados 10 (dez) viadutos vistoriados, correspondentes às obras-de-arte, conforme tabela 5.3.

Tabela 5.3 Classificação dos viadutos, relatório de vistoria de 1997.

OBRAS-DE-ARTE	EXTENSÃO(m)	GR	CLASSIFICAÇÃO	%
Túnel da Conceição B	250	206		
Viaduto Imperatriz			Alto	20
D. Leopoldina	213	202	Risco	
Túnel da Conceição A	150	189		
Elevada da Conceição	765	143		
Viaduto Ildo Meneghetti	26	126	Médio	50
Viaduto Açorianos	202	126	Risco	
Viaduto Loureiro da Silva	59	126		
Viaduto D. Pedro I	135	59		
Viaduto Tiradentes	165	40	Baixo	30
Viaduto Obirici	380	24	Risco	

O Viaduto Otávio Rocha não fez parte da análise, por não ter sido encontrado seu relatório individual de 1997.

Foram analisadas 23 pontes vistoriadas, correspondentes às obras-de-arte, conforme tabela 5.4.

Tabela 5.4 Classificação das pontes, relatório de vistoria de 1993.

PONTES	GR	CLASSIFICAÇÃO	%	
Av. Borges de Medeiros	159,92	MÉDIO	39,10	
Rua Santana	137,95			
Av. João Pessoa	135,65			
Rua Cristiano Fischer	126,46			
Rua Ramiro Barcelos	125,11	RISCO		
Rua Euclides da Cunha	118,77			
Rua Vicente da Fontoura	111,09			
Rua Barão do Amazonas	105,60			
Rua Salvador França I	104,14			
Av. Azenha	92,40			
Av. Antônio de Carvalho	91,98			
Arroio Feijó	75,18			
Rua Silva Só I	68,81			
Rua Salvador França II	62,14			
Av. Getúlio Vargas	59,59			
Capitão Coelho (Ilha Pintada)	57,00			
Av. Edvaldo Pereira Paiva	53,53			60,90
Av. Sertório	45,24			
Av. Érico Veríssimo II	45,00			
Rua Silva Só II	44,00			
Av. Érico Veríssimo I	40,63			
Av. Praia de Belas	40,00			
CEEE	20,36			

Conclusões da vistoria de 1993:

O exame dos dados constantes deste relatório permite as seguintes conclusões:

- com “médio grau de risco” encontram-se 39,1% das obras vistoriadas;
- apresentam “baixo grau de risco” 60,9% das obras vistoriadas.

Foram analisadas ainda 12 (doze) passarelas vistoriadas, correspondentes às obras-de-arte, conforme tabela 5.5.

Valores dos GR de todas as passarelas:

Tabela 5.5 Classificação das passarelas, relatório de vistoria de 1993.

PASSARELAS	GRAU DE RISCO - GR
CEEE	90,25
SIMPALA	80,04
RODOVIÁRIA	78,37
LUCAS DE OLIVEIRA	69,82
VERÍSSIMO ROSA	66,78
PRINCESA ISABEL	57,41
C.T.G. 35	55,72
CARRIS – ALBION	50,00
SANTA CECÍLIA	45,22
PUC	37,66
PARCÃO	35,56
ZERO HORA	35,70

A leitura das condições gerais das obras-de-arte, segundo o Grau de Risco (GR), vistoriadas nos anos de 1991 (viadutos) e 1993 (pontes e passarelas), podem ser visualizadas no gráfico 5.28 (viadutos), gráfico 5.30 (pontes), gráfico 5.31 (passarelas). Uma segunda vistoria para os viadutos foi realizada no ano de 1997, onde pode-se comparar o gráfico 5.29 de 1997 com o gráfico 5.28 de 1991, visualizando a alteração ocorrida em 10 viadutos.

Observa-se que o estado de conservação das obras descreve uma tendência ao alto grau de risco, encontrando seus pontos críticos no mapa através dos viadutos Imperatriz Leopoldina, Tiradentes, Elevada da Conceição e Obirici. Sendo que estes dois últimos já enquadrados no alto grau de risco entraram para as prioridades de recuperação. Os demais tiveram recomendações de intervenções parciais, em algumas famílias de elementos, como aparelhos de apoio, juntas de dilatação, instalações pluviais e pavimentações. Os viadutos dos Açorianos e Dom Pedro I, assim como o Tiradentes sofreram algum tipo de intervenção, o que resultou na mudança do mapa para a segunda vistoria.

VIADUTOS – VISTORIA 1991

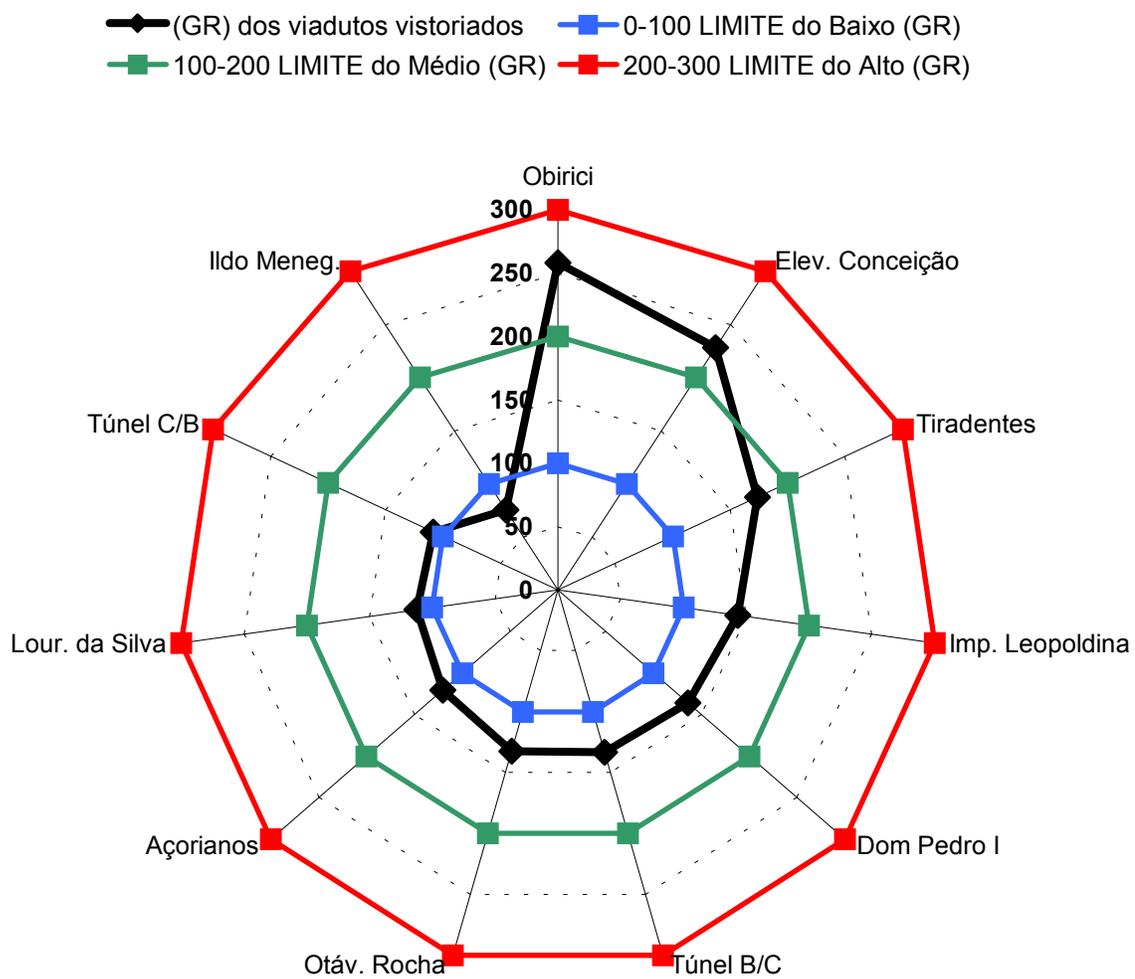


Figura 5.28 Influência da classificação dos viadutos, segundo o GR, vistoria 91.

VIADUTOS – VISTORIA 1997

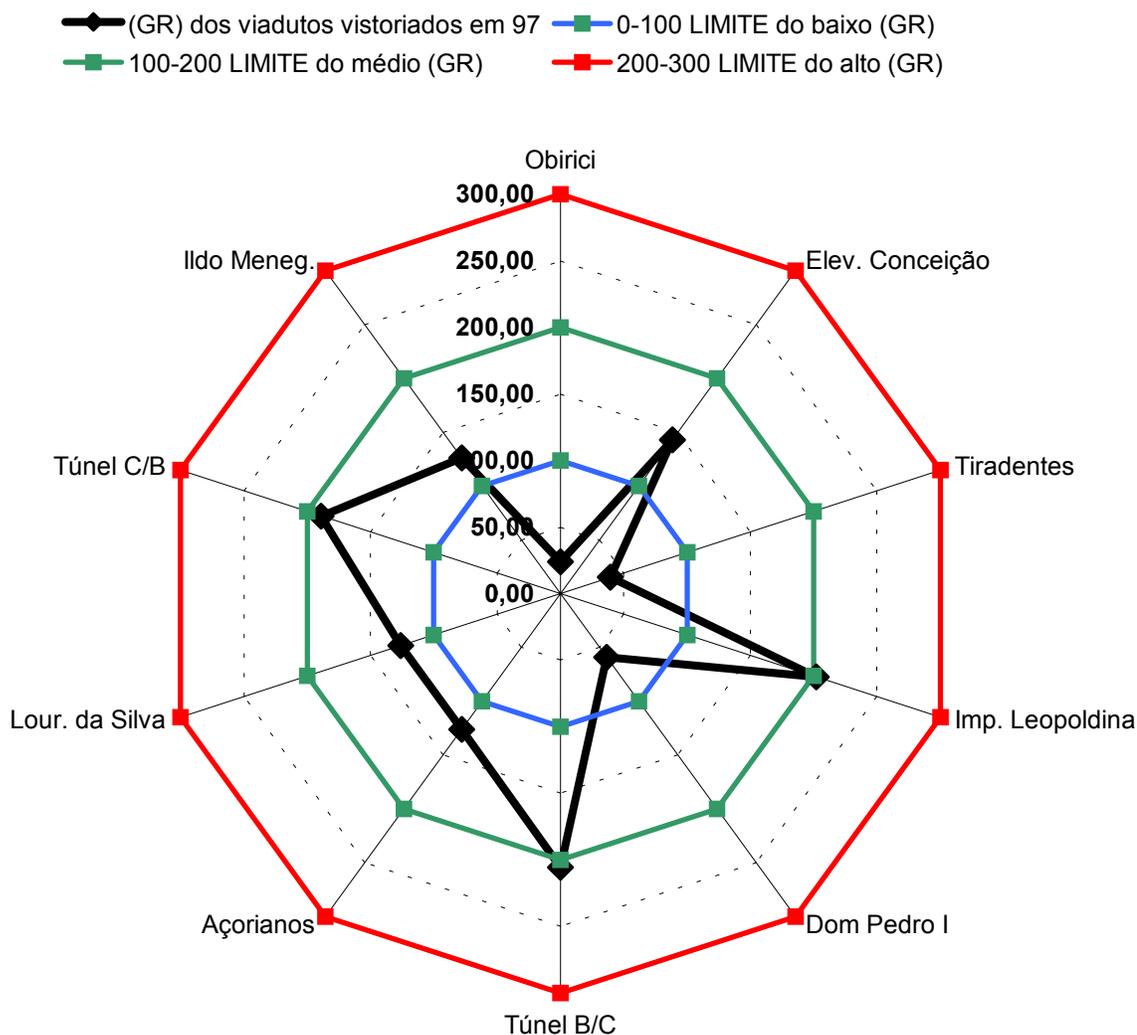


Figura 5.29 Influência da classificação dos viadutos, segundo o GR, vistoria 97.

O mapa para a segunda vistoria demonstra uma tendência dos viadutos que foram recuperados, caírem para os limites de baixo e médio grau de risco. Já os demais viadutos que sofreram algum tipo de intervenção, tiveram melhorias consideráveis com uma tendência de se localizarem no baixo grau de risco, a exceção do viaduto dos Açorianos.

Os viadutos Imperatriz Leopoldina e Túneis sentido bairro e sentido centro apresentaram pioras significativas. A recuperação do primeiro se encontra em processo licitatório e a dos túneis em fase de projeto.

PONTES – VISTORIA 1993

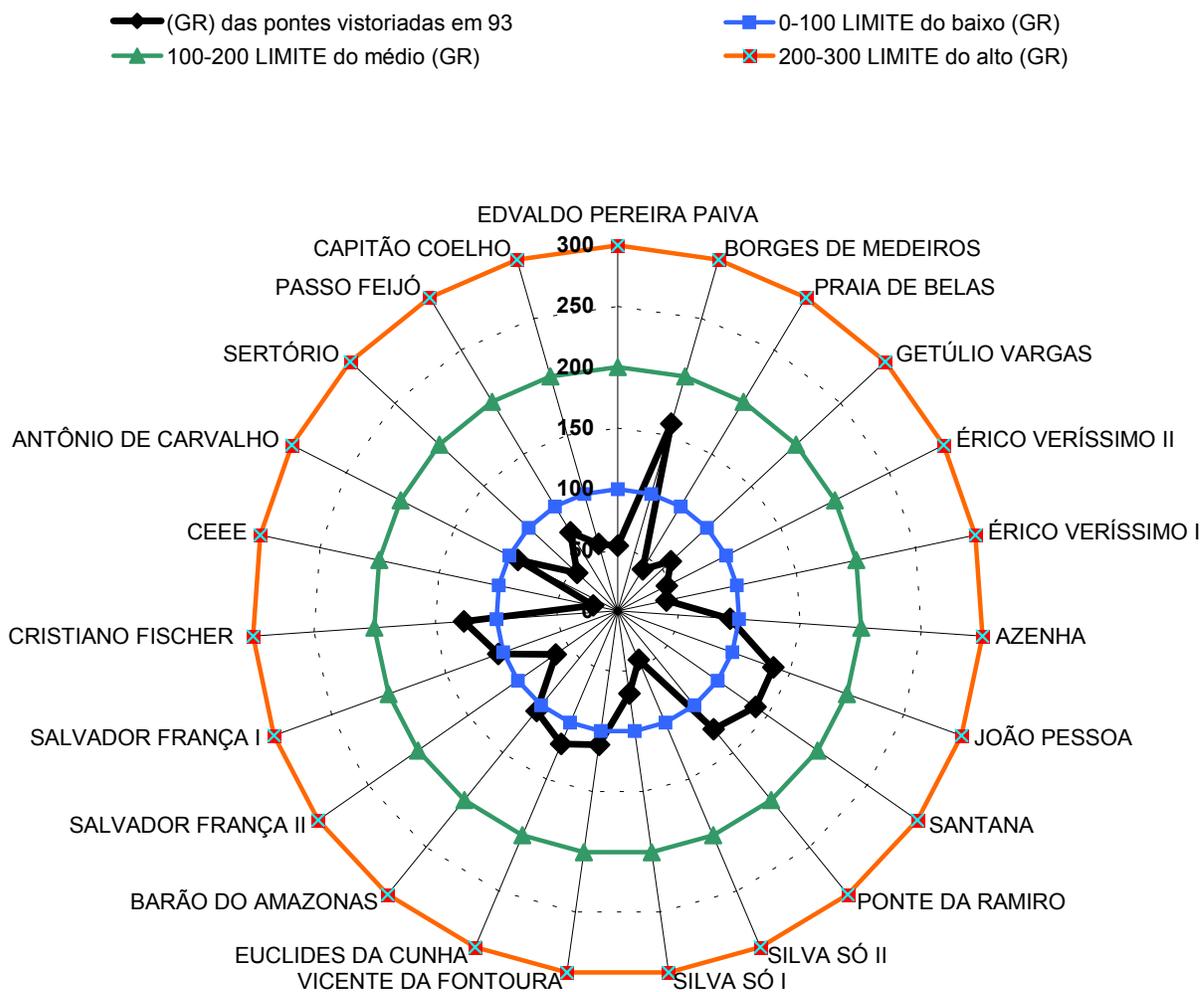


Figura 5.30 Influência da classificação das pontes, segundo o GR, vistoria 93.

O mapa das pontes apresenta um estado de conservação bem melhor que o dos viadutos. Possivelmente por serem estruturas de menor porte e menor volume de fluxo. A atenção maior deve estar voltada para as pontes Borges de Medeiros, João Pessoa, Santana, Ramiro e Cristiano Fischer.

PASSARELAS – VISTORIA 1993

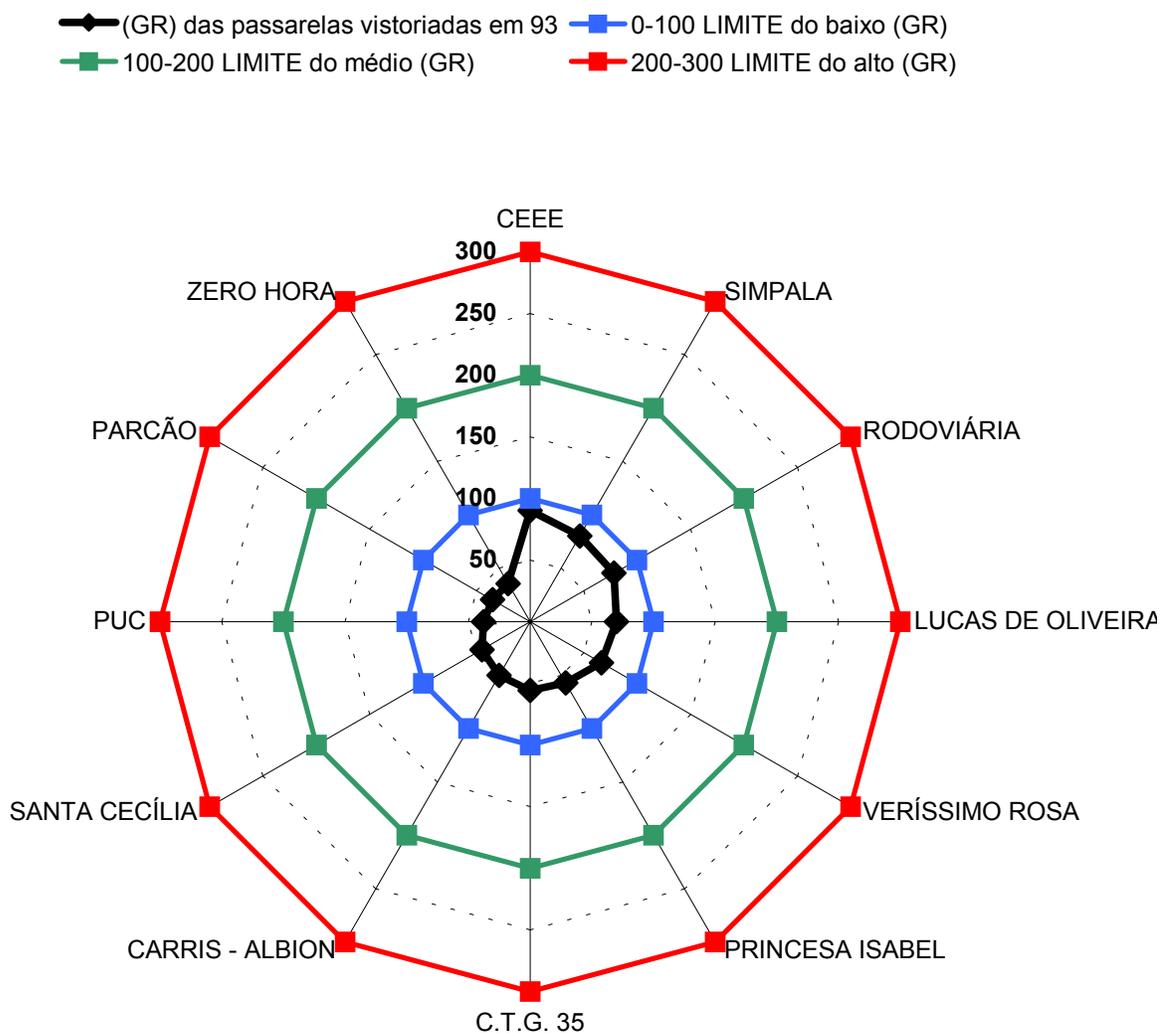


Figura 5.31 Influência da classificação das passarelas, segundo o GR, vistoria 93.

O mapa das passarelas demonstra um estado de conservação satisfatório que não traz preocupação para a municipalidade pois todas as obras estão localizadas no baixo grau de risco. Situação que permite priorizar a manutenção dos viaduto e algumas pontes, embora, isto sirva somente para o quadro atual onde os recursos não permitem uma intervenção global. Mesmo assim este estado não libera a obrigatoriedade das vistorias rotineiras.

CAPÍTULO 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As obras-de-arte das grandes cidades adquirem a importância de grandes equipamentos urbanos ao se tornarem indispensáveis para a sua vida cotidiana.

Como foi discutido no capítulo 1 elas são responsáveis por garantir o fluxo intenso de veículos, promovendo a facilidade de escoamento em pontos críticos do sistema viário das cidades, representados por cruzamentos, sobreposição de vias, acidente geográficos e encurtamento de caminhos.

A cidade de Porto Alegre, pode-se dizer, não se viabilizaria sem a construção de grande parte de seus viadutos, pontes e passarelas. A cidade sofre do agravante de seu centro ser seccionado pela lagoa do Guaíba e por não existir uma sistema de transporte fluvial coletivo que se utilize das possibilidades de escoamento pelas águas, aliviando, em parte, o sistema viário. O transporte metroviário tem sido uma solução adotada pela maioria das cidades que se aproximam do porte de Porto Alegre, embora seja uma solução que multiplica as obras-de-arte, portanto, uma solução cara que exige bem mais da administração pública em estar preparada para a conservação destas obras desde a sua concepção.

Porto Alegre é uma cidade que, pelas suas características, se obriga a conservar com mais rigor suas obras-de-arte. Seus administradores obrigatoriamente, devem prever nos orçamentos anuais verbas para a manutenção preventiva destas obras, para que sejam evitados gastos desnecessários nas manutenções corretivas e de emergência. Uma tomada de decisão deve ser movida pelo compromisso com a população e em respeito a ela, quando considerados os recursos e o transtorno envolvidos numa necessidade de intervenção por dano de risco destas obras.

Torna-se imprescindível desenvolver vistorias sistemáticas para se ter um controle confiável do estado de conservação e segurança destas obras, assim como critérios de durabilidade, de fácil inspeção e manutenção cada vez mais eficazes para servir de parâmetros de projetos, para as novas obras.

Em torno de 70% das obras-de-arte do município estão em uma faixa de idade entre 20 e 30 anos. Este é um dado que acentua a responsabilidade de se criar um plano de manutenção e que não se reduza ao planejamento, mas sim, alcance uma posição de importância nas prioridades do orçamento público e dê continuidade ao

envolvimento da sociedade científica e técnica nas vistorias e projetos. Considerando a vida útil destas obras em aproximadamente 50 anos, pode-se afirmar que 70% delas estão passando de sua idade média, sem sofrer nenhum tipo de manutenção ou conservação.

Quando se trata de custos, considerando a regra de SITTER, pode-se afirmar como sendo obras que, na sua maioria, estão na fase da iminência de manutenção corretiva, o que significa dizer que o custo de intervenção, definido pela referida regra, ficaria em torno de 125 vezes o custo das medidas que poderiam e deveriam ter sido tomadas na fase de projeto. No entanto, se proceder a manutenção preventiva, pode ser gasto 5 vezes menos do que aguardar as estruturas apresentarem problemas patológicos evidentes que requeiram uma manutenção corretiva.

Nos últimos dez anos foram tomadas algumas medidas inéditas na história de preservação das obras-de-arte pelo município de Porto Alegre, medidas que representaram uma tomada de decisão importante no que se refere à vistoria especial, onde se aprofundou o cadastramento de todas as obras, levantaram-se dados específicos em planilhas de inspeção, classificaram-se as obras segundo seus respectivos graus de riscos, apontaram-se obras prioritárias para sua recuperação, desenvolveram-se projetos de recuperação de algumas delas e definiu um método de vistoria e avaliação.

Porto Alegre é uma das capitais com menores índices de problemas em obras-de-arte, cujas estruturas estão em melhores estado de conservação.

O trabalho de vistoria permitiu que fosse feito um levantamento completo das obras-de-arte, permitiu determinar quais as obras que necessitavam ser recuperadas através de seu grau de risco, permitiu apontar os elementos a serem reparados, substituídos ou recuperados, em cada obra, através do grau de risco da família de elementos, assim como sua prioridade de intervenção, e permitiu sistematizar os dados planilhados para que fosse possível, através desta dissertação, comparar, analisar e formular estes dados para levantar algumas suposições no que tange às causas e às decorrências das manifestações patológicas de ocorrência.

Na seqüência, são descritas as principais conclusões desta pesquisa e feitas sugestões para futuros trabalhos.

6.1 CONCLUSÕES

A caracterização das obras-de-arte mostrou que os viadutos apresentam em 78% de seu total largura de pista num intervalo de 10 a 20m e 67% destas obras com 2 pistas. As pontes, por sua vez, apresentam 46% de suas pistas com larguras variando de 10 a 30m. As passarelas, em sua totalidade, possuem pistas com larguras em um intervalo de 0 a 10m.

Quanto à idade, pode-se observar que 78% dos viadutos estão numa faixa de 20 a 30 anos sem nenhuma conservação, onde as condições gerais de ajardinamento, pintura, assentamentos irregulares e excesso de sujeira apresentam problemas em 99% destas obras. As pontes apresentam idade de 20 a 30 anos numa incidência de 34% das 12 obras que tiveram registro e, nas condições gerais, apresentam problemas em 99% de sua totalidade. As passarelas apresentam problemas nas condições gerais em 98%.

Quanto à extensão, os viadutos apresentam comprimentos que variam de 100 a 300m em 67% de sua totalidade. Já 83% das pontes apresentam comprimentos que variam de 20 a 40m.

Na comparação das incidências das manifestações patológicas os viadutos, de modo geral, apresentaram entupimento e sedimentação em todas as obras, uma alta incidência em rompimento e infiltração das instalações pluviais. O resultado da análise apresenta um quadro crítico e possivelmente tenha influenciado no desencadeamento de diversas outras manifestações patológicas que necessitam da presença de umidade para manifestar-se.

Nos viadutos, foi possível verificar, por exemplo, a possibilidade de as instalações pluviais serem co-responsáveis por desencadearem grande parte das manifestações patológicas em tabuleiros e aparelhos de apoio, devido à acessibilidade de infiltração d'água. Verificou-se que os aparelhos de apoio, não cumprindo sua função, contribuem para a deterioração das peças estruturais, principalmente, apoios de pilares. Os pavimentos, estando em más condições, apresentam esforços excessivos às estruturas. Portanto, o estudo demonstra a inter-relação entre as manifestações patológicas e a interação dos elementos que compõem uma obra, em um visão holístico.

Demonstrou-se que as juntas de dilatação em viadutos foram, igualmente, responsáveis pelas infiltrações de água e nas pontes apresentaram grande

incidência de ressaltos pela retenção de sujeiras e recapagem sucessivas de concreto asfáltico.

Nos viadutos predominaram os problemas em aparelhos de apoio, superando as pontes e passarelas. Supõem-se que os aparelhos de apoio são mais solicitados nestas obras. No entanto, pode-se observar que por acúmulo de sujeira nos berços dos aparelhos e falta de limpeza dos mesmos, apresentados em grande incidência nos viadutos, possivelmente tenham desencadeado os demais problemas devidos à dificuldade de drenagem nesta região, o bloqueio no funcionamento dos aparelhos e o decorrente esmagamento.

A fissuração e trincas possivelmente desencadearam uma seqüência de problemas que interagiram pelas sucessivas ocorrências. O concreto, estando de “portas abertas” para os agentes agressivos e a umidade, e apresentando falta de cobertura da armadura em 77% dos tabuleiros de viadutos, pode ter estabelecido condições suficientes para o avanço rápido da frente de lixiviação/carbonatação (ocorrência de 77%) em direção ao aço que, por sua vez, deve ter gerado o processo de corrosão que se apresentou em forma de descascamento, com 60%, e em forma de manchas, com 58%.

É importante salientar que o concreto asfáltico pode ter sido o maior responsável pelo afundamento de trilha, devido à incidência desta manifestação patológica ser menor nas pontes, tendo em vista os pavimentos de concreto asfáltico serem em proporção menor quando comparados aos de concreto convencional dos viadutos. É importante destacar, também, que as passarelas devem ter recebido um concreto asfáltico de menor qualidade ou reparos de menor freqüência nos pavimentos.

Foi possível concluir, através da média do grau de risco da família de elementos ponderado, proposto por este estudo, que um grupo de cinco famílias de elementos representa e determina o grau de risco de cada obra, sendo que cada tipo de obra (viadutos, pontes e passarelas) constituiu o seu grupo de cinco famílias de elementos.

Os viadutos constituíram o grupo com as famílias de elementos de juntas (28%), famílias de elementos de instalações pluviais (21%), famílias de tabuleiros (15%), famílias de pavimentos (15%) e famílias de aparelhos de apoio (10%).

As pontes constituíram o grupo com as famílias de elementos de tabuleiros (28%), família de elementos de pavimentos (18%), famílias de elementos de

condições gerais (16%), famílias de elementos de vigas laterais (12%) e família de elementos de instalações pluviais (11%).

As passarelas constituíram o grupo com as famílias de elementos das condições gerais (24%), famílias de elementos condições diversas (24%), famílias de elementos de pavimentos (21%), famílias de elementos de tabuleiros (9%) e famílias de elementos de encontros (6%).

Embora os resultados tenham mostrado que cinco famílias de elementos pertencentes às obras-de-arte são predominantemente responsáveis pelos seus graus de riscos, quatro delas – juntas de dilatação, instalações pluviais, tabuleiros e pavimentos - são comuns às obras de maior relevância.

Foi possível também, através da sistematização de dados, verificar a melhoria significativa das obras que sofreram intervenção, principalmente aquelas que foram recuperadas. Foi possível precisar os problemas que diminuíram em incidência, as famílias de elementos que melhoraram e a diminuição do grau de risco das referidas obras.

Quando compara-se as cinco famílias de elementos que mais contribuíram para a formação do GR, de forma ponderada, pela média dos viadutos que sofreram algum tipo de intervenção, pode-se observar que a alteração da contribuição deste conjunto de famílias para a formação do GR do conjunto destes cinco viadutos, entre as vistorias de 1991 e 1997, tende a se aproximar na proporção, quando as obras alcançam um estado aceitável de conservação.

Quando comparado o grau de risco (GR) dos viadutos entre as vistorias de 1991 e 1997, verificou-se que a discrepância ocorrida no Viaduto dos Açorianos se deve ao agravamento da família de elementos de aparelhos de apoio que se acentuou, possivelmente em função de não ter sido recuperada durante a intervenção.

Um mapa de influência apresentado neste trabalho demonstra o quanto estas vistorias puderam servir de ferramentas para diagnosticar as obras-de-arte, possibilitando uma leitura direta da localização de influência dos limites de risco e comparando as alterações deste quadro entre diferentes vistorias realizadas.

O trabalho de coleta e sistematização dos dados demonstrou que para se chegar a resultados confiáveis que permitam tomar decisões importantes no que tange a intervenções nas obras-de-arte, tendo em vista o impacto que isto representa para a população e o decorrente desgaste para a administração pública, como

vimos, deve-se ter equipes bem formadas de engenheiros vistoriadores e auxiliares para a obtenção destes resultados.

Quando os trabalhos de manutenção e vistorias estão bem articulados, onde o segundo aponta quais as famílias de elementos e elementos que devam sofrer intervenção, com que frequência deva-se promover a troca ou manutenção das respectivas famílias ou elementos, qual deva ser a técnica utilizada e que materiais são os mais adequados, é porque a conservação das obras estão sob controle de suas equipes que, por sua vez, estão certamente promovendo economia e segurança para o erário público e para a população respectivamente.

A sistematização e formulação dos dados permitiu, por fim, demonstrar que a metodologia desenvolvida pela equipe do LEME/UFRGS apresenta uma descrição possível de acertos das condições das obras-de-arte, podendo confiar em seus resultados para demandar serviços de prioridades na recuperação e manutenção destas obras.

Sendo ainda que estes resultados possam proporcionar a qualificação do quadro técnico, permitindo que as mudanças de procedimentos interfiram nos critérios de especificações para a contratação de novas obras, resultando em projetos básicos suficientemente detalhados que garantam maior durabilidade e, conseqüentemente, menores custos de manutenção para estas obras.

6.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Para os próximos trabalhos que seguirem esta linha de pesquisa, pode-se sugerir a execução de mapas de influência de elementos por obra, permitindo precisar o tempo de intervenção localizada por família de elementos, em sua frequência requerida, desde que haja dados de vistorias sistemáticas.

Sugere-se também, um estudo sobre os custos diretos e indiretos de intervenções sobre as obras-de-arte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide to Durable Concrete**: reported by ACI Committee 201. ACI Materials Journal, v. 88, n.5, Sept./Oct. 1991. P. 544 -82.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Specifications for Structural Concrete for Buildings**. reported by ACI Committee 301, In:-. ACI Manual of Concrete Practice. Detroit, 1997. V.3.
- ANDRADE, CARMEM. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**. São Paulo: PINI, 1992. 104 P.
- ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado: Análise das Manifestações Patológicas nas Estruturas no Estado de Pernambuco**. Porto Alegre, 1997. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 148 p.
- ANDRADE, J.J.O. **Influência da Agressividade Ambiental nas Patologias em Estruturas de Concreto Armado na Cidades de Porto Alegre (RS) e Recife (PE)**. São Leopoldo, 1997. Anais...Durabilidade das Construções.
- ARANHA,P. M. S. **Contribuição ao Estudo das Manifestações Patológicas em Estruturas de Concreto Armado na Região Amazônica**. Porto Alegre, 1994. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- ARAÚJO, M. G. **Condicionantes Sócio-Econômico-Culturais do Ciclo de Vida Útil das Edificações Urbanas**. São Leopoldo, 1997. Anais...Durabilidade das Construções.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONCRETO. **Regulamento para as Construções em Concreto Armado**. São Paulo , cimento armado, v. 3, n.3, p. 7-21, jul 1931.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT - **Vistorias de Pontes e Viadutos de Concreto Armado**. NBR 9452 - Ago. 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado**. NBR 6118. Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 1978.
- BAUER, L.A.FALCÃO. **Materiais de Construção 1**. São Paulo, Livros Técnicos e Científicos, 1994. 435 P.
- BRASIL. Decreto Lei n 512, de 21 de maio de 1969, **Regula a política Nacional de Viação Rodoviária, fixa diretrizes para a reorganização do Departamento**

Nacional de Estrada de Rodagem e dá outras providências. Diário Oficial de 21 de maio de 1969.

BRASIL. Decreto Lei n 8.643, de 27 de dezembro de 1945. **Reorganiza o DNER, cria o Fundo Rodoviário Nacional e dá outras providências. Diário Oficial de 27 de dezembro de 1945.**

CÁNOVAS, M.F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado.** São Paulo Ed. PINI, 1988. 522p.

CASSAL, S.B. **Influência da cinza de casaca de arroz na resistência de concretos à Ácidos,** Porto Alegre, 2000. Dissertação de Mestrado – Universidade do Rio Grande do Sul.

CINCOTTO, M. A. **Ação do Meio sobre o Concreto.** São Leopoldo, 1997. Anais...Durabilidade das Construções.

COMITE EURO-INTERNACIONAL DU BETON. **Durable Concrete Structures.** Bulletin D'Information n° 183. Suíça, 1992.

COMITE EURO-INTERNATIONAL du BETON. **New Approach to Durability Design - An Example for Carbonation Induced Corrosion.** Lausanne, May 1997. (Bulletin D'Information, 238).

CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES (IV CONGRESSO) . Porto Alegre: UFRGS. CPGEC, out 1997. Anais.

CONJUNTURA ECONÔMICA. **Acentuada expansão nos transportes.** Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, n. 2, p. 173-190, fev. 1964.

CONJUNTURA NACIONAL. **1968 ano dos transportes: acentuada recuperação e expansão,** Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, n. 1, jan. 1969

CREMONINI, R. A. **Incidência de Manifestações Patológicas em Unidades Escolares na Região de Porto Alegre -** Recomendações para Projeto, Execução e Manutenção. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1988. 153 P.

DAL MOLIN, D.C.C. **Fissuras em Estruturas de Concreto Armado: Análise das Manifestações Típicas e Levantamento de Casos Ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1988. 220 P.

- DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGEM. **DAER. Projeto Básico de Monitoramento.** Porto Alegre, 1998.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER - **Inspeção e Vistorias em Pontes e Viadutos de Concreto Armado Protendido.** Procedimento 123/87.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **DNER. Manual de Inspeção Rodoviárias,** MT - Instituto de pesquisa rodoviárias. Rio de Janeiro, 1980.
- FERREIRA, A,B,H. **Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa.** Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1986.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Diagnóstico nacional da indústria da construção.** 2.ed. Belo Horizonte, 1984.
- FUNDATEC, **Relatório de Inspeção de Obras-de-Arte do Município de Porto Alegre – Viadutos. Relatório Técnico 004/91 do LEME** (Convênio PMPA/FUNDATEC), Porto Alegre, 1991.
- FUNDATEC, **Relatório de Inspeção de Obras-de-Arte do Município de Porto Alegre – Pontes . Relatório Geral do LEME** (Convênio PMPA/FUNDATEC), Porto Alegre, 1993.
- FUNDATEC, **Relatório de Inspeção de Obras-de-Arte do Município de Porto Alegre – Passarelas de Porto Alegre . Relatório Técnico 21/93 do LEME** (Convênio PMPA/FUNDATEC), Porto Alegre, 1993.
- FURTADO,M.B. **Síntese da economia brasileira.** 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984.
- GERWICK,, B.C. The Economic Aspects of Durability – How Much Added Expense Can Be Justified? In: P.K. Mehta Symposium on Durability of Concrete. **Proceedings.** Nice, 1994. P. 3-19.
- GERWICK,, B.C A Holistic Approach to concrete Technology for Mayor Bridges. In: Concrete Technology: Past, Present and Future V. Mohan Malhotra Symposium, Proceedings SP—144, 1994. P.41-59
- HELENE, Paulo R.L. **Corrosão em Armaduras para Concreto Armado.** São Paulo: PINI, 1986. 46 P.

- HELENE,P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo, 1993. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- HELENE,P. R. L. **Manual prático para reparos e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1988. p. 35
- HELENE,P. R.L.. **Introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto**. In: Workshop Durabilidade das Construções. Anais... São Leopoldo, 1997. p 31 - 42
- HORTA,E.F. Prevenir é melhor que remediar. **Revista Thécne**, São Paulo, n. 08, p.21-23, jan/fev 1994.
- ILIESCU, M. **Patologia e terapêutica do concreto armado**. In: ENCONTRO NACIONAL DA CONSTRUÇÃO, 8., Goiânia, 4-9 Maio, 1986. V.1, Tema 3.
- JORGE, M. **Estudo da Lixiviação do Concreto Compactado com Rolo pela Ação de Águas Puras**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2001. 122 P.
- JOHN,V.M. **Avaliação da durabilidade dos materiais, componentes e edificação – emprego do índice de degradação**. Porto Alegre, 1987. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- JOHNSON, Sidney M. Deterioro, **Conservacion Y Reparacion de Estructuras**. Editorial Blume, Madrid e Editorial Labor S.A., Barcelona. 1973. 334 p.
- KISS, P. Praga no Capim, **Revista Téchné**, São Paulo, n.40, mai/jun. 1999.
- KLEIN,D. L. et al. **Estudo das manifestações patológicas das obras de arte de Porto Alegre**. In: I Congresso Latinoamericano de Patologias de la construccion y III de Control de calidad. Anais... Cordoba, Argentina, 1991
- KLEIN,D.L. et al, **Crítérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte**. In: XXV Jornada Sul-americana de Engenharia Estrutural CPGEC - UFRGS. Anais... Porto Alegre. 1991. vol 5, p. 185-196.
- KLEIN. D. L. et al. - Relatório Geral de Inspeção de Obras de Arte do Município de Porto Alegre. Convênio PMPA/FUNDATEC/UFRGS. Relatório Técnico 004/91 - LEME - Porto Alegre. Jan. 1991.
- LESSA,C. **15 anos de política econômica**. 4. ed. São Paulo: Brasiliense, 1983.

- MAYS, G. (Ed.) **Durability of Concrete Structures: Investigation, Repair, Protection.** London. E & FN Spon , 1992. 269p.-
- MEHTA, P. K. (Ed) **Concrete Technology: Past, Present And Future**, V. Mohan Malhotra Symposuim. American Concrete Institute SP-144. San Francisco, 1994^a 683p.
- METHA,P.K.;MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** 1º Ed. São Paulo: Pini,1994. P.119-129.
- NEVILLE, ADAM MATTHEW. **Propriedades do Concreto**, 2º Ed. São Paulo: PINI, 1997. 826 P.
- OLIVEIRA, G.G. **Importância da Manutenção Preventiva nas Pontes e Viadutos do Rio Grande do Sul: Caracterização da Tipologia das Estruturas e Levantamento de Manifestações Patológicas.** Porto Alegre, 1999. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 131 P.
- Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Porto Alegre – 1º PDDU . Corag-SPM. 4ª ed. 1994.
- PFEIL.W. **Pontes de Concreto Armado**, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora SA, 1979.
- ROSTAM, S. **Design Concepts for Durability and Performance.** In: Advanced studies on structural concrete. CEB Bulletin d'Information n. 221, Lisboa, Portugal, 1994, p. 173-191.
- SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS E VIAÇÃO, Escritório de Projetos e Obras Programa de Recuperação de Obras-de-Arte, **Relatório Técnico Individuais de Viadutos Mai/97**, Porto Alegre, 1997.
- SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS E VIAÇÃO (SMOV), 199-. 17 fot.: col; 5x7 cm.
- SILVA FILHO,L.C.P. **Durabilidade do concreto a ação de sulfatos: análise de características associadas com a movimentação de águas e do efeito da adição de microssílica sobre estas.** Porto Alegre, 1994. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SINGER, P. **O Uso do Solo Urbano na Economia Capitalista.** In: **A Produção Capitalista da Casa (e da Cidade) no Brasil Industrial.** Organiz: Maricato, Ermínia. São Paulo, Ed. Alfa-Omega, 1979.

- SITTER,W.R. Cost for service life optimization. The “Law of Five”. **Durability of Structure** – CEB –rilem internatinal workshop, Copenhagen, p.131-134, mai.1983.
- SOUZA, V.C.M. ; RIPPER T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. PINI. 1998. P. 255.
- TAKEYA,T; DEBS,M.K. **Pontes de Concreto**: notas de aula, São Carlos: USP - Universidade de São Carlos, 1990
- THOMAZ,E. **Patologia**, Manual técnico de alvenaria. ABCI - Projeto. PW, 1990.
- THOMAZ,E. **Trincas em Edifícios, Causas, Prevenção e Recuperação**. São Paulo: IPT/EPUSP/PINI, 1989.
- WAICHEL, B. e COSTA, W.M. **Recuperação Estrutural do Viaduto Obirici Porto Alegre RS**. MPA/EPT. COMPAT. Anais...Porto Alegre, 1997.
- WAICHEL, B. e COSTA, W.M. **Relatório do Viaduto Obirici Porto Alegre RS**. SMOV - Porto Alegre, 1995.

Anexo I



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE - EMPRESA DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
 UTILIDADE PÚBLICA FEDERAL, DECRETO Nº 86.238 - TELEX: (051) 5352
 ESCOLA DE ENGENHARIA - Praça Argentina - CGC 87878476/0001-08 - Fone: 25.3240
 Cx. Postal, 1311 - Endereço Telegráfico "FUNDATEC" - 90.040 Porto Alegre, RS - Brasil

CONVENIO PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE - FUNDATEC/UFRGS
 VISTORIA E AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTE MUNICIPAIS

PLANILHA DE INSPEÇÃO DE PONTES - GERAL		FL. :
G E O M E T R I A	Nº PISTAS : ____	Nº FAIXAS P/ PISTA : ____
	LARGURA DA PISTA: ____	LARGURA DA OBRA : ____
	Nº DE VÃOS : ____	COMPRIMENTO TOTAL DA OBRA: ____
	ESTRADO: ____ SUPERIOR ____ INFERIOR	
	____ CONCRETO ____ OUTRO	
C O N D I Ç O E S G E R A I S	____ IDADE DA OBRA: ____	
	<u>2</u> AJARDINAMENTO	
	<u>4</u> CONDIÇÕES DA PINTURA	
	<u>6</u> ASSENTAMENTOS IRREGULARES	
	<u>3</u> SUJEIRA	
	____ OUTROS: _____	
O B S		

Anexo II



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE - EMPRESA DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
 UTILIDADE PÚBLICA FEDERAL, DECRETO Nº 86.238 - TELEX: (051) 5352
 ESCOLA DE ENGENHARIA - Praça Argentina - CGC 87878476/0001-08 - Fone: 25.3240
 Cx. Postal, 1311 - Endereço Telegráfico "FUNDATEC" - 90.040 Porto Alegre, RS - Brasil

CONVENIO PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE - FUNDATEC/UFRGS
 VISTORIA E AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTE MUNICIPAIS

PLANILHA DE INSPEÇÃO DO PAVIMENTO		FL. :
P A V I M E N T O	TIPO: ___ CONCRETO ___ AÇO ___ ASFALTO ___ OUTROS: _____	
	<u>6</u> DESGASTE	
	FISSURAÇÃO: <u>3</u> LOCALIZADA <u>5</u> DISSEMINADA	
	TRINCAS : <u>4</u> LOCALIZADA <u>6</u> DISSEMINADA	
	<u>7</u> AFUNDAMENTO DE TRILHA	
	<u>9</u> RESSALTO ENTRE VAÇOS	
	<u>10</u> EROÇÃO (PANELAS)	
	SINALIZAÇÃO <u>4</u> HORIZONTAL <u>5</u> VERTICAL	
	___ OUTROS _____	
	C R O Q U I	FISSURAS

O B S	_____	

Anexo III



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE - EMPRESA DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
 UTILIDADE PÚBLICA FEDERAL, DECRETO Nº 86.238 - TELEX: (051) 5352
 ESCOLA DE ENGENHARIA - Praça Argentina - CGC 87878476/0001-08 - Fone: 25.3240
 Cx. Postal, 1311 - Endereço Telegráfico "FUNDATEC" - 90.040 Porto Alegre, RS - Brasil

CONVENIO PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE - FUNDATEC/UFRGS
 VISTORIA E AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTE MUNICIPAIS

PLANILHA DE INSPEÇÃO DE JUNTAS DE DILATAÇÃO	FL. :
---	-------

JUNTA Nº _____	LOCALIZAÇÃO DA JUNTA: _____
----------------	-----------------------------

P R O B L E M A S	<u>8</u> UMIDADE _____ <u>5</u> SUJEIRA _____ <u>10</u> INFILTRAÇÕES _____ <u>10</u> RESSALTOS _____ COBREJUNTAS: ___ BOAS CONDIÇÕES ___ RUPTURA ___ INEXISTE <u>4</u> CANTOS QUEBRADOS _____ OUTROS: _____
	MATERIAL: _____ CONDIÇÕES: _____

JUNTA Nº _____	LOCALIZAÇÃO DA JUNTA: _____
----------------	-----------------------------

P R O B L E M A S	___ UMIDADE _____ ___ SUJEIRA _____ ___ INFILTRAÇÕES _____ ___ RESSALTOS _____ COBREJUNTAS: ___ BOAS CONDIÇÕES ___ RUPTURA ___ INEXISTE ___ CANTOS QUEBRADOS _____ OUTROS: _____
	MATERIAL: _____ CONDIÇÕES: _____

Anexo IV



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE - EMPRESA DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
 UTILIDADE PÚBLICA FEDERAL; DECRETO Nº 88.248 - TELEX: (081) 8462
 ESCOLA DE ENGENHARIA - Praça Alameda: CEP 87878-76/0001-08 - FONE: 23.3240
 CX. Postal: 1311 - Endereço Telegráfico "FUNDATEC" - 96.040 Porto Alegre, RS - Brasil

CONVENIO PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE = FUNDATEC/UFRGS
 HISTÓRIA E AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTES MUNICIPAIS

PLANILHA DE INSPEÇÃO DE PILARES		Nº PILAR:	FL.:
C O N D I Ç O E S	<u>7</u> VERTICALIDADE (PRUMO)		
	<u>3</u> ALINHAMENTO		
	<u>10</u> RECALQUE		
	<u>4</u> UMIDADE		
	<u>10</u> RUPTURA		
	<u>3</u> VESTÍGIOS DE INCENDIO		
	<u>1</u> SUJEIRA	OUTROS: _____	
C O N C R E T O	FALHAS DE CONCRETAGEM:	<u>3</u> SEGREGAÇÃO	<u>4</u> NINHOS
	FISSURAÇÃO	<u>5</u> DISSEMINADA	<u>4</u> LOCALIZADA
	TRINCAS	<u>9</u> DISSEMINADA	<u>8</u> LOCALIZADA
	<u>3</u> LIXIVIAÇÃO/CARBONATAÇÃO		
	<u>8</u> ESMAGAMENTO		
	<u>7</u> DESAGREGAÇÃO		
A R M A D U R A	<u>2</u> FALTA RECOBRIMENTO		
	CORROSÃO:	<u>6</u> DESCASCAMENTO (ESFOLIAÇÃO)	
		<u>4</u> MANCHAS	
C R O Q U I			
O B S			

Anexo V



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE - EMPRESA DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
 UTILIDADE PÚBLICA FEDERAL, DECRETO Nº 86.238 - TELEX: (051) 5352
 ESCOLA DE ENGENHARIA - Praça Argentina - CGC 87878476/0001-08 - Fone: 25.3240
 Cx. Postal, 1311 - Endereço Telegráfico "FUNDATEC" - 90.040 Porto Alegre, RS - Brasil

CONVENIO PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE - FUNDATEC/UFRGS
 VISTORIA E AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTE MUNICIPAIS

PLANILHA DE INSPEÇÃO DOS APARELHOS DE APOIO FL. :
APARELHO DE APOIO No. : _____

M A T E R I A L	<input type="checkbox"/> NEOPRENE <input type="checkbox"/> CILINDROS METALICOS (ROLETE) <input type="checkbox"/> PLACA DE CHUMBO <input type="checkbox"/> ROTULA METALICA <input type="checkbox"/> ROTULA DE CONCRETO <input type="checkbox"/> ENGASTE <input type="checkbox"/> OUTROS _____
P R O B L E M A S	<input checked="" type="checkbox"/> 5 DRENAGEM <input checked="" type="checkbox"/> 9 BLOQUEIO <input checked="" type="checkbox"/> 10 ESMAGAMENTO <input checked="" type="checkbox"/> 4 SUJEIRA <input type="checkbox"/> OUTROS: _____
O B S	

Anexo VI



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE - EMPRESA DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
 UTILIDADE PÚBLICA FEDERAL, DECRETO Nº 86.238 - TELEX: (051) 5352
 ESCOLA DE ENGENHARIA - Praça Argentina - CGC 87878476/0001-08 - Fone: 25.3240
 Cx. Postal, 1311 - Endereço Telefônico "FUNDATEC" - 90.040 Porto Alegre, RS - Brasil

CONVENIO PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE - FUNDATEC/UFRGS
 VISTORIA E AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTE MUNICIPAIS

PLANILHA DE INSPEÇÃO DA FACE INFERIOR DO TABULEIRO		FL. :
Nº VÃO:		
C O N D · G E R A I S	<u>1</u> LUMINARIAS <u>1</u> PINTURA <u>1</u> SUJEIRA <u>7</u> UMIDADE <u>10</u> RUPTURA	
C O N C R E T O	FALHAS DE CONCRETAGEM: <u>3</u> SEGREGAÇÃO <u>4</u> NINHOS FISSURAÇÃO <u>8</u> DISSEMINADA <u>7</u> LOCALIZADA TRINCAS <u>9</u> DISSEMINADA <u>8</u> LOCALIZADA <u>5</u> LIXIVIAÇÃO/CARBONATAÇÃO <u>7</u> VIBRAÇÃO <u>7</u> DESAGREGAÇÃO <u>9</u> DEFORMAÇÃO EXCESSIVA	
A R M A D U R A	<u>4</u> FALTA RECOBRIMENTO CORROSÃO: <u>8</u> DESCASCAMENTO (ESFOLIAÇÃO) <u>5</u> MANCHAS	
O B S		

Anexo VII



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE - EMPRESA DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
 UTILIDADE PÚBLICA FEDERAL, DECRETO Nº 86.238 - TELEX: (051) 5352
 ESCOLA DE ENGENHARIA - Praça Argentina - CGC 87878476/0001-08 - Fone: 25.3240
 Cx. Postal, 1311 - Endereço Telegráfico "FUNDATEC" - 90.040 Porto Alegre, RS - Brasil

CONVENIO PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE - FUNDATEC/UFRGS
 VISTORIA E AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTE MUNICIPAIS

PLANILHA DE INSPEÇÃO DAS INSTALAÇÕES FL. :

I N S T . P L U V I A I S	<u>8</u> ENTUPIMENTO <u>10</u> SEDIMENTAÇÃO <u>7</u> ROMPIMENTO <u>8</u> INFILTRAÇÕES OUTROS: _____	
I N S T . D I V E R S A S	<u>2</u> PASSEIO <u>2</u> GUARDA-RODAS <u>4</u> CANTEIRO CENTRAL <u>5</u> DRENAGEM GUARDA-CORPO CONCRETO METÁLICO <u>3</u> fissuração <u>4</u> corrosão <u>2</u> segregação <u>5</u> ruptura <u>4</u> corrosão <u>5</u> ruptura OUTROS _____	
O B S		
C R O Q U I	GUARDA-CORPO _____ _____	REDE DE ESCOAMENTO DE AGUA _____ _____ _____ _____ _____

R

Anexo VIII



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE - EMPRESA DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
 UTILIDADE PÚBLICA FEDERAL, DECRETO Nº 86.238 - TELEX: (051) 5352
 ESCOLA DE ENGENHARIA - Praça Argentina - CGC 87878476/0001-08 - Fone: 25.3240
 Cx. Postal, 1311 - Endereço Telegráfico "FUNDATEC" - 90.040 Porto Alegre, RS - Brasil

CONVENIO PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE - FUNDATEC/UFRGS
 VISTORIA E AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTE MUNICIPAIS

PLANILHA DE INSPEÇÃO DAS VIGAS LATERAIS		FL. :
C O N C R E T O	FALHAS DE CONCRETAGEM: <u>3</u> SEGREGAÇÃO <u>4</u> NINHOS FISSURAÇÃO <u>8</u> DISSEMINADA <u>7</u> LOCALIZADA TRINCAS <u>9</u> DISSEMINADA <u>8</u> LOCALIZADA <u>5</u> LIXIVIAÇÃO/CARBONATAÇÃO <u>9</u> ESMAGAMENTO <u>7</u> DESAGREGAÇÃO	
A R M A D U R A	<u>4</u> FALTA RECOBRIMENTO CORROSÃO: <u>8</u> DESCASCAMENTO (ESFOLIAÇÃO) <u>5</u> MANCHAS	
O B S		

Anexo IX



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE - EMPRESA DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
 UTILIDADE PÚBLICA FEDERAL, DECRETO Nº 86.238 - TELEX: (051) 5352
 ESCOLA DE ENGENHARIA - Praça Argentina - CGC 87878476/0001-08 - Fone: 25.3240
 Cx. Postal, 1311 - Endereço Telegráfico "FUNDATEC" - 90.040 Porto Alegre, RS - Brasil

CONVENIO PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE - FUNDATEC/UFRGS
 VISTORIA E AVALIAÇÃO DE OBRAS DE ARTE MUNICIPAIS

PLANILHA DE INSPEÇÃO DE ENCONTROS		FL.:
C O N D I Ç O E S	<u>5</u> VERTICALIDADE (PRUMO)	
	<u>3</u> ALINHAMENTO	
	<u>8</u> RECALQUE	
	<u>6</u> INFILTRAÇÃO	
	<u>10</u> RUPTURA	
	<u>3</u> VESTÍGIOS DE INCENDIO	
	<u>2</u> SUJEIRA	
	<u>8</u> SOLAPAMENTO	
	OUTROS: _____	
C O N C R E T O	FALHAS DE CONCRETAGEM: <u>3</u> SEGREGAÇÃO <u>4</u> NINHOS	
	FISSURAÇÃO <u>5</u> DISSEMINADA <u>6</u> LOCALIZADA	
	TRINCAS <u>6</u> DISSEMINADA <u>7</u> LOCALIZADA	
	<u>4</u> LIXIVIAÇÃO/CARBONATAÇÃO	
	<u>9</u> ESMAGAMENTO	
	<u>7</u> DESAGREGAÇÃO	
A R M A D U R A	<u>4</u> FALTA DE RECOBRIMENTO	
	CORROSÃO: <u>8</u> DESCASCAMENTO (ESFOLIAÇÃO) <u>5</u> MANCHAS	
E S P	<u>1</u> ESCADAS	
	<u>1</u> RAMPAS DE ACESSO	
O B S		

Anexo X

**CONVENIO PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE - FUNDATEC/UFRGS
VISTORIA E AVALIACAO DE OBRAS DE ARTE MUNICIPAIS**

PLANTILHA DE INSPEÇÃO DO CRIXÃO		FL.:
VIADUTO: _____		
DATA DA VISTORIA: ____ / ____ / ____		FOTO: ____
CONDICOES	<input type="checkbox"/> SUJEIRA <input type="checkbox"/> UMIDADE <input type="checkbox"/> RUPTURA	
CONCRETO	FALHAS DE CONCRETAGEM: <input type="checkbox"/> SEGREGAÇÃO <input type="checkbox"/> NINHOS FISSURACAO: <input type="checkbox"/> DISSEMINADA <input type="checkbox"/> LOCALIZADA TRINCAS: <input type="checkbox"/> DISSEMINADA <input type="checkbox"/> LOCALIZADA <input type="checkbox"/> LIXIVIAÇÃO/CARBONATAÇÃO <input type="checkbox"/> DEFORMAÇÃO EXCESSIVA <input type="checkbox"/> DESAGREGAÇÃO	
ARMADURA	TIPO: <input type="checkbox"/> PROTENSÃO <input type="checkbox"/> CONVENCIONAL <input type="checkbox"/> NÃO DETERMINADA <input type="checkbox"/> FALTA DE RECOBRIMENTO CORROSAO: <input type="checkbox"/> DESCASCAMENTO (ESFOLIAÇÃO) <input type="checkbox"/> MANCHAS	
OBS.		

ESCALA CODIFICADA DE INTENSIDADE DOS PROBLEMAS

- 0- ELEMENTO EM PERFEITAS CONDIÇÕES
- 1- BOM ESTADO / DEFEITOS LEVES
- 2- DEFEITOS TOLERÁVEIS
- 3- ESTADO RUIM / DEFEITOS GRAVES
- 4- PÉSSIMO ESTADO / DEFEITOS CRÍTICOS