

SÉRGIO PEREIRA PINTO LEMOS

AVALIAÇÃO DO GRAU DO DANO DAS ESTRUTURAS DO SUBSOLO DE TRÊS EDIFÍCIOS SITUADOS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE/PE

Dissertação apresentada à Universidade Católica de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia Civil, com concentração em Patologia das Estruturas de Concreto.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Eliana Cristina Barreto Monteiro

Co-Orientador: Prof. Dr. Paulo Helene

Recife/PE, Abril de 2006

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO - PROESPE
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DO GRAU DO DANO DAS ESTRUTURAS DO SUBSOLO
DE TRÊS EDIFÍCIOS SITUADOS NA REGIÃO METROPOLITANA DO
RECIFE/PE**

Dissertação de Mestrado, submetida ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco fazendo parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ciências (M.Sc.) do curso de Engenharia Civil

Profa. Dra. Eliana Cristina Barreto Monteiro (UNICAP).
(Orientadora)

Prof. Dr. Paulo Helene (USP)
(Co-orientador)

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Arnaldo Cardim Carvalho Filho (UNICAP)
(Examinador interno)

Prof. Dr. Antônio Alberto Nepomuceno (UnB)
(Examinador externo)

Recife/ PE, Abril de 2006

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO - PROESPE
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DA
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

Engenheiro Civil: SÉRGIO PEREIRA PINTO LEMOS

AVALIAÇÃO DO GRAU DO DANO DAS ESTRUTURAS DO SUBSOLO
DE TRÊS EDIFÍCIOS SITUADOS REGIÃO METROPOLITANA DO
RECIFE/PE

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS DE
CONCRETO

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a Presidência do primeiro,
considera o candidato_____

Recife,

Banca Examinadora

Prof^a. Dr^a. Eliana Cristina Barreto Monteiro (UNICAP) - (Orientadora)

Prof. Dr. Arnaldo Cardim Carvalho Filho (UNICAP) - (Examinador Interno)

Prof. Dr. Antônio Alberto Nepomuceno (UnB) - (Examinador Externo)

***“Tudo que é sólido
desmancha no ar”
(Marshal Berman, 1997)***

AGRADECIMENTOS

À Risalva Vasconcelos Rocha, por usar seu rico saber para acreditar e fazer acreditar.

À Prof^{ca} Dr^a. Eliana Monteiro, e ao Prof. Dr. Paulo Helene meus orientadores.

À Prof^{ca}. Mst. Cacilda Teixeira de Vasconcelos, pela orientação estatística.

À Prof^{ca} Mst . Maria Alice Rocha, pela busca de novas evidências.

Ao Prof.^a Dr. Mohand Benachour, pelos questionamentos que levaram a definição do caminho a seguir.

À Mônica Rocha, pelo incentivo e participação em tempo integral na elaboração desta dissertação.

Ao Eng. Érico Dantas, por ter disponibilizado sua biblioteca e pelo prazer de dividir seus conhecimentos técnicos.

Ao Prof. Dr. Arnaldo Cardim pela consideração e pelos esclarecimentos

Ao Prof Dr. Romilde Almeida, pela presteza no atendimento do apoio técnico e administrativo no decorrer do processo.

Aos meus pais Gonzaga, Nísia e Maria (in memorian) por terem assumido muitas das tarefas de minha atividade profissional e pessoal me liberando para as atividades do mestrado.

E finalmente, à Arthur Rocha Lemos, por materializar o sentido da vida.

TÍTULO: AVALIAÇÃO DO GRAU DO DANO DAS ESTRUTURAS DO SUBSOLO DE TRÊS EDIFÍCIOS SITUADOS REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE/PE

RESUMO

Procurando conhecer o grau de deterioração precoce das estruturas de concreto armado dos edifícios residenciais da Região Metropolitana da Cidade do Recife, Estado de Pernambuco, este trabalho visa, utilizando um método de quantificação dos danos e o uso de ensaios, avaliar as patologias das estruturas estudadas.

Estudou-se três edifícios residenciais (ER), com semelhante padrão de construção, idades construtivas aproximadas e inseridos em diferentes classes de agressividade ambiental. Foi realizada inspeção visual e ensaios em amostras dos pilares, vigas, lajes e reservatório inferior do subsolo dos três edifícios.

Após análise dos três edifícios, verificou-se que o caso ER 1, localizado em classe ambiental de agressividade forte (III), a mais agredida pelo meio ambiente, e o estudo de caso ER 2, localizado a uma distância significativa da orla marinha em Classe de Agressividade Ambiental II, apresentaram grau de deterioração média (GD) de 36,98 e 31,23 respectivamente, com recomendação para inspeção periódica e intervenção a médio prazo. Já o estudo de caso ER 3, que está localizado dentro de uma classe de agressividade forte (III), em orla marinha, porém com barreiras de proteção que evitam a incidência direta da névoa salina, encontra-se com alto grau de deterioração (GD = 103,94), sugerindo uma intervenção imediata com riscos de colapso.

Palavras-chave: Vícios Construtivos; Patologia; Vida Útil; Inspeção; Manutenção.

TITLE: EVALUATION OF THE DEGREE OF DAMAGE IN THE SUBSOIL STRUCTURES OF THREE BUILDINGS SITUATED IN THE REGION METROPOLITAN OF RECIFE

ABSTRACT

This work aims to evaluate the pathology of residential buildings structures located at the Metropolitan Region of Recife, Brazil using the quantification of damages to measure the degree of early deterioration of reinforced concrete.

Three residential buildings (RB) with similar construction standards were studied. All buildings have approximate age and are inserted into environmental aggressiveness distinct. A visual inspection took place as well as a laboratorial sample analysis of their pillars, beams and underground water reservatories.

It was verified that the RB1 case, located at a high environmental aggressiveness class (III), and the RB2 case, located significantly far from the sea and classified with a moderate environmental aggressiveness class (II), both presented a medium degree of deterioration (GDE). For both buildings it is suggested a periodic inspection recommendation and a medium term intervention (GD 1 = 36,98 ; GD 2 = 31,23). The third case (RB3), located at a high environmental aggressiveness class (III) and seafront with protection barriers, presented a high degree of deterioration (GD 3=103,94). It is suggested for RB3 an immediate intervention with collapse risks.

Keywords: Constructive decays; Pathologies. Service Life Inspection; Maintenance

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Importância do Tema	18
1.2	Objetivo do trabalho	20
1.3	Escopo do Trabalho	21
CAPÍTULO 2	REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1	Vida Útil	24
2.2	Manifestações Patológicas	28
2.2	Alguns Requisitos que Influenciam na Qualidade do Concreto	29
2.3.1	Adensamento	30
2.3.2	Juntas de Concretagem	31
2.4	Fissuras	32
2.4.1	Fissuras do concreto no estado plástico	33
2.4.2	Retração plástica	34
2.4.3	Retração hidráulica	35
2.5	Desagregação do concreto	36
2.5.1	Desagregações devido as reações expansivas no concreto	36
2.5.2	Desagregações devido à corrosão do aço	38
2.6	Carbonatação do concreto	40
2.6.1	Influência da relação água/cimento	41
2.6.2	Espessura de carbonatação	42
2.7	Fatores atmosféricos	42
2.7.1	Radiação solar	42
2.7.2	Temperatura	43
2.7.3	Microclima e macroclima	43
2.7.4	Umidade	44
2.7.5	Ventos e partículas	45
2.8	Visão holística	45
2.9	Disposição normativa da metodologia para avaliação e diagnóstico das patologias em estruturas de concreto armado	46
2.9.1	Avaliação quantitativa do desempenho estrutural.	49

2.9.2	Parâmetros de interesse para a manutenção estrutural	54
CAPÍTULO 3.	METODOLOGIA	57
3.1	Manutenção de estruturas de concreto em edificações usuais	57
3.2	Descrição da metodologia utilizada	58
3.2.1	Princípios gerais	58
3.2.2	Classificação das famílias de elementos	60
3.2.3	Fator de ponderação	60
3.2.3	Fator de ponderação do dano	60
3.2.4	Fator de intensidade do dano	62
3.2.5	Grau do dano	64
3.2.6	Grau de deterioração de um elemento	67
3.2.7	Grau de deterioração de uma família de elementos	68
3.2.8	Fator de relevância da família de elemento	71
3.2.9	Grau de deterioração da estrutura	71
3.3	Aplicação da metodologia	72
3.4	Ensaio realizados	73
3.4.1	Ensaio da profundidade de carbonatação	74
3.4.2	Ensaio de esclerometria	74
3.4.3	Ensaio de potencial de corrosão	74
3.4.4	Ensaio da velocidade do pulso ultra-sônico	76
CAPÍTULO 4	RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO	79
4.1	Edifício residencial 1	79
4.1.1	Descrição	79
4.1.2	Histórico	79
4.1.3	Estado da estrutura	80
4.1.4	Ensaio realizados	81
4.1.4.1	Profundidade de carbonatação	81
4.1.4.2	Potencial de corrosão	82
4.1.4.3	Velocidade do pulso ultra-sônico	83
4.1.4.4	Ensaio de esclerometria	84
4.1.5	Grau de deterioração das famílias	85
4.1.5.1	Família de pilar	86
4.1.5.2	Família das vigas	87

4.1.5.3	Reservatório inferior	89
4.1.6	Grau de deterioração da estrutura	90
4.2	Edifício residencial 2	91
4.2.1	Descrição	91
4.2.2	Histórico	91
4.2.3	Estado da estrutura	91
4.2.4	Ensaio realizado	92
4.2.4.1	Profundidade de carbonatação	92
4.2.4.2	Potencial de corrosão	93
4.2.4.3	Velocidade do pulso ultra-sônico	94
4.2.4.4	Ensaio de esclerometria	94
4.2.5	Grau de deterioração da família	95
4.2.5.1	Família de pilares	95
4.2.5.2	Família de vigas	98
4.2.5.3	Família de lajes	103
4.2.5.4	Reservatório inferior	104
4.2.6	Grau de deterioração da estrutura	105
4.3	Edifício residencial 3	105
4.3.1	Descrição	105
4.3.2	Histórico	105
4.3.3	Estado da estrutura	106
4.3.4	Ensaio	106
4.3.4.1	Profundidade de carbonatação	106
4.3.4.2	Potencial de corrosão	107
4.3.4.3	Velocidade do pulso ultra-sônico	107
4.3.4.4	Ensaio de esclerometria	108
4.3.5	Grau de deterioração da família	109
4.3.5.1	Família de pilares	109
4.3.5.2	Família de vigas	114
4.3.5.3	Família de laje	119
4.3.6	Grau de deterioração da estrutura	120
4.4	Comparação entre os três estudos de caso	121
CAPÍTULO 5	CONCLUSÃO	123

5	Conclusão	123
5.1	Sugestão para trabalhos futuros	123
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Modelo de Equilíbrio de uma Estrutura de Concreto (Modificada)	26
Figura 2.2	Efeito Parede	30
Figura 2.3	Juntas de Concretagem	31
Figura 2.4	Variação da Profundidade de Carbonatação	41
Figura 2.5	Modelo Holístico de Deterioração do Concreto	46
Figura 3.1	Fluxograma de Metodologia do Grau do Dano	59
Figura 3.2	Vida Útil da Estrutura	65
Figura 3.3	Grau Do Dano X Fator De Intensidade	66
Figura 3.4	Realização de Medidas de Potencial	75
Figura 3.5	Realização de Medidas de Potencial	76
Figura 3.6	Realização da velocidade do Pulso Ultra-Sônico	77
Figura 4.1	Fungos na Viga	80
Figura 4.2	Profundidade de Carbonatação	82
Figura 4.3	Armadura do Pilar Corroído	83
Figura 4.4	Expansão do Concreto	87
Figura 4.5	Ocorrência de Danos em Pilares Do ER 2	88
Figura 4.6	Ocorrência de Danos em Pilares por Fator de Intensidade Do ER 2	89
Figura 4.7	Esfoliação	92
Figura 4.8	Ocorrência de Dano em Vigas por Fator de Intensidade do ER 2	97
Figura 4.9	Ocorrência de danos em Pilares	98
Figura 4.10	Ocorrência de Danos nas Vigas	102
Figura 4.11	Ocorrência de Danos Fator de Intensidade	102
Figura 4.15	Falhas De Concretagem Na Sapata Pilar Do ER 3.....	106
Figura 4.12	Umidade n Laje	104
Figura 4.13	Exposição de Armaduras	106
Figura 4.14	Excentricidade	112
Figura 4.15	Falhas de Concretagem	113
Figura 4.16b	Segregação do Concreto nas Fundações	113
Figura 4.17	Consequência de Intervenção sem a Técnica Adequada.	113
Figura 4.18	Ocorrência De Danos Em Pilares Do ER 3	114

Figura 4.19	Fator De Intensidade De Danos Em Pilares Do ER 3	115
Figura 4.20	Trincas Em Vigas No Subsolo Do ER 3	117
Figura 4.21	Ocorrência Em Danos Das Vigas Do ER 3	118
Figura 4.22	Fator De Intensidade De Danos Em Vigas Do ER 3	118
Figura 4.23	Profundidade De Carbonatação Atingindo As Armaduras.	119
Figura 4.24	Flecha Excessiva	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Correspondência entre Classes de Agressividade Ambiental (Classe De Agressividade Ambiental)	29
Tabela 2.2	Indicação de Intervalos de Inspeção	48
Tabela 2.3	Classificação do Risco Conforme Grau do Dano da Estrutura	48
Tabela 3.1	Famílias de Elementos Estruturais, Danos e Fatores de Ponderação	61
Tabela 3.2	Classificação dos Danos e Fatores de Intensidade	63
Tabela 3.3	Classificação dos Níveis de Deterioração do Elemento	69
Tabela 3.4	Classificação de Uma Estrutura Conforme o Gd.	72
Tabela 3.5	Critérios de Avaliação das Medidas de Potenciais de Acordo com a ASTM- C876	75
Tabela 3.6	Classificação da Velocidade do Pulso Ultra-Sônico no Concreto	76
Tabela 4.1	Profundidade de Carbonatação e Cobrimento das Armaduras (Pilares ER1)	81
Tabela 4.2	Potencial de Corrosão (Pilares ER 1)	82
Tabela 4.3	Velocidade do Pulso Ultra-Sônico (Pilares ER 1)	83
Tabela 4.4	Esclerometria (Pilares ER 1)	84
Tabela 4.5	Avaliação dos Danos e Graus de Deterioração do Elemento "Pilares"(ER1)	84
Tabela 4.6	Avaliação dos Danos e Graus de Deterioração do Elemento "Pilares"(ER1).	90
Tabela 4.7	Grau de Deterioração da Estrutura (ER 1)	90
Tabela 4.8	Profundidade de Carbonatação e Cobrimento das Armaduras (ER 2)	93
Tabela 4.9	Potencial de Corrosão (ER 2)	93
Tabela 4.10	Velocidade do Pulso Ultra-Sônico	94
Tabela 4.11	Ensaio de Esclerometria	94
Tabela 4.12	Avaliação dos Danos e Grau de Deterioração do Elemento Pilar (ER 2)	95
Tabela 4.13	Avaliação dos Danos e Grau de Deterioração do Elemento Viga (ER 2)	98
Tabela 4.14	Avaliação dos Danos e Grau de Deterioração do Elemento Laje (ER 2)	103
Tabela 4.15	Avaliação dos Danos e Grau de Deterioração do Elemento Reservatório Inferior (ER 2)	104
Tabela 4.16	Grau de Deterioração da Estrutura (ER 2)	105

Tabela 4.17	Profundidade de Carbonatação e Cobrimento das Armaduras (ER 3)	106
Tabela 4.18	Potencial de Corrosão dos Pilares do (ER 3)	107
Tabela 4.19	Velocidade do Pulso Ultra-Sônico nos Pilares Do (ER 3)	107
Tabela 4.20	Ensaio de Esclerometria nos Pilares do (ER 3)	108
Tabela 4.21	Avaliação dos Danos e Grau e Deterioração do Elemento Pilar (ER 3)	109
Tabela 4.22	Avaliação Dos Danos E Grau E Deterioração Do Elemento Vigas (ER 3)	115
Tabela 4.26	Avaliação Dos Danos E Grau E Deterioração Do Elemento Laje (ER 3)	120
Tabela 4.27	Grau De Deterioração Da Estrutura (ER 3)	120
Tabela 4.28	Comparativo Do Grau De Deterioração Entre Os 3 ER's. Estudados	121

NOTAÇÕES E SÍMBOLOS

D	: dano
F_i	: fator de intensidade
F_p	: fator de ponderação
F_r	: fator de relevância
G_{de}	: grau de deterioração do elemento
G_{df}	: grau de deterioração de uma família de elementos
G_D	: grau de deterioração da estrutura como um todo
m	: número de danos avaliados no elemento
K	: numero de famílias de elementos analisadas