UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO - UNICAP
PRÓ-REITORIA ACADÊMICA - PRAC
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

METODOLOGIA PARA ESTIMAR A VIDA ÚTIL DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS, BASEADA NO MÉTODO DOS FATORES

Eng. Fuad Carlos Zarzar Júnior

RECIFE – PERNAMBUCO – BRASIL
AGOSTO – 2007

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

FUAD CARLOS ZARZAR JÚNIOR

METODOLOGIA PARA ESTIMAR A VIDA ÚTIL DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS, BASEADA NO MÉTODO DOS FATORES

Dissertação apresentada à Universidade Católica de Pernambuco como requisito parcial, exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Concentração em Engenharia das Construções, orientado pelos Professores Romilde Almeida de Oliveira e Eliana Cristina Barreto Monteiro.

RECIFE – PERNAMBUCO – BRASIL

AGOSTO – 2007

Z38m Zarzar Júnior, Fuad Carlos

Metodologia para estimar a vida útil de elementos construtivos baseada no método dos fatores / Fuard Carlos Zarzar Júnior ; orientador Romilde Almeida de Oliveira ; co-orientador Eliana Cristina Monteiro, 2007.

173 f.: il..

Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica, 2007.

1. Construção de concreto. 2. Materiais de construção-Durabilidade. 3. Análise de regressão. I. Oliveira, Romilde Almeida de. II. Título.

CDU 624.012.45

FUAD CARLOS ZARZAR JÚNIOR

METODOLOGIA PARA ESTIMAR A VIDA ÚTIL DE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS BASEADA NO MÉTODO DOS FATORES

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Concentração em Engenharia das Construções.

Avaliado por:

Prof. Romilde Almeida de Oliveira
(Orientador – Dr. – UNICAP)

Prof.ª Eliana Cristina Monteiro
(Co-orientadora – Dra. – UNICAP)

Prof. Joaquim Teodoro Romão de Oliveira
(Examinador interno – Dr. – UNICAP)

Prof. Alberto Casado Lordslem
(Examinador externo – Dr. – UPE)

Data: 16 / 08 / 2007

Recife

2007

Agradecimentos

Quero expressar meus agradecimentos aos professores Romilde Almeida e Eliana Monteiro pelo seu apoio fundamental, orientação, atenção, esclarecimentos e sugestões durante este Trabalho.

Ao Professor Joaquim Teodoro Romão de Oliveira pela contribuição dada na Dissertação devido a sua crítica construtiva e pelo apoio dado pela realização de ensaios no laboratório de Geotecnia, juntamente com o Prof. Silvio Romero de Melo Ferreira, ambos da UNICAP.

Aos Professores Fernando Artur Nogueira Silva, Maria da Graça, Robson Pequeno, Valdemir Alexandre, Paulo Helene, Arnaldo Cardim de Carvalho Filho, Antonio Oscar Cavalcanti da Fonte, integrantes da Pós-Graduação da UNICAP e José de Melo (CEFET-PE), pelos ensinamentos e incentivo.

Agradeço, também, ao Professor Jorge Cândido de Lima pela correção ortográfica deste Trabalho.

Aos funcionários do laboratório de materiais da UNICAP, André e Washington, pelos serviços prestados na execução dos ensaios, ao CNPq e à FUNDAPLUB pelo apoio financeiro.

Aos vários colegas do Mestrado Ariosto, Carlos Alberto, Elilde, Fred, Genilson, Geovani, Gilberto, Guilherme, Jackeline, Luiz, Marcos, Mauro e Mônica pela amizade, solidariedade e incentivo.

Aos meus pais Fuad e Lucia, as minhas irmãs Samia e Karina que teve papel importante devido à sua co-orientação oficiosa na estruturação deste Trabalho, quero agradecer, também, a minha Tia Auta de Souza pelo exemplo de integridade, carinho, confiança e apoio constante. Em especial, desejo externar minha gratidão à minha esposa Tânia e, a ela, dedicar esta Dissertação. Ao meu filho Fuad Neto, pela inspiração que me proporcionou para desenvolver uma Equação Alternativa para estimar a vida útil de elementos construtivos, baseada na regressão linear múltipla e a minha filha Márcia pelo incentivo, carinho, companheirismo e apoio, durante todo esse tempo.

E, sobretudo, a Deus.

Resumo

Este Trabalho, baseado nas determinações da norma ISO 15686, apresenta e discute um método determinístico, o Método dos Fatores (MF), que permite estimar a vida útil de materiais e componentes e planejar a periodicidade necessária de manutenção e substituição dos referidos materiais e componentes. A precisão das estimativas desse método foi analisada, neste Trabalho. Uma Equação Alternativa para estimar a vida útil, também, foi desenvolvida, usando regressão linear múltipla (RLM), derivada do MF pertencente a ISO 15686-1. A RLM é, largamente, usada para avaliar ou estimar produtos que interajam com variáveis independentes. Finalmente, a supra mencionada Equação Alternativa foi utilizada para comparar os resultados aleatórios de suas estimativas com os resultados aleatórios das estimativas do MF.

Analisando os exemplos do Capítulo 4, constatou-se que o Método dos Fatores é muito importante para estimar a vida útil de materiais e componentes, e a Equação Alternativa, também. Foram efetuados dois estudos de casos diferentes. No primeiro caso as vidas úteis totais de três estruturas de concreto que colapsaram foram estimadas. Primeiro a vida útil total de um edifício similar ao que colapsou na Região Metropolitana do Recife (PE), depois a vida útil total da varanda de um prédio, construído na Cidade do Rio de Janeiro (RJ) usando o MF e a Equação Alternativa. Finalmente, foi feita, também a estimativa da vida útil total do embasamento e superestrutura de prédios do tipo caixão (exemplo nº4), que colapsaram na Região Metropolitana do Recife, usando o Método Delphi em conjunto com o Método dos Fatores.

No segundo caso, foram feitas as estimativas das vidas úteis de uma janela de madeira mole, usando ambos o MF e a Equação Alternativa. As demais estimativas de vida útil das outras estruturas de concreto foram conseguidas da mesma forma. As estimativas de vida útil total do primeiro caso se aproximaram dos casos reais estudados, apesar de as equações apresentadas neste Trabalho terem sido desenvolvidas, exclusivamente, para estimar a vida útil de materiais e componentes, provando, assim, a potencialidade das estimativas.

Palavras-Chave: Método dos Fatores, Regressão Linear Múltipla, Planejamento da Vida Útil, Manutenção, Vida útil estimada, Método Delphi.

Abstract

This Work, based on parts of the ISO 15686, presents and discuss about a deterministic method, Factor Method (FM), that permits to predict material service life and their components and planning their maintenance and replacement necessary periodicity. The precision of the estimates of this method was analyzed in this Work, and an alternative equation to evaluate service life was developed, using multiple linear regression (MLR), derived from FM pertaining to ISO 15686-1 and especially the Factor Method. The MLR is broadly used to evaluate products that interact with independents variables. Finally, this alternative equation was used to compare its estimate random results with the FM random ones.

After evaluating the examples on chapter 4, the Author noticed that the Factor Method is very important to estimate service life of materials and components and the alternative equation too. Two case studies were done in this Work, in the first case the total service life of three collapsed structures were estimated. First a concrete structure similar to a building that was located in the Metropolitan Area of Recife (Brazil) and then the total service life of an balcony from a building located at the city of Rio de Janeiro (Brazil) using both the Factor Method and the alternative equation, and finally the total service life of the basement and superstructure of specific buildings called "box" from the Metropolitan Region of Recife using the Delphi Method together with the Factor Method was realized too.

In the second case, the service life estimation of a softwood window was done using the FM and the alternative equation, other estimations of service life were done the same way by using the alternative equation and the FM.

Despite the equations presented in this Work have been developed specifically to estimate service life of materials and components, the estimates showed that the precision of the total service life of the first case approximated to the real case studies, proving the potentiality of the methods.

Keywords: Factor Method, Matrix Method, Multiple linear Regression, Maintenance, Estimate Service Life and Delphi Method.

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Diferentes desempenhos de uma estrutura, com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos, (SOUZA, 2005).	30
2.2	Imagem da destruição de uma casa, provocada por um furacão em Santa Catarina, (REVISTA GALILEU, 2004)	36
2.3	Gráfico do módulo de elasticidade estimado. Formula usada Eci=5600√fck (MPa), (ZARZAR et al, 2006).	37
2.4	Comportamento do módulo de elasticidade para os traços 1:3, 1:4 e 1:5 nos dias 3,7 e 28, (ZARZAR et al, 2006).	38
2.5	Pipocamento (spalling) em uma superfície de concreto, devido ao incêndio, (INTERFIRE, 2007)	42
2.6	Penetração dos agentes de degradação na estrutura de concreto, (HELENE, 2005)	59
3.1	Dados e influências na vida útil das edificações	69
3.2	Desempenho, ao longo do tempo, (ABNT, projeto 02:136.01-001/1:2005)	79
3.3	Metodologia para planejamento da vida útil, dos componentes das edificações, (ISO 15686-1:2000)	89
3.4	Processo de previsão da vida útil relacionado com os estágios do projeto, (ISO 15686-1:2000)	106
4.1	Corte transversal de um tronco de árvore, (SENAI; CST, 1996)	112
4.2	Vista da fachada do prédio com a varanda do sexto andar inclinada. (Jornal "O Globo" de 21/03/2003)	115
4.3	Forma da sala e da varanda em planta, (CUNHA et al, 2004).	116
4.4	Forma da sala e da varanda – corte A – A, (CUNHA et al, 2004).	116
4.5	Detalhe da barra negativa no rebaixo, situação antes do acidente, (CUNHA et al, 2004).	117
4.6	Detalhe da barra negativa no rebaixo, situação após o acidente, (CUNHA et al, 2004).	118
4.7	Pescoço do pilar do Edifício Areia Branca – Recife (PE)	120
4.8	Edifício Areia Branca, antes do desabamento.	121
4.9	Escombros do Edifício Areia Branca	121
4.10	Embasamento do prédio tipo caixão	122

4.11 Superfície de resposta (MONTGOMERY, 2003) 126
4.12 Gráfico de dispersão entre VUE, ŷ(VU) 136
4.13 Os resultados representam as estimativas das vidas úteis entre as equações VUE e **ŷ**(VU) que foram obtidas, a partir do intervalo 450-465 do Apêndice da Tabela C1. 137

LISTA DE TABELAS

Tabelas		Páginas
2.1	Resultado dos ensaios de resistência à compressão referente aos: 3º, 7º e 28º dias, (ZARZAR et al, 2006).	37
2.2	Resistência à compressão no 28° dia para previsão de tensão de cisalhamento.	38
2.3	Coeficientes de dilatação térmica do vidro, concreto e metal.	41
2.4	Dados requeridos para a obtenção da vida útil residual da estrutura de concreto (ACI 355.1R-00)	55
3.1	Normas ISO 15686 interligadas com o Método dos Fatores	70
3.2	Vidas úteis mínimas de projetos para componentes (VUC)	78
3.3	Hierarquia sugerida de conseqüências de segurança, (ISO 15686-1:2000)	81
3.4	Opções de graduação das condições de referências das classes A, B, C, F e G, (ISO/DIS 15686-8:2006)	96
3.5	Procedimentos recomendados para serem usados no planejamento da vida útil, (ISO 15686-1)	107
4.1	Fatores detalhados para janela de madeira mole (pinho) equivalente ao Anexo F – Tabela F.2 da ISO 15686-1	113
4.2	Valores usados para estimar a vida útil da janela de madeira mole	114
4.3	Classe dos fatores, características e respectivos valores para o exemplo nº2 obtida da Tabela A.1, Apêndice A.	118
4.4	Valores dos fatores utilizados no exemplo nº3	120
4.5	Uso do Método dos Fatores e do Método Delphi para o embasamento	122
4.6	Uso do Método dos Fatores e do Método Delphi para a superestrutura	123
4.7	Objeto específico, condições de uso de referência e valores dos fatores, resultantes para a verga de concreto, obtidas da Tabela A.1, Apêndice A.	124
4.8	Faixa padrão dos fatores do Método dos Fatores	124
4.9	Saída do Minitab para os dados da vida útil	132
4.10	Fatores utilizados nos exemplos nº6 e nº7.	133
4.11	Comparações das estimativas entre as equações da VUE do $\hat{y}$(VU) e do $\hat{y}$(VUG)	134
A.1	Faixa das condições de uso das classes dos fatores.	146
B.1	Variáveis: X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, (obtida através da geração de	148

dados aleatórios com ajuda do programa Minitab), parâmetros $\hat{\beta}$ (coeficientes), erro (ε) e com os estimadores VUE e ŷ(VU).

C.1 Tabela C.1 – Análise de variância ANOVA entre as médias do VUE e ŷ(VU), obtida com a ajuda do programa Microsoft Excel. 161

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

Abreviatura ou Siglas	Significado
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
AASHTO	American Association of State of Highway Transportation Officials.
CIB	Conseil International du Bâtiment
CEB	Commité Euro-Internacional du Beton
EU	União Européia
FIP	Fédération Internationale de la Précontrainte
FMEA	Failure mode and effect analysis
FURGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
GPC	Guia do produto da construção
OEAT	Organização Européia para aprovação técnica
RMR	Região metropolitana do Recife
RMS	Regressão linear múltipla
UnB	Universidade de Brasília
VUE	Vida útil estimada
VUP	Vida útil do projeto
VUPE	Vida útil do projeto de uma edificação
VUPC	Vida útil de projeto de um componente
VUEE	Vida útil estimada de uma edificação
VUEC	Vida útil estimada de um componente
VUPC	Vida útil predita de um componente
VURE	Vida útil de referência de uma edificação
VURC	Vida útil de referência de um componente
$\hat{y}$(VU)	Estimador da vida útil da regressão linear múltipla
$\hat{Y}$(VUG)	Estimador da vida útil geral da regressão linear múltipla

LISTA DE SIMBOLOS

Símbolos	Significado
B	Índice de confiabilidade
P_f	Probabilidade de falha
E	Profundidade de carbonatação
β_i	Parâmetros do modelo de regressão linear múltipla
E	Profundidade de carbonatação
K	Coeficiente de carbonatação
$C_{(x,t)}$	Concentração de cloretos na profundidade (*e*), a partir da superfície de concreto em um dado tempo t (%).
Cs	Concentração superficial de cloretos
C_{cr}	Concentração crítica de cloretos nas proximidades da armadura.
Erf	Função de erro de Gauss.

SUMÁRIO

Capítulos				Página
1			**INTRODUÇÃO**	17
	1.1		Manutenção no Brasil	18
	1.2		O objetivo da Dissertação	19
	1.3		O mercado da construção civil	20
	1.4		Abordagem geral	20
	1.5		Apresentação da Dissertação	22
2			**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**	24
	2.1		Considerações iniciais	24
	2.2		Modelos adequados de desempenho	27
	2.3		Conceito de vida útil	28
	2.4		Desempenho	29
	2.5		Vida útil e durabilidade	30
	2.6		Conceito de manutenção	32
	2.7		Patologias geradas pelos projetos	33
		2.7.1	Agressões das intempéries climáticas	34
		2.7.2	A retirada do escoramento e a desforma	36
		2.7.3	As patologias geradas pelo uso	39
		2.7.4	Critérios adotados na execução da construção	39
		2.7.5	Propriedades térmicas dos materiais de construção	40
		2.7.6	Incêndio	41
	2.8		Concreto	42
		2.8.1	Componentes do concreto	43
		2.8.2	Características do concreto fresco	44
		2.8.2.1	Calor de hidratação	44
		2.8.2.2	Tempo de pega	45
		2.8.2.3	Segregação	45
		2.8.2.4	Exudação da água ou da nata	45
		2.8.2.5	Fluidez, plasticidade e trabalhabilidade.	46
		2.8.2.6	Consistência – (ou grau de umidade)	46
		2.8.2.7	Incorporação de ar	47
		2.8.3	Características do concreto endurecido	47

		2.8.3.1	Retração	47
		2.8.3.2	Dilatação térmica	48
		2.8.3.3	Permeabilidade	48
		2.8.3.4	Agentes destruidores	48
		2.8.3.5	Resistência mecânica	49
	2.8.4		Preparo do concreto	49
		2.8.4.1	Mistura	49
		2.8.4.2	Amassamento	49
		2.8.4.3	Lançamento	49
		2.8.4.4	Adensamento	50
		2.8.4.5	Cura	50
		2.8.4.6	Aditivos do concreto	50
	2.8.5		Classificação de risco	52
		2.8.5.1	Avaliação da situação do concreto	52
		2.8.5.2	Classificação do dano visível	52
		2.8.5.3	Situação insegura ou parcialmente arriscada	54
	2.8.6		Avaliação do envelhecimento do concreto armado ou dos agentes de degradação.	54
		2.8.6.1	Inspeção e manutenção	56
	2.8.7		Métodos para prever a vida útil do concreto	57
		2.8.7.1	Experiência	58
		2.8.7.2	Ensaios acelerados	58
		2.8.7.3	Abordagem determinística	58
	2.8.8		Abordagem probabilística	61
	2.8.9		Infra-estrutura para estudo da durabilidade de materiais	63
3			**ISO 15686 E O MÉTODO DOS FATORES**	66
3.1			Métodos de Engenharia para previsão da vida útil	66
	3.1.1		Metodologia para previsão da vida útil	66
	3.1.2		Desenvolvimento futuro do Método dos Fatores	68
3.2			Processo do planejamento da vida útil	71
	3.2.1		Previsão	71
	3.2.2		Termos abreviados	71
3.3			Planejamento da vida útil (etapas no processo do	72

projeto)
3.3.1 Instrução 72
3.3.2 Projeto inicial e conceitual 72
3.3.3 Projeto detalhado 73
3.3.4 Especificação 74
3.3.4.1 Geral 74
3.3.4.2 Detalhamento das instalações 74
3.3.4.3 Material e seleção do componente 74
3.3.4.4 Local de Trabalho 75
3.3.5 Caracterização do meio ambiente 75
3.3.6 Estimativa de custos iniciais 76
3.3.7 Plano de manutenção 76
3.3.8 Exigência de desempenho e aceitação 77
3.3.8.1 Construção permanente, substituível ou passível de manutenção 77
3.3.8.2 Desempenho limitado pela degradação 78
3.3.8.3 Nível mínimo de aceitação das propriedades críticas 79
3.3.8.4 Conseqüência das falhas 80
3.3.8.5 Concordância funcional 81
3.3.8.6 Concordância econômica 81
3.4 Predição da vida útil 81
3.4.1 Objetivo da predição 81
3.4.2 Precisão e confiabilidade do método 82
3.4.3 Uso dos dados da predição 83
3.4.4 Levando em consideração a variabilidade e confiabilidade do método 83
3.4.5 Uso da predição 84
3.4.6 Considerações inerentes que influem no processo de predição. 84
3.4.6.1 Abordagem dos assuntos relevantes 84
3.4.6.2 Agentes relevantes relativos à degradação 85
3.4.6.3 Efeitos da exposição e variações das intensidades 85
3.5 Tipos de dados usados para predição 86

	3.5.1		Dados relevantes	86
	3.5.2		Dados registrados ao longo do tempo	86
	3.5.3		Comparação entre dados de exposição e outras evidências	87
3.6			Predição da vida útil baseada em exposição e avaliação de desempenho	87
	3.6.1		Uso das predições baseadas na exposição e avaliação do desempenho	87
	3.6.2		Etapas no processo de predição	88
		3.6.2.1	Abordagem geral	88
3.7			MÉTODO DOS FATORES PARA ESTIMAR A VIDA ÚTIL	90
	3.7.1		Vida útil de referência (VUR)	90
		3.7.1.1	Condições de uso	92
		3.7.1.2	Provisão dos dados da vida útil de referência (VUR)	92
		3.7.1.3	Origem dos dados	92
		3.7.1.4	Avaliação dos dados (VUR)	93
		3.7.1.5	Seleção de dados	93
3.8			Dados gerais formatados para a vida útil de referência (VUR)	94
	3.8.1		Geral	94
	3.8.2		Referência das condições em uso	95
	3.8.3		Registro de dados	98
		3.8.3.1	Entrada dos registros de dados	98
		3.8.3.2	Assuntos detalhados - observações	102
3.9			Estimativa da vida útil, usando o Método dos Fatores	102
	3.9.1		Geral	102
	3.9.2		Classes de fatores	102
3.10			Fatores modificantes	103
	3.10.1		Escolha dos valores	103
	3.10.2		Avaliando a contribuição geral de fatores individuais	103
	3.10.3		Situações que podem influenciar os fatores	103
	3.10.4		Fator A: qualidade do componente	103

	3.10.5	Fator B: nível do projeto	104
	3.10.6	Fator C: nível de execução do Trabalho	104
	3.10.7	Fator D: meio ambiente interno + Marteinsson	104
	3.10.8	Fator E: meio ambiente externo + Marteinsson	104
	3.10.9	Fator F: condições em uso	105
	3.10.10	Fator G: nível de manutenção	105
3.11		Avaliação dos componentes e famílias de componentes	105
3.12		Aplicação do método dos fatores	108
3.13		Níveis de aplicação	109
	3.13.1	Geral	109
	3.13.2	Nível do “checklist”	109
	3.13.3	Nível da função	110
	3.13.4	Nível combinado	111
3.14		Intervalo de confiança da VUE	111
4		**APLICAÇÃO DO MÉTODO DOS FATORES**	112
4.1		Procedimento alternativo para estimar a vida útil	125
	4.1.1	Modelo	125
	4.1.2	Significado dos coeficientes de regressão	126
	4.1.3	Modelo linear geral de regressão	127
	4.1.4	Modelo de regressão linear múltipla em termos matriciais	127
	4.1.5	Estimação dos parâmetros	128
	4.1.6	Valores estimados e resíduos	129
4.2		Objetivo	129
5		**CONCLUSÕES E SUGESTÕES**	138
5.1		Conclusões	138
5.2		Sugestões para futuros Trabalhos	139
		REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	140
		APÊNDICE A	146
		APÊNDICE B	148
		APÊNDICE C	161

CAPÍTULO 1

1. Introdução

Na Região Metropolitana do Recife (RMR) vêm se registrando diversos casos de patologias e acidentes com obras de diversas tipologias. Esses fatos geraram um sério problema social, em virtude de haverem criado um quadro de insegurança e apreensão para os usuários dessas edificações.

Em outubro de 2004, ruiu, de forma inesperada, o Edifício Areia Branca, imóvel residencial com doze pavimentos, além de subsolo e garagem, situado no Bairro da Piedade, em Jaboatão dos Guararapes, na RMR.

A forma como ocorreu o acidente motivou a solicitação de laudos de vistoria em larga escala, com inspeções das partes enterradas, inclusive das fundações. Esse período coincidiu com a entrada em vigor da nova norma de concreto, a NBR 6118:2003 que introduziu novos conceitos, tais como o de durabilidade, em que se questiona implicitamente a vida útil das edificações.

A partir de então, foram realizados, na cidade do Recife, vários fóruns estimulando o debate sobre esse tema e assuntos dele decorrentes. A ABECE – Delegacia Regional do Recife coordenou a ação de mais de uma centena de profissionais de Engenharia de estruturas e de construção, entre projetistas, professores e engenheiros de execução, ao longo de quatro reuniões Plenárias nos meses de fevereiro a maio de 2005, elaborando, de forma consensual, um Plano de Vistoria ("checklist") básico.

Com o Objetivo de minimizar os riscos, indicar as formas de preservar a integridade dos Edifícios, construídos há mais de dez anos, sob técnicas e normas vigentes à época, com conseqüente revalorização do patrimônio. Constata-se que alguns países desenvolvidos (Canadá, EUA, Japão e União Européia) possuem normas estabelecidas, a partir do desenvolvimento da metodologia de previsão da vida útil. No Brasil, até o momento, não se tem registro de normas com essa finalidade.

1.1 Manutenção no Brasil

Acreditava-se, erroneamente, que as estruturas de concreto armado pudessem ter durabilidade ilimitada (KRAUS, 1994). Devido aos inúmeros casos de deterioração, nessas estruturas, houve um aprofundamento pelas normas mais recentes referentes à durabilidade e vida útil, objetivando aplicá-las logo no inicio do projeto e execução, bem como a concordância da manutenção preventiva como forma de garantir um padrão aceitável para a edificação, ao longo da vida útil prevista.

Esta Pesquisa se refere a uma metodologia para manutenção estrutural, fornecendo critérios de quantificação para o grau de deterioração dos componentes isolados e da estrutura como um todo, baseando-se em parâmetros que levam em consideração as manifestações mais freqüentes de danos, sua evolução e a influência do meio ambiente em que a estrutura se encontra inserida.

Destaca-se a ausência quase absoluta de programas de manutenção preventiva das estruturas. A constatação de que as estruturas de concreto, mesmo as bem projetadas e construídas, estavam sujeitas à ocorrência de deteriorações, levou, então, diversos Pesquisadores, à busca de aprofundamento dos conceitos de durabilidade e vida útil. A vida útil da estrutura depende, substancialmente, de níveis adequados de manutenção, principalmente, porque os eventuais problemas estruturais, sendo descobertos em seu inicio, teriam seus efeitos minorados e os custos de reparo seriam reduzidos. Em geral, as normas têm dedicado grande atenção às disposições de projeto e execução, tendo a durabilidade como requisito essencial, sem, no entanto, estabelecer critérios objetivos de manutenção.

A implantação de uma metodologia eficiente em programas de manutenção periódica poderia contribuir para o aumento da durabilidade das edificações, permitindo o estabelecimento de prioridades para as ações necessárias, frente a cada agente de degradação, garantindo assim, o cumprimento da vida útil prevista. A formulação da metodologia tem a finalidade de quantificar o desempenho estrutural, através do resultado de inspeções especializadas, levando em conta as diretrizes indicadas pelo RILEM Technical Committee 104 (1991).

No Brasil, ainda se está engatinhando para a fase de manutenção com cuidados preventivos, ou buscando, sempre que possível, elevar o desempenho, mediante intervenções

programadas de manutenção. É muito importante, para o projetista e para o proprietário da construção, saber quanto tempo sua obra durará, a fim de planejar gastos e saber até quando a mesma será viável. Portanto, o conhecimento da estimativa da vida útil dos materiais e componentes, ajudará o projetista a melhorar o planejamento da obra no que se refere a custos de manutenção, materiais empregados, a lidar com o meio ambiente agressivo, etc.

A falta de planejamento da vida útil da construção implica em manutenções mais dispendiosas, com o intuito de prolongar a vida útil residual e evitar riscos e prejuízos à segurança. No estágio da vida útil de serviço ou de utilização, os efeitos dos agentes agressivos começam a se manifestar, como fissuração do concreto por ataque químico ou manchas devidas à corrosão de armaduras. Essa vida útil é variável de caso para caso, pois em certas estruturas não se admitem determinados tipos de manifestações, como manchas ocasionadas pela lixiviação em concreto aparente e em outras elas só serão levadas em consideração quando chegam a níveis que possam comprometer a funcionalidade ou segurança.

1.2 O objetivo da Dissertação

Estimar a vida útil de diversos tipos de materiais, componentes ou famílias de componentes, através de uma metodologia própria, que se adapte, às diversas regiões Brasileiras, utilizando a equação do Método dos Fatores (MF), pertencente à norma internacional ISO 15686-1:2000. Avaliar a precisão do MF e comparar-lhe com uma nova equação baseada na Regressão Linear Múltipla. Usar o Método Delphi, como uma ferramenta para obtenção de dados para suprir o Método dos Fatores e das Equações Alternativas ŷ (VU) ou ŷ (VUG).

Foram feitas estimativas das vidas úteis totais de componentes a partir da análise de estruturas de concreto que tiveram suas vidas úteis comprometidas antes mesmo de terem alcançado a sua vida útil de projeto e os resultados obtidos se aproximaram bastante de alguns casos reais. Em particular, os seguintes itens foram considerados:

- ✓ uso geral do método pelos projetistas;
- ✓ precisão esperada e confiabilidade do método;
- ✓ as possibilidades para os projetistas avaliarem os valores necessários da VUR (vida útil de referência) e os fatores de A a G;

1.3 O mercado da construção civil.

Em cada país, o meio construído, geralmente, representa mais da metade do capital real e a construção representa entre 10-12% na União Européia do Produto Interno Bruto. Sabe-se também que a indústria da construção e o meio construído são os maiores consumidores de recursos (energia e materiais). Dentro da União Européia, estima-se que as construções consomem, aproximadamente, 40% do total da energia – e são responsáveis por cerca de 30% de emissão de CO_2, gerando, aproximadamente, 40% de todos os resíduos artificiais (CIB, 1999).

A grande importância do setor e o fato de que as construções têm uma expectativa de vida útil de, no mínimo, algumas décadas, resultam no interesse crescente de aprimorar os ganhos (para os construtores, produtores e para a sociedade como um todo) desses investimentos, a fim de minimizar eventuais efeitos negativos.

1.4 Abordagem geral

Busca-se nos últimos anos, por conhecimento, a respeito da durabilidade, vida útil de materiais, componentes e construções. O referido assunto tem sido levado em consideração como sendo de alta prioridade e está fundamentado em dois aspectos:

- ✓ assuntos ambientais – falta de material, fonte de energia, a construção, o setor da construção como um grande consumidor dos supramencionados recursos, e o impacto ambiental causado pelas construções;
- ✓ assuntos econômicos – levam em consideração o valor total do meio construído a nível nacional e a nível unitário para os setores público e privado, acentuando, que a situação do meio construído, os custos anuais de administração, manutenção e os custos do ciclo de vida são da maior importância para a economia do país;

A ISO15686-1 inclui uma introdução para previsões de desempenho de longo prazo, baseada em exposição, desempenho de avaliação e estimativas dependentes de fatores aplicáveis para ajustar a vida útil de referência.

A ISO 15686-1 é dirigida principalmente para:

- ✓ proprietários de edifícios e usuários;
- ✓ projetos, construção e manutenção;
- ✓ técnica de instalações;
- ✓ fabricantes que planejam dados sobre desempenho de longo prazo de produto;
- ✓ mantenedores de edificações;
- ✓ avaliadores de edificações;
- ✓ seguradoras de edifícios;
- ✓ auditores técnicos de edificações e aqueles que desenvolvem ou redigem normas de produto.

Consiste das seguintes partes, sob o título geral Construções e Imóveis Construídos – Planejamento da Vida útil:

Parte 1 – Princípios gerais

Parte 2 – Procedimentos para previsão da vida útil

Parte 3 – Auditoria de desempenho e revisão

Parte 4 – Requerimentos de dados

Parte 5 – Custo do ciclo de vida.

Parte 8 – Vida útil de referência e estimativa da vida útil

O planejamento da vida útil tem, como objetivo, assegurar que a vida útil de uma obra igualará ou excederá à vida de projeto, levando em consideração o custo do ciclo de vida das construções.

A necessidade de aumento de conhecimento sobre: degradação de materiais, metodologia estruturada, e de ferramentas de Trabalho para aqueles envolvidos no processo de planejamento, tem resultado em um longo esforço em Pesquisa pré-normativa e normativa, levando, em consideração, esse campo.

Este Trabalho apresenta uma análise do planejamento da vida útil, do significado do papel do Método dos Fatores, nesse contexto e, especialmente, a eficiência do método. No processo de desenvolvimento do Projeto, é grande a necessidade para avaliar a vida útil dos componentes, apresentando-se como um problema a ser resolvido, visto que os resultados

dependerão das propriedades dos materiais e do ambiente em que os materiais em uso estão localizados.

O Método dos Fatores é uma ferramenta de Trabalho promissora para avaliar e comparar elementos construtivos. Exemplos do uso da metodologia (**), ainda, são muito limitados e o método (*) como tal, é muito discutido por Pesquisadores. Contudo, seu futuro dependerá em quão prático será sua aplicabilidade.

O MF é útil para estimar a vida útil de produtos, baseado em uma vida útil de referência e um número de fatores modificantes que dependerão das diferenças de condições, entre o projeto específico e as condições de uso de referência.

A precisão, exigida de tal metodologia, é discutida, especialmente, à luz da variação inerente às propriedades dos materiais, visto que, freqüentemente, a resposta às conseqüências das falhas é muito limitada. O processo de envelhecimento leva ao enfraquecimento gradual de materiais que poderiam causar falhas catastróficas de certos componentes. Em tais casos, o Método dos Fatores é considerado como sendo de grande uso e deve dar, às partes envolvidas, um meio eficaz para que o Trabalho se desenvolva de um modo estruturado e sistemático.

1.5 Apresentação da Dissertação

A apresentação da Dissertação é feita segundo uma seqüência lógica, na qual seus Capítulos estão, assim, divididos:

Capítulo 1 – Relata a metodologia existente na ISO 15686-1 que busca estimar a vida útil de materiais e componentes, proporcionando, aos projetistas, melhorar o planejamento da vida útil das construções. Apresenta um procedimento alternativo, baseado na regressão linear múltipla para obtenção de Equações Alternativas $\hat{\mathbf{y}}$ (VU) ou $\hat{\mathbf{y}}$ (VUG) para estimar a vida útil e comparar o Método dos Fatores presente na ISO 15686-1, usa o Método Delphi nesse Projeto, como uma ferramenta para obtenção de dados para suprir o Método dos Fatores e as Equações Alternativas.

(*) Método – Modo de proceder, caminho pelo qual se atinge um objetivo.

(**) Metodologia – Estudo do método (fonte: dicionário Aurélio on-line).

Inclui possíveis campos de atuação, além da estimativa da vida útil proposto na norma, exemplo: foi possível calcular a vida útil total de componentes de estruturas de concreto, que tiveram as suas vidas de serviço comprometidas, antes mesmo de terem alcançado a sua vida de projeto, obtendo-se resultados bem próximos do real.

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica. Discussão geral sobre: patologia, durabilidade, conceitos, vida útil, métodos existentes, usados até hoje, para prever a vida útil das construções. Durabilidade e a previsão da vida útil das estruturas de concreto armado. Estudos sobre os problemas patológicos, falhas de projeto e planejamento das edificações.

Capítulo 3 – Metodologias usadas para estimar a vida útil de componentes ou grupo de componentes, em especial o Método dos Fatores, inerente a ISO 15686-1. Uma metodologia para a previsão da vida útil de materiais de construção e componentes inclui a identificação, os informes desejados, desenvolvimento de ensaios, interpretação de dados e o relatório de resultados. Usa-se um enfoque de Pesquisa interativo, permitindo, com isso, melhores previsões à medida que o conhecimento evolua.

Capítulo 4 – Avalia a aplicação e precisão do Método dos Fatores, introduz as definições, usadas no Planejamento da Vida Útil, de acordo com a ISO15686, apresenta alguns estudos de caso. O Capítulo, também, compara a equação do Método dos Fatores, com uma Equação Alternativa que na verdade é um modelo de regressão linear múltipla para estimar a vida útil de materiais, componentes e construções. Faz uso do Método Delphi, em conjunto com o Método dos Fatores para estimar a vida útil total de edifícios que colapsaram na Região Metropolitana do Recife.

Capítulo 5 – Conclusões finais fundamentadas no Método dos Fatores, Método Delphi e Equação Alternativa para estimar a vida útil além de sugestões para futuros Trabalhos.

CAPÍTULO 2

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Considerações iniciais

O projeto de uma estrutura envolve princípios básicos como: desempenho, conformidade, reabilitação, segurança, funcionalidade, durabilidade e vida útil. Esses itens dependem de variáveis como manutenção, meio ambiente, ataques por sulfatos ou ácidos entre outros fatores que serão abordados adiante. É importante salientar que todos esses aspectos são considerados como de igual valor.

Negligenciar, mesmo parcialmente, um item qualquer, significa comprometer o objetivo, que é a durabilidade prevista em projeto. Para os engenheiros, arquitetos, proprietários e futuros usuários da obra é de grande importância que a construção em análise seja segura e atenda aos requisitos mencionados acima.

> Deparando-se com um sintoma de deficiência em qualquer dos sistemas de uma estrutura, o usuário (ou responsável técnico) busca encontrar soluções para o problema, que lhe proporcionem segurança, dentro do menor custo possível. Nesse contexto, a definição de ações é dependente do entendimento dos sintomas do problema e, essencialmente, das causas que originaram a sua ocorrência, ANDRADE & JUST, (2005):

A durabilidade e a conseqüente previsão da vida útil das estruturas de concreto armado estão sendo objetos de muitas pesquisas, em diversas Instituições, tanto no Brasil como no exterior. Estudos indicam que os problemas patológicos ocorrem, em aproximadamente 50% dos casos, por falhas de projeto e planejamento das edificações (PRÖPSTER, 1981).

Assim, para que seja garantida a qualidade das estruturas, entre outros aspectos, deve-se melhorar a concepção dos projetos e estabelecer um programa de inspeção periódica. As ações, tomadas na fase de projeto, se, devidamente, executadas na fase de construção, trazem maiores benefícios, reduzindo custos com manutenção preventiva ou corretiva. Um programa

eficiente de inspeção/manutenção periódica garante a durabilidade das edificações e permite estabelecer prioridades para as ações necessárias ao cumprimento da vida útil prevista.

Avaliação da Vida útil de serviço ou de utilização – qualquer método viável de projeto ou avaliação da vida útil envolve um número de elementos especiais: Um modelo de comportamento, critério de aceitação definindo desempenho satisfatório, cargas nos quais esses critérios devem satisfazer propriedades relevantes das características dos materiais e fatores ou margens de segurança que levem, em consideração, incertezas sobre todo o sistema SOMMERVILLE, (1992). A seleção de materiais e proporções de misturas, usadas no concreto, assim como o valor máximo do fator a/c, e considerações sobre os detalhes da estrutura, fornecem um enfoque usado para projetos de estruturas duráveis.

Designa-se genericamente por Patologia das Estruturas esse novo campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, conseqüências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas (SOUZA et al, 2005). A necessidade de reabilitar e manter estruturas existentes são ditadas por razões tão diversas quanto as de fundo econômico, social, de segurança, de estética, de inovação, patrimonial ou histórico, está criando uma nova escola. No que diz respeito a desenvolvimento de projetos e ao projeto estrutural em si, a avaliação das estruturas de concreto armado existentes, em termos de capacidade de desempenho futuro (segurança, utilização e vida útil) tornou-se crucial.

A novidade dessas questões e as críticas freqüentes, relativas aos desempenhos insatisfatórios de algumas construções, levam à necessidade do estabelecimento da mais adequada sistematização dos conhecimentos, nesta área, para que, efetivamente, venha a ser alcançado o objetivo básico que é o de abordar, de maneira científica, a problemática do comportamento estrutural, ao longo do tempo, isto é, desde a concepção até a manutenção da estrutura.

Os problemas patológicos simples são os que admitem padronização, podendo ser resolvidos, sem que o profissional responsável tenha, obrigatoriamente, conhecimentos, altamente, especializados. Já os problemas patológicos complexos não convivem com mecanismos de inspeção convencionais e esquemas rotineiros de manutenção, obrigando a uma análise pormenorizada e individualizada do problema, sendo, então, necessários profundos conhecimentos de Patologia das Estruturas.

Os conceitos de qualidade da construção e de garantia dessa qualidade são sérias questões que carecem de análise mais atualizada, assim como, e em especial, a segurança estrutural. Essa, em particular, por estar diretamente, relacionada à pressão que a opinião pública exerce e aos riscos de enormes prejuízos humanos e materiais. Desta forma, inicialmente, analisa-se a conceituação do modelo. Este é o primeiro passo que o engenheiro estrutural executa ao projetar uma estrutura, já que a concepção de uma estrutura e o seu comportamento, diante de solicitações mecânicas (carregamentos estáticos e dinâmicos) ou decorrentes da natureza (temperatura, sismos, corrosão, desgaste, etc.) e, conseqüentemente, o estabelecimento dos critérios de segurança, começam pela modelagem da estrutura.

Um modelo é definido pelo conjunto de hipóteses que idealizam os diversos aspectos, relevantes para o equacionamento e a solução do problema, em questão. A escolha dos modelos, no campo da engenharia civil, depende mais da sua utilidade do que da sua "precisão". Os valores, a serem considerados na escolha de um modelo, podem ser de três tipos: de coerência lógica, de poder descritivo e de utilidade prática (valorização pragmática).

Do ponto de vista da coerência lógica, os modelos são encarados como teorias que relacionam um conjunto de proposições a um conjunto de hipóteses, resultando, sintaticamente correto, quando esse relacionamento obedece às regras da Matemática ou da Lógica. O poder descritivo de um modelo, ou seja, sua valorização significativa, envolve as correspondências entre as variáveis do modelo e os aspectos da realidade que ele pretende descrever. Desta maneira, necessariamente, o desenvolvimento dessa valorização deve ser feito pela experimentação.

A valorização prática de um modelo relaciona-se à sua utilidade prática no apoio à tomada de decisões. Desta forma, a modelagem, em última instância, é que deverá definir a estrutura e os materiais a utilizar e fatores das mais diversas ordens (recursos computacionais, custos da análise e da construção, tempo de análise e de construção, fronteiras do conhecimento tecnológico, etc.) influem, decisivamente, na elaboração do modelo e, consequentemente, na segurança da estrutura que este irá representar. Um modelo, mal elaborado, levará, sempre, ao desperdício, por um lado, ou à falta de segurança, por outro.

Os problemas relativos ao desempenho insatisfatório das estruturas e à patologia das estruturas, como um todo, começam, também, a serem mais entendidos por passarem a se situar dentro do contexto global da construção civil. Não sendo deixados, apenas, para análises particulares como se fossem defeitos eventuais fazendo com que a Engenharia Estrutural, trabalhe, também na criação de uma metodologia capaz de avaliar melhor essas questões.

A patologia das estruturas, está dessa forma, iniciando seu caminho pelo cadastramento da situação existente e pelo estudo detalhado de alguns casos de sintomas patológicos. Para o seu maior desenvolvimento, é imperativa a homogeneização de conceitos e métodos, de forma que os conhecimentos sobre esta Área tão vasta e, ainda, pouco explorada venham a ser aprimorados.

2.2 Modelos adequados de desempenho

A grande maioria das normas e dos regulamentos que tratam do projeto e da execução de estruturas de concreto, ainda, hoje vigentes, nas mais diferentes Regiões do mundo, foi concebida, com a preocupação dominante de garantir a obtenção da mais adequada resistência mecânica para as diversas peças estruturais.

Busca-se sempre, conhecer quanto tempo uma estrutura resistirá, levando-se em conta, um desempenho sustentável. A importância do planejamento da vida útil está em proporcionar as garantias de uma construção sólida, resistente e de qualidade, a custos justos, estabelecer o tempo e o custo correspondente e a garantia da continuidade de desempenho satisfatório da mesma, o que implica a adoção de um sistema de manutenção adequado.

Dessa forma, os materiais, a adotar, e os métodos construtivos e de concepção estrutural, a seguir devem considerar o desempenho esperado para a obra que será executada, em um espaço de tempo, previamente, definido, tendo, sempre, em vista, a agressividade ambiental a que a construção estará submetida (ISO 15686-1).

Pretende-se, portanto, modernamente, estabelecer modelos para as várias obras a serem executadas. Nessa modelagem, os envolvidos devem estar cientes de que os materiais não são perenes, mas envelhecem, precisam de manutenção e tratamento e podem ser

reabilitados. Em particular, estas considerações serão de extrema valia para o material de construção concreto, um complexo conjunto que começa a ser considerado, não como material, mas como classe de materiais de diversas composições, resistências, compacidade, durabilidades, etc.

Mais adiante, os responsáveis precisarão considerar que todo modelo deverá prever os custos, com todas as etapas envolvidas no processo da construção, que, se fisicamente podem ser restritivas a três (concepção, execução e manutenção), em nível de conceitos devem incorporar atividades como desempenho, durabilidade, conformidade (adequação) e reabilitação.

Não será difícil perceber que esses critérios vieram criar uma verdadeira revolução, na arte de construir, visto que implicam em colocar em um mesmo plano de importância, atividades tão diversas como: cálculo, detalhamento, estabelecimento dos métodos construtivos, seleção e controle de qualidade dos materiais, ensaios de conformidade e rotinas de manutenção, realçando a figura do gestor do empreendimento, que deve, necessariamente, compatibilizar estes conjuntos técnicos com a produção necessária com o custo, previamente, estabelecido.

Como se vê, a própria freqüência na utilização, neste contexto, de termos tais como desempenho, durabilidade, ambiente, conformidade, vida útil e manutenção, em complemento às costumeiras resistência e fissuração, indicam existir, hoje, a percepção de que as estruturas e o material concreto estão amadurecendo e exigindo tratamento diferenciado, relativamente àquele que, até agora, vinha sendo dispensado a eles.

2.3 Conceito de vida útil

Por vida útil de um material, entende-se o período durante o qual as suas propriedades permanecem acima dos limites mínimos especificados (SOUZA, 2005). O Conhecimento da vida útil e da curva de deterioração de cada material ou estrutura são fatores de fundamental importância para a confecção de orçamentos reais para a obra, assim como de programas de manutenção adequados e realistas. De acordo com a ISO 15686-1 vida útil (vida de serviço) é o período de tempo, após a instalação no qual uma construção ou suas partes satisfazem ou excedem as exigências de desempenho.

2.4 Desempenho

Já por desempenho, entende-se o comportamento em serviço de cada produto, ao longo da vida útil, a sua medida espelhará, sempre, o resultado do Trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção (SOUZA, 2005). Mesmo quando a manutenção esteja sendo executada, conforme o planejado, as estruturas e seus materiais se deterioram, sendo esta deterioração, no limite, irreversível. O ponto em que cada estrutura, em função da deterioração, atinge níveis de desempenho insatisfatórios, varia de acordo com o tipo de estrutura. Algumas delas, por falhas de projeto ou de execução, já iniciam as suas vidas de forma insatisfatória, enquanto outras chegam ao final de suas vidas úteis projetadas, ainda mostrando um bom desempenho.

No entanto, o fato de uma estrutura, em determinado momento, apresentar-se com desempenho insatisfatório não significa que ela esteja necessariamente, condenada. A análise desta condição é talvez, o objetivo maior da Patologia das Estruturas, visto que esta seja a ocasião que requer atendimento técnico imediato, de forma que ainda seja possível reabilitar a estrutura.

Na Figura 2.1 são representadas, genericamente, três diferentes histórias de desempenho estruturais, ao longo das respectivas vidas úteis, em função da ocorrência de fenômenos patológicos diversos (SOUZA, 2005).

No primeiro caso, representando pela curva traço-duplo ponto, está ilustrado o fenômeno natural de desgaste da estrutura. Quando existe intervenção, a estrutura se recupera, voltando a seguir a linha de desempenho, acima do mínimo exigido para sua utilização.

No segundo caso, representado por uma linha cheia, constata-se uma estrutura sujeita, em dado momento, a um problema súbito, como um acidente, por exemplo, que necessita, então, de imediata intervenção corretiva para que volte a comportar-se, satisfatoriamente.

No terceiro caso, representado pela curva traço-único ponto, tem-se uma estrutura com erros originais, de projeto ou de execução, ou ainda uma estrutura que tenha necessitado alterar seus propósitos funcionais, situações em que se caracteriza a necessidade de reforço. A situação ideal, em relação a uma estrutura, será a de se desenvolver o projeto de forma que a

construção venha ser bem feita e o trabalho de manutenção facilitado, mantendo-se a deterioração em níveis mínimos.

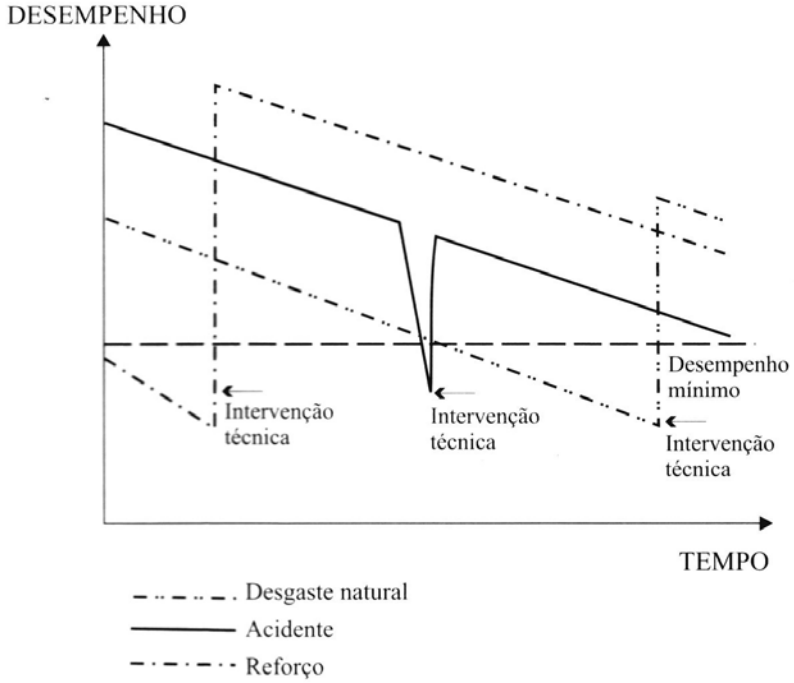

Figura 2.1 – Diferentes desempenhos de uma estrutura, com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos, (SOUZA, 2005).

2.5 Vida útil e durabilidade

A associação desses dois conceitos é inevitável. Segundo o conceito de durabilidade, apresentado pelo CEB (1990), uma estrutura de concreto deve ser projetada, construída e operada de tal forma que, sob condições ambientais esperadas, ela mantenha a sua indispensável segurança, funcionalidade e aparência aceitável, durante um período de tempo, implícito ou explicito, sem a necessidade de elevados custos de manutenção e reparo.

Deve-se entender que a concepção de uma construção durável implica em adoção de um conjunto de decisões e procedimentos que garantam à estrutura e aos materiais que a compõem, um desempenho satisfatório, ao longo do tempo. Para diminuir futuras patologias, 03 procedimentos deveriam ser realizados por empresas de auditoria terceirizada, que serviriam como interface entre construtor e consumidor:

- ✓ analisar a viabilidade dos projetos de fundação, estrutura, saneamento etc., focalizando, sempre, a segurança, higiene e a durabilidade;

- ✓ Acompanhar a execução dos projetos, priorizando, sempre, a qualidade dos serviços e dos materiais empregados;
- ✓ Tornar obrigatório a manutenção das edificações;

Em termos de durabilidade das estruturas de concreto e para além das questões ligadas à resistência mecânica, propriamente dita, a palavra-chave, relacionada ao material concreto, é água. Portanto, serão a quantidade de água no concreto e a sua relação com a quantidade de aglomerante o elemento básico que irá reger características como densidade, compacidade, porosidade, permeabilidade, capilaridade e fissuração, além de sua resistência mecânica, que, em resumo, são os indicadores de qualidade do material, passo primeiro para a classificação de uma estrutura como durável ou não.

O outro lado da equação é, justamente o que aborda a agressividade ambiental, ou seja, a capacidade de transporte dos líquidos e gases contidos no meio ambiente para o interior do concreto. Assim, a modelagem do mecanismo de estudo da durabilidade passa pela avaliação e compatibilidade entre a agressão ambiental, por um lado, e a "qualidade" do concreto e da estrutura, por outro, sendo este cenário definido à luz do tempo e do custo da estrutura. As normas e regulamentos que hoje estão em execução, optaram por estabelecer os critérios que permitem aos responsáveis, individualizar, convenientemente, modelos duráveis para as suas construções, a partir da definição de classes de exposição das estruturas e de seus componentes, em função da deterioração a que estarão submetidas, a partir de:

- ✓ corrosão das armaduras, sob efeito da carbonatação e/ou dos cloretos, por tipo de ambiente;
- ✓ ação do frio e/ ou do calor, também, por tipo de ambiente;
- ✓ agressividade química;

Para cada caso ou combinação de casos, as classes de exposição podem indicar níveis de risco ou parâmetros mínimos, a serem observados, como condição primeira para que se consiga uma construção durável. Assim, estarão definidos:

- ✓ dosagem mínima de cimento;
- ✓ fator água/ cimento máximo;
- ✓ classe de resistência mínima do concreto;
- ✓ cobrimento mínimo das barras das armaduras;
- ✓ método de cura;

2.6 Conceito de manutenção

Na verdade, o segredo da durabilidade está na manutenção. Entende-se por manutenção de uma estrutura, o conjunto de atividades necessárias à garantia do seu desempenho satisfatório ao longo do tempo, ou seja, o conjunto de rotinas que tenham, por finalidade, o prolongamento da vida útil da obra, a um custo compensador. Um bom programa de manutenção implica definição de metodologias adequadas de operação, controle e execução da obra e da análise custo-benefício dessa manutenção (SOUZA, 2005).

Deve-se notar que uma novidade, em termos de responsabilidades, é a presença do usuário, como elemento participante da última etapa, a de utilização, contribuindo, assim, para a garantia de desempenho ou para a durabilidade da construção. Em termos de manutenção, fica clara a co-responsabilização, pois proprietário, investidor e usuário deverão, sempre, estar dispostos a suportar o custo com o sistema de manutenção concebido pelos projetistas, que deverá ter sido respeitado e viabilizado pelo construtor. A base deste sistema, aliás, será o conjunto de inspeções rotineiras, em que o usuário será figura preponderante.

Existe uma norma específica para manutenção; o manual é uma exigência do CAC (Artigo 50). O programa de manutenção preventiva é uma exigência do CC (Artigo 1348, inciso V) da NBR 5674 e 14037.

Se não houver uma obrigatoriedade por parte do Governo, tal revisão, nunca será feita, visto que, no Brasil, em média, existe uma inadimplência, por parte dos condôminos de 15%, impossibilitando a criação de qualquer taxa extra. Em Pernambuco, a lei Nº13.032, de 14 de junho de 2006, dispõe sobre: a obrigatoriedade de vistorias periciais e manutenções periódicas, em edifícios de apartamentos e salas comerciais, no âmbito do Estado de Pernambuco, e dá outras providências.

Manutenção em edifícios altos

A manutenção nos edifícios altos é muito complexa. No caso de um grande navio, quando existe a necessidade de manutenção, vai para o estaleiro e todo o aparato está à disposição, aguardando. Mas, no edifício alto, toda a equipe de manutenção tem que se deslocar para o referido lugar, apesar disso, edifícios altos são cada vez mais comuns e não param de ser construídos.

2.7 Patologias geradas pelos projetos

As normas brasileiras de estrutura de concreto deveriam ser apreciadas em dois níveis: adequação de sua resposta às condições de Trabalho (estados limite de serviço), que estão relacionados a eventos que restringem a adequada utilização da estrutura e margem de segurança satisfatória quanto à possibilidade de colapso local ou global (estados limite últimos), que se referem aos eventos que apresentam conseqüências irreversíveis em uma estrutura. Ambas as verificações devem ser feitas, de maneira exaustiva, e são, hoje, um conceito, universalmente, aceito de bom funcionamento das estruturas. Prescrições específicas, distribuídas ao longo das normas, visam a garantir a sua funcionalidade, segurança e durabilidade, onde os termos são igualmente prioritários.

As antigas edificações, com cálculo baseado em tensões de serviço, apresentavam elevada robustez. Isto acarretava que suas deformações, eram normalmente, pequenas e raramente perceptíveis nos casos mais comuns. Assim se passava para a maioria dos edifícios residenciais ou comerciais construídos até a década de 70. Após essa época, visível redução nas dimensões dos elementos estruturais e uso de elementos de contraventamento mais leves, tornaram as edificações mais esbeltas e, portanto, sujeitas a estados de deformação, anteriormente, não percebidos. Os aumentos dos gabaritos das construções, bem como o arrojo de suas formas, também, influem no surgimento de estados críticos de solicitação.

Obviamente, não se está falando, aqui, das obras excepcionais que merecem, até hoje, atenções especiais. Os cuidados, a elas, dedicados fazem com que, em geral, apresentem um mínimo de patologia de origem. Os efeitos, de segunda ordem, nas estruturas dos edifícios altos, podem causar danos que, em determinadas circunstâncias, podem ser muito graves. Os efeitos, de segunda ordem, são cada vez maiores, à medida em que aumenta a flexibilidade da estrutura (FUSCO, 2004).

A ocorrência desses danos tornaram-se, cada vez, mais freqüentes, à medida em que as construções foram abandonando certas práticas construtivas tradicionais, sem que se prestasse atenção à importância que tais práticas tinham para a segurança das estruturas. De modo geral, as alterações mais importantes foram representadas, pelo aumento significativo dos vãos das vigas e lajes, pelo aumento das aberturas, nas alvenarias, pela substituição das alvenarias maciças por outros materiais, inclusive materiais leves, pela colocação de

alvenarias sobre lajes sem estarem suportadas, diretamente, por vigas e pela eliminação do encunhamento das alvenarias e das barras de aço de ligação das alvenarias aos pilares da estrutura. Todas essas alterações levaram a uma progressiva perda de colaboração das alvenarias, na rigidez das estruturas.

2.7.1 Agressões das intempéries climáticas

De acordo com o Comitê ACI-201 (1991), durabilidade pode ser entendida como a capacidade de resistir a ações de intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração.

As estruturas de concreto armado devem ser construídas para desempenhar as funções que lhe foram atribuídas, durante um período de vida previsto ou, pelo menos, razoável. Assim, segundo NEVILLE (1997), o concreto é considerado durável.

O concreto, quando comparado a outros materiais estruturais, é o de uso mais difundido e o mais versátil, pelas características que apresenta. Entretanto, apesar das grandes vantagens que possui, alguns problemas têm sido detectados com relação à sua durabilidade. Nos últimos anos, vários estudos vêm sendo realizados sobre patologias de concretos e deterioração prematura das edificações (ANDRADE, 1997).

Os problemas de durabilidade são, freqüentemente, causados por uma conjunção de fatores que incluem a falta de conhecimento do meio ambiente ao qual ficarão expostas as estruturas, especificações inadequadas e construção executada em desacordo com normas técnicas e procedimentos construtivos de sucesso tradicional.

Isto é importante porque dependendo das condições ambientais e climáticas, o concreto está submetido aos efeitos de um conjunto de agentes agressivos e diferentes fatores destrutivos, que podem atuar de maneira isolada ou conjunta, associando-se a cada um deles efeitos característicos. O resultado das interações ambientais com a microestrutura do concreto é a mudança de suas propriedades (SILVA e DJANIKIAN, 1993). Se as estruturas não são bem projetadas e executadas elas não resistem a este desgaste ambiental pelo tempo requerido em projeto.

As ações do meio ambiente são devidas a agentes climáticos (temperatura e umidade, compreendendo ações de alternâncias de temperaturas que provocam o congelamento e o degelo da água no interior do material e de molhagem e secagem, da radiação solar, entre outros), agentes químicos (presença de íons agressivos no concreto no meio fluido que o envolve) e agentes biológicos (como microorganismos).

Nas edificações expostas a condições, particularmente, agressivas de intempéries, as medidas corriqueiras de proteção resultam insuficientes. Um exemplo claro disso são aquelas cujas fachadas ou empenas são voltadas para direção de chuvas e ventos dominantes. Em cidades costeiras, há uma evidente diferença nas condições atmosféricas nas regiões vizinhas e nas áreas interioranas das referidas cidades. Em Recife (PE), deve-se que se tratar, diferentemente, construções nos bairros litorâneos próximo de um ambiente marinho daqueles mais afastados.

Portanto devem-se tomar precauções extras nos projetos ou construções para assegurar durabilidade adequada e manutenção, a custos compatíveis, com a capacidade financeira dos proprietários. A adequação da solução estrutural é algo básico na concepção do projeto. A vida útil de uma estrutura está intimamente ligada a sua correta adequação ao meio ambiente em que foi construída. Não se pode aceitar que, em um projeto, tal fator seja negligenciado.

Esse problema de conformidade com o meio ambiente é um assunto muito sério, a exemplo do que aconteceu em março de 2004, quando Santa Catarina, foi varrida por uma tempestade sem precedentes. Batizada de Catarina foi apontada por meteorologistas americanos como um furacão em andamento. Essa classificação gerou polêmica entre os meteorologistas brasileiros. A região atingida foi o sul catarinense com maior intensidade em Araranguá e região que ficaram sem energia elétrica, telefones, etc. Algumas embarcações ficaram à deriva e outras naufragaram, na região. Muitas casas foram destelhadas. A defesa civil atuou, abrigando as pessoas que ficaram com suas residências avariadas. A BR101 ficou interditada, por quedas de árvores, durante a madrugada na região e houve vítimas já confirmadas.

Todos os anos, esses acidentes naturais, causados por tornados ou furacões, se repetem, mas as pessoas insistem em substituírem os imóveis destruídos pelos mesmos tipos de construções, ou seja, casas inadequadas, facilmente, destruídas pelo vento. Deveria se

planejar projetos de casas resistentes a esse tipo de problema, típicos dessas regiões, ver Figura 2.2.

Figura 2.2 – Imagem da destruição de uma casa, provocada por um furacão em março de 2004 em Santa Catarina, (REVISTA GALILEU, 2004).

2.7.2 A retirada do escoramento e a desforma

Nas edificações convencionais, a retirada do escoramento está comumente associada à obtenção de uma resistência mínima para o concreto. Este é um equivoco corrente que deve ser sanado urgentemente. A retirada do escoramento deve considerar, além da resistência, o valor mútuo do módulo de elasticidade do concreto naquela data. É este segundo parâmetro que irá governar a deformabilidade da estrutura ao longo de toda sua vida. Se sua entrada em carga se faz ainda com um módulo de elasticidade muito baixo, as flechas poderão alcançar valores extremamente grandes em relação a seus valores iniciais. Como ordem de grandeza elas podem ir do dobro ao quíntuplo de seus valores no momento da desforma. Há certamente uma ligação estreita entre módulo de elasticidade e resistência à compressão do concreto. Contudo, o calculo das flechas envolve modulo de elasticidade para caracterização da rigidez (ZARZAR et al, 2006).

Foram confeccionados 18 corpos de prova com dimensão 10 cm x 20 cm para ensaios de Resistência à compressão com diversos traços, todos com adensamento mecânico. A partir desses resultados (Tabela 2.1), aplicou-se à fórmula da NBR 6118:2003 objetivando obter o resultado do módulo de elasticidade estimado (ver Figura 2.3).

Tabela 2.1 - Resultado dos ensaios de resistência à compressão referente aos: 3º, 7º e 28º dias, (ZARZAR et al, 2006).

Traço – CP	3º dia	7º dia	28º dia
	Fck (MPa)	fck (MPa)	fck (MPa)
1: 3 – CP 01	32,9	36,5	45,0
1: 3 – CP 02	32,9	38,1	41,4
1: 4 – CP 03	29,9	31,3	36,5
1: 4 – CP 04	31,6	33,8	36,2
1: 5 – CP 05	26,2	33,0	28,8
1: 5 – CP 06	28,4	27,6	27,0

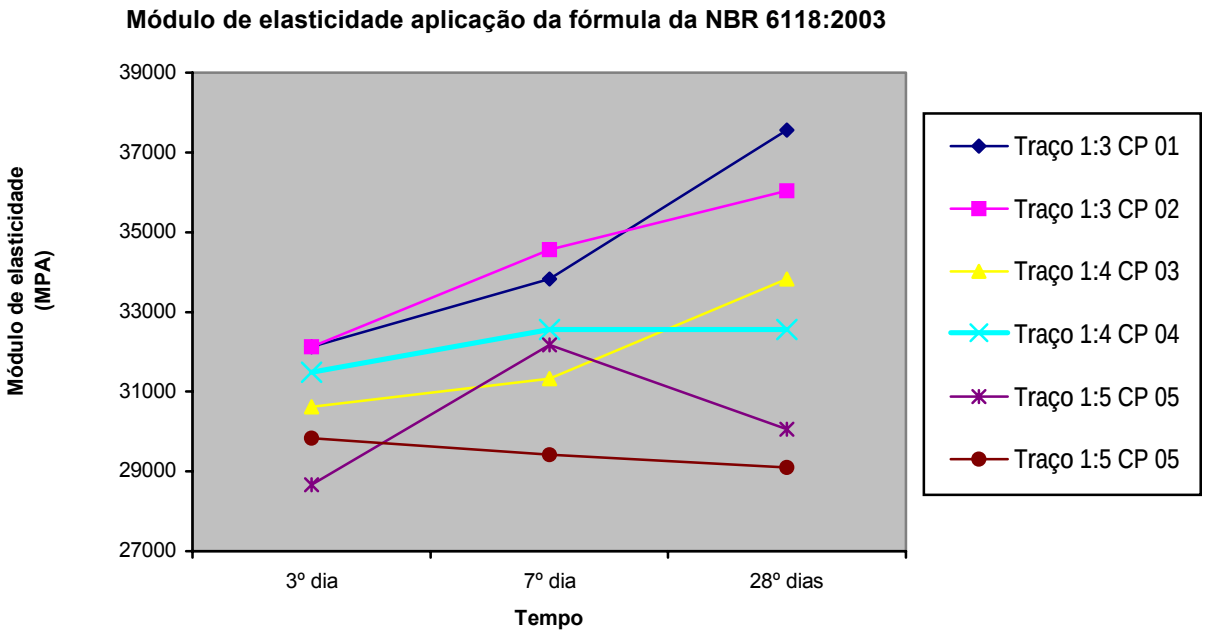

Figura 2.3 - Gráfico do módulo de elasticidade estimado. Formula usada Eci=5600√fck (MPa), (ZARZAR et al, 2006).

Também, foram confeccionados 15 corpos de prova com traços: 1:3, 1:4, e 1:5, sendo 06 unidades com dimensões de 10 cm x 20 cm, para a determinação da tensão de ruptura prevista, e 09 unidades com dimensões de 15 cm x 30 cm para ensaios de módulo de elasticidade em laboratório, todos com adensamentos manuais, e ensaiados aos 28 dias (ver Tabela 2.2). Representação gráfica do resultado dos módulos de elasticidade, obtidos, usando procedimento de ciclos de carregamento do concreto de acordo com a NBR 8522:1984, onde

se observa que os traços com proporções menores tiveram maiores módulos de elasticidade, (Figura 2.4).

Tabela 2.2 - Resistência à Compressão no 28º dia para previsão da tensão de ruptura

Traço	Carga (Kgf)	Tensão (Kgf /cm^2) (Área =78,54cm^2)	Tensão (MPa)
1:3	40425	514.7	51.4
1:3	43781	557.4	55.7
1:4	35067	446.4	44.6
1:4	35496	451.9	45.1
1:5	23837	303.5	30.3
1:5	20069	255.5	25.5

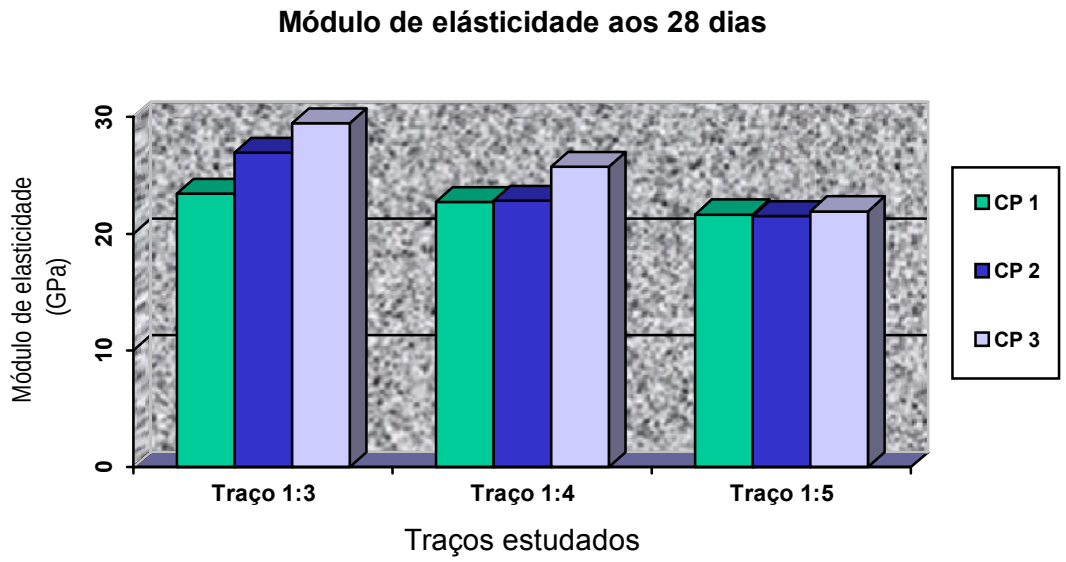

Figura 2.4 - Comportamento do módulo de elasticidade para os traços 1:3, 1:4 e 1:5 aos 28 dias usando o procedimento da NBR 8522:1984 (ZARZAR et al, 2006).

Nos ensaios de módulo de elasticidade, as deformações diminuíram com o tempo, independentemente, dos traços e procedimentos estudados. Portanto, nas construções que usam concreto, sem aditivos especiais, os escoramentos deveriam ser retirados aos 28 dias para garantir que não haveria deformações da estrutura.

Observou-se, também, que os resultados dos módulos de elasticidade, usando o procedimento da NBR 8522:1984 não se aproximaram dos resultados dos módulos de elasticidade, com o emprego da fórmula da NBR 6118:2003.

Concluí-se que, a partir dos resultados obtidos que, para se garantir a qualidade das estruturas de concreto, devem-se incluir, nos procedimentos de controle de qualidade, os ensaios de módulos de elasticidade.

2.7.3 As patologias geradas pelo uso

Se em algumas situações, as patologias estão ligadas à implantação da obra, em outras, às vezes mais graves, são provocadas, ao longo de sua vida. A grande maioria dos proprietários não possui os projetos, relativos aos seus imóveis. Infelizmente, isso vale tanto para os proprietários particulares, como para os públicos (Municípios, Estados e União). Com menor freqüência, ainda, possuem os projetos ajustados, conforme foram, efetivamente, executados. – os chamados projetos "as built" da obra. Esses dados deveriam estar, obrigatoriamente, com os proprietários, pois são informações imprescindíveis para a manutenção e operação do imóvel. Quanto mais antigo o imóvel, menores as chances de se obter a documentação relativa.

Freqüentemente, ao longo do tempo, os proprietários desejam alterações, no uso das estruturas. Isto implica em remanejamentos e, não raro, em aumento de cargas permanentes. Em muitos casos, faz-se apenas, uma verificação de capacidade portante. Nenhuma ou, quando muito, uma verificação sumária das deformações é feita. A conseqüência, mais uma vez: flechas e rotações excessivas, freqüentemente associadas à fissuração, agravada pelo aumento de tensão na armadura de tração. Projetos de adaptação exigem, na maioria dos casos, análises cuidadosas, sobre as alterações que irão provocar na estrutura. Merecem destaque especial a superposição dos novos estados de tensão a outros já instalados e o incremento de deformações imediatas e ao longo do tempo.

2.7.4 Critérios adotados na execução da construção

Todo e qualquer empreendimento deve ser, cuidadosamente, avaliado, do ponto de vista técnico, quanto à sua condição de estabilidade, durabilidade e funcionalidade. Não se

pode admitir que casas populares não sejam executadas, com os mesmos padrões de qualidade que uma barragem. Evidentemente, os métodos e equipamentos não serão os mesmos. Todavia, nada pode impedir que os resultados sejam os mesmos. Não se pode admitir que fundações de edifícios populares sejam feitos sem que se evitem recalques danosos aos proprietários, enquanto que, por seu caráter catastrófico, as fundações de uma barragem sejam objetos de estudos minuciosos. Ambos os casos, utilizados os instrumentos adequados, devem ser tratados com a mesma profundidade e seriedade.

Este é o primeiro critério de desenvolvimento de um projeto: não há projetos pouco importantes ou muito importantes; existem, apenas, projetos grandes ou pequenos. Todos devem ser tratados com os mesmos requisitos de qualidade, adaptados, apenas, os instrumentos, em função da escala em que se trabalha (CUNHA et al, 2004).

As normas de projeto e execução existem para serem respeitadas, mas também, para serem criticadas e atualizadas. Quando se estiver diante de um caso que não se enquadre nos critérios normalizados, o espírito crítico e criador do engenheiro devem buscar soluções alternativas, através de uso de normas internacionais que dêem suporte à sua obra. Não se deve levar, em consideração, uma determinada norma como sendo um conjunto de princípios a serem seguidos, a qualquer custo, para justificar soluções que se mostrem inadequadas para a realidade em que foram executadas. Este deve ser o segundo critério de projeto: buscar soluções para o problema real e não se limitar, apenas, às prescrições da norma. Quando o Código Nacional não for suficiente, deve-se buscar apoio nas normas dos países ou associações de prestígio internacional, como o CIB, a ACI, a ASHTO, a RILEM entre outras. Um sistema de fiscalização, com pessoal qualificado, deve ser implantado para qualquer tipo de empreendimento. Tanto os grandes como os pequenos proprietários devem se conscientizar de que um engenheiro habilitado é fundamental e imprescindível para a economia e segurança em longo prazo e que não há economia real no corte de custos de projeto e controle de execução, pois eles representam, invariavelmente, aumento de custos de manutenção e recuperação, muito mais elevados.

2.7.5 Propriedades térmicas dos materiais de construção

Todos os materiais empregados nas construções estão sujeitos a dilatações com o aumento de temperatura e a contrações com a sua diminuição (THOMAZ, 2004).

A intensidade desta variação dimensional, para uma dada variação de temperatura, muda de material para material, podendo se considerar, salvo algumas exceções, que as movimentações térmicas dos materiais de construção são, praticamente, as mesmas, em todas as direções. Na Tabela 2.3 estão indicados os coeficientes de dilatação térmica linear dos materiais de construção de maior uso.

Tabela 2.3 – Coeficientes de dilatação térmica do vidro, concreto e metal.

Material	Coeficiente térmico
concreto	0,01 mm/m/ºC
Vidro	0,08 mm/m/ºC
Metais	0,10 a 0,03 mm/m/ºC

A ordem decrescente começa com o zinco, segue com o chumbo, estanho, cobre, ferro e aço (MB 270).
A condutibilidade térmica situa-se entre 1,006 e 0,080 calorias grama/s/cm/ºC.

2.7.6 Incêndio

Até 100 °C, o concreto armado de dosagem normal mantém sua qualidade como material estrutural. Entre 300 e 400 °C, as fissuras superficiais tornam-se, destacadamente, visíveis, embora o interior do concreto, nas profundidades maiores que 10 mm, apresente uma razoável integridade e nessa faixa, tanto o concreto usual como o concreto de alta-resistência apresentam uma redução acentuada na resistência à compressão. Acima dos 600 °C, há perda total de resistência do concreto, como material estrutural. Os concretos de alta resistência freqüentemente, apresentam processo de perda de aderência da armadura do concreto (*spalling*), quando são aquecidos (Figura 2.5) e por isso não resistem às altas temperaturas, por longos períodos. A alta densidade do CAD é a causa primária desses "*spalling*", pois a microestrutura é menos porosa e menos permeável do que a microestrutura do concreto, sem adições à pasta. Aquecimentos de longa duração podem comprometer, permanentemente, as armaduras. Não se recupera, totalmente, as propriedades mecânicas dos aços laminados, quando aquecidos acima de 500 °C. Os aços encruados, perdem definitivamente, cerca de 50% da resistência inicial pois, sofrem alterações permanentes, na microestrutura, abaixo dos 500 °C. Se ações de combate ao incêndio ocorrerem entre 400 e 600 °C, há choque térmico e fragmentação material com decréscimo maior de resistência, em face do resfriamento rápido

por água de bombeiro e ainda, reações de carbonatação que comprometem a passivação das armaduras, (SILVA et al, 1998).

Figura 2.5 – Pipocamento (spalling) em uma superfície de concreto, devido ao incêndio, (INTERFIRE, 2007).

2.8 Concreto

A qualidade final de uma estrutura de concreto armado depende, tanto do controle de suas propriedades, no estado fresco, como no seu estado endurecido. Erroneamente, muitas vezes, o controle tecnológico se restringe aos ensaios de resistência à compressão simples (concreto endurecido), como se este parâmetro, isoladamente, pudesse garantir a qualidade do concreto.

Vantagens do concreto:

- Permite a execução de grandes peças contínuas;
- Pode ser moldado conforme as necessidades;
- Têm grande durabilidade e resistência à umidade, fogo, etc.;
- Apresenta boa impermeabilidade e custo relativamente baixo, (ALMEIDA, 2002), (BRANDÃO, 1998).

2.8.1. Componentes do concreto

Agregados – Todos os fatores que afetam a porosidade do concreto interferem na sua permeabilidade e capacidade de absorção, entre eles a forma e as dimensões dos agregados.

São Funções dos Agregados:
- Resistir às cargas solicitadas (cargas em relações às forças externas e internas);
- Diminuir as variações de volume que a pasta apresente;
- Baratear o preço do conjunto;

Pasta (cimento + água) – A deterioração do concreto pode ocorrer, devido à degradação da pasta, dos agregados ou de ambos. No entanto, como o agregado é um tipo de rocha, possui maior resistência ao ataque químico.

As funções da pasta no concreto são:
a) colatividade (aglutinar os grãos do agregado), sendo ela, mais específica para o concreto endurecido;
b) encher os vazios entre os grãos do agregado.
Dependem estas funções de:

- ✓ características do cimento;
- ✓ do fator água-cimento;
- ✓ do grau de hidratação;

Observação: Quando se pensa numa maior resistência, acredita-se estar, ela, somente ligada à maior quantidade de cimento. Na realidade, isso , apenas, ocorre em certas condições, pois se deve levar, em consideração, também, o fator água-cimento, granulometria e vibração.

São funções específicas da Água:

- ✓ dar plasticidade ao conjunto, enquanto úmido;
- ✓ reagir com o cimento, permitindo o endurecimento. A água tem grande influência no concreto, pois em estudos feitos comprovou-se que, acrescentando-se um balde a mais, por saco de 50 kg, reduz-se a resistência à metade. Assim sendo, é interessante reduzir a quantidade de água no concreto até um determinado nível, pois uma grande diminuição, também, implica em dificuldades na mistura.

Vazios no concreto são poros que ficam no seu interior, resultante da evaporação da água excessiva (que não reage com o cimento). Ocorrem, também, quando o concreto não foi bem vibrado. Podem provocar diferenças de tensões e de deformações que inutilizam os cálculos e podem levar à ruptura, por efeitos imprevistos. Além disso, diminuem a impermeabilidade e aumentam o perigo de fraturas.

Dosagem - Do ponto de vista econômico, a melhor graduação seria obtida, através do consumo mínimo de pasta, máximo de agregado e bastante água.

Como a água enfraquece o concreto, a melhor dosagem é aquela que tem a trabalhabilidade, estritamente, necessária, dentro de um fator água-cimento mínimo (suficiente para reações e facilidade na mistura), com um máximo consumo de agregado graúdo e uma proporção adequada de agregado miúdo.

2.8.2 Características do concreto no estado fresco

A qualidade das estruturas acabadas está, intimamente, ligada à sua qualidade no estado fresco, determinando ou não a presença de falhas de concretagem, segregação, exsudação e vazios no concreto. Resultados isolados de resistência à compressão ou mesmo "slump", não são suficientes para garantir um bom desempenho do concreto, devendo ser, também, verificados outros fatores que vão desde a dosagem adequada do concreto até a sua cura, (GEYER, 2006).

2.8.2.1 Calor de hidratação

O cimento, ao hidratar-se (adição de água), eleva sua temperatura (são gerados gradientes de temperatura entre o interior da massa e a superfície) e a massa de concreto com o calor, se expande. As Camadas externas, em contato o ar, comprimem-se e as internas permanecem expandidas, aparecendo, com isso, fissuras, no interior do concreto, (BRANDÃO, 1998). Em grandes blocos, deve-se procurar manter a temperatura baixa para evitar grandes fissuramentos:

- ✓ esfriando o concreto;
- ✓ utilizando gelo em vez de água no amassamento do concreto;
- ✓ reduzindo a dosagem de cimento;

- ✓ empregando cimento de baixo calor de hidratação;
- ✓ reduzindo a espessura das camadas concretadas;
- ✓ usando aditivos retardadores de pega;
- ✓ lavando o agregado graúdo antes da concretagem (diminui a temperatura e dá maior aderência);
- ✓ mantendo o agregado na sombra;

2.8.2.2 O tempo de pega

É o período de tempo em que acontecem as reações químicas iniciais no concreto, antes de ele possuir uma determinada resistência. Pode ocorrer falsa pega, quando o gesso leva o concreto a solidificar-se. Uma agitação mais enérgica faz voltar à pega normal.

2.8.2.3 Segregação

Deve-se assegurar que as armaduras sejam bem distribuídas, principalmente, para permitir que a concretagem e o adensamento possam resultar em condições precárias de concretagem, propiciando, assim, a segregação do concreto, impedindo um bom adensamento e dando lugar a defeitos de concretagem.

Segregação é o efeito de assentamento (abatimento) dos grãos maiores, no fundo da betoneira ou da fôrma, tornando a massa não homogênea. Causas da segregação:
- concreto muito plástico, quando a vibração é exagerada;
- concreto lançado de grande distância ou de grande altura (altura máxima de 2,0 m);
- voltas em demasia na betoneira; recomenda-se para betoneiras com eixo inclinado (as mais comuns), pouco mais de 40 voltas. (ALMEIDA, 2002);

2.8.2.4 Exudação da água ou da nata.

É a tendência de a água de amassamento aflorar, enquanto o concreto não faz a pega. Transforma, principalmente, na superfície superior, numa massa porosa que reduz a aderência de novas camadas.

2.8.2.5 Fluidez, plasticidade e trabalhabilidade.

Existem três termos que representam efeitos distintos, mas, aparentemente, semelhantes:

a) plasticidade - refere-se às condições de adaptação às formas e depende mais da granulometria do concreto no estado fresco;

b) fluidez - refere-se à facilidade de escoar em planos e depende mais da quantidade de água;

c) trabalhabilidade - se relaciona com a facilidade de Trabalho do concreto no estado fresco.

A trabalhabilidade, nos concretos, assume uma importância fundamental, devido ao maior peso e coesão.

Plasticidade, fluidez e segregabilidade determinam a trabalhabilidade.

O concreto deve apresentar uma trabalhabilidade que assegure plasticidade máxima, segregabilidade mínima e consistência apropriada.

A má trabalhabilidade causa:

- ✓ concreto com grande porosidade e, portanto, menos denso e de qualidade inferior;
- ✓ aparecimento de orifícios na estrutura;
- ✓ dificulta o Trabalho dos operários;
- ✓ emprego exagerado de água;

A Trabalhabilidade depende:

- ✓ da fluidez da pasta, dada pelo fator água-cimento;
- ✓ da plasticidade da mistura; dada pela proporção entre a pasta e os agregados;
- ✓ da proporção entre os agregados e das características deles;

Não existe uma trabalhabilidade ideal para todos os casos. O seixo rolado, por ser esférico, possui melhor assentamento, facilita o escorregamento e dá melhor trabalhabilidade. A correção da trabalhabilidade pode ser feita, com granulometria.

2.8.2.6 Consistência - (ou grau de umidade)

É a resistência momentânea do concreto fresco às forças que tendem a modificar sua forma. É semelhante à trabalhabilidade.

2.8.2.7 Incorporação de ar

A incorporação de ar, através de aditivos, ocorre em casos especiais com o intuito de reduzir o tamanho das macro-bolhas (vazios de ar aprisionado), aumento da trabalhabilidade do concreto, redução do consumo de cimento e melhoria da qualidade do concreto, quanto à ação de gelo e degelo.

Consiste em misturar pequenas quantidades de ar, na forma de minúsculas bolhas (0,07 a 0,2 mm). As bolhas de ar incorporado possuem dimensões entre 100 um e 1mm de diâmetro, enquanto os vazios de ar aprisionado são maiores, ficando entre 1mm e 10mm, (GEYER, 2006). Essas bolhas de ar melhoram a trabalhabilidade e a impermeabilidade, mas reduzem a resistência (cada 1% de ar incorporado reduz 4% da resistência. Existe compensação, já que a melhoria da trabalhabilidade diminui a quantidade de água, tornando o concreto mais resistente), (ALMEIDA, 2002).

2.8.3. Características do concreto endurecido

2.8.3.1 Retração

O concreto está sujeito a várias formas de retração cujas características dependem de fatores, como: tempo de cura, proporção dos elementos, a natureza dos materiais empregados, a variação térmica, os esforços a que está submetido, etc., e que devem ser considerados no projeto. Durante a colocação do concreto, temos a primeira retração, causada pela própria pressão do concreto e que se estende por algumas horas.

Outra retração acontece com a evaporação da água, nos primeiros dias, aparecendo esforços internos que vão pressionar um elemento contra outro. Como qualquer material, o concreto, também, varia de acordo com a mudança da temperatura. Nesse caso, temos a retração como conseqüência da dilatação. Com o passar dos tempos, o concreto continua trabalhando.

2.8.3.2 Dilatação térmica

As movimentações de origem térmica podem ocorrer, também, nas estruturas em serviço, o coeficiente de dilatação térmica para o concreto armado, é considerado igual a 10^{-5}/ °C, salvo quando determinado, especificamente, para o concreto a ser usado. Em peças envolvidas por terra ou água e em edifícios que tenham, em planta, dimensão ou juntas de dilatação não superiores a 30 m, dispensa-se à consideração da influência da variação da temperatura, NBR 6118:2003.

2.8.3.3 Permeabilidade

É um fator muito importante, pois mesmo no caso em que não haja necessidade de impermeabilização do concreto, a penetração da água pode oxidar a armadura, prejudicando os componentes estruturais. Um concreto bem dosado é impermeável, por si só, porém a sua colocação, se bem vibrado e despejado em camadas horizontais finas e contínuas, vai definir a sua impermeabilidade ou não. Aditivos impermeabilizantes são recomendados, em certos casos, devendo-se, antes, testar os efeitos destes sobre a resistência do concreto.

2.8.3.4 Agentes destruidores

As águas podem causar vários tipos de destruição, no concreto, tanto química quanto mecânica. No caso da concretagem em temperaturas muito baixas, há possibilidade de congelamento da água da mistura, principalmente, através da água que penetra nas fissuras capilares, aumentando o volume e causando a desagregação do concreto.

Quimicamente, as águas podem atacar a cal livre, criando porosidade pela qual penetram gases atmosféricos, deteriorando o concreto. O fogo atua através da destruição física, apesar de haver uma relação entre a temperatura e a resistência à tração e à compressão. Um fator muito importante, para a resistência do concreto, é a forma como ocorre a variação térmica; se lenta, o concreto chega a resistir a 300°C; se brusca, o choque térmico causa fissuras, comprometendo a resistência do concreto. A ferrugem, apesar de não atacar o concreto, diretamente, é considerado como um agente degradante, pois aumenta o volume das armaduras, fissurando o concreto.

2.8.3.5 Resistência mecânica

A resistência do concreto não é constante. Ela varia, de acordo com a sua idade e depende da densidade, da temperatura no momento e após a concretagem, além do tempo de secagem. A qualidade da resistência pode ser verificada, admitindo-se ao final de 28 dias como unitária, e analisando a progressão nos dias posteriores. Com esse processo verificou-se que o cimento de maior finura proporciona maior resistência inicial, enquanto que o cimento Portland comum apresenta menor resistência inicial, porém encontrando certo equilíbrio entre ambos aos 28 dias.

2.8.4. Preparo do concreto

2.8.4.1 Mistura

É a dosagem proporcional dos elementos que compõem o concreto. São adotados meios de medida que assegurem constância na composição. A melhor dosagem é feita pelo peso, pois não influi o inchamento do agregado miúdo. Nas obras comuns, faz-se à dosagem por volume em padiolas de, no máximo 45x35 cm seção, para facilitar a alimentação da betoneira. Entre as condições básicas da mistura, estão a homogeneidade e a trabalhabilidade adequadas.

2.8.4.2 Amassamento

No amassamento manual, que não é o mais adequado, a mistura é feita, primeiramente, entre a brita e a areia, depois o cimento e, finalmente, adiciona-se a água. Na prática costuma-se misturar, primeiro, o cimento e areia. Só depois se coloca a brita para facilitar o amassamento.

Obs.: 1: o amassamento manual deve ser feito, em superfícies impermeáveis para evitar que a água "carregue" o cimento.
Obs.: 2: o amassamento mecânico é feito, com máquinas misturadoras que são as betoneiras.

2.8.4.3 Lançamento

O lançamento é a colocação do concreto, nas fôrmas feitas em camadas horizontais não maiores de 30 cm de altura. O lançamento não deve ultrapassar da altura de 2,0 m para

evitar a segregação e infiltração de ar. Pela NB-1, no concreto aparente, deve-se cobrir a armadura com camada de 3 cm no mínimo e 5 cm em obras marítimas. Considerações foram feitas sobre as camadas de cobertura na NBR 14931 e ACI318, alterando o dimensionamento da espessura mínima de cobrimento em ambiente de agressividade forte (grau IV) para: 5 cm e 6 cm respectivamente.

Cuidados a tomar:
a) não amassar a armadura e tubulações existentes;
b) agir rapidamente;
c) só interromper a concretagem nos pontos de solicitação nula.

2.8.4.4 Adensamento

É a expulsão do ar e da água, através da vibração do concreto, manual ou mecanicamente, para diminuir os vazios e provocar uma maior compactação no mesmo.
O assentamento manual é usado em obras de menor responsabilidade (porte); é feito com barras de ferro. O processo de vibração mecânico é feito com máquinas vibradoras. Existem 3 tipos principais de vibradores: o externo, o superficial e o interno, sendo, esse, o mais utilizado. O tempo varia de 5 a 30 segundos em cada ponto, sendo a vibração exagerada tão danosa quanto a pouca vibração.

2.8.4.5 Cura

A cura ocorre, no período de pega e endurecimento, dando-se, de maneira geral, na pega as reações químicas e no endurecimento a evaporação da água. O tempo de cura varia, conforme a porosidade, fator água-cimento, e condicionantes climáticos. O endurecimento acontece da superfície para o interior da massa. Por isso, deve-se manter o concreto molhado no período de 6 a 24 horas após a concretagem, para não haver fissuras. Recomenda-se não trabalhar sobre a estrutura num período menor que três dias após a concretagem.

2.8.4.6 Aditivos do concreto

São substâncias que alteram as condições normais do concreto; servindo para melhorar determinadas características do referido material concreto. Depende, a sua eficácia, do próprio

concreto: qualidade do cimento, fator água-cimento, granulometria, tempo de mistura, temperatura ambiente, etc.

Produtos inertes:

- ✓ incorporadores de ar;

  O incorporador de ar é um tipo de aditivo que não reage, diretamente, com o gel do cimento. Ele diminui a tensão superficial da água usada no amassamento, fazendo com que as gotículas de ar incorporado fiquem menores e aumentem a quantidade de ar incorporado que funciona, como lubrificante. Com isso, reduz-se a quantidade de água de amassamento, impedindo a ocorrência de pequenas fissuras internas e diminuindo a permeabilidade do concreto (VERÇOZA, 1975).

- ✓ produtos obturantes;

  São aditivos impermeabilizantes que se misturam na água, mas não se dissolvem, e depois de seco, ocorre o depósito dessas substâncias nos espaços vazios do concreto, vedando-os. São aditivos que podem ser misturados à água de amassamento ou espalhados sobre uma superfície já endurecida de concreto.

- ✓ hidrófugos;

  Esses aditivos, têm como objetivo repelir a água, e devem ser utilizados, não como vedante, mas sim como repelente. Impedem a penetração da água. São utilizados, geralmente, como pintura superficial.

Produtos ativos:

- ✓ aditivos plastificantes;

  São materiais que melhoram a plasticidade do gel do cimento e, conseqüentemente, a trabalhabilidade do concreto, com uma menor quantidade de água. Essa redução da água proporciona uma maior resistência mecânica ao concreto.

- ✓ modificadores do tempo de pega;

  Estes materiais têm como função acelerar ou retardar as reações do gel de cimento, conforme a necessidade.

- ✓ aditivos especiais;

  São materiais que melhoram outras características do concreto. Pertencem, a esses grupos, os fungicidas, antiabrasivos, etc..

2.8.5 Classificação de risco

2.8.5.1 Avaliação da Situação do concreto

Ao se avaliar as condições do concreto, (exemplo: fissuras, lascamento, corrosão do concreto armado, etc.) os procedimentos da ACI 201.1R-92 deveriam ser seguidos. A condição de uma estrutura deveria ser considerada, sem o prejulgamento das causas e tipos de defeitos, pois existe a possibilidade e o risco que defeitos, fora do conhecimento prévio do investigador, passem por despercebidas e, conseqüentemente, muito Trabalho pode ser desperdiçado, na busca de uma falha que não exista. Portanto, é necessário descrever as condições adequadamente, assim as falhas podem ser analisadas objetivamente. Uma inspeção visual deveria ser realizada para documentar a extensão e severidade de qualquer dano ou deterioração que possam afetar a capacidade de transporte de carga da vida útil da estrutura. Partes modificadas ou, previamente, reparadas também deveriam ser incluídas na inspeção. Os registros da inspeção devem ser supridos com maquetes, fotografias e gravação de vídeo apropriadamente.

2.8.5.2 Classificação do dano visível

Geralmente, é difícil quantificar o dano visível, desde que esse depende de critério subjetivo e da experiência do perito. Além disso, danos aceitáveis, em uma região ou um tipo de estrutura, podem não ser aceitáveis em outra circunstância. Entretanto, antes de começar as observações de campo, algumas diretrizes deveriam ser estabelecidas ao acessá-las assim uma

representação consistente e compreensão da importância do dano torna-se possível. Uma classificação da avaliação de seis níveis é recomendada (ACI 364.1R):

1 - Inseguro

2 - Potencialmente arriscado

3 - Severo

4 - Moderado

5 - Mínimo

6 - Bom

Quaisquer dos elementos da estrutura podem ser avaliados, usando esse critério.

Observações de campo

Um acompanhamento da estrutura pode ser adequado para estabelecer o alcance e atender às necessidades do projeto. Contudo, nos casos de recuperações extensas, verificações mais detalhadas de vários itens, seguidos de testes preliminares podem ser exigidas. O foco principal da investigação preliminar envolve a extensão e o registro dos problemas observados e a identificação dos elementos afetados. A freqüência e a severidade dos problemas, por toda a estrutura, também, devem ser registrados. Nos casos em que danos sérios ou deficiências são descobertos e que possa resultar em uma condição insegura ou, potencialmente, arriscada, o proprietário deve ser comunicado para agir, imediatamente.

A evacuação temporária, medidas de escoramento temporário ou outra medida de segurança qualquer, se necessário, deve ser recomendada ao proprietário. O monitoramento dos movimentos, fissuras e danos progressivos deveriam ser iniciados, imediatamente. Avaliação das condições observadas e, especialmente, a necessidade por acompanhamento e ações corretivas adequadas, deveriam ser reportadas. As impressões iniciais podem ser muito valiosas, frequentemente, elas caracterizam a natureza do problema. Se houver suspeita de problema estrutural, atenção especial deveria ser dada às juntas, áreas de apoio, áreas de mudanças geométricas bruscas, e áreas na estrutura onde ocorre concentração de cargas, (ACI 364.1R).

Quando fissuras de significância estrutural forem encontradas, o monitoramento das referidas fissuras deveria ser considerado; essa informação será de valor para investigações

futuras. Registros fotográficos ou gravação de vídeo são ajudas importantes, na classificação e informação das condições e problemas observados, (ACI 364.1R).

Plano de ação

A recomendação deveria apontar claramente um curso adequado de ações, assim como:

- ✓ aceitar a estrutura como ela é;
- ✓ fortalecer a estrutura para corrigir deficiências identificadas;
- ✓ mudar o uso da estrutura ou;
- ✓ desativar a estrutura progressivamente;

O procedimento que melhor satisfizer os objetivos do proprietário deveria ser considerado e uma solução apropriada e de custo compensador para a reabilitação deveria ser desenvolvida. Planos efetivos deveriam abordar que ações deveriam ser tomadas e como deveriam ser mais bem realizadas. Quando as restrições orçamentárias forem severas, pode ser necessário atribuir prioridades para repararem e para prepararem o programa, consequentemente ao longo dos anos. Alternativas viáveis para o plano de ação recomendado deveriam ser identificadas, incluindo custos estimados e períodos de retorno.

2.8.5.3 Situação insegura ou potencialmente arriscada

Quando uma situação insegura, ou potencialmente, arriscada for identificada, o proprietário deve ser, imediatamente, notificado das condições encontradas. A evacuação temporária, medidas de escoramento, ou quaisquer outras medidas de segurança, se exigidas, deveriam ser recomendadas ao proprietário. Se a segurança do público estiver comprometida, um acompanhamento dessa situação deve continuar com o proprietário até que medidas satisfatórias de segurança sejam implementadas (ACI 364.1R).

2.8.6 Avaliação do envelhecimento do concreto armado ou dos agentes de degradação.

Os fatores primários que podem limitar a vida útil de estruturas do concreto armado incluem a presença de cloretos, agentes químicos agressivos, assim como ácidos e sulfatos, ciclos de congelamento e descongelamento e cargas mecânicas, assim como fadigas, vibração

e sobrecarga local. Normalmente, apenas um fator primário limita a vida útil e é o foco da previsão da vida útil. Uma visão geral dos métodos para previsão da vida útil de concretos novos e existentes junto com alguns exemplos dessas aplicações será apresentada.

O desempenho da estrutura é medido pela condição física e pela funcionalidade dos materiais estruturais dos componentes. Ensaios são conduzidos, no concreto armado, para avaliar o desempenho da estrutura como um resultado de MURPHY (1984):

- ✓ incompatibilidade de propriedades com as especificações;
- ✓ inadequações no ato de colocar, compactar, ou cura do concreto;
- ✓ danos resultantes de sobrecarga, fadiga, congelamento ou descongelamento, abrazão, ataque químico, fogo, explosão, ou outros fatores ambientais ou;
- ✓ interesse a respeito da capacidade da estrutura;

Ensaios realizados para a verificação de modelos, materiais e parâmetros ambientais, usados para calcular a vida útil de serviço na fase de projeto seguem a recomendação da ACI 365.1R-00. Os modelos melhorados ou validados são, nesse caso, usados para aprimoramento das execuções das manutenções e construções. A previsão da vida útil residual de uma estrutura de concreto requer a acumulação de dados como mostrado na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Dados requeridos para a obtenção da vida útil residual da estrutura de concreto (ACI 365.1R-00).

Adaptação da estrutura ao projeto original
Revisão da documentação
Visita preliminar ao local
✓ Inspeção visual para compatibilidade com documentos da construção
✓ Pesquisa com pacômetro (medidor de cobertura) para localizar e caracterizar armadura (por exemplo: tamanho, profundidade e espaçamento)
Análise preliminar
Inspeção por presença de degradação
Inspeção visual
Pesquisa de fissuras
Pesquisa de lascamento
Pesquisa de cloretos
Pesquisa de carbonatação
Retirada de amostras
Análise de laboratório

Estudos petrográficos (por exemplo: conteúdo de ar, distribuição de ar-vácuo, agregados instáveis, tipos de danos, e estimativa do teor a/c)
Estudo químico (por exemplo: constituintes químicos do material cimentício, pH, presença de misturas químicas e características da pasta e agregados).
Propriedades do concreto e do material da armadura (exemplo: resistência e módulo de elasticidade).
Avaliação da degradação
Atual – "versus" propriedades do material especificado.
Absorção do concreto e permeabilidade (relativa).
Cobertura do concreto.
Presença excessiva de fissuras do concreto, lascamento ou descamações (separação de camadas com perda significativa de resistência).
Profundidade da penetração do cloro e carbonatação.
Atividade de corrosão da armadura (exemplo: medida de potencial meia-pilha, pulso galvanostático e provas de corrosão).
Agressividade ambiental (exemplo: presença de umidade, cloros e sulfatos).
Reanálise estrutural para as condições atuais
Reanálise para cargas típicas estáticas e dinâmicas.
Exame da demanda de outras cargas (por exemplo: sísmicas e vento).

A capacidade da estrutura de concreto armado para alcançar as exigências de desempenho e funcionalidade, durante um período longo de tempo, depende da durabilidade dos seus componentes. As manifestações iniciais de danos que ocorrem, em estruturas de concreto armado, incluem fissuração e separação de camadas com perda significativa de resistência, deslocamento excessivo, e perda de propriedades mecânicas (resistência). Se o concreto for preparado, usando constituintes apropriados, compactado e curado, então, as referidas ações fundamentais podem contribuir para a vida útil da estrutura melhorando o seu desempenho. Ensaios de permeabilidade no local, também, podem ser conduzidos no concreto para localizar áreas sujeitas a degradação. As medições desses fatores deveriam fazer parte de todo processo de avaliação.

2.8.6.1 Inspeção e manutenção

Inspeção, em serviço e manutenção preventiva, são partes das rotinas do gerenciamento do envelhecimento e degradação em muitas instalações de Engenharia segundo HOUSE, (1987). A integridade estrutural pertinente, de estruturas civis, tais como

pontes e plataformas em alto mar, expostas às condições climáticas severas, é avaliada, rotineiramente. Esses registros avaliam o desempenho e estimam a habilidade da estrutura para continuar a satisfazer exigências de desempenho e funcionalidade. Portanto, a inspeção em serviço e estratégias de manutenção podem ser usadas para prever a confiabilidade e vida útil das estruturas.

A abordagem para prever a confiabilidade da estrutura ou sua vida útil sobre condições de operações futuras se baseia em técnicas de probabilidade, envolvendo análise de confiabilidade. Essas técnicas integram informações sobre exigências de projeto, material e degradação estrutural, acúmulo de danos, fatores ambientais, e técnicas de avaliação não destrutiva como uma ferramenta de decisão que fornece uma medida da confiabilidade estrutural. A técnica, também, pode investigar o papel da inspeção em serviço e estratégias de manutenção, expandindo a vida útil. Os métodos de inspeção podem impactar a avaliação da confiabilidade estrutural em duas áreas: detecção de defeitos e modificações na distribuição da freqüência da resistência. Muitos métodos de ensaios não destrutivos que detectam a presença de um defeito na estrutura tendem a ser qualitativos em sua natureza. Nesse aspecto eles indicam a presença de uma falha, mas não fornecem dados quantitativos a respeito da sua dimensão, local exato e outras características que seriam necessárias para determinar seu impacto no desempenho estrutural. Nenhum desses métodos pode detectar um dado defeito com segurança.

2.8.7 Métodos para prever a vida útil do concreto.

Existem alguns métodos para a previsão da vida útil das estruturas de concreto. Métodos usados para prever a vida útil dos materiais de construção incluem estimativas baseadas em experiência, deduções de desempenho de materiais similares, resultados de ensaios acelerados, modelagem matemática baseada na química e física do processo de degradação esperado, e aplicações de confiabilidade e conceitos estocásticos (CLIFTON & KNAB, 1989). Embora esses enfoques sejam discutidos, separadamente, eles, frequentemente, são usados combinados, (ACI 365.1R-00) e ANDRADE (2005).

Muitos métodos para previsão da vida útil se miram nos efeitos de, apenas, um processo de degradação. A experiência, contudo, tem mostrado que a degradação acontece, quando um ou mais processos estão operantes ou da interação do meio ambiente e cargas (HOOKMAN

1990). Esse efeito sinérgico complica a previsão da vida útil para ambos: estruturas de concreto novas onde fatores ambientais e cargas não foram bem definidos e, existentes onde se torna difícil avaliar devido à influencia de vários agentes de degradação.

No Brasil o conceito de Vida Útil foi introduzido, timidamente, apenas, no texto da NBR 6118:2003, obrigatório, somente, a partir de abril de 2004. Atualmente, os modelos de previsão de vida útil se baseiam em (HELENE et al, 2006):

- ✓ experiência;
- ✓ ensaios acelerados;
- ✓ mecanismos de transporte (abordagem determinística);
- ✓ estocásticos (abordagem probabilística);

2.8.7.1 Experiência

Baseia-se na adoção de limites máximos aceitáveis para a relação a/c, de limites mínimos para o consumo de cimento e da espessura de cobrimento das armaduras, considerando as características ambientais. Deve ser empregado por especialista que deve seguir as diretrizes das normas e os códigos em vigor para ajudar na tomada decisão, (HELENE at al, 2006).

2.8.7.2 Ensaios acelerados

Os ensaios acelerados ajudam a predição da vida útil da construção, componentes e materiais, são eles:

- ✓ carbonatação acelerada;
- ✓ migração de cloretos acelerada;
- ✓ permeabilidade acelerada;
- ✓ difusão acelerada;

2.8.7.3 Abordagem determinística

Esse tipo de abordagem baseia-se nos mecanismos de transportes de gases, massa e íons através dos poros do concreto (HELENE, 1997). Os principais mecanismos envolvidos são:

- ✓ permeabilidade;
- ✓ capilaridade;
- ✓ difusibilidade de gases e íons;
- ✓ migração de íons;
- ✓ convecção;

No Brasil, a norma NBR 6118:2003 classifica os ambientes, mais detalhadamente, em macro climas (atmosferas rural, urbana, marinha, industrial, áreas de respingos de maré, submersas e em contato com o solo) e microclimas (ambientes externos ou internos, na condição seca ou úmida). Com a revisão da norma (NBR 6118:2003), houve uma mudança na forma de projetar as estruturas em função da durabilidade.

Deve-se deixar claro que, ao se empregar tal tipo de abordagem, não se considera a variabilidade das características do concreto e das condições ambientais nos modelos de previsão. Emprega se a equação 2.1 para se tentar prever a frente de carbonatação em estruturas existentes.

$$e = \kappa\sqrt{t}(cm) \qquad (2.1)$$

Onde:
e = profundidade de carbonatação (cm);
k = coeficiente de carbonatação (cm^2/ano); e
t = tempo (anos).
e_{co2} → 1 a 5cm
k_{co2} → 0.1 a 1.0 cm/ano

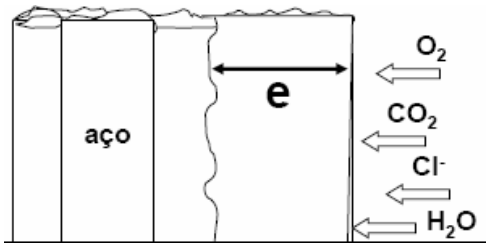

Figura 2.6 - Penetração dos agentes de degradação na estrutura de concreto (HELENE, 2005).

Para estruturas a serem construídas, não existe a possibilidade de determinar o valor de K, pois ele depende de uma serie de parâmetros que não estão disponíveis, para o engenheiro, no momento da criação da estrutura, (ver Figura 2.6).

Solução da Segunda Lei de Fick

Leva em consideração a concentração de cloretos na profundidade (*e*), a partir da superfície de concreto, sendo representada pela equação 2.2. O tempo para despassivação das armaduras pode ser calculado, através da equação 2.3, (CRANK, 1975).

$$C(e,t) = C_s[1 - erf(e/2\sqrt{tD})] \qquad (2.2)$$

$$t = e^2/4D[erf^{-1}((C_s - C_{cr})/C_s)]^{-2} \qquad (2.3)$$

Onde:

$C(x,t)$ = concentração de cloretos na profundidade x a partir da superfície do concreto em um dado tempo t(%);

C_s= concentração superficial de cloretos admitida como constante (%);

x = profundidade (cm);

D = coeficiente de difusão dos cloretos (admitido como sendo constante) (%);

t = tempo (anos);

erf = função de erro de Gauss;

C_{cr}= concentração crítica de cloretos nas proximidades da armadura (%);

erf^{-1} = função inversa do erro de Gauss.

Atualmente, não existe um consenso sobre a concentração crítica dos cloretos. De acordo com a CEB (1992), se o concreto não estiver carbonatado, deve-se usar um teor de cloretos = 0,4% em relação à massa de cimento.

Quando uma estrutura é construída, os cloretos penetram com certa facilidade através do cobrimento do concreto. Durante os primeiros anos, existe um aumento da concentração superficial de cloretos e um decréscimo do coeficiente de difusão, devido tanto à hidratação do cimento, quanto aos cloretos que penetraram. Logo após, a camada superficial do concreto pode carbonatar ou estar sujeita aos ciclos de molhagem e secagem, acarretando uma mudança no mecanismo de penetração dos cloretos. Dessa forma, para a determinação da vida

útil de uma estrutura, é necessário o desenvolvimento de modelos que contemplem os seguintes aspectos:

- ✓ o período de absorção;
- ✓ a variação do coeficiente de difusão e da concentração superficial no tempo;
- ✓ a dependência do coeficiente de difusão com a concentração superficial;
- ✓ a influência do tipo de cimento no coeficiente de difusão de cloretos;

A fim de contribuir para o desenvolvimento de uma formulação aplicável na prática, foi desenvolvido um modelo matemático para representar a penetração da frente de cloretos no concreto, admitindo que o teor crítico para despassivação seja igual a 0,4% de cloretos em relação à massa de cimento (ANDRADE, 2001). Para tanto, foi considerado que tal fenômeno depende, basicamente, das características relacionadas ao material e ao meio ambiente.

2.8.8 Abordagem probabilística

A aplicação das teorias e métodos probabilísticos se mostram promissoras, pois são ferramentas úteis para a resolução de problemas que envolvam processos naturais e fenômenos que são inerentemente aleatórios, cujas variáveis envolvidas não podem ser tratadas como constantes no tempo. No caso da utilização dos métodos probabilísticos, os Pesquisadores aplicam a teoria da confiabilidade para predizerem como se comportará uma determinada estrutura, levando, em consideração, a ação aleatória do meio ambiente, dos esforços e do comportamento dos materiais empregados durante a sua vida útil.

Os fatores inerentes que agem, na abordagem probabilística são:

- ✓ a geometria da estrutura;
- ✓ os materiais utilizados na construção;
- ✓ o ambiente no qual a estrutura está localizada;
- ✓ a variabilidade dos parâmetros (ambientais e do concreto) envolvidos;
- ✓ a qualidade de execução do concreto;
- ✓ os principais mecanismos de degradação, especialmente corrosão;
- ✓ o planejamento das atividades de inspeção da estrutura;

As etapas da previsão da vida útil, adotando a abordagem probabilística, estão mencionadas a seguir:

- ✓ o proprietário define qual será a vida útil desejada para a estrutura, registrando, na documentação técnica da obra;
- ✓ faz-se uma avaliação ambiental, com a finalidade de identificar os mecanismos de degradação relevantes, sendo esses mecanismos devem ser modelados matematicamente levando em conta a sua dependência recíproca e as características do concreto;
- ✓ com a vida útil associada a um modelo que expresse o mecanismo de degradação, realizar-se-á uma caracterização estatística das variáveis que compõem o modelo matemático, devendo-se determinar à função densidade de probabilidades (normal, lognormal, Weibull, Gumbel, entre outras) o seu valor médio, o desvio padrão e/ou seu coeficiente de variação;
- ✓ conceito de risco (probabilidade de falha x prejuízo causado). O próximo passo será o calculo da probabilidade de falha. A probabilidade de falha (P_f) deve ser a menor possível, considerando os níveis de desempenho exigidos para a estrutura, previamente especificados pelo projetista, a fim de separar os limites entre os estados de falha e segurança estabelecidos;

Um ponto importante, na realização de uma análise probabilística, está relacionado à definição índice de confiabilidade (β) associado a uma probabilidade de falha (P_f) que deve ser a menor possível, considerando os níveis de desempenho exigidos para a estrutura. De acordo com o DURACRETE (1999), um estado limite é uma fronteira que separa os estados desejados de desempenho de uma estrutura. Os dois principais estados limite e empregados nesse enfoque são:

- ✓ estados limite últimos, que se referem aos eventos que apresentam conseqüências irreversíveis em uma estrutura: colapso, fratura, tombamento, deslizamento, entre outros, relacionados, em principio, à perda de equilíbrio estático, sendo geralmente associados a prejuízos financeiros consideráveis e /ou perdas humanas;
- ✓ estados limites de serviço, que estão relacionados a eventos que restringem a adequada utilização da estrutura. Este tipo de estado limite está relacionado ao conforto do usuário, à perda da funcionalidade, a estética e/ou à durabilidade da estrutura. Tal conceito pode ser quantificado de várias formas, como, por exemplo, um percentual máximo de área superficial que pode ser deteriorada. Nesse tipo de estado limite, os prejuízos de ordem econômica são restritos e as perdas humanas não são esperadas;

Por exemplo, para a corrosão das armaduras, podem-se ter alguns estados limite específicos e bem estabelecidos. O primeiro deles está relacionado à despassivação das armaduras, que corresponde à vida útil de projeto (ou estado limite de serviço). Já na etapa de propagação, podem ser identificados diversos estados limite, como a fissuração e o lascamento do concreto de cobrimento das armaduras ocasionados pela expansão dos produtos de corrosão. Como um estado limite - ultimo, pode se citar o colapso da estrutura, que ocorre, quando, existe uma redução da seção transversal da armadura associada à sua perda de aderência do concreto.

2.8.9 Infra-estrutura para estudo da durabilidade de materiais

A fim de consolidar esse tipo de Pesquisa no Brasil, uma iniciativa está sendo realizada para avaliar a degradação de materiais, quando submetida às condições normais de uso, a exemplo do que já existem em países como a Alemanha a Espanha o Reino Unido e os Estados Unidos. Trata se da Rede Nacional de Estações de Envelhecimento Natural para estudos de Durabilidade, que visa implantar infra-estrutura para estudo da durabilidade de materiais e componentes de construção no clima brasileiro e com isso possibilitar o desenvolvimento tecnológico de produtos já existentes e a produção de novos materiais, alem de colaborar com a normatização de métodos de exposição ao envelhecimento. Esta é a proposta do projeto “DURAR-Rede Brasileira de Envelhecimento Natural”, (DURAR, 2006).

O projeto **Rede Brasileira de Estações de Envelhecimento Natural para Estudo da Durabilidade** implantou e opera uma rede de quatro estações de envelhecimento natural, que está disponível para a comunidade técnica, acadêmica ou industrial.

As estações estão localizadas em São Paulo, Rio Grande do Sul, Belém e Pirassununga, sendo essa última instalada com recursos da Fapesp. Em seu conjunto, estão representados climas diferentes, com quatro situações bastante diferentes em termos de clima e contaminantes. A estação de Belém encontra-se próxima à área de floresta em região quente, úmida, com chuvas muito freqüentes. A estação de Rio Grande, uma região subtropical de invernos frios e verões quentes, encontra-se à beira-mar.

Infra-estrutura

As estações de envelhecimento são áreas isoladas de 600 m2. A estação de São Paulo está localizada no teto do edifício da engenharia civil, e as demais, no solo, em áreas que atendem aos critérios para estações climatológicas.

As estações estão equipadas com sistemas de medida das seguintes grandezas:

- ✓ Temperatura do ar (-40 °C a +60 °C), termopares marca Vaisala;
- ✓ Umidade relativa do ar (0% a 100%), por higrômetros da marca Vaisala;
- ✓ Radiação solar global, na faixa de 305 nm a 2800 nm, através de piranômetros da marca Kipp & Zonen, com elemento sensor termopilha;
- ✓ Radiação solar, na faixa do ultravioleta (300 nm a 400 nm), através de piranômetros da marca Kipp & Zonen;
- ✓ Precipitação, através de pluviômetro de báscula, com resolução de 0,2 mm, da marca Hydrological Services;
- ✓ pH da água de chuva, através de equipamento da marca CSI;
- ✓ Tempo de superfície úmida (*time of wetness*), através de equipamento da marca Wetcorr-Nilu;
- ✓ Velocidade (0 m/s a 60 m/s) e direção (0 a 360 graus) do vento, através de equipamento da marca R.M. Young; e
- ✓ Temperatura do solo, através de termômetro da marca Campbell Scientific Inc. Todos os sensores estão conectados a um equipamento programável de aquisição de dados, alimentado por sistema de baterias, conectadas a células fotovoltaicas, que podem manter o sistema independente da rede elétrica por vários meses. A ligação *on-line* do sistema via Internet, está em implementação, o que aumentará ainda mais a confiabilidade dos dados, (COLETÂNEA HABITARE VOL.7, 2006).

No Brasil, a implantação da rede de envelhecimento natural é pioneira, mas nos países desenvolvidos, existem trabalhos neste campo faz mais de duas décadas. São estes estudos que estabeleceram as bases para a previsão da durabilidade e da vida útil de produtos da construção civil. Como decorrência, nestes países, desde a década de 90 existem algumas normas e códigos de prática relativos à previsão de vida útil. No Brasil, ainda não existem normas especificas a respeito do assunto. Mas a pressão, a esse respeito, é mundial. A Comunidade Européia emitiu uma diretiva tornando obrigatório que os fabricantes de

materiais declarem a vida útil dos seus produtos e algumas normas técnicas e códigos de prática já adotam modelos para a previsão da vida útil em diferentes questões ambientais.

CAPÍTULO 3

3 ISO 15686 e o Método dos Fatores

3.1 Métodos de Engenharia para previsão da vida útil.

Esses métodos aplicam modelos matemáticos e processamento estocástico aos dados de projeto.

Conhecer os fatores principais que influenciam o comportamento geral de um material ou componente, facilita o entendimento de assuntos fundamentais, mas pode não ser suficiente para determinar a sua vida útil visto que são vários os fatores inerentes no processo de degradação, entre eles, o mais importante é o meio ambiente. Depois de efetuada uma revisão literária atualizada, uma equação contendo os fatores e seus respectivos níveis de relevância, precisa ser criada primeiramente. Propõe-se a ser um método, de Engenharia, para realizar o calculo da vida útil de materiais, construções e componentes, que combinam os fatores entre si. Essa equação pode ser derivada da ISO 15686-1 ou de outras fontes. Pode ser feita, especialmente, para se adequar ao problema a ser resolvido, MOSER, (2004).

Exemplos do Método dos Fatores podem ser encontrados, em muitas publicações, por exemplo, STRAND, (1999). As deficiências do referido método, são discutidas em algumas dessas publicações. As principais deficiências podem ser resumidas como:

- ✓ a plena multiplicação dos fatores, que podem ter pesos diferentes;
- ✓ o resultado que não reflete a real variância;
- ✓ os dados que ainda precisam ser acumulados;
- ✓ a falta de relações diretas dos dados agrupados, exemplo: meio-ambiente, qualidade da instalação, condições de uso, etc. Os fatores são normalmente baseados diretamente no comportamento dos componentes em um conjunto de condições especificadas;

3.1.1 Metodologia para previsão da vida útil

A Construção e o meio construído representam uma grande fatia do capital nacional real, em diferentes paises. Durante o último Século, têm ocorrido grandes atividades, no setor

da construção e o estoque de edifícios existentes requer investimento contínuo, no que diz respeito à administração, manutenção, assim como reparo e substituição.

A durabilidade é um dos assuntos mais importantes na área da construção, visto que influencia os seguintes aspectos dos materiais de construção, componentes, construções e estruturas:

- ✓ resistência;
- ✓ vida útil;
- ✓ custo de reparo e renovação;
- ✓ impacto ambiental;

Demonstrou-se, na Noruega, que as construções e o setor da construção têm sido responsáveis por aproximadamente:

- ✓ 40% do consumo de materiais;
- ✓ 40% do consumo de energia;
- ✓ 40% do desperdício para depósitos de lixo;

A previsão da vida útil pode ser baseada em dois enfoques principais diferentes HOVDE, (2000):

- ✓ enfoque determinístico;
- ✓ enfoque probabilístico;

Uma metodologia para a previsão da vida útil de materiais de construção e componentes inclui a identificação, informação desejada, desenvolvimento de ensaios, interpretação de dados e o relatório de resultados. Usa-se um enfoque de Pesquisa interativo, permitindo, com isso, melhores previsões à medida em que o conhecimento evolua. Ambas as analises, determinísticas ou probabilísticas podem ser usadas, (RILEM, 1989).

RUDBECK, (1999), promoveu um longo debate a respeito de métodos para previsão da vida útil e do método dos fatores e concluiu que:

Métodos para estimar a vida útil com um enfoque probabilístico, só devem ser usados quando se tem a amostra de tamanho adequado. Alguns componentes de edifícios são produzidos em grande escala, mas como são aplicados de formas diferentes, não se pode comparar a medida dos seus desempenhos ao longo do tempo. Por outro lado, o ideal

pode ser um método híbrido, ou seja, a união dos fatores e do enfoque probabilístico, devido às vantagens que essa forma de proceder pode oferecer.

O uso freqüente do Método dos Fatores tem sido limitado, devido à falta de conhecimento do método entre praticantes (exemplo: arquitetos, consultores ou proprietários de edifícios e administradores).

Os métodos para previsão da vida útil (PVU) lidam com alguns problemas comuns. A maior parte dos dados usados na (PVU), também, é necessária na avaliação do custo de vida (ACV). A (ACV) e a (PVU) podem ser usados juntos para aperfeiçoarem o planejamento da vida útil, STRAND & HOVDE (1999)

3.1.2 Desenvolvimentos Futuros do Método dos Fatores

Antes de o método vir a ter uso generalizado muitos tópicos precisam ser evoluídos, entre eles:

- ✓ determinação e agrupamento de dados para a vida útil de referência (VUR) e os fatores individuais;
- ✓ desenvolvimento de métodos de engenharia que combine benefícios de métodos probabilísticos mais sofisticados e métodos determinísticos simples. Um enfoque prático parece ser descrever os diferentes fatores pelo uso de distribuição estatística;
- ✓ uso prático dos métodos em casos de estudo de materiais específicos de construções e componentes ou de construções específicas;
- ✓ uso de métodos na avaliação do ciclo de vida de materiais de edifícios e componentes e métodos de avaliação ambiental para edifícios;
- ✓ aplicação de métodos em projetos de ciclo de vida integrado e projeto de durabilidade de edifícios;

A ISO 15686-1 proporciona uma metodologia para prognosticar a vida útil e, conseqüentemente, estimar o tempo certo de manutenção necessária e substituição dos componentes, tem, como objetivo, garantir que a vida útil de serviço será maior do que a vida útil de projeto. A ISO 15686 possibilita a comparação de diferentes tipos de construções e

componentes e impede que o desempenho da construção seja reduzido, a fim de satisfazer restrições orçamentárias.

Essa norma proporciona diretrizes compreensivas sobre a predição e segurança da vida útil de componentes de edificações e conjuntos de componentes ver Tabela 3.1. A Figura 3.1 mostra como cada parte da ISO 15686 se conecta e, também, a tópicos associados e outras normas internacionais.

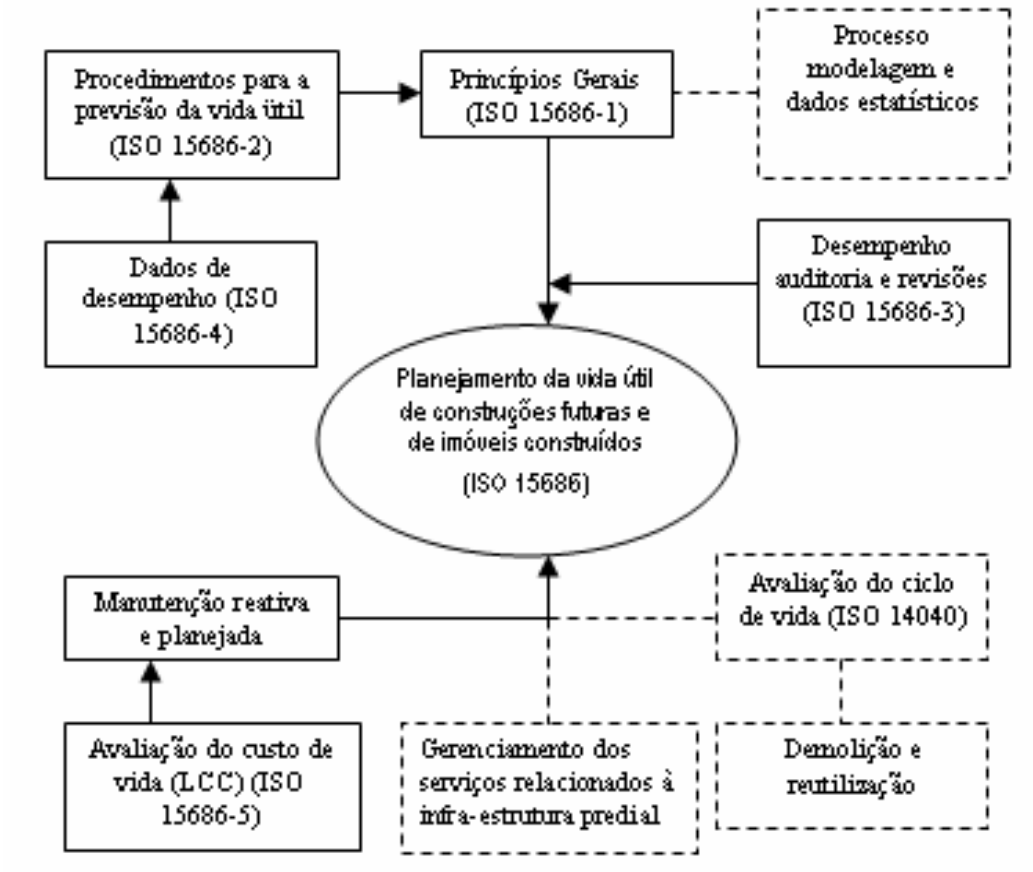

Figura 3.1 – Dados e influências na vida útil das edificações

Tabela 3.1 – Normas ISO 15686 interligadas com Método dos Fatores.

ISO 15686-1	Lida com os princípios gerais, assuntos e dados necessários para prever a vida útil, e apresenta um método (Método dos Fatores) para estimar a vida útil de componentes ou família de componentes para uso em projetos específicos.
ISO 15686-2	Descreve uma metodologia genérica para testar o desempenho, ao longo do tempo dos componentes e grupo de componentes, para planejar a predição da vida útil. Sempre que possível, a vida útil de referência usada para produzir vida útil estimada deveria ser derivada de predições da vida útil como descrito na ISO 15686-2. Algumas diretrizes podem ser dadas, também, para atribuir valores aos fatores. Os maiores usuários dessa ISO serão os especialistas em materiais que precisam interpretar ou projetar ensaios de desempenho.
ISO 15686-3	Descreve o enfoque e procedimento a serem aplicados à instrução prévia, instrução de projeto, construção e, quando solicitado, o cuidado de administração, duração e disponibilidade de edificações e bens construídos para assegurar que as medidas, necessárias para alcançarem o desempenho desejado, ao longo do tempo, sejam executadas.
ISO 15686-4	Descreve a gama de dados de desempenho que permitirá a determinação da vida útil.
ISO 15686-5	Proporciona diretriz para avaliação do custo de vida de uma construção.
ISO 15686-6	Procedimentos que devem ser considerados, sobre impactos ambientais
ISO 15686-7	Análise de desempenho para “feedback” de dados da vida útil na prática.
ISO/DIS 15686-8	Refere se à vida útil de referencia e estimativa da vida útil (projeto de norma-Draft).

Serão abordadas, apenas, as partes 1, 2 e 8 da ISO, visto que o objetivo desse Trabalho é a verificar a precisão das estimativas da vida útil de elementos construtivos. A longo prazo, espera-se que uma aplicação consistente do planejamento da vida útil conduza à coletânea de dados úteis e permita o desenvolvimento de sistemas de conhecimento integrado e informatizado para projetos de construção e manutenção.

3.2 Processo de planejamento da vida útil

3.2.1 Previsão

O objetivo do planejamento da vida útil é assegurar que a vida útil estimada da construção ou componente alcançará, no mínimo, a vida útil de projeto. (por exemplo: a vida útil da construção ou componente igualará ou excederá a vida útil de projeto de uma construção ou componente). Como a extensão da vida útil não pode ser conhecida, antecipadamente, com precisão, o objetivo passa então a ser: fazer uma previsão confiável apropriada da vida útil usando dados disponíveis. A proposta para a maioria dos clientes será assegurar que a combinação mais vantajosa do capital, manutenção e custos operacionais seja alcançada durante a vida da construção.

Para alcançar esse objetivo, pode-se, exigir manutenção durante a vida útil da construção e ou componente. A estimativa da vida útil, na fase de projeto, permite obter considerações do local específico. Ajudará o planejamento das operações de manutenção futuras, seleção da melhor especificação de projeto e rejeição de desperdícios.

O processo de planejamento da vida útil pode ser aplicado a ambos: construções existentes e novas. Para construções e componentes existentes, muitas das escolhas foram predeterminadas e a construção já está de alguma forma, no meio da sua vida útil. Portanto, o planejamento da vida útil se concentrará na avaliação da vida útil residual de componentes e custos de reposição. A ISO 15686-1 se concentra no planejamento da vida útil de novas construções, componentes e no Método dos Fatores que será explicado no item 3.7.

A fase final do processo envolve comunicar os resultados do planejamento da vida útil para as partes que irão ocupar e manter a construção. Eles precisam ficar atentos às suposições, feitas a respeito do ambiente em uso e manutenção antecipada para alcançarem a vida útil estimada.

3.2.2 Termos abreviados

O Método dos Fatores utiliza os seguintes termos abreviados:

VUP vida útil do projeto

VUPE vida útil de uma edificação (construção)
VUPC vida útil de um componente (ou famílias de componentes)
VUEE vida útil estimada de uma edificação
VUEC vida útil estimada de um componente (ou família de componentes)
VUPC vida útil predita de um componente (ou família de componentes)
VURE vida útil de referência de uma edificação (construção)
VURC vida útil de referência de um componente (ou família de componentes)

3.3 Planejamento da vida útil (etapas no processo do projeto).

3.3.1 Instrução

Decisões críticas, para a vida útil, são levadas, em conta na fase inicial do projeto. A fase de projeto deveria incluir consideração completa das condições locais, assegurando, assim, com um alto grau de probabilidade, que a vida útil não será menor do que a vida útil de projeto.

Nessa fase, os objetivos fundamentais a serem alcançados no planejamento da vida útil deveriam ser estabelecidos. Esses objetivos incluem:

- ✓ a vida útil de projeto da construção e o desempenho funcional exigido dos componentes da construção durante sua vida de projeto;
- ✓ critério de desempenho funcional que se possa medir e desempenho funcional inaceitável que possa exigir substituições dos componentes;
- ✓ determinação dos componentes da construção ou família de componentes que necessitam ser reparados/ mantidos/ trocados dentro da vida útil de projeto;

Normalmente, essas decisões deveriam ser tomadas pelo proprietário e projetista num estágio inicial, no processo de delineamento da obra. A ISO 15686-1:2000, se refere a essa fase como “instrução”.

3.3.2 Projeto inicial e conceitual

Durante as escolhas iniciais do projeto, julgamentos de profissionais especialistas serão requeridos para verificar o seguinte:

- ✓ se a vida útil do projeto da construção é realizável dentro das restrições do projeto (exemplo: orçamento, tempo, desempenho, exigências de manutenção e assuntos específicos do local);
- ✓ se o projeto satisfaz as exigências de desempenho definidas na instrução pelo cliente (exemplo: por componentes não substituíveis);
- ✓ se na concepção do projeto foi planejada a substituição, manutenção e/ ou atualização de elementos construtivos para evitar interrupção indevida do uso da construção. Muitos códigos locais de construção exigem que componentes inacessíveis tenham vida útil, no mínimo, tão longa quanto à vida útil de projeto da construção;

3.3.3 Projeto detalhado

O projeto detalhado inclui seleção de materiais e componentes. Sabe-se que é raro, para os componentes serem executados como protótipos para uma construção específica; as escolhas podem ser limitadas pela disponibilidade do projeto, do componente e materiais. Nessa fase, existirá, frequentemente, um processo interativo de propor um componente, confrontar a verificação do seu desempenho predito com a instrução e, se exigido, corrigir seleções.

Obs.: A comunicação entre o fornecedor do componente e o projetista ajudará a identificar quais agentes serão relevantes e se o componente é adequado. O fornecedor do componente deveria receber tantas informações a respeito da intenção de uso quanto possível. Como ideal, a avaliação descrita nas seções 3.3.5 e 3.3.8.

Como parte do planejamento da vida útil, os componentes deveriam ser avaliados, combinando com as exigências de desempenho. O desempenho deteriorará a uma taxa dependente de:

- ✓ meio ambiente, incluindo as reações nas interfaces entre os materiais e/ ou componentes;
- ✓ o projeto da construção, o componente e o detalhamento da instalação;
- ✓ os materiais;
- ✓ a habilidade da mão-de-obra e a qualidade do local de Trabalho;
- ✓ manutenção, e;
- ✓ uso;

3.3.4 Especificação

3.3.4.1 Geral

A especificação pode ser considerada como sendo parte do projeto detalhado, mas é tratado aqui separadamente. Inclui seleção apropriada de especificação de componente e detalhes da instalação e pode se estender à seleção das especificações ótimas, usando técnicas de engenharia de avaliação ou custo do ciclo de vida. A avaliação deveria incluir critério de desempenho que se possa medir/ auditorar.

3.3.4.2 Detalhamento das instalações

O detalhamento das instalações e a interface do meio ambiente podem ser ajustados pelo projeto para oferecer proteção contra agentes de degradação e/ ou fuga de seus efeitos.

3.3.4.3 Material e seleção do componente

Os materiais e componentes variam nas suas reações com os agentes de degradação. Portanto, alguns materiais podem ser inadequados, mesmo em uma inspeção inicial. As informações, a respeito dos ensaios dos fabricantes e de outras procedências deveriam ser usadas para identificar materiais adequados, mas podem não estar disponíveis para todos os agentes relevantes. Os projetos dos componentes podem, também, aliviar o efeito dos agentes (por exemplo: incorporando camadas de sacrifício/ proteção) ou podem agravá-los (exemplo: permitindo contato entre materiais incompatíveis).

Exemplo: as considerações sobre o nível do macro ambiente de um projeto podem indicar que os agentes locais mais agressivos em um ambiente marinho é a zona de respingos, exposta às ondas e borrifos de água. Ensaios já disponíveis podem indicar que o aço doce, levemente, galvanizado seja inadequado, sem a consideração detalhada da especificação. Por isso, as especificações prosseguem, mas exigem Pesquisas mais detalhada ou ensaios que levem em conta outros agentes locais.

Os fabricantes, geralmente, têm muito conhecimento, a respeito das características do desempenho dos produtos que eles fornecem. Contudo, sem conhecimento detalhado das

exigências de desempenho (seção 3.3.8) e de agentes que caracterizem o meio ambiente, dados confiáveis podem não ser introduzidos para predizerem as vidas úteis. Os resultados das discussões e análises dos ambientes locais e as exigências, a respeito dos produtos pelos clientes deveriam ser informados aos fabricantes. A compatibilidade das instruções sobre as exigências de manutenção dos componentes selecionados, também, deveriam ser verificadas (seção 3.3.1).

É importante, para os projetistas, terem acesso ao resultado dos desempenhos dos materiais e componentes, obtidos através de ensaios e/ ou experiência. Materiais originais que possam alcançar desempenho melhor do que as especificações tradicionais podem carecer de dados da vida útil.

3.3.4.4 Local de Trabalho

Se as condições locais, materiais, meio ambiente, durante a construção e nível de mão-de-obra não alcançarem as recomendações dos fabricantes ou normas de uso da mão-de-obra, então, deve se considerar esses efeitos na vida útil. É possível reduzir riscos dos defeitos de mão-de-obra ou limitar o uso de materiais não confiáveis.

3.3.5 Caracterização do meio ambiente

O meio ambiente na construção ou entorno, é único. A caracterização ambiental pode ser feita, a nível global ou em detalhes; depende do seu estado crítico e dos dados disponíveis. A proposta de caracterizar o meio ambiente é de identificar quais agentes são relevantes e seus prováveis efeitos. A intensidade comum/ concentração/ nível dos agentes de degradação e freqüência dos níveis entre estados (por exemplo: variando de molhado para seco, para pontos gelados, temperaturas diárias máximas e mínimas, freqüência de exposição ao “spray” de sal, etc.) é relevante para a exposição do agente e forma parte da caracterização do meio ambiente. Note que, em alguns casos, as condições extremas estáveis causam menos deterioração do que variações freqüentes entre estados.

O anexo C (ISO 15686-1) contém uma lista de agentes ambientais que podem causar degradação. Diretrizes mais detalhadas estão inclusas na ISO 15686-2. Em muitos casos, basta uma avaliação externa e duas outras internas. Exemplos:

a) Locais específicos: o micro ambiente por todo o edifício variará e, nos prédios muito altos, poderá haver variações mesoambientais (exemplo: acréscimo de água, poluição e vento, na parte, predominantemente, exposta a chuvas de vento);
b) Componente em contato com o solo: agentes do solo;
c) Áreas internas comuns: locais sujeitos ao uso mais intenso;
d) Locais sujeitos a agentes degradantes incomuns, assim como sangue, óleo, fenol, cloro, leite, ácidos ou quaisquer agentes locais agressivos; pode ser devido a processos industriais (exemplo: agentes de degradação de reações ao produzir óxido de nitrogênio e dióxido sulfúrico).
e) Locais sujeitos à condensação, assim como vazios do sub-piso, encaixe da janela e parte vazia do teto;
f) Locais sujeitos à molhagem, assim como cozinhas, banheiros e piscinas;
g) Locais sujeitos à manutenção agressiva. Exemplo: degelo; enxágües e remoção de grafite;
h) Locais, com usos diferentes, assim como, divisórias de hospitais e corredores;
i) Locais onde a manutenção será improvável de ocorrer, assim como áreas confinadas e inacessíveis em níveis altos.

3.3.6 Estimativa de custos iniciais

O projeto deveria refletir todas as restrições orçamentárias para satisfazerem: os orçamento ou exigências da vida útil. Quando uma especificação é ajustada para satisfazer restrições orçamentárias, deve-se considerar, sempre, a implicação da manutenção.

3.3.7 Plano de manutenção

O Planejamento da vida útil da construção lida com programas para reposição dos componentes e, quando solicitado, pode ser estendido para indicar prováveis datas para as principais reformas e substituições de partes subsidiárias das famílias dos componentes. Como exemplos: portas, acessórios das janelas, vedação, vidros, folha de metal instalada no telhado para prevenir gotejamento, etc. Uma parte do planejamento da vida útil busca levar em consideração a vida útil apropriada para cada componente e os seus sub-componentes. De acordo com a ISO 15686-3, nem toda manutenção pode ser prevista e planejada. Por isso, alguma providência deveria ser tomada para atender os imprevistos. As iniciativas de

manutenção que possam ser, racionalmente, antecipadas levando, em consideração, o planejamento da vida útil da construção incluem o seguinte:

a) Mudança de acabamento interior
b) Remoção/ troca de divisórias (particularmente em escritórios);
c) Mudança de teto a prova de intempéries (a probabilidade de isso ocorrer variará com o projeto da construção e tipo de coberta);
d) Troca de partes elétricas, soldas ou outros serviços de instalação;
e) Alteração da drenagem abaixo da terra (raramente acontece);
f) Remoção parcial ou troca de elementos de sustentação de carga (normalmente durante renovação ou replanejamento);

Os procedimentos, efetuados no planejamento da vida útil, deveriam ser registrados como referência futura. Prognósticos da vida útil podem ser invalidados, devido a mudanças e procedimentos adotados, durante a vida útil da construção.

3.3.8 Exigências de desempenho e aceitação

3.3.8.1 Construção permanente, substituível ou passível de manutenção

As construções, seus componentes e famílias de componentes deveriam ser identificados como, substituíveis ou permanentes. Os componentes das construções, frequentemente, necessitarão de substituição ou manutenção, durante a vida útil de todo o prédio.

A Tabela 3.2 sugere vidas úteis mínimas de projeto dos componentes para construções especiais, baseadas em sua acessibilidade para manutenção. Estas sugestões servem para dar um ponto de partida nas discussões sobre as vidas de projetos, mas não deveriam inibir a escolha por outras opções de vidas de projeto, devido, por exemplo, a razões econômicas.

Tabela 3.2 – Vidas úteis mínimas sugeridas de componentes (VUC) em anos, (ISO 15686-1:2000).

Vida útil de projeto de edificação	Componentes estruturais ou inacessíveis	Componentes onde a substituição é cara ou difícil (abaixo da drenagem do terreno)	Principais Componentes substituíveis	Tempo de vida dos serviços da construção
Ilimitado	Ilimitada	100	40	25
150	150	100	40	25
100	100	100	40	25
60	60	60	40	25
25	25	25	25	25
15	15	15	15	15
10	10	10	10	10

Obs. 1: Componentes fáceis de substituir podem ter vidas de projeto de 3 a 6 anos.

Obs. 2: Uma vida de projeto ilimitada deveria raramente ser usada, visto que essa reduz significantemente as opções de projeto.

3.3.8.2 Desempenho limitado pela degradação

O planejamento da vida útil de uma construção está limitado pela degradação de seus componentes não substituíveis. A degradação, por si própria, necessariamente, não exige que haja substituição de componentes, a não ser que isto resulte em desempenho inaceitável e o reparo não seja justificável, economicamente. A vida útil de uma construção pode estar limitada, também, pela degradação dos componentes substituíveis ou passíveis de manutenção.

O planejamento da vida útil preocupa-se com riscos previsíveis, limitando-se ao prognóstico da redução da vida útil ou substituição de componentes, devido a desempenho inaceitável. A manutenção é a maior estratégia para reagir à degradação. O mau desempenho pode ocorrer, também, como um resultado de acontecimentos ou processos imprevisíveis.

Considerações, a respeito das conseqüências de mecanismos previsíveis de degradação, deveriam minimizar substituições imprevisíveis, ver Figura 3.2.

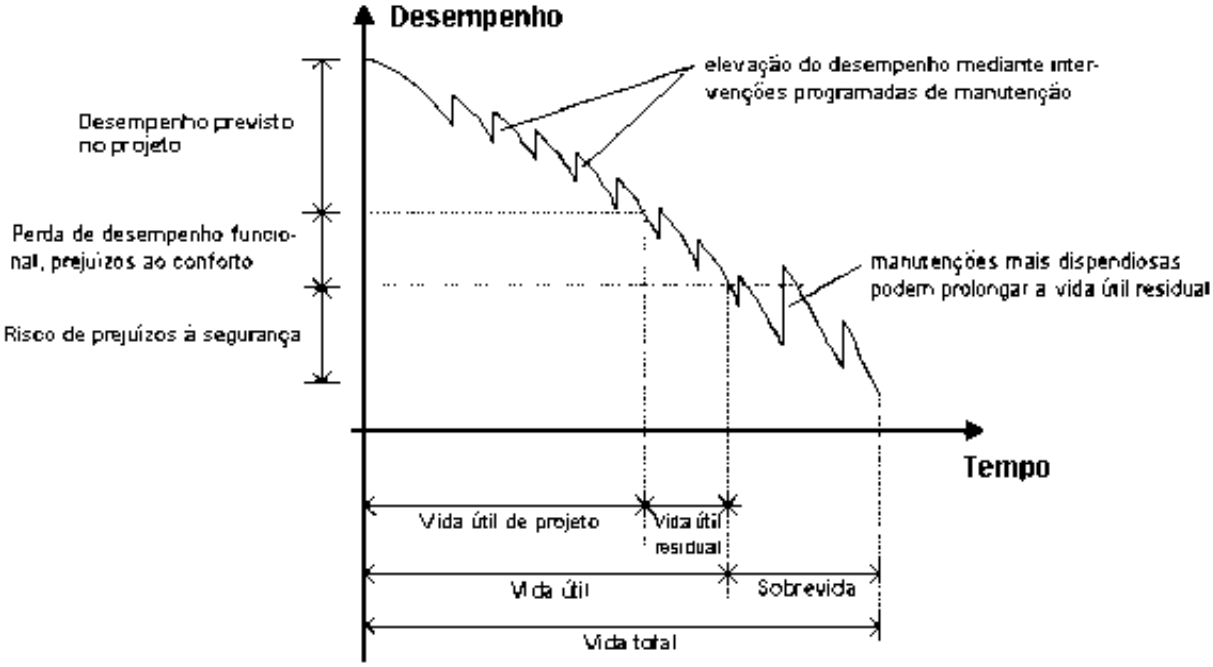

Figura 3.2 – Desempenho, ao longo do tempo (ABNT projeto 02:136.01-001/1:2005)

3.3.8.3 Nível mínimo de aceitação das propriedades críticas

As exigências de desempenho são impostas, pelo cliente, como parte da instrução do projeto. Algumas podem ser impostas, por códigos de construção local ou normas. Se essas exigências não forem cumpridas, então, pode-se exigir substituição ou reparos na construção ou componente.

No inicio do processo de projeto, é importante identificar o nível mínimo de aceitação das propriedades criticas dos componentes importantes. Essas propriedades determinam os aspectos de desempenho que engatilham a troca de um componente, se o mesmo deixar de satisfazer os níveis aceitáveis (devido às falhas para desempenhar uma função essencial). O mau desempenho pode terminar com a vida útil do componente (a não ser que uma manutenção econômica ou reparo possam restaurar o desempenho). O resto do processo do planejamento da vida útil consiste em estimar quanto tempo isso levará para um componente alcançar o nível de desempenho inaceitável. É de interesse facilitar possíveis alterações (antecipadas) futuras.

É importante reconhecer que nem todas as reduções de propriedades dos materiais afetam aspectos críticos de desempenho. O desempenho de muitos componentes não afetam a aceitabilidade da construção. Contudo, as falhas relevantes podem ser determinadas, facilmente, pelas atividades operacionais, dentro do prédio.

Exemplo: se os computadores são usados dentro do prédio, então, altos níveis de condensação temporária podem ser catastróficos.

É desejável para o proprietário identificar os componentes cujo desempenho seja critico e/ ou salientar falhas potenciais óbvias, prováveis de tornar a construção inaceitável (exemplo: perda irregular de cor no revestimento).

Desempenho inaceitável pode implicar em manutenção (exemplo: substituição parcial de componentes, reparos, limpeza) ou substituição do componente. A substituição pode ser necessária, quando a manutenção é muito onerosa ou quando o reparo é impossível (exemplo: devido à indisponibilidade de peças de reposição).

Exemplo: uma janela pode ser substituída se algumas das funções inerentes a ela cessarem:

- ✓ manter-se protegida e segura;
- ✓ abrir e fechar;
- ✓ ser transparente;
- ✓ prevenir vazamentos de água ao redor da moldura;
- ✓ manter aparência aceitável;
- ✓ prover insolação adequada contra perda de calor;

3.3.8.4 Conseqüências das falhas

Frequentemente, caracterizam-se as falhas através das suas conseqüências (exemplo: riscos à saúde e a segurança). A Tabela 3.3 (modificada da BS 7543:1992) indica uma hierarquia sugerida de conseqüências, algumas conseqüências podem ser consideradas mais importantes em circunstancias particulares (exemplo: interrupção do acesso a um prédio aos clientes de uma loja).

Tabela 3.3 – Hierarquia sugerida de conseqüências de segurança, (ISO 15686-1:2000)

Categoria	Conseqüências	Exemplos
1	Perigo de vida	Colapso repentino da estrutura
2	Risco de acidente	Piso do degrau frouxo
3	Perigo de saúde	Penetração séria de umidade
4	Reparos onerosos	Extenso Escoramento exigido
5	Onerosos por causa da repetição	Substituição dos acessórios da janela
6	Interrupção do uso do prédio	Falha no aquecimento
7	Segurança comprometida	Fechadura da porta quebrada
8	Nenhum problema excepcional	Substituição de fixação da luminária

3.3.8.5 Concordância funcional

Inclui exigências de desempenho aceitáveis, em áreas relacionadas à saúde, segurança, utilidade ou proteção de propriedade. Exemplos são dados no anexo D da ISO 15686-1.

3.3.8.6 Concordância econômica

Como de costume, a justificativa da substituição, na área econômica, indica que os novos componentes proporcionam um melhor desempenho ou porque a manutenção ou reparo seja, inaceitavelmente, oneroso. Exemplos de substituição, por razões econômicas, estão inclusos no anexo B da ISO 15686-1.

3.4 Predição da vida útil.

3.4.1 Objetivo da predição

O objetivo de predizer a vida útil de uma construção ou componente é estabelecer, com confiabilidade adequada, se a sua vida útil pode exceder sua vida requerida pelo projeto. Prognósticos da vida útil deveriam:

- ✓ reduzir incertezas;
- ✓ buscar usar dados disponíveis de qualidade conhecida;
- ✓ levar em conta a variabilidade e;
- ✓ ser usados como guia e não para impor;

A vida útil prevista ou uma outra fonte de informação usada para proporcionar uma vida útil de referência pode ser ajustada para refletir fatores locais. Uma predição deveria, sempre que possível, ser confiável, clara e cautelosa. Contudo, dados, no momento, são, raramente, disponíveis ou compreensíveis para indicarem, com confiança, a degradação de prédios ou componentes até mesmo muito similares. Na prática, existem muitas variáveis que afetam a vida útil. Quando os dados, exigidos para predição, forem incompletos, a predição deveria ser cautelosa e as razões, para a cautela, anotados. A vida útil predita deveria, sempre, ser justificada em um relatório por escrito.

3.4.2 Precisão e confiabilidade do método.

Devido ao número de variáveis envolvidas e a variabilidade inerente às construções, (meio ambiente, mão de obra local e manutenção futura), raramente, é possível predizer a vida útil de forma tão precisa e confiável. Dependendo dos dados disponíveis e suposições necessárias, a confiabilidade da previsão variará. É necessário, portanto, decidir se ou como a incerteza na predição da vida útil deveria ser considerada, no planejamento da vida útil.

Em geral, um nível mais baixo de confiabilidade será aceitável para componentes passíveis de manutenção do que para aqueles cuja intenção é funcionar, sem manutenção, durante a vida útil da construção. Um limite de confiança igual a 80% pode ser aceitável para componentes passíveis de manutenção, enquanto que componentes não acessíveis e nem passíveis de manutenção podem necessitar níveis mais altos. A predição e estimativa da vida útil de componentes permanentes ou famílias de componentes deveriam, entretanto, exceder a vida útil de projeto da construção, por uma margem definida para que se possa absorver eventuais erros.

À medida em que métodos mais sofisticados de predição estão sendo desenvolvidos e, à medida em que os bancos de dados de desempenho e os fatores que o afetam são melhorados, então, a confiabilidade melhorará.

3.4.3 Uso dos dados para predição

Todas as edificações, seus meios ambientes e uso são únicos, portanto, dados incompletos (não precisos) irão afetar (ambos) a precisão e a confiabilidade da predição. As construções, materiais, e componentes novos apresentam um problema particular, visto que a predição baseia-se na interpretação conhecida de desempenho. Haverá, portanto uma pretensão a favor de soluções confiáveis e experimentadas. Dessa forma, é importante reconhecer que soluções novas podem proporcionar desempenho superior ou sujeitar-se a problemas de longa duração.

Contudo, mesmo quando os dados forem incompletos ou haja pouca experiência de uso do componente, deveria ser possível indicar um período mínimo, durante o qual se imagine que um prédio ou componente possam permanecer em serviço.

3.4.4 Levando em consideração a variabilidade e confiabilidade do método

Desempenhos variáveis e vidas úteis podem ser previstos, dentro de qualquer grupo de itens similares. As opiniões variam bastante, visto que, uma distribuição estatística normal pode ser prevista, dentro de um grupo de edificações ou componentes. Avaliações de ensaios de exposição acelerada deveriam incluir correlação entre desempenho na obra e resultados laboratoriais para permitirem a predição de desempenhos futuros.

O estudo de falhas de partes móveis é, relativamente, avançado, e é, geralmente, descrito como um tempo **médio** de falha. Isso implica em que números iguais de componentes falharão, aproximadamente, antes e depois do período dado de anos/ ciclos. Contudo, um parecer mais rigoroso da vida útil predita ou estimada pode ser preferido, visto que uma taxa de falha de 50% é considerada altíssima (ISO 15686-1:2000).

Obs.1: A alta variabilidade, no desempenho, é, particularmente, comum na construção por causa do numero de variáveis. A opinião que prevalece, ao que tudo indica, é que as vidas úteis seguem uma distribuição Weibull, modificadas possivelmente para levar em consideração falhas prematuras. A distribuição de Weibull, nomeada pelo seu criador Waloddi Weibull, é uma distribuição de probabilidade contínua, usada em estudos de tempo de vida de equipamentos e estimativa de falhas, (MONTGOMERY, 2003).

Raramente, é possível indicar em que ponto, no intervalo de resultados previstos, uma determinada construção ou componente especial, dentro de um grupo homogêneo muito similar, estará situada. Quando o grupo for menos homogêneo (exemplo: grupo com diversos tipos de janelas em vez de grupo de janelas com especificação única), deveria ser possível indicar, se uma especificação se enquadra dentro de um intervalo mais alto ou mais baixo.

Obs.2: Em condições semelhantes, sabe-se que todos os componentes falham dentro de um período bastante curto das primeiras poucas falhas. Para este tipo de componente, existe, relativamente, pouca "propagação de falhas" e a substituição ou manutenção podem ser planejadas para acompanhar, de perto, essas falhas iniciais. Alguns dados confiáveis estão disponíveis sobre desempenho de componentes de serviço de edificações, no qual, sabe-se que o primeiro indicador de falha é o numero de ciclos ou iterações de uma determinada ação (exemplo: o ciclo de vida de uma lâmpada).

Obs.3: Sempre haverá algumas falhas que ocorrerão dentro de um período muito curto de ocupação, que podem ser chamados de "falhas prematuras". Essas falhas não indicam, necessariamente, uma ampla escala de erros.

3.4.5 Uso da predição

As previsões das vidas de serviço devem ser vistas, como indicativas, e as decisões devem ser guiadas, mas não ditadas pelos resultados. De qualquer forma, o planejamento da vida útil é necessário, quando as decisões mais bem fundamentadas forem tomadas, no planejamento da manutenção, planejamento de custo e engenharia de avaliação.

Obs.: Para uma edificação em serviço, os planos de manutenção podem necessitar de modificações, baseados na condição inspecionada. A atualização do planejamento, na medida em que mais conhecimentos se tornem disponíveis, devem ser considerados.

3.4.6 Considerações inerentes que influem no processo da predição

3.4.6.1 Abordagem dos assuntos relevantes

Qualquer que seja o método de predição selecionado, certos assuntos serão relevantes. Esta subseção discute os seguintes assuntos críticos:

- ✓ agentes que causam degradação;
- ✓ efeitos de exposição e variações de intensidade;
- ✓ efeitos de agentes combinados;

3.4.6.2 Agentes relevantes relativos à degradação

O anexo C da ISO 15686-1 inclui uma lista de degradação que caracteriza o meio ambiente da edificação e seus componentes. Os diversos agentes de degradação causam vários tipos de danos que reduzem o desempenho da edificação ou componentes, ao longo do tempo. Os agentes estão classificados na ISO 6241. Os agentes incluem-se nas categorias gerais seguintes:

- ✓ mecânica;
- ✓ eletromagnética;
- ✓ térmica;
- ✓ química;
- ✓ biológica.

3.4.6.3 Efeitos da exposição e variações das intensidades

Uma vez que os agentes relevantes tenham sido identificados, é necessário determinar a exposição do agente sobre um período de referência (normalmente em anos) e, em alguns casos, a magnitude alcançada ou taxa de valores máximos e mínimos (exemplo: temperaturas mínimas para um material que se torna frágil em condições frias). Esta avaliação pode ser feita, em um nível geral ou em detalhes. Para muitos componentes, é possível a necessidade de achar que a exposição à intensidade máxima será casual ou regular.

Conhecer a intensidade prevista de agentes relevantes à construção ou componente, ajudará na interpolação de ensaio de dados. É importante reconhecer que os ensaios deveriam ser relevantes ao meio ambiente, em consideração (exemplo: intensidade da exposição UV deveria refletir as condições em uso previstas).

O desempenho satisfatório de um componente em temperaturas extremas pode não proporcionar um desempenho satisfatório em climas com ciclo regular variando de seco para molhado, de quente a, ligeiramente, frio, ou através de pontos de congelamento.

3.5 Tipos de dados usados para predição

3.5.1 Dados relevantes

A disponibilidade de dados, para previsão, pode variar, mas os seguintes tipos de dados são relevantes:

- ✓ medição de desempenho ao longo do tempo;
- ✓ comparações;
- ✓ experiência (feedback da prática);
- ✓ estimativas de especialistas;

Os dados podem ser adquiridos, através de observação e medida de desempenho sob ensaios de longo prazo, incluindo observação empírica de construções ou componentes similares, no ambiente construído. A avaliação impõe comparar os dados agrupados da construção ou componente, sob avaliação.

3.5.2 Dados registrados ao longo do tempo

Os dados, dentro dessa categoria, incluem registros (exemplo: do clima, partículas poluentes e gasosas na localidade), resultados de laboratório ou ensaios de exposição (exemplo: de desempenho de material sob um regime de ensaio particular), dados característicos sobre o material e observações de desempenho no local (exemplo: registros de manutenção ou Pesquisas das condições).

A relevância e confiabilidade dos registros deveriam ser avaliadas. O objetivo é determinar se os dados são representativos de desempenho futuro da construção ou componente, sob avaliação. A adequação do relatório (prestação de contas) é critico.

3.5.3 Comparação entre dados de exposição e outras evidências.

Uma parte essencial da interpretação dos dados é o julgamento da comparação. Comparações entre diferentes exposições, estimativas de modificação, em materiais similares e ambientes diferentes, são complicadas. Como ideal, a interpretação deve ser feita por especialista, mas, geralmente, é possível interpretar se a exposição aos agentes, intensidade relativa e freqüência do ciclo são maiores ou menores do que a prevista para a construção proposta.

3.6 Predição da vida útil baseada em exposição e avaliação do desempenho.

3.6.1 Uso das predições baseadas na exposição e avaliação do desempenho

Esta Seção descreve, em linhas gerais, um enfoque sistemático para selecionar, obter e usar dados da predição de vida útil de um material específico, componente, ou família de componentes. Diretriz mais detalhada dos ensaios está inclusa na ISO 15686-2. Visa a ajudar o projetista a comissionar ou interpretar ensaios, realizados por especialistas. A interpretação de tais resultados, por leigos, deveria ser evitada, se possível.

A predição da vida útil se aplica a um grupo definido de condições. Desde que as condições sejam conhecidas, ao menos para os agentes mais importantes, em comparação àqueles esperados para o objeto específico a ser designado, uma predição da vida útil derivada da exposição e avaliação do desempenho pode ser usada, sem maiores modificações. De outra forma, uma modificação será requisitada, a qual, pode ser efetuada pelo método fatorado (seção 3,7) ou por outros métodos mais sofisticados se disponíveis. Note que as predições da vida útil, em geral, não levam, em consideração, todos os aspectos inclusos, no Método dos Fatores (exemplo: uso e manutenção). Contudo, uma predição da vida útil, baseada em ensaios de exposição, normalmente, proverá a vida útil de referência para uma estimativa fatorada. O melhor método disponível, com os melhores dados e segurança deveriam ser utilizados.

Para o planejamento da vida útil, normalmente, um projetista, precisa interpretar dados de exposição para dar uma estimativa da vida útil, baseada nos fatores (incluindo os efeitos do

ambiente local, nível de mão-de-obra com disponibilidades reais no local, efeitos da manutenção, uso, etc.).

3.6.2 Etapas no processo da predição

3.6.2.1 Abordagem geral

De acordo com a ISO 15686-1, o processo de predição envolve análise do problema em questão, o agrupamento de informação relevante e conhecimento, assim como o uso de ensaios e a comparação da exposição e avaliação de dados. Um enfoque geral é mostrado, na Figura 3.3. A Vida útil prognosticada (ou predita), baseia-se em registros de desempenho ao longo do tempo de um componente ou construção (exemplo: como encontrado nos modelos de vida útil ou em ensaios de envelhecimento).

Obs.: os assuntos, abaixo, são tratados em detalhes na ISO 15686-2, que deveria ser usada como sendo a orientação adequada e atualizada, nesse tópico.

a. Definição do problema – o primeiro passo é analisar o problema, identificar todos os fatores relevantes e obter dados. Especificar qual desempenho funcional é esperado pelos itens em estudo, independentemente do contexto da construção (exemplo: segurança, durabilidade, conveniência, economia).

b. Preparação – o segundo passo é considerar como a degradação ocorrerá, nas condições particulares identificadas, identificar o agente causador da degradação (mecânico, químico ou biológico), quantificar a intensidade, concentração, nível, freqüência e valores máximos ou mínimos, assim como temperatura, exposição aos raios UV ou presença de poluentes.

c. Pré-ensaios – é um meio de verificar que o teste proposto terá chances de produzir resultados confiáveis. Consistem em expor os itens a uma ação mais extrema ou mais rápida aos agentes de degradação para fornecer um melhor entendimento dos efeitos da variação das exposições, intensidades e a combinações de agentes.

d. Exposição e avaliação **-** O teste de degradação consiste em observar e medir a degradação de longa duração em situações de uso, e a degradação de longa duração, em situações de

exposição planejada, a fim de acelerar os efeitos dos agentes. Normalmente, os dois testes são usados em combinação.

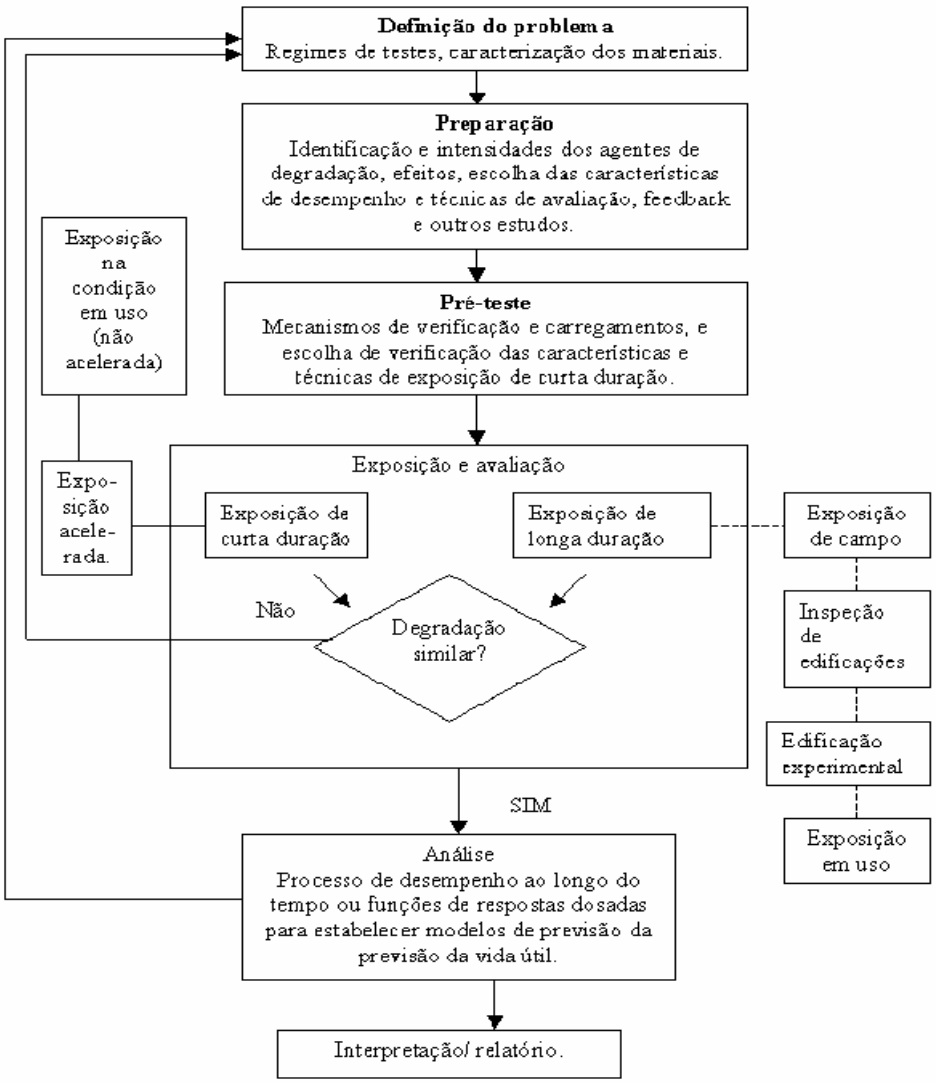

Figura 3.3 – Metodologia para planejamento da vida útil dos componentes das edificações (ISO 15686-1:2000).

e. Acessando os dados da exposição – se os dados de longo tempo de exposição forem bem adequados, então os resultados deveriam ser comparados com os resultados da exposição de curta duração.

Se houver pouca ou nenhuma correlação entre os resultados, então os dados deveriam ser reexaminados.

3.7 Método dos fatores para estimar a vida útil

A ISO 15686-1 proporciona uma metodologia para prognosticar a vida útil e, conseqüentemente, estimar o tempo certo de manutenção necessária e substituição dos componentes e tem, como objetivo, garantir que a vida útil de serviço será maior do que a vida útil de projeto. Esse método permite estimar a vida útil em anos, a ser feita em um componente particular ou família de componentes em uma situação especifica.

É baseado na vida útil de referência (VUR) e uma série de fatores variáveis que se reportam à situação especifica de um caso. Esse método usa fatores variáveis:

Fator A: qualidade do componente
Fator B: nível do projeto
Fator C: nível de execução do projeto
Fator D: ambiente interno
Fator E: ambiente externo
Fator F: condições de uso
Fator G: nível de manutenção

Quaisquer desses fatores ou combinações de variáveis podem afetar a vida útil. O método dos fatores pode ser expresso, por uma fórmula.

$$VUE = VUR \times A \times B \times C \times D \times E \times G \qquad (1)$$

Onde: VUE = vida útil estimada;
VUR = vida útil de referência dos componentes

3.7.1 Vida útil de referência (VUR)

O ponto de partida do método dos fatores é a vida útil de referência. A VUR é um período documentado, em anos, no qual se espera que um componente ou grupo de componentes

possam durar (representa o valor médio "esperado" de uma experiência, se ela for repetida, muitas vezes), sob certas condições de serviço bem definidas. A VUR se baseia em:

- ✓ dados fornecidos pelo fabricante, ensaios de laboratório (para componentes novos a VUR normalmente se baseia em dados fornecidos por distribuidores ou fornecedores); Experiência prévia ou observação de construção ou material similar em condições similares;
- ✓ avaliação do conselho da Comunidade Européia de Durabilidade ou nos seus certificados ou relatórios de serviços de avaliação de produtos nacionais;
- ✓ alguns livros que estão disponíveis e que incluem vidas de serviço típicas;
- ✓ normas de construção que possam fornecer vidas de serviço típicas para componentes;

A vida útil de referência deveria ser tão confiável e tão detalhada quanto possível e se basear na previsão da vida útil, como descrita na seção 3.6 e completamente na ISO 15686-2. Da mesma forma, os valores dos fatores precisam estar tão próximos à unidade quanto possível, objetivando minimizar as incertezas inerentes ao método dos fatores. Aplicam-se os fatores para representar o desvio das condições adotadas na vida útil de referência.

Quando a VUR for fornecida pelo fabricante ou outra organização, pode ser necessário estabelecer em que condições ela está fundamentada (exemplo: se acessórios para banheiro se baseiam em uso domestico, então esses itens não podem ser aplicados em condições de uso mais intenso como em uma Instituição). Os fornecedores das diretrizes, sobre a vida útil de referência de uma categoria ou classe de componentes ou um tipo de construção, deveriam dizer em que situações eles deveriam ser aplicados.

Certos dados não devem ser levados em consideração, quando os ensaios de laboratórios apresentarem variabilidade.

Mesmo que se tenham dados da vida útil de um componente, oriundo de várias fontes, tais dados das vidas úteis de referência (VUR), raramente, podem ser usadas, satisfatoriamente. Isso acontece, porque as condições de uso específicas para o objeto do projeto, normalmente, são diferentes das condições de referência.

De acordo com a ISO/DIS 15686-8:2006, a vida útil estimada, geralmente, precisa ser determinada pela modificação de algumas formas de VUR. Visto que a VUR, normalmente,

terá sido gerada sob condições diferentes das condições de uso ao qual o objeto do projeto estará sujeito, é fundamental fornecer tanta informação quanto possível sobre as condições nas quais a VUR é gerada.

3.7.1.1 Condições de uso

Significam qualquer circunstância que contribui para causar a degradação de uma construção ou uma parte dessa, sob uso normal.

Obs.: A fim de se abranger todas as sete classes dos fatores, esse conceito é uma versão estendida da definição, apresentada na ISO 15686-2:2001, (seção 3.3.5) estando, assim, de acordo com a ISO 15686-1:2000, no que se refere "a condição de uso" como influenciável em quaisquer dos sete fatores do Método dos Fatores.

Dados da VUR são formatados, em um registro de dados com as referências das condições de uso acessórias, assim como, informação adicional sobre propriedade crítica, exigência de desempenho e qualidade de dados.

3.7.1.2 Provisão dos dados da vida útil de referência (VUR).

Geral

Esta Seção tem o propósito de dar suporte aos dados da VUR ao identificar e acessar fontes de dados existentes da vida útil geral.

3.7.1.3 Origem dos dados

Construtores e fabricantes de produtos da construção podem ter informações próprias, a respeito da vida útil e durabilidade dos seus produtos. Ocasionalmente, os dados dos fabricantes e construtores se tornam públicos, através dos rótulos dos produtos, outros documentos, "websites" da companhia e banco de dados.

Muitas outras fontes de dados deveriam ser empregadas. Normas nacionais de construção deveriam listar vidas úteis típicas dos componentes, conselhos e membros de

aprovações técnicas da Comunidade Européia (CE) podem fornecer avaliações das vidas úteis, nos seus certificados ou relatórios de serviços de avaliação de produtos nacionais. Outras fontes de informações são bancos de dados, tabelas publicadas, baseadas em avaliações do tempo de falha empírico e julgamentos de profissionais experientes. Mais conhecimentos empíricos dispersos de experiência prévia e observações de construções similares em condições de usos similares, também, deveriam ser usados.

3.7.1.4 Avaliação dos dados (VUR)

Os dados da vida útil de referência deveriam, ao menos, conter certas descrições gerais dos materiais ou componentes sobre a vida útil em um ambiente interno ou externo indicado, e deveria, preferencialmente, abranger:

a) condições de uso estruturadas de acordo com todas as classes de fatores correspondentes;
b) propriedade critica; e
c) exigências de desempenhos.

Este conjunto de dados deveria formar parte dos registros dos dados da VUR.

3.7.1.5 Seleção dos dados

Geral

Esta Seção é programada para assistir usuários de dados da VUR na:

a) determinação da vida útil; e
b) avaliação da conveniência do uso desses dados como dados da VUR.

Os dados gerais da vida útil de um componente devem ser usados, quando tiverem uma melhor qualidade ou forem mais apropriados, para um uso especifico, do que aqueles encontrados no registro de dados VUR, nessa perspectiva, esses dados deveriam ser usados.

Procedimento da avaliação de dados

Deve-se assegurar que os dados são adequados para serem usados pelo objeto do planejamento da vida útil e tomar precauções, quando as propriedades degradantes na condição do objeto específico em uso, não são consistentes. Isso poderia resultar na exclusão de uma propriedade crítica que poderia, então, tornar-se, provavelmente, na propriedade crítica terminal.

Os dados deveriam ser rejeitados quando:

a) os agentes de degradação, considerados como significantes, não estão integrados; e
b) as exigências de desempenho adotadas diferirem, significantemente, daquele especificado para o objeto e a VUR não poder ser modificada, corretamente, de acordo com essas diferenças.

Dever-se-ia buscar dados, baseados nas referências das condições de uso igual à condição em uso do objeto específico. Esses dados irão:

1) manter os fatores modificantes tão unidos quanto possível, assim minimizando a probabilidade de erro na VUE (vida útil estimada), devido à incerteza no modo que o mecanismo de degradação é afetado pelas modificações; e
2) minimizar a probabilidade que a propriedade critica não integrada pelos dados se torne uma propriedade critica terminal.

Para julgar quais referências na condição em uso, são mais parecidas, ou que desviam o mínimo, da condição do objeto específico em uso, considerações deveriam, apenas, ser tomadas para os agentes de degradação conhecidos ou sabidos de causarem os maiores impactos na vida útil.

3.8 Dados gerais formatados para a vida útil de referencia (VUR).

3.8.1 Geral

Esta Seção está programada para ajudar:

a) fornecedores de dados gerais, na sua estruturação e formatação de um registro de dados VUR;

b) usuários de dados VUR na leitura de dados formatados, e;
c) usuários de dados na maneira de estruturar e formatar dados gerais selecionados em um registro de dados VUR.

Os dados VUR compreendem: os dados da vida útil, condição em uso de referência (seção 3.7.1), assim como, os dados correspondentes às propriedades críticas e das exigências de desempenho. Todas as informações disponíveis deveriam ser registradas. Para cada anotação da condição de uso individual, deveria ser indicada a classe do fator ao qual ela pertence.

As declarações, demonstram a qualidade dos dados, deveriam ser incluídas. Exemplo: uma declaração, referente à qualidade dos dados VUR, poderia indicar que os referidos dados estão sendo gerados na base de estudo sistemático ou que os dados são revistos, criticamente, por uma terceira pessoa.

3.8.2 Referências das condições de uso

Geral

Uma descrição quantitativa da referencia, em uso, em termo das classes dos fatores, encontra-se no anexo A (da ISO/DIS 15686-8:2006). Exemplo: fator A, diz respeito, à qualidade do objeto, fator B se refere a nível de projeto e assim por diante.

A referência da condição de uso, correspondente ao fator classe D e/ou fator classe E, deveria ser quantificada, em termos das intensidades dos agentes de degradação, caracterizando a referência das condições em uso do meio ambiente. Como alternativa para valores discretos, uma faixa das mencionadas intensidades ou classes normalizadas correspondentes a certas faixas de intensidades são aceitas.

Informação quantitativa, fornecida pela fonte, deveria ser usada, quando disponível, para a referência da condição, em uso correspondente a cada um dos fatores classes A, B, C, F e G.

Se possível, para o fator A, uma descrição detalhada do material ou componente deveria ser dada.

Graduação das condições de uso dos fatores classes A, B, C, F e G.

Na ausência das informações quantitativas das condições de uso, dentro de quaisquer classes de fatores A, B, C, F e G, uma graduação da condição em uso pertinente àquela classe de fatores deveria ser feita. Qualquer informação qualitativa proporcionada deveria ser avaliada e interpretada para corresponder a uma das graduações de 1 a 5 das condições de uso, de acordo com a Tabela 3.4 abaixo. Se nenhuma informação estiver disponível, ela é indicada pela graduação 0. Ocasionalmente, se a classe de fator não for aplicável, ele é representado por NA.

Tabela 3.4 – Opções para graduar as condições de referências das classes A, B, C, F e G (ISO/DIS 15686-8:2006).

Graduação da condição em uso	Descrição	Comentário
0	Não disponível	Nunca deveria ser aplicado para o fator classe A
1	Muito alto/ suave	
2	Alta/ suave	
3	Normal	
4	Baixo/ rigoroso	
5	Muito baixo/ rigoroso	
NA	Não aplicável	Normalmente, não deveria ser aplicado. (um exemplo do grau NA seria para a classe G – nível de manutenção, quando lidar com elemento estrutural que não possibilita a manutenção).

Obs.: A graduação da condição em uso é um meio de quantificar informações de qualidade (ou indefinidas) das referências, em condições de uso. Uma graduação da condição em uso não é o mesmo e nem deve ser confundido com o valor do fator correspondente, mas é informação, exigida para estimar o fator.

Da informação generalizada do material ou componente testado, deveria, sempre, ser possível quantificar a condição em uso, correspondente ao fator classe A, em uma das graduações 1 a 5

Aquisição de dados pelo método DELPHI

Muitas vezes, faltam dados necessários para aplicar nos modelos (fórmulas), voltados para estimar a vida útil de materiais e componentes. Uma forma de obter os dados desses referidos materiais implica na utilização do Método Delphi cuja técnica começou a ser utilizada, no início da década de 60 por Olaf Helmer e Norman Dalker, Pesquisadores da Rand Corportation.

Esse método tem como principal característica, a busca progressiva de consenso, em Área do conhecimento, ainda não consolidada ou, ainda, em Pesquisas em que o tema é complexo. Sua realização ocorre, mediante sucessivos questionamentos a um grupo de especialistas cujas respostas são, cumulativamente, analisadas, com respeito à obtenção ou ausência de consenso.

1. Primeiramente, faz-se uma escolha de especialistas para se realizar um julgamento sobre um determinado tema (quanto mais especialistas, mais opiniões e, conseqüentemente, melhores os resultados) e elabora-se um questionário).

2. Preenche-se, então, o questionário e, elaborá-se nota sobre o assunto em questão, tudo em sigilo.

3. Depois se devolvem os questionários, para um conselho, para fazer a coleta e análise dos dados. O resultado converge para um determinado valor, verifica-se, então, se é necessário introduzir novos questionamentos. Se não for o caso, executa-se o item 5.

4. Em seguida, elabora-se novo questionário, com acréscimo de novas questões. Ele é entregue aos especialistas para que se possa fazer uma nova avaliação.

5. Retorna-se o questionário, ao conselho, e de posse dessas informações, será feita uma nova análise da segunda opinião.

6. Se a convergência dos resultados for satisfatória, faz-se uma declaração geral, a respeito dos resultados e envia-se o resultado para os respondentes. Se a convergência dos resultados não for satisfatória, então, é executado o item 8.

7. Por fim, será feito um relatório final.

8. **N**ovas questões são introduzidas e repete-se o procedimento do item 4.

Atualmente, a aplicação do Método Delphi, para obtenção dos fatores, consiste em reunir, primeiramente, um grupo de especialistas, na qual são pedidas opiniões sobre a distribuição de diferentes fatores, seus tipos de distribuição (normal, lognormal, Gumbel, etc.), seus valores médios e desvios padrão.

Normalmente, é mais fácil definir os fractis baseados na experiência e julgamento profissional. Em uma outra etapa, a vida útil é calculada usando-se os dados do conselho (junta) de especialistas. As distribuições são empregadas, no lugar dos fatores plenos na fórmula matemática para vida útil. A terceira etapa consiste em uma discussão geral sobre os resultados e a respeito dos parâmetros dominantes, MOSER, (2004).

3.8.3 Registro de dados

3.8.3.1 Entrada de registro dos dados

O registro de dados deveria incluir as seguintes entradas (como exemplo de um registro de dado, ver anexo B (ISO/DIS 15686-8:2006)).

a) Identificação geral

Provisão de:

1) um número único ou código referente ao banco de dados ou sistema de arquivamento utilizado para armazenagem;
2) data da avaliação ou compilação;
3) nome do assessor (es) e qualificação (ões).

b) Alcance

O alcance da avaliação se estende às exclusões e passa por quem e por qual motivo a avaliação foi comissionada.

c) Material/ componente

Uma descrição geral do material ou componente

Exemplo: chapa de aço, com cobertura de zinco imersa a quente.

d) Metodologia

Um documento detalhando quais das seguintes metodologias tem sido empregada, na maior parte, para predizer ou estimar a vida útil (se mais de uma metodologia for usada, o fato deve ser citado):

1) estudos fundamentais;
2) exposição de campo;
3) inspeção da construção e dos imóveis construídos ("feedback" da prática);
4) exposição em edifícios experimentais;
5) exposição em uso;
6) exposição acelerada de curto prazo;
7) exposição em uso de curto prazo;
8) julgamento baseado em experiência, especializada (por exemplo: por meio do método Delphi);
9) julgamento baseado em experiência, no Mercado (por exemplo: entre construtores, projetistas, fabricantes, clientes);
10) outros (deveria ser especificado);
11) desconhecido.

e) Referência das condições de uso

Para cada grupo das referências das condições de uso, uma descrição quantitativa da condição em termos das classes dos fatores, na qual, para classes de fatores A, B, C, F,

e G, características particulares podem ser dadas (por exemplo: graduação da condição em uso) e para as classes D e/ ou E:

1) expressão numérica, descrevendo a VUR, como uma função das intensidades de agentes de degradação significantes incluídos (por exemplo: as assim chamadas funções de dano);
2) as intensidades de agentes de degradação significantes inclusos; ou
3) uma descrição simplificada, assim como uma zona climática, um local ou área específica, etc.

f) Agentes de degradação

Uma declaração de que os agentes de degradação incluídos:

1) são todos os agentes considerados importantes;
2) são todos os agentes considerados importantes, em uma lista de exceções, se aplicável; ou
3) poderiam não ser todos agentes considerados importantes.

g) Propriedades críticas e exigências de desempenho

Uma lista das propriedades críticas, abrangidas, incluindo as exigências de desempenho adotadas, e:

1) uma declaração de que as propriedades listadas são consideradas críticas, nas referências das condições em uso;
2) uma declaração de que todas as propriedades listadas são consideradas críticas, nas referências das condições em uso, com uma lista de exceções, se aplicável; ou
3) uma declaração de que as propriedades listadas podem não ser todas as propriedades consideradas, como críticas, nas referências das condições em uso.

h) Vida útil de referência (VUR)

Para cada grupo de referência das condições em uso e cada propriedade integrada, uma declaração fornecendo o valor médio da VUR e se possível:

1) a distribuição estatística; ou
2) uma medida da sua distribuição estatística, por exemplo: o desvio padrão ou um intervalo de confiança.

i) Qualidade dos dados

1) gerados na base do procedimento sistemático e, criticamente, revisto por uma terceira pessoa;
2) gerados na base do procedimento sistemático, mas não são, criticamente, revistos por uma terceira pessoa;
3) gerados na base de informação dispersa e, criticamente, revisto por uma terceira pessoa;
4) gerado na base de informação dispersa, mas não são, criticamente, revistos por uma terceira pessoa.

j) Confiabilidade dos dados

Uma declaração a respeito da confiabilidade da fonte dos dados e que os dados são fornecidos por:

1) uma fonte independente, de alta confiança, assim como laboratório sério de ensaios, um código de construção nacional, um Conselho de acordos, uma corporação de aprovações técnicas ou documentação de Pesquisa pública revisada;
2) uma fonte não independente, assim como um fabricante ou organização de negócios, enquanto estiver sujeito à auditoria de uma corporação séria.
3) uma fonte independente, de confiança moderada, assim como uma documentação de Pesquisa pública não revista; ou
4) uma fonte dependente, assim como um fabricante ou organização de negócios, não estando sujeita à auditoria de uma corporação acreditada.

k) Informações adicionais

Uma programação de anexos detalhados/ evidência considerada.

Obs.: Isso pode incluir literatura de produtos, cópias de relatórios de ensaios, fotografias, desenhos, etc.

l) Referências

Incluir quando aplicável.

3.8.3.2 Assuntos detalhados/ observações

- ✓ esclarecer dados introduzidos na avaliação;
- ✓ os comentários deveriam ter uma relação direta com as varias entradas;
- ✓ assuntos relacionados à qualidade dos dados, assim como o desvio de um grupo ideal de dados, deveriam ser identificados;

3.9 Estimativa da vida útil, usando o método dos fatores

3.9.1 Geral

A ISO 15686-1 proporciona diretrizes sobre a estimativa da vida útil. Uma ferramenta específica que pode ser usada na estimativa da vida útil é o Método dos Fatores. Outros métodos, entretanto, podem ser aceitos, desde que eles forneçam estimativas confiáveis.

O Método dos Fatores está sendo usado, no Japão, para obter a estimativa da vida útil de componentes do objeto de projeto, a partir da modificação da vida útil de referência (VUR), levando, em consideração, as diferenças entre o objeto específico e as condições de uso de referência na qual a VUR é válida (ISO 15686-1:2000). As diferenças são classificadas em sete classes de fatores.

3.9.2 Classes de fatores

Qualquer classe de fator, por sua natureza, ou devido a pequenas diferenças entre o objeto específico e a referência da condição de uso, é, seguramente, assumida para se ter uma influencia insignificante na vida útil, por exemplo: não põe em risco a precisão final exigida, pode ser omitida, na estimativa adiante.

3.10 Fatores Modificantes

3.10.1 Escolha dos valores

De acordo com a ISO 15686-1:2000, a escolha de valores para usar como fatores modificantes, também, podem ser baseados em experiência prévia. Se as condições prevalecentes em um caso específico, têm levado à falha prematura ou para uma vida útil longa, situações idênticas adiante podem ser usadas, como base para aplicar um fator modificante. Exemplo: a vida útil de um carpete na entrada de um corredor, é 25% menor do que um carpete usado em áreas de circulação geral.

3.10.2 Avaliando a contribuição geral de fatores individuais.

Uma combinação de pequenos fatores modificantes pode ter um efeito significante. Entretanto é essencial ter-se uma visão geral, quando aplicar uma serie desses fatores. A vantagem do método dos fatores é que ele permite:

- ✓ examinar, ao mesmo tempo, tudo que contribuir com variações na vida útil de um determinado material ou componente e;
- ✓ considerar e documentar a importância relativa de cada um desses fatores;

Isso é importante, especialmente quando a degradação é afetada por uma combinação de fatores (por exemplo: mão-de-obra ruim e exposição à chuva). Separadamente, esses efeitos podem ter um impacto pequeno na vida útil, mas quando juntos, provavelmente, eles levam a falhas.

3.10.3 Situações que podem influenciar os fatores

Fatores modificantes, frequentemente, se baseiam em ações conhecidas do meio ambiente, agindo nos materiais específicos (exemplo: corrosão aumentada em atmosfera marinha), ou em efeitos conhecidos de mão-de-obra inadequada, na manutenção. Sempre que possível, a informação deveria ser dada de forma que, uma característica, seja selecionada como um fator modificante.

Cada fator representa o desvio das condições assumidas, quando a vida útil de referencia foi estabelecida.

3.10.4 Fator A: Qualidade dos componentes

Esse fator representa o componente, concebido na obra. Visa a medir a qualidade do projeto do próprio componente.

3.10.5 Fator B: Nível do projeto

Esse fator reflete a instalação do componente, na construção e se baseia no fato do projeto da construção, proporcionar o componente(s) com proteção contra agentes de degradação ou não.

3.10.6 Fator C: Nível de execução do Trabalho

Esse fator representa o nível de habilidade e controle provável na obra. Esse fator baseia-se na possibilidade de a obra estar de acordo com as recomendações dos fabricantes e, rigorosamente, controlada. A avaliação deveria ser baseada na probabilidade de alcançar o nível projetado de mão-de-obra, incluindo assuntos tais como armazenagem, proteção durante instalação, facilidade de instalação, números de negócios exigidos para cada atividade, aplicação de camada no local, etc.

3.10.7 Fator D: Ambiente interno

Esse fator indica a avaliação do meio ambiente, a exposição aos agentes (descritos em 3.3.5) de degradação e suas severidades. O uso geral da construção deveria ser considerado com esse fator, junto com aspectos locais relevantes (exemplo: locais sujeitos à molhagem, assim como cozinhas e banheiros). Mais uma vez é o desvio das condições, adotadas nos dados de entrada, que é medido pelo fator.

3.10.8 Fator E: ambiente externo

Uma indicação de nível: meso ou local, pode ser adequada (exemplo: costeira, poluída) para esse fator. Mas para projetos detalhados, o micro ambiente deveria ser levado,

em consideração (exemplo: zona de respingos em um ambiente marinho). Uma combinação de agentes poderia ter um efeito crítico (exemplo: uma combinação de molhagem com congelamento). Note-se também, que os componentes podem estar expostos, ambos, à erosão externa e água abaixo da terra.

3.10.9 Fator F: condições em uso

Esse fator reflete o efeito do uso da construção. O uso específico do espaço onde o componente está instalado ou a família de componentes está construído, provavelmente, é relevante (exemplo: área de entrega, sujeita ao impacto mecânico por veículo). Novamente, o desvio das condições adotadas é medida.

3.10.10 Fator G: nível de manutenção

Mesmo que a avaliação feita seja na base de um nível planejado de manutenção, a probabilidade de aquele ser alcançada pelo tipo de construção, em apreço, deveria ser incluída. O especialista de limpeza deveria, também, ser levado, em consideração, à medida em que isso pode introduzir agentes, normalmente, não encontrados (exemplo: álcalis).

3.11 Avaliação dos componentes e família de componentes

A Figura 3.4 mostra os passos envolvidos no planejamento dos componentes da vida útil e a Tabela 3.5 também. O método conta com julgamento e experiência, na seleção dos valores para a vida útil de referência e em cada um dos fatores modificantes. Requer, também, um exame crítico do resultado geral para assegurar que uma combinação de valores não tenha produzido uma estimativa irreal da vida útil ou do custo do ciclo de vida.

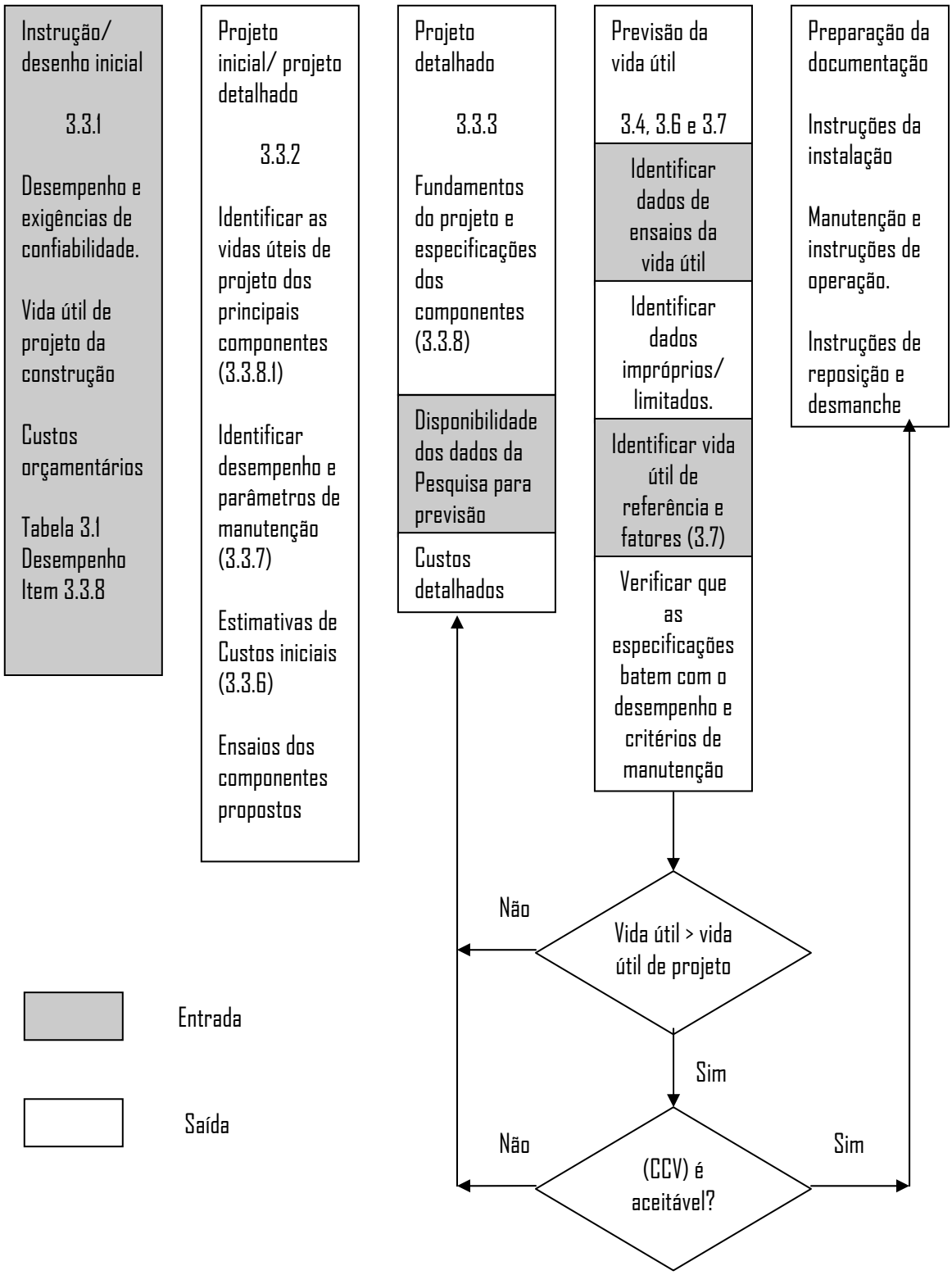

Figura 3.4 – Processo de previsão da vida útil, relacionado com os estágios do projeto (ISO 15686-1:2000).

Tabela 3.5 – Procedimentos recomendados para serem usados no planejamento da vida útil (ISO 15686-1).

Estágio	**Ação**	**Responsabilidade típica**
Instrução/ desenho inicial	Definir qual norma internacional será seguida. Identificar a VUPE (tabela 3.1). Identificar componentes permanentes (onde VUPC=VUPE) Identificar exigências de desempenho crítico para os principais componentes (3.3.8)	Projetista/ cliente
VERIFICAR CUSTO		
Projeto inicial/ projeto detalhado (3.3.2 e 3.3.3)	Caracterizar o meio ambiente (3.3.5) Começar projeto detalhado, e especificação.	Projetista
VERIFICAR CUSTO		
Previsão da vida útil (parágrafo 3.4) e avaliação da disponibilidade do dado do ensaio e necessidade (parágrafo 3.6)	Identificar VUPCs e VURCs dos principais componentes. Verificar disponibilidade dos dados, relevância e integridade. Verificar: quais fatores têm sido levados em conta na VURC? Verificar: os ensaios precisam ser comissionados (e o prazo de execução para os resultados)? As VUCPs deveriam ser ajustadas para antecipar renovação?	Projetista/ fornecedores/ projetistas de ensaios.
VERIFICAR CUSTOS		
Estimativa das vidas úteis (parágrafo 3.7)	Decidir quais componentes terão vida útil planejada. Identificar VUPCs e VURCs para aqueles componentes. Verificar disponibilidade dos dados. Verificação: deveriam os VUPCs ser ajustados para renovação antecipada? Identificar os fatores modificantes e valores (seção 3.13). Multiplicar VURC pelos fatores para dar o VUEC. Verificação: É o VUEC > VUPC? Verificação: o VUEC parece ser razoável?	Projetistas/ fornecedores

	Se não, reveja o projeto, detalhamento da instalação e controle local ou reveja VUPC ou reveja valores para os fatores. Interaja até que VUEC > VUPC. Verificação: se tem sido tomado cuidado adequado na avaliação da VUEC dos componentes O que poderia proporcionar perigo, se eles falharem durante o serviço?	
VERIFICAR CUSTO		
Detalhamento do local de Trabalho (3.3.4.2)	Assegurar instruções, por escrito, para o construtor avaliar as ações nas estimativas. Verificação: os locais de armazéns e instalações são coerentes com suposições estimadas? Rever estimativas, quando a especificação/ detalhamento da instalação for alterada, durante o período da construção.	Projetista/ construtor
VERIFICAR CUSTO		
Planejamento da manutenção (3.3.7)	Prover detalhes das vidas úteis estimadas e suposições feitas sobre normas de manutenção e freqüência. Prover relatório de arquivo em um formato adequado.	Projetista/ clientes/ usuários

3.12 Aplicação do método dos fatores

Nem todos os componentes necessitarão de estimativas, baseadas no Método dos Fatores. A equipe de projeto, e o proprietário do imóvel construído deveriam concordar quais componentes serão avaliados, baseados nos seus estados críticos e custo da construção.

Deveria ser considerado, quando dois ou mais agentes agirem (ou neutralizarem) para produzirem um efeito maior ou menor do que a soma de seus efeitos individuais.

Exemplo: tubo de plástico para drenagem de água de chuva poderia ser sujeito à degradação UV e impactos, durante o acesso da manutenção. Enquanto esses dois riscos não forem suficientes, individualmente, para causar qualquer dano, uma combinação de ambos pode resultar em uma possibilidade mais alta de quebra. Contudo, ambos os elementos: de proteção saliente e revestimento de proteção pintada podia reduzir este risco.

O Método dos Fatores pode ser aplicado para ambos os componentes e famílias de componentes. Quando aplicados a famílias de componentes, as interfaces, (exemplo: juntas) entre os componentes assim como os próprios componentes, deveriam ser considerados.

3.13 Níveis de aplicação

3.13.1 Geral

Devido ao Trabalho continuo, no processo de normalização, discussão e críticas, o método se define, agora, em termos mais generalizados, como visto na versão preliminar da ISO/DIS 15686-8:2006. Nessa fonte, o método se apresenta em diferentes níveis. O mais básico é uma interpretação como um "checklist" e o mais extenso se apresenta como uma função. Nível da função, sua estimativa se baseia em valores da vida útil de referência e parâmetros da função. O nível deveria ser selecionado, levando, em consideração, fatores como: a proposta atual da estimativa, tipo e qualidade dos dados disponíveis, modelos, nível de especialização do usuário que faz a estimativa, recursos e tempo disponíveis para o cálculo.

3.13. 2 Nível do "checklist"

Nesse caso, deveria se realizar um procedimento, no qual a diferença entre o objeto específico e a referência da condição de uso, dentro de cada classe do fator, seja considerada e avaliada, separadamente.

Através da experiência, em combinação com o quadro geral de diferenças entre o objeto específico e a condição de uso, procede-se uma estimativa da vida útil, levando, em consideração, a influencia da VUR.

Exemplo 1: prevê-se que uma VUR = 20 ± 3 anos seja modificada por um fator 1,3 ± 0.15.
Exemplo 2: VUE = 26 ± 5 anos (orientações sobre o cálculo do intervalo de confiança de ± 5 anos no Exemplo 2 da seção 3.14).

Nota: embora o nível do "checklist" represente o nível mais baixo de sofisticação, geralmente, esse nível exige a mais alta habilidade ou experiência do usuário, de forma a obter um

resultado confiável para assegurar que todos os aspectos, que influenciam a vida útil, sejam levados em consideração.

3.13.3 Nível da função

Nesse caso, a estimativa da VUE deveria ser realizada pela multiplicação da VUR por uma função matemática apropriada f de variáveis a – g (ISO/DIS 15686-8:2006), cada uma refletindo uma dependência da vida útil da diferença entre o objeto específico e a condição de referência em uso dentro de uma classe respectiva de fatores A – G:

VUE = VUR x f(*a, b, c, d, e, f, g*)

Se estiver previsto que não existe dependência ou diferença da condição, acerca de uma classe de fatores da vida útil, a variável correspondente pode ser omitida. Por outro lado, quaisquer das variáveis *a – g* podem ser expandidas, dentro de um subconjunto de variáveis, se exigido, (ISO/DIS 15686-8:2006).

Exemplo: está previsto que as condições em uso dos fatores classes *b, d* e *f* não têm influencia na vida útil. Mais adiante, a variável ***a*** é expandida para o subgrupo a_1, a_2, a_3, e ***e*** expande se dentro do subgrupo e_1, e_2. Então, VUE = VUR x f(a_1, a_2, a_3, c, e_1, e_2, g).

OBS. Normalmente, o nível da função é empregado, apenas, em casos particulares, quando um modelo da vida útil está disponível, baseado, também, em teoria ou em um imenso montante de dados, por exemplo, uma função de dano. Em geral, as variáveis serão possíveis de medir.

Deveria haver cuidado para não forçar as variáveis para fora da faixa válida da vida útil de um modelo empregado. Significa que as referências das condições de uso escolhidas deveriam ser aquelas próximas das condições do objeto específico.

3.13.4 Nível combinado

Uma VUE pode ser estimada usando diferentes níveis, multiplicação ou nível de função, para grupos de diferentes classes de fatores, no qual a VUR é multiplicada por um ou várias funções e um ou vários fatores.

3.14 Intervalo de confiança da VUE

Para cada VUE estimado, um intervalo de confiança, também, deveria ser estimado (ISO/DIS 15686-8:2006).

Exemplo 1: VUE 25 anos ± 5 anos, onde ± 5 anos é o intervalo de confiança;

A estimativa do intervalo de confiança deveria ser baseada em ambos: na confiança do dado usado para a estimativa da VUE e na incerteza inerente estimada no procedimento de calcular a VUE. No caso do nível de multiplicação ou nível de função deveria ser feito, usando-se intervalos de confiança das variáveis incluídas, (ISO/DIS 15686-8:2006).

Exemplo 2: no nível de multiplicação, usando-se, apenas ,dois fatores, a estimativa é feita de tal forma que $VUE = VUR \times E \times G$. A estimativa do intervalo de confiança da VUR e dos fatores E e G, são ΔVUR, ΔE e ΔG, respectivamente, o intervalo de confiança da VUE é:

$$\Delta VUE = VUE \times \sqrt{((\Delta VUR/VUR)^2 + (\Delta E/E)^2 + (\Delta G/G)^2)}$$

Obs. Nível de confiança é a estimativa que, realmente, se encontra dentro de um intervalo de confiança. Em geral, escolhe-se o nível de confiança de 95% (ISO/DIS 15686-8:2006). Ver, também, exemplo nº5 do Capítulo 4.

CAPÍTULO 4

4 Aplicação do método dos fatores.

Introduz as definições, usadas no Planejamento da Vida Útil, de acordo com a ISO 15686, com uma breve discussão sobre o modo de atuar dos agentes de degradação dos materiais e componentes, com o demonstrativo do exemplo do material madeira, que se encontra no anexo F do ISO 15686-1:2000 e estudos de casos. O planejamento da vida útil pode ser aplicado a ambas: as construções existentes e as novas. O planejamento da vida útil, para as construções, e componentes existentes, focalizará a avaliação da vida útil residual dos componentes, aprimorando a programação e custos das substituições. Foi observado, também, que a vida útil total de alguns componentes que colapsaram, de fato, se aproximam bastante da estimativa de vida calculada, usando o Método dos Fatores. Entretanto, concentra-se no planejamento da vida útil de novas construções e componentes.

Exemplo nº1 - O exemplo se refere a uma janela de madeira mole (pinho, conhecida, também, como "softwood") Figura 4.1. Os principais fatores que afetam a sua durabilidade são: a característica da madeira, a qualidade do tratamento da mesma, juntamente com a qualidade da manutenção do revestimento, projeto da janela com a finalidade de encontrar uma boa camada de revestimento de proteção e instalação abrigada. As características aplicáveis para o exemplo, em questão, encontram-se mostradas na Tabela 4.1 (equivalente a F.2 da ISO 15686-1).

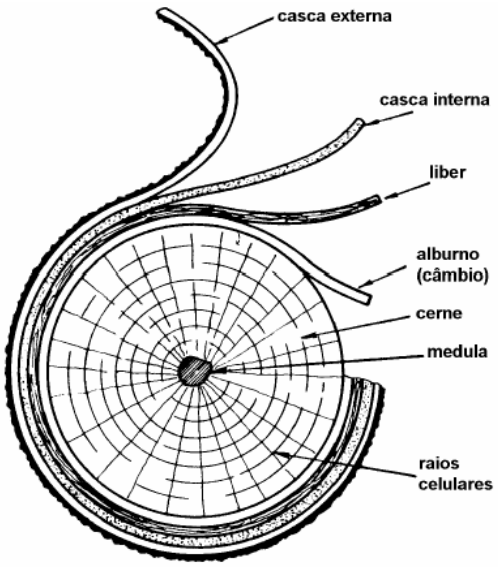

Figura 4.1 – Corte transversal de um tronco de árvore (SENAI; CST, 1996)

Tabela 4.1–Fatores detalhados para janela de madeira mole (pinho) equivalente a Anexo F – Tabela F.2 da ISO 15686-1.

Classe de fatores			Condições de uso			
			Para considerar	Pobre (0,8)	Normal (1,0)	Bom (1,2)
Características de qualidade inerentes	A	Nível de desempenho inerente (qualidade do componente)	Tipo de material e/ ou graduação	Alburno não durável, sem qualidade de marcenaria.	Alburno não durável, mas qualidade de marcenaria de acordo com BSEM942.	Cerne muito durável/ durável. Marcenaria classe 2 de acordo com BS1186
			Características de durabilidade. Exemplo: Sistema de proteção.	Espécie misturada ou alburnos não permeáveis, impregnados de acordo com planejamento ou, apenas banhado/ imerso.	Espécie misturada, impregnada, sob pressão com solvente orgânico, de acordo com programa apropriado. Alguns cortes/ aplainamentos após a proteção.	Espécies permeáveis, impregnadas, sob pressão de duplo-vácuo. nenhum aplainamento/ corte após a proteção.
	B	Nível de projeto	Detalhes da construção. Ex: Juntas, fixação.	Superfícies horizontais expostas, externamente, não inclinadas e/ ou borda não arredondada.	Superfície horizontal inclinada, borda arredondada.	Superfície horizontal inclinada, instalada dentro da cavidade da parede.
	C	Nível de execução do Trabalho	Trabalho na obra. Ex: não se enquadra na BS 8000.	Quaisquer alterações, na obra. Pintada/envidraçada/ tingida no local com pouco controle sobre a qualidade.	Nenhuma alteração, na obra. Pintada/envidraçada/ tingida no local. Controle normal de qualidade.	Evita-se trabalho, na obra. Envernizado e pintado de fábrica, de acordo com qualidade especificada.
Meio ambiente	D	Interno	Característica especial. Ex: condensação	Alto risco de condensação	Risco ocasional de condensação, nenhum agente interno agressivo.	Baixo risco de condensação. Construção, raramente, ocupada.
	E	Externo	Característica especial, Ex: marinho ou poluído.	Ciclo regular entre seco e úmido. Alto risco de particulados.	Ciclo ocasional entre seco e úmido.	Protegido de chuva e partículas.
Condições de operação	F	Condições de uso	Características especiais, exemplo: vandalismo.	Acesso regular por crianças ao local.	Acesso ocasional por crianças, mas baixo risco de dano por impacto, etc.	Nenhum acesso por crianças.
	G	Nível de manutenção	Cíclico, incluindo qualidade.	Renovação não freqüente de pintura/ tintura e/ ou/ baixo controle de aplicação/ preparação. Revestimento com baixo nível de proteção.	Pintada ou tingida a cada 3 ou 6 anos.	Pintada ou tingida a cada 3 ou 6 anos. Alto controle.

Os valores dos fatores, obtidos na tabela 4.1, estão resumidos, abaixo, na Tabela 4.2 e serão aplicados, na equação do Método dos Fatores.

Tabela 4.2 – Valores usados para estimar a vida útil da janela de madeira mole.

Classe dos fatores	Características do fator	Valor do fator
A	Qualidade do componente:	1,2
B	Nível do projeto sem falhas:	1,2
C	Nível de execução do Trabalho:	1,2
D	Ambiente interno:	1
E	Ambiente externo:	1,2
F	Condições de uso:	1
G	Nível de manutenção:	1,2

Portanto: **VUE** = **VUR** × 1,2 × 1,2 × 1,2 × 1 × 1,2 × 1 × 1,2 = 2,5 **VUR** anos.

Se a **VUR** for equivalente a 25 anos, então, o valor do **VUE** é, aproximadamente, 62 anos.

Exemplo nº2 – Baseado em Trabalho de recuperação de estrutura de uma varanda, no Rio de Janeiro, (CUNHA et al, 2004).

Colapso de uma varanda de prédio de nove andares, com um apartamento por andar, após quinze anos de construído na cidade do Rio de Janeiro. O piso da varanda do sexto andar se inclinou, fortemente, e o movimento da estrutura provocou a quebra das esquadrias situadas entre a sala e a varanda. A estrutura da varanda tinha se rompido, no engaste da laje em balanço, girando, aproximadamente, 15 graus, mas não desmoronou, ficando presa ao restante da estrutura do prédio (Figura 4.2).

Figura 4.2 – Vista da fachada do prédio com a varanda do sexto andar inclinada (Jornal "O Globo" de 21/03/1993).

Descrição da estrutura da varanda

A estrutura do piso da varanda é formada por uma laje, com dimensões: (0,12 m × 9,32 m × 2,03 m) Esta laje, denominada L1A, representa um balanço engastado à laje L1B da sala do apartamento, ambas apoiadas na viga V17 da fachada.

As duas jardineiras, construídas nas laterais da varanda, não têm qualquer ligação estrutural com a laje L1B e com a viga V17, ver Figura 4.3

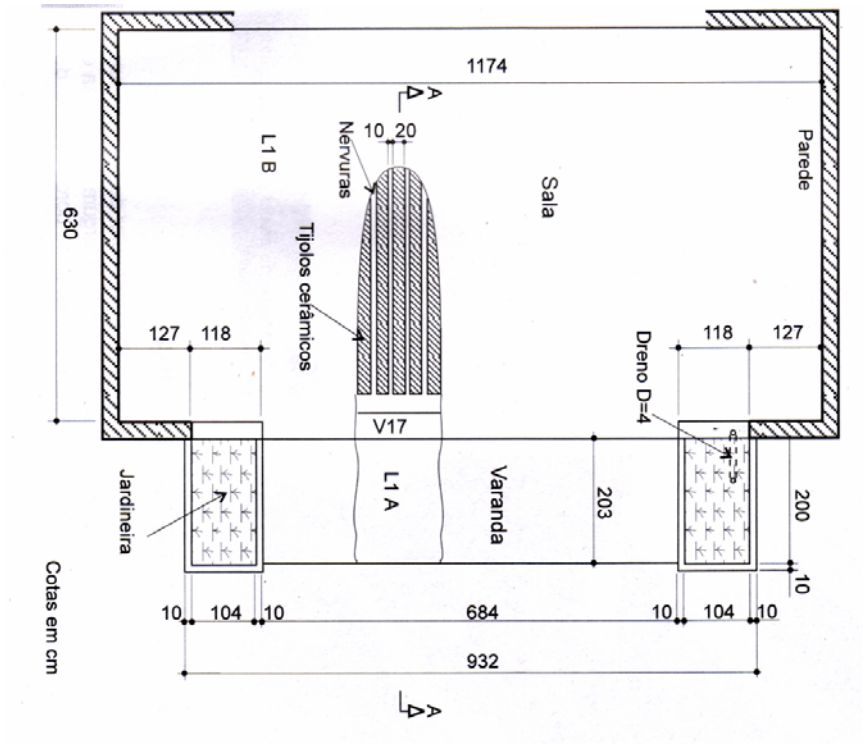

Figura 4.3 - Forma da sala e da varanda em planta, (CUNHA et al, 2004).

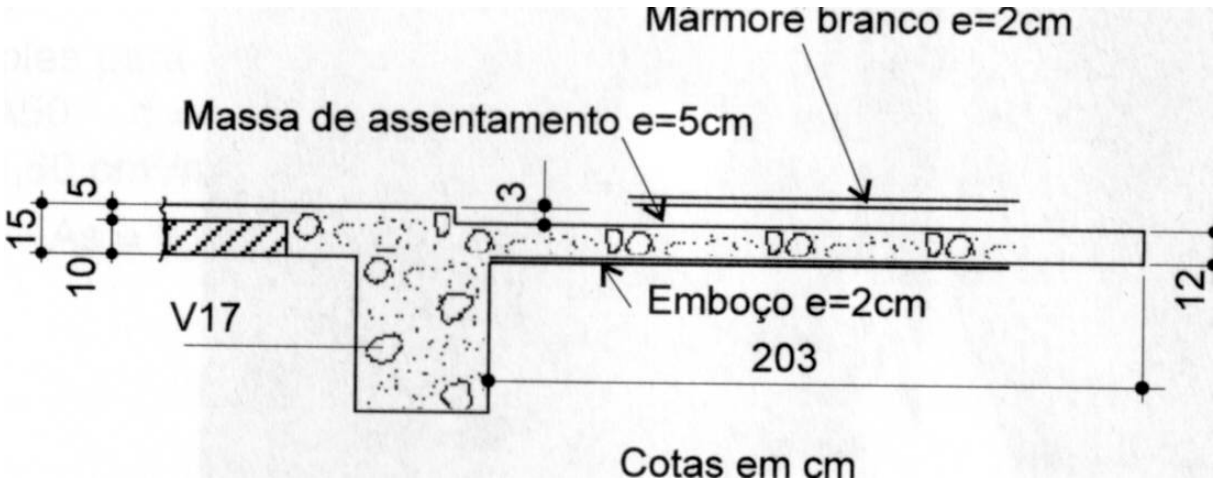

Figura 4.4 – Forma da sala e da varanda – corte A-A, (CUNHA et al, 2004).

Observações feitas no local

Nas lajes L1A do quinto, sexto e sétimo andares, tinham sido extraídos, com sonda rotativa de 10 cm de diâmetro, sete corpos de prova para avaliação da resistência à compressão do concreto, assim como três amostras do aço da armadura negativa da laje da varanda do sexto andar para testes de tração. Esses ensaios indicaram 30 Mpa como valor estimado de resistência, característica à compressão do concreto e indicaram que se tratava de

aço CA50A atendendo, portanto, às normas da ABNT. O exame visual da estrutura, aproveitando os locais demolidos ou perfurados, nas prospecções, possibilitou as seguintes anotações:

a) A seção do engaste estava rompida, ao longo de todo o comprimento e as armaduras negativas, dispostos na face superior da laje, estavam expostas na região da ruptura, porque foram expulsos do concreto;
b) O aspecto geral do concreto era bom, não havendo indícios de falhas na concretagem;
c) As espessuras do concreto da laje, da camada de assentamento, do mármore branco nacional e do revestimento da face inferior constam da Figura 4.4.
d) As barras de aço da armadura negativa principal da laje, nervuradas com 9,5mm de diâmetro espaçadas, a cada 15 cm, estavam sem qualquer indicio de terem sofrido escoamento, estricção ou rompimento e não havia sinais de corrosão apreciável.

De acordo com o engenheiro Nelson Araújo Lima, conclui-se que:

> Em face dos dados acima expostos é evidente que o acidente foi provocado pela brusca retificação dos ferros negativos instalados com dupla curvatura em forma de degrau, devido ao rompimento da camada superficial de concreto pela ação do "empuxo no vazio" conforme explicado na Figura 4.5.

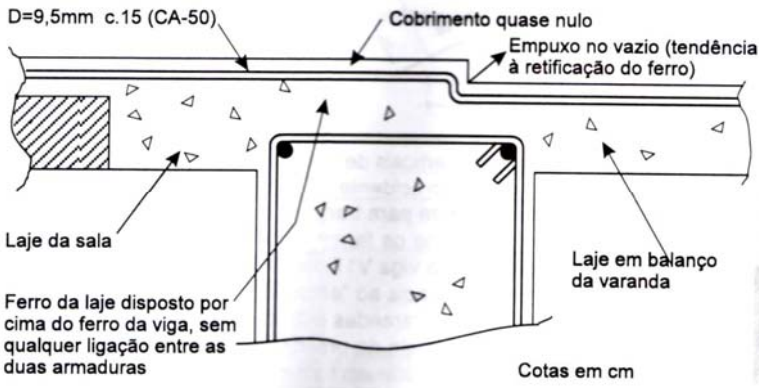

Figura 4.5 – Detalhe da barra negativa no rebaixo situação antes do acidente, (CUNHA et al, 2004).

Estas barras esticadas passaram a funcionar, como tirantes, submetidos a uma tensão de tração da ordem de 21,7 kN/cm2 (Figura 4.6).

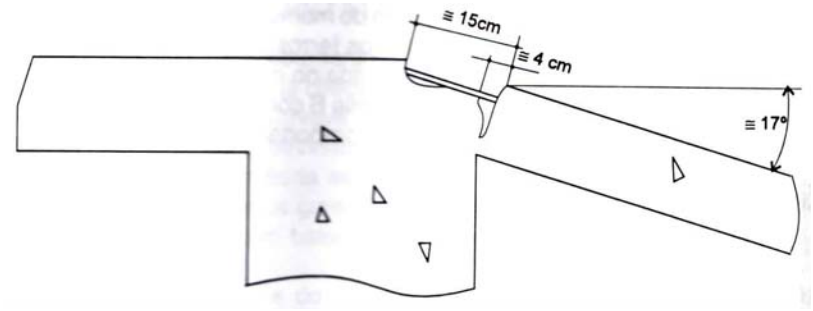

Figura 4.6 – Detalhe da barra negativa, no rebaixo. Situação após o acidente, (CUNHA et al, 2004).

Constatou-se que as barras negativas na forma de **U** propiciaram o defeito de execução, causador do acidente, (CUNHA et al, 2004). Todos os ferros negativos da laje foram colocados sobrepostos à armação longitudinal superior da viga V17, não havendo, portanto, nenhum ferro nesta viga, em condição de colaborar, na resistência ao "empuxo no vazio".

A estrutura rompeu, com 15 anos, tinha um concreto que atendia as normas. Houve falha de projeto e execução, (CUNHA et al, 2004). Com base nesses dados, deve haver confrontação dos referidos dados da (tabela fatores), inserção dos dados no modelo de previsão da vida útil e, a partir do seu resultado, comparar o estado limite ultimo real da varanda, com a vida útil, estimada, do Método dos Fatores. Os valores dos fatores foram obtidos da tabela A.1 (Apêndice A). A Tabela 4.3 abaixo resume os fatores.
VUR - Vida útil de referência: componente estrutural, acessível = 50 anos, (NBR 6118:2003);

Tabela 4.3 – Classes dos fatores, características e respectivos valores para o exemplo nº2, obtidos da Tabela A.1, Apêndice A.

Classe dos fatores	Características do fator	Valor do fator
A	Qualidade do componente: concreto armado, fck = 30 MPa;	1,0
B	Nível do projeto com falhas: detalhe inadequado do desenho de armação das lajes. O acidente foi provocado pela brusca modificação do traçado dos ferros negativos (figura 4.7).	0,8

Classe dos fatores	Características do fator	Valor do fator
C	Nível de execução do Trabalho: ferros negativos, colocados sobrepostos à viga V17, não havendo nenhum ferro desta viga, em condição de colaborar na resistência ao "empuxo do vazio"	0,8
D	Ambiente interno: úmido, com proteção parcial contra vento e chuva	0,9 (*)
E	Ambiente externo úmido sem proteção contra vento e chuva e úmido	0,8
F	Condições de uso: normal	1,0
G	Nível de manutenção: inexistente	0,8

(*) Fator D da tabela 4.3 adotado pelo autor.

Portanto:

$$VUE = VUR(1 \times 0{,}8 \times 0{,}8 \times 0{,}9 \times 0{,}8 \times 1{,}0 \times 0{,}8) = 0{,}36864(VUR)anos$$

Considerando referências normativas, VUR = 50 anos, o valor da estimativa da vida útil (VUE) resulta em aproximadamente, 18,43 anos (atualmente, além disso, usa-se um intervalo de confiança ΔVUE = 5%, ver seção 3.14.2). Em termos comparativos, a varanda do sexto andar do edifício, em questão, colapsou com 15 anos, e a suspeita de que as outras varandas estivessem, com os mesmos defeitos, foi confirmada por meio de prospecções, feitas no concreto dos outros andares, o que exigiu que as demais varandas fossem reforçadas.

Exemplo nº3 - Pescoço de pilar de concreto armado nas condições, encontradas no Edifício Areia Branca, ver Figura 4.7. Comparando esse caso fictício com o caso real, ocorrido, em outubro de 2004, quando ruiu de forma inesperada o Edifício Areia Branca, imóvel residencial, com doze pavimentos, além de subsolo de garagem, situado no Bairro da Piedade em Jaboatão dos Guararapes, na RMR.

Figura 4.7 – Pescoço do pilar do Edifício Areia Branca – Recife (PE).

O método se mostra fácil de usar e prático. A confiabilidade dos resultados depende, principalmente, da estimativa dos fatores e na vida útil de referência do material, componente ou famílias de componentes que podem ser obtidos, através de ensaios, experiência própria ou de dados fornecidos, pelo construtor ou fabricante. Os valores dos fatores foram obtidos da tabela A.1 (Apêndice A). A tabela 4.4 abaixo resume os fatores.

VUR - Vida útil de referência: componente estrutural, acessível será considerada 50 anos por ser o valor presumido na NBR 6118:2003 com os coeficientes de segurança adotados.

Tabela 4.4 – Valores dos fatores utilizados no exemplo nº3.

Classe dos fatores	Características do fator	Valor do fator
A	Qualidade do componente: concreto armado, fck = 15 MPa	0,8
B	Nível do projeto: normal	1,0
C	Nível de execução do Trabalho: concreto executado no local, sem controle.	0,8
D	Ambiente interno agressivo influência de águas servidas, umidade elevada.	0,8
E	Ambiente externo: protegido de vento e chuva.	1,0
F	Condições de uso: normal	1,0
G	Nível de manutenção: inexistente.	0,8

Portanto: **VUE** = **VUR** × 0,8 × 1,0 × 0,8 × 0,8 × 1,0 × 1,0 × 0,8 = 0,41 ***VUR*** anos.

Considerando referências normativas, **VUR** = 50 anos. O valor do **VUE** resulta em 20,5 anos.

O Edifício Areia Branca colapsou com 27 anos (ver Figura 4.8 antes do colapso e a Figura 4.9 que se refere aos escombros).

Figura 4.8 - Edifício Areia Branca, antes do desabamento.

Figura 4.9 – escombros do Edifício Areia Branca.

Exemplo Nº4 - Neste exemplo, é feita a estimativa da vida útil de prédios "tipo caixão", executados com alvenaria singela de blocos cerâmicos vazados, assentados com os furos na horizontal. As fundações consideradas são do tipo caixão perdido, nas mesmas condições dos edifícios desta natureza que chegaram a sofrer colapso. Neste caso, a vida útil estimada constitui uma boa aproximação da vida útil da edificação, já que qualquer situação de colapso dos elementos de fundação ou da superestrutura implica no desabamento da edificação, em virtude de esse tipo de obra ter ruptura brusca e colapso progressivo. Foram estimadas, separadamente, as vidas úteis dos embasamentos (Tabela 4.5) e de um trecho qualquer da superestrutura (Tabela 4.6).

A aplicação do Método dos Fatores foi efetuada com o refinamento dos valores dos fatores, através do emprego do Método Delphi, ouvidas as opiniões de onze engenheiros, com conhecimentos de causa, acerca da problemática dos prédios caixão.

Tabela 4.5 – Uso do Método dos Fatores e do Método Delphi para o embasamento.

Entrevistados	A	B	C	D	E	F	G	ESL
1	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	13,107
2	0,80	0,90	0,80	0,90	0,90	1,00	0,80	18,662
3	0,85	0,80	0,90	0,80	0,95	0,95	0,95	20,989
4	0,80	0,80	0,85	0,80	0,90	1,00	1,00	19,584
5	0,80	0,80	0,90	0,80	0,80	1,00	0,90	16,589
6	0,80	0,85	0,85	0,80	0,90	1,00	0,90	18,727
7	0,80	0,80	0,90	0,80	0,80	1,00	0,85	15,667
8	0,80	0,80	0,90	0,80	0,80	1,00	0,90	16,589
9	0,80	0,90	0,85	0,85	0,85	1,00	0,90	19,898
10	0,80	0,90	0,85	0,85	0,85	1,00	0,90	19,898
11	0,90	0,80	0,80	0,80	0,85	0,95	0,85	15,814
Média	0,832	0,832	0,855	0,818	0,855	0,973	0,886	**17,775**
Desvio Padrão	0,0643	0,046	0,042	0,034	0,052	0,061	0,060	**2,392**
Coeficiente de Variação	7,7318	5,5566	4,8635	4,1201	6,1112	6,2379	6,7178	**13,4547**

O valor médio estimado para a vida útil dos embasamentos (Figura 4.10) foi de 17,77 anos. O coeficiente de variação foi de 13,45%, valor esse, considerado baixo. Menor dispersão, ainda, foi verificada para os valores individuais dos fatores. A consistência do método foi, mais uma vez, evidenciada, tendo, em vista, que as edificações que colapsaram, em situações análogas às desse exemplo, como são os casos dos edifícios Aquarela, Ericka, e Bloco B do Conjunto Enseada de Serrambi, todos situados na Região Metropolitana do Recife tinham idades 11, 12 e 10 anos, respectivamente.

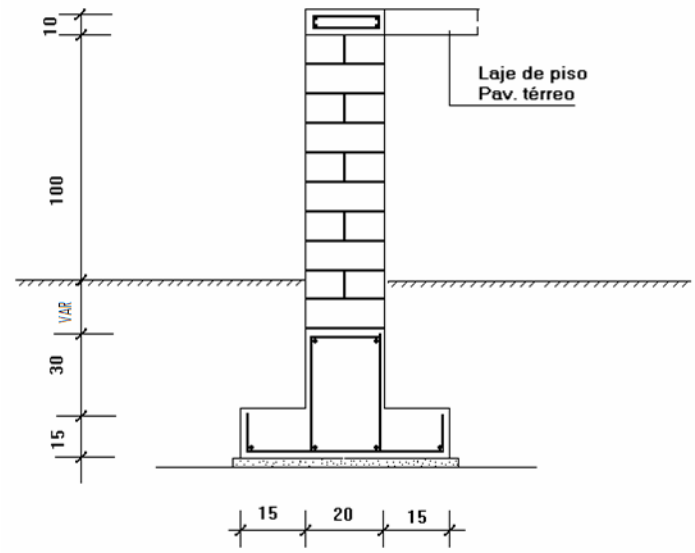

Figura 4.10 – Embasamento de prédio tipo caixão

Tabela 4.6 - Uso do Método dos Fatores e do Método Delphi para a superestrutura.

Entrevistados	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**ESL**
1	1,00	0,90	0,90	1,00	0,90	1,00	0,90	32,805
2	0,80	0,90	0,80	0,90	0,90	1,00	0,80	18,662
3	1,00	0,80	0,95	1,00	0,95	1,00	0,95	34,295
4	0,95	0,90	0,95	1,00	0,90	1,00	0,90	32,896
5	0,90	0,90	0,90	1,00	0,95	1,00	0,80	27,702
6	0,85	0,85	0,90	1,00	0,90	1,00	0,80	23,409
7	0,80	0,80	0,90	1,00	1,00	1,00	0,85	24,480
8	0,80	0,80	0,90	0,80	0,80	1,00	0,90	16,589
9	0,80	0,90	0,85	1,00	0,85	0,90	0,90	21,068
10	0,80	0,90	0,85	1,00	0,85	0,90	0,90	21,068
11	0,80	0,90	0,85	1,00	0,85	0,90	0,90	21,068
Média	0,864	0,868	0,886	0,973	0,895	0,973	0,873	**24,913**
Desvio Padrão	0,0815	0,049	0,045	0,067	0,055	0,047	0,051	**6,406**
Coeficiente de Variação	9,3833	5,7133	5,1025	6,9964	6,0858	4,8020	5,9141	**26,0131**

Exemplo nº5 – Calcular a estimativa da vida útil de uma verga de concreto, levando, em consideração, o intervalo de confiança de 5 anos.

Assume-se que a VUR é de 50 ± 5 anos (intervalo de confiança = 10%, proposto por ISO/DIS 15686-8:2006), que requer uma condição de uso normal para esse tipo de verga hipotética, significa dizer que todas as condições de uso de referência são normais. O objeto, em questão, é uma verga típica instalada na parede de blocos cerâmicos, em um ambiente específico.

Assume-se que um fator de 1,2 aumenta a vida útil enquanto que um fator de 0,8 diminui em comparação com um fator normal igual a 1,0. Assume-se que o intervalo de confiança de cada fator está entre ± 10% do seu valor, respectivamente. Portanto, um fator de 1,2 terá um intervalo de confiança de ± 0,12. Os valores dos fatores foram obtidos da Tabela A.1 (Apêndice A). A Tabela 4.7 abaixo resume os fatores.

Tabela 4.7 – Objeto específico, condições de uso de referência e valores dos fatores, resultantes para a verga de concreto, obtidas da Tabela A.1, Apêndice A.

Classe de fatores	Condições de uso do objeto específico	Condições de uso de referência	Valor do fator
A	Normal	Normal	1,0
B	Normal	Normal	1,0
C	Normal	Normal	1,0
D	Ruim	Normal	0,8
E	Ruim	Normal	0,8
F	Normal	Normal	1,0
G	Normal	Normal	1,0

Preferencialmente, todos os fatores deveriam estar na faixa entre 0,8 e 1,2. Melhor seria se o intervalo se aproximasse da unidade. Uma razão, para isso, é que o Método dos Fatores, em geral, é concedido com uma incerteza substancial. Ao usar o nível de multiplicação, pode-se assumir que cada fator contribui, parcialmente, com o nível relativo de incerteza, por um grau crescente, à medida em que o desvio do valor se distancie da unidade (na verdade proporcional ao valor absoluto do logaritmo do valor do fator). Outro motivo, para isso, é que os efeitos que determinam os valores dos fatores, frequentemente, dependem um do outro (ISO 15686:2006). Ver classificação padrão (Tabela 4.8):

Tabela 4.8 – Faixa padrão dos fatores do Método dos Fatores

Condições de uso de referência do fator	Valor do fator
Ruim	0,8
Normal	1,0
Muito bom	1,2

Temos:

$$VUE = VUR \times A \times B \times C \times D \times E \times F \times G$$

$$VUE = 50(1{,}0 \times 1{,}0 \times 1{,}0 \times 0{,}8 \times 0{,}8 \times 1 \times 1) = 32 anos$$

$$\Delta VUE = VUE \times \sqrt{(\Delta VUR/VUR)^2 + (\Delta A/A)^2 + (\Delta B/B)^2 + (\Delta C/C)^2 + (\Delta D/D)^2 + (\Delta E/E)^2 + (\Delta F/F)^2 + (\Delta G/G)^2} =$$

$$\Delta VUE = \pm 32 \times \sqrt{(5/50)^2 + 7(0{,}1)^2} = \pm 9{,}05 \text{ anos.}$$

ΔVUE = ± 9,05 anos → onde:
VUE = (32 ± 9,05) anos

4.1 Procedimento alternativo para estimar a vida útil

O Método dos Fatores consiste em multiplicar uma constante, chamada de vida útil de referência (VUR), por sete variáveis conhecidas como fatores (A, B, C, D, E, F, G), o que sugeriu o nome para o método.

Neste Trabalho, foi desenvolvida uma Equação Alternativa, baseada na regressão linear múltipla (RLM), derivada da ISO 15686-1 e, em particular, do Método dos Fatores que tem, como objetivo, estimar a vida útil de materiais e componentes. A RLM é, largamente, usada para avaliar ou estimar produtos que interajam com variáveis independentes. Muitas aplicações da análise de regressão envolvem situações em que há mais de um regressor.

Um modelo de regressão, que contenha mais de um regressor, é chamado de Modelo de Regressão Múltipla. Exemplos de aplicação da RLM:

1. o preço de uma casa, como variável resposta, em termos das variáveis preditoras, número de quartos e número de banheiros;
2. num estudo sobre a resposta a uma droga, o Pesquisador deseja controlar as doses da droga e o método de aplicação;
3. o valor de uma loja de frente para rua, em uma galeria, depende da idade do imóvel, da área e da localização;

4.1.1 Modelo

Tem-se uma regressão linear múltipla, quando se admitir que o valor da variável dependente seja função linear de duas ou mais variáveis independentes. O modelo de regressão linear múltipla com duas variáveis independentes é dado por:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \varepsilon_i \qquad (1)$$

onde Y_i é a resposta no i-ésimo ensaio;
X_{i1} e X_{i2} são os valores das duas variáveis preditoras X_1 e X_2 no i-ésimo ensaio;
os parâmetros desconhecidos do modelo são β_0, β_1, β_2 e ε é o erro cometido no processo;

Da suposição: $E(\varepsilon_i)=0$, tem-se que a função de regressão do modelo de primeira ordem é:

$$E(Y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \qquad (2)$$

A representação gráfica desta função é um plano no espaço tridimensional. A Figura 4.11 mostra este plano para a função:

$$E(Y) = 10 + 2X_1 + 5X_2 \qquad (3)$$

A função de regressão na regressão múltipla é chamada de superfície de resposta.

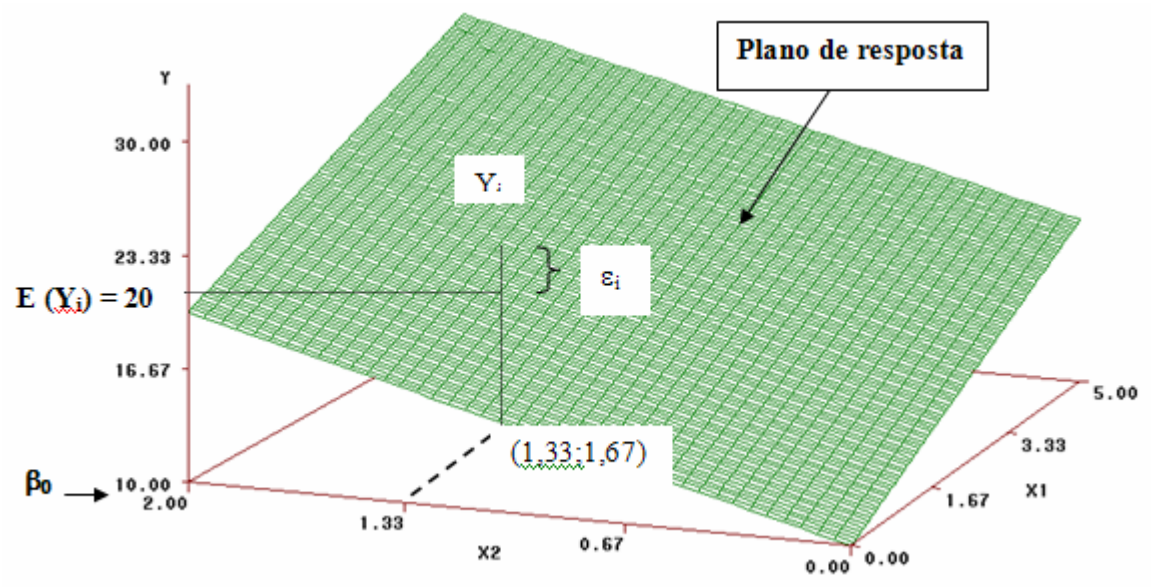

Figura 4.11 – Superfície de resposta (MONTGOMERY, 2003)

4.1.2 Significado dos coeficientes de regressão

O parâmetro β_0 é a ordenada do ponto de interseção do plano de regressão, com eixo dos Y's. Se a abrangência do modelo inclui $X_1=0$ e $X_2=0$ então $\beta_0=10$ representa a resposta média E(Y), neste ponto. Em outras situações, β_0 não há qualquer outro significado como um termo separado no modelo de regressão. O parâmetro β_1 indica a mudança, na resposta média $E(Y)$ por unidade de acréscimo em X_1 quando X_2 é mantido constante. Da mesma forma β_2 indica a mudança na resposta média por unidade de aumento em X_2 quando X_1 é mantido constante.

4.1.3 Modelo linear geral de regressão

Para o caso de n variáveis preditivas, a resposta será dada pela expressão:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \ldots + \beta_{p-1} X_{i,p-1} + \varepsilon_i \qquad (4)$$

Onde:

$\beta_0, \beta_1, \ldots, \beta_{p-1}$, são os parâmetros desconhecidos;

$X_{i1}, \ldots, X_{i,p-1}$ são constantes conhecidas;

ε_i são independentes com distribuição $N(0, \sigma^2)$

$i = 1,2,\ldots,n.$

A função resposta para o modelo, como $E(\varepsilon_i)=0$, é dada por:

$$E(Y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_{p-1} X_{p-1} \qquad (5)$$

4.1.4 Modelo de regressão linear múltipla em termos matriciais

A expressão do modelo linear geral de regressão é dada por:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \ldots + \beta_{p-1} X_{i,p-1} + \varepsilon_i \qquad (6)$$

Esse modelo é um sistema de n equações, que pode ser expresso, matricialmente, como:

$$y = \mathbf{X\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \qquad (7)$$

sendo:

$$\underset{n\times 1}{y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ . \\ . \\ Y_n \end{bmatrix} \qquad \underset{n\times p}{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & . & . & X_{1,p-1} \\ 1 & X_{21} & . & . & X_{2,p-1} \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ 1 & X_{n1} & . & . & X_{n,p-1} \end{bmatrix} \qquad \underset{p\times 1}{\boldsymbol{\beta}} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ . \\ . \\ \beta_{p-1} \end{bmatrix} \qquad \underset{n\times 1}{\boldsymbol{\varepsilon}} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ . \\ . \\ . \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

y é um vetor (n × 1) das observações, **X** é uma matriz (n × p) dos níveis das variáveis independentes, **β** é um vetor (p × 1) dos coeficientes de regressão e **ε** é um vetor (n × 1) dos erros aleatórios.

Deseja-se encontrar o vetor dos estimadores de mínimos quadrados, $\hat{\beta}$.

4.1.5 Estimação dos parâmetros

As equações (8) são as equações normais de mínimos quadrados, na forma matricial.

$$\mathbf{X}'\mathbf{X}\hat{\beta} = \mathbf{X}'\mathbf{Y} \qquad (8)$$

E os estimadores de mínimos quadrados de β é:

$$\hat{\beta} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{Y} \qquad (9)$$

Supondo-se que a variável Y esteja explícita, através de duas variáveis independentes X_1 e X_2 para n = 3 temos:

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} \\ 1 & x_{21} & x_{22} \\ 1 & x_{31} & x_{32} \end{pmatrix} . \begin{pmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \end{pmatrix} \quad \text{da Equação (7)}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ x_{11} & x_{21} & x_{31} \\ x_{12} & x_{22} & x_{32} \end{pmatrix} . \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ x_{11} & x_{21} & x_{31} \\ x_{12} & x_{22} & x_{32} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} \\ 1 & x_{21} & x_{22} \\ 1 & x_{31} & x_{32} \end{pmatrix} . \begin{pmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \end{pmatrix} \quad \text{da Equação (8)}$$

$$\begin{pmatrix} y_1 + y_2 + y_3 \\ x_{11}.y_1 + x_{21}.y_2 + x_{31}.y_3 \\ x_{12}.y_1 + x_{22}.y_2 + x_{32}.y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & x_{11} + x_{21} + x_{31} & x_{12} + x_{22} + x_{32} \\ x_{11} + x_{21} + x_{31} & x_{11}^2 + x_{21}^2 + x_{31}^2 & x_{11}.x_{12} + x_{21}.x_{22} + x_{31}.x_{32} \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} & x_{11}.x_{12} + x_{21}.x_{22} + x_{31}.x_{32} & x_{12}^2 + x_{22}^2 + x_{32}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} y_1 + y_2 + y_3 \\ x_{11}.y_1 + x_{21}.y_2 + x_{31}.y_3 \\ x_{12}.y_1 + x_{22}.y_2 + x_{32}.y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3\hat{\beta}_0 + .(x_{11} + x_{21} + x_{31}).\hat{\beta}_1 + (x_{12} + x_{22} + x_{32}).\hat{\beta}_2 \\ (x_{11} + x_{21} + x_{31}).\hat{\beta}_0 + (x_{11}^2 + x_{21}^2 + x_{31}^2)\hat{\beta}_1 + (x_{11}x_{12} + x_{21}x_{22} + x_{31}x_{32}).\hat{\beta}_2 \\ (x_{11} + x_{21} + x_{31}).\hat{\beta}_0 + (x_{11}x_{12} + x_{21}x_{22} + x_{31}x_{32}).\hat{\beta}_1 + (x_{12}^2 + x_{22}^2 + x_{32}^2)\hat{\beta}_2 \end{pmatrix}$$

As equações normais para regressão, com duas variáveis independentes, pelo método de mínimos quadrados são:

$$\sum_{i=1}^{3} y_i = 3.\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1\left(\sum_{i=1}^{3} x_{i1}\right) + \hat{\beta}_2\left(\sum_{i=1}^{3} x_{i2}\right)$$

$$\sum_{i=1}^{3} x_{i1}.y_i = \hat{\beta}_0.\left(\sum_{i=1}^{3} x_{i1}\right) + \hat{\beta}_1.(\sum_{i=1}^{3} x_{i1}{}^2) + \hat{\beta}_2.\left(\sum_{i=1}^{3} x_{i1}.x_{i2}\right)$$

$$\sum_{i=1}^{3} x_{i2}.y_i = \hat{\beta}_0.\left(\sum_{i=1}^{3} x_{i2}\right) + \hat{\beta}_1.\left(\sum_{i=1}^{3} x_{i1}.x_{i2}\right) + \hat{\beta}_2.(\sum_{i=1}^{3} x_{i2}{}^2)$$

4.1.6 Valores estimados e resíduos

Os valores estimados são obtidos, matricialmente, por:

$$\underset{n \text{ x } 1}{\hat{y}} = \mathbf{X}\hat{\beta} \qquad (10)$$

Os resíduos são obtidos, através da expressão matricial:

$$\underset{n\mathbf{x1}}{\varepsilon} = \mathbf{Y} - \hat{\mathbf{Y}} = \mathbf{Y} - \mathbf{X}\hat{\beta} \qquad (11)$$

4.2 Objetivo

A finalidade do uso da RLM, nesse Trabalho, é de criar uma Equação Alternativa, com 7 (sete) variáveis independentes, iguais às do MF, objetivando comparar com a equação, apresentada pelo Método dos Fatores (seção 3.7.1). A partir dessa idéia, monta-se um modelo estatístico, o mais próximo possível do MF e coloca-se variáveis da ISO 15686 com faixa de variação entre 0,8 e 1,2. É fácil ver que a forma matricial das equações normais é idêntica à forma escalar. Escrevendo a equação (8) para n=7 observações, por exemplo, obtem-se:

$$
\begin{bmatrix}
\sum_{i=1}^{7} yi = 7\hat{\beta}0 + \beta 1\left(\sum_{i=1}^{7} xi1\right) + \hat{\beta}2\left(\sum_{i=1}^{7} xi2\right) + \hat{\beta}3\left(\sum_{i=1}^{7} xi3\right) + \hat{\beta}4\left(\sum_{i=1}^{7} xi4\right) + \hat{\beta}5\left(\sum_{i=1}^{7} xi5\right) + \hat{\beta}6\left(\sum_{i=1}^{7} xi6\right) + \hat{\beta}7\left(\sum_{i=1}^{7} xi7\right) \\
\sum_{i=1}^{7} xi1yi = \hat{\beta}0\left(\sum_{i=1}^{7} xi1\right) + \hat{\beta}1\left(\sum_{i=1}^{7} xi^2 1\right) + \hat{\beta}2\left(\sum_{i=1}^{7} xi1xi2\right) + \hat{\beta}3\left(\sum_{i=1}^{7} xi1xi3\right) + \hat{\beta}4\left(\sum_{i=1}^{7} xi1xi4\right) + \hat{\beta}5\left(\sum_{i=1}^{7} xi1xi5\right) + \hat{\beta}6\left(\sum_{i=1}^{7} xi1xi6\right) + \hat{\beta}7\left(\sum_{i=1}^{7} xi1xi7\right) \\
\sum_{i=1}^{7} xi2yi = \hat{\beta}0\left(\sum_{i=1}^{7} xi2\right) + \hat{\beta}1\left(\sum_{i=1}^{7} xi2xi1\right) + \hat{\beta}2\left(\sum_{i=1}^{7} xi^2 2\right) + \hat{\beta}3\left(\sum_{i=1}^{7} xi2xi3\right) + \hat{\beta}4\left(\sum_{i=1}^{7} xi2xi4\right) + \hat{\beta}5\left(\sum_{i=1}^{7} xi2xi5\right) + \hat{\beta}6\left(\sum_{i=1}^{7} xi2xi6\right) + \hat{\beta}7\left(\sum_{i=1}^{7} xi2xi7\right) \\
\sum_{i=1}^{7} xi3yi = \hat{\beta}0\left(\sum_{i=1}^{7} xi3\right) + \hat{\beta}1\left(\sum_{i=1}^{7} xi3xi1\right) + \hat{\beta}2\left(\sum_{i=1}^{7} xi3xi2\right) + \hat{\beta}3\left(\sum_{i=1}^{7} xi^2 3\right) + \hat{\beta}4\left(\sum_{i=1}^{7} xi3xi4\right) + \hat{\beta}5\left(\sum_{i=1}^{7} xi3xi5\right) + \hat{\beta}6\left(\sum_{i=1}^{7} xi3xi6\right) + \hat{\beta}7\left(\sum_{i=1}^{7} xi3xi7\right) \\
\sum_{i=1}^{7} xi4yi = \hat{\beta}0\left(\sum_{i=1}^{7} xi4\right) + \hat{\beta}1\left(\sum_{i=1}^{7} xi4xi1\right) + \hat{\beta}2\left(\sum_{i=1}^{7} xi4xi2\right) + \hat{\beta}3\left(\sum_{i=1}^{7} xi4xi3\right) + \hat{\beta}4\left(\sum_{i=1}^{7} xi^2 4\right) + \hat{\beta}5\left(\sum_{i=1}^{7} xi4xi5\right) + \hat{\beta}6\left(\sum_{i=1}^{7} xi4xi6\right) + \hat{\beta}7\left(\sum_{i=1}^{7} xi4xi7\right) \\
\sum_{i=1}^{7} xi5yi = \hat{\beta}0\left(\sum_{i=1}^{7} xi5\right) + \hat{\beta}1\left(\sum_{i=1}^{7} xi5xi1\right) + \hat{\beta}2\left(\sum_{i=1}^{7} xi5xi2\right) + \hat{\beta}3\left(\sum_{i=1}^{7} xi5xi3\right) + \hat{\beta}4\left(\sum_{i=1}^{7} xi5xi4\right) + \hat{\beta}5\left(\sum_{i=1}^{7} xi^2 5\right) + \hat{\beta}6\left(\sum_{i=1}^{7} xi5xi6\right) + \hat{\beta}7\left(\sum_{i=1}^{7} xi5xi7\right) \\
\sum_{i=1}^{7} xi6yi = \hat{\beta}0\left(\sum_{i=1}^{7} xi6\right) + \hat{\beta}1\left(\sum_{i=1}^{7} xi6xi1\right) + \hat{\beta}2\left(\sum_{i=1}^{7} xi6xi2\right) + \hat{\beta}3\left(\sum_{i=1}^{7} xi6xi3\right) + \hat{\beta}4\left(\sum_{i=1}^{7} xi6xi4\right) + \hat{\beta}5\left(\sum_{i=1}^{7} xi6xi5\right) + \hat{\beta}6\left(\sum_{i=1}^{7} xi^2 6\right) + \hat{\beta}7\left(\sum_{i=1}^{7} xi6xi7\right) \\
\sum_{i=1}^{7} xi7yi = \hat{\beta}0\left(\sum_{i=1}^{7} xi7\right) + \hat{\beta}1\left(\sum_{i=1}^{7} xi7xi1\right) + \hat{\beta}2\left(\sum_{i=1}^{7} xi7xi2\right) + \hat{\beta}3\left(\sum_{i=1}^{7} xi7xi3\right) + \hat{\beta}4\left(\sum_{i=1}^{7} xi7xi4\right) + \hat{\beta}5\left(\sum_{i=1}^{7} xi7xi5\right) + \hat{\beta}6\left(\sum_{i=1}^{7} xi7xi6\right) + \hat{\beta}7\left(\sum_{i=1}^{7} xi^2 7\right)
\end{bmatrix}
$$

Onde as 7 (sete) variáveis (preditoras) independentes X são:

X_1 – qualidade dos materiais ou componentes;

X_2 – nível de projeto;

X_3 – nível de execução do projeto;

X_4 – meio ambiente interno;

X_5 – meio ambiente externo;

X_6 – condições de uso;

X_7 – nível de manutenção;

n = número de casos ou observações;

y = variável resposta (dependente). No próximo exemplo realizado com auxílio do Excel o (y) corresponde a VUE do MF.

Exemplo: Para n=7, obter os parâmetros $\hat{\beta}$, através da aplicação do Microsoft Excel.

VUR	**Matriz A**							
50	**Qualidade do componente X1**	**Nível de projeto X2**	**Nível de execução do Trabalho X3**	**Meio ambiente interno X4**	**Meio ambiente externo X5**	**Condição de uso X6**	**Nível de manutenção X7**	**Estimativa da Vida útil (VUE) ou y**
n								
1,00	0,80	0,80	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	13,11

1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	50,00
1,00	1,20	1,20	1,20	1,00	1,20	1,20	1,20	149,30
1,00	1,00	0,80	0,80	0,90	0,80	1,00	0,80	18,43
1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,92	0,80	15,00
1,00	0,80	1,00	0,80	0,80	1,00	1,00	0,80	20,48
1,00	0,80	1,00	0,80	1,00	1,05	1,00	0,80	27,00

Matriz A' = transposta de A

1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,80	1,00	1,20	1,00	1,00	0,80	0,80
0,80	1,00	1,20	0,80	0,80	1,00	1,00
1,00	1,00	1,20	0,80	0,80	0,80	0,80
0,80	1,00	1,00	0,90	0,80	0,80	1,00
0,80	1,00	1,20	0,80	0,80	1,00	1,05
0,80	1,00	1,20	1,00	0,92	1,00	1,00
0,80	1,00	1,20	0,80	0,80	0,80	0,80

A'Y	**Matriz produto da matriz A'A**							
293,32	7,00	6,60	6,60	6,40	6,30	6,65	6,92	6,20
311,06	6,60	6,36	6,28	6,12	5,98	6,32	6,60	5,96
313,87	6,60	6,28	6,36	6,12	6,00	6,41	6,61	5,96
306,99	6,40	6,12	6,12	6,00	5,80	6,16	6,37	5,80
281,76	6,30	5,98	6,00	5,80	5,73	6,05	6,27	5,64
315,22	6,65	6,32	6,41	6,16	6,05	6,47	6,66	6,00
319,35	6,92	6,60	6,62	6,38	6,28	6,67	6,92	6,22
304,37	6,20	5,96	5,96	5,80	5,64	6,00	6,21	5,64

Determinante

1,551E-24

Matriz inversa de A'A = (A'A)-1

3,05E+13	-5,33E+13	-1,90E+14	-3,05E+13	-3,05E+13	1,22E+14	3,81E+13	1,14E+14
-5,13E+13	8,97E+13	3,20E+14	5,13E+13	5,13E+13	-2,05E+14	-6,41E+13	-1,92E+14
-1,78E+14	3,12E+14	1,11E+15	1,78E+14	1,78E+14	-7,12E+14	-2,23E+14	-6,68E+14
-3,05E+13	5,33E+13	1,90E+14	3,05E+13	3,05E+13	-1,22E+14	-3,81E+13	-1,14E+14
-3,05E+13	5,33E+13	1,90E+14	3,05E+13	3,05E+13	-1,22E+14	-3,81E+13	-1,14E+14
1,12E+14	-1,95E+14	-6,97E+14	-1,12E+14	-1,12E+14	4,46E+14	1,39E+14	4,18E+14
3,60E+13	-6,31E+13	-2,25E+14	-3,60E+13	-3,60E+13	1,44E+14	4,51E+13	1,35E+14
1,12E+14	-1,96E+14	-7,01E+14	-1,12E+14	-1,12E+14	4,49E+14	1,40E+14	4,21E+14

Determinação dos parâmetros (coeficientes) β

B = $(A'A)^{-1}$ A'Y

B0	-528
B1	448
B2	480
B3	368
B4	40
B5	-32

B6	-40
B7	-656

$$\hat{Y} = \beta 0 + \beta 1X1 + \beta 2X2 + \beta 3X3 + \beta 4X4 + \beta 5X5 + \beta 6X6 + \beta 7X7$$

Onde:

ŷ = -528 + 448X1 + 480X2 + 368X3 + 40X4 – 32X5 - 40X6 – 656X7→ estimador, ou seja, equação para estimar a vida útil

O intuito desse Trabalho consiste em aumentar o valor de (n), modelagem adequada dos dados para melhorar a confiabilidade do estimador da vida útil ŷ(VU) e diminuir os resíduos (ε), objetivando, por fim, comparar os resultados, obtidos da Equação Alternativa ŷ(VU) com os resultados obtidos, usando a equação do MF. Portanto, para proporcionar uma confiabilidade adequada dos resultados e resíduos, foi utilizado, neste Trabalho um valor (n=602), e modelagem dos dados das variáveis aleatórias x1, x2, x3, x4, x5, x6 e x7 (ver Apêndice B Tabela B.1). As vidas úteis (y), referentes a esse estudo de caso, derivaram do MF, a partir da multiplicação das variáveis (fatores) pela vida útil de referência (VUR) de 50 anos, obedecendo-se à faixa de variação padrão, mencionado, acima inserido no modelo. Será feito uso do programa Minitab para obter os parâmetros $\hat{\beta}$ e o estimador ŷ ver Apêndice B, Tabela B.1 e Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Saída do Minitab para os dados da vida útil

Regression Analysis: ŷ(VU) versus X1; X2; X3; X4; X5; X6; X7

```
The regression equation is
ŷ(VU) = - 286 + 17,9 X1 + 39,8 X2 + 69,8 X3 + 61,3 X4 + 48,8 X5 + 38,9 X6
           + 79,3 X7

Predictor        Coef     SE Coef          T        P
Constant      -286,03       22,24     -12,86    0,000
X1              17,90       21,97       0,81    0,415
X2             39,828       6,986       5,70    0,000
X3             69,772       8,045       8,67    0,000
X4             61,262       8,022       7,64    0,000
X5             48,803       6,813       7,16    0,000
X6             38,863       6,127       6,34    0,000
X7             79,328       7,875      10,07    0,000

S = 11,57       R-Sq = 94,9%     R-Sq(adj) = 94,9%

Analysis of Variance

Source            DF          SS          MS         F        P
Regression         7     1486205      212315   1587,16    0,000
Residual Error   594       79460         134
Total            601     1565665
```

Portanto, para uma vida útil de referência igual a 50 anos, a Equação Alternativa encontrada para o estimador da vida útil é:

ŷ(VU) = - 286 + 17,9 X1 + 39,8 X2 + 69,8 X3 + 61,3 X4 + 48,8 X5 + 38,9 X6 + 79,3 X7 **(12)**

Foi feita, em seguida a análise de variância (ANOVA), usando-se o aplicativo da Microsoft Excel, cujo objetivo é verificar se existem diferenças significativas entre as médias dos valores do VUE e do ŷ(VU), (Apêndice C, Tabela C.1).

A Equação Alternativa, baseada na RLM para estimar a vida útil (**ŷ(VUG)**)geral é:

ŷ(VUG) = VUR(- 5,72 + 0,358 X1 + 0,797 X2 + 1,40 X3 + 1,23 X4 + 0,976 X5 + 0,777 X6 + 1,59 X7) **(13)**

Para estimar a vida útil geral, basta inserir o valor da VUR desejado e inserir os dados das variáveis X1, X2, X3, X4, X5, X6 e X7 na Equação 12.

Exemplo nº6 - Estimativa da vida útil de uma viga de concreto armado, usando-se a equação, obtida pela regressão linear múltipla. Os valores dos fatores foram obtidos da tabela A.1 (Apêndice A). A Tabela 4.10, abaixo, resume os fatores.

Tabela 4.10 – Fatores utilizados no exemplo nº6 e nº7.

Classe dos fatores	Características do fator	Valor do fator
A	Qualidade do componente: concreto armado, fck = 45 MPa;	1,2
B	Nível do projeto: normal;	1,0
C	Nível de execução do Trabalho: concreto com controle de Slump e resistência a compressão;	1,0
D	Ambiente interno protegido e com pouca umidade;	1,2
E	Ambiente externo: protegido de vento e chuva.	1,0
F	Condições de uso: normal	1,0
G	Nível de manutenção: efetua reparos existentes;	1,0

Portanto:

ŷ(VU) = - 251 + 0,415 x1 + 48,9 x2 + 50,4 x3 + 49,9 x4 + 49,6 x5 + 50,9 x6 + 50,6 x7

Substituindo os valores, obtém-se a vida útil estimada:

ŷ(VU) = 82,88 anos

Exemplo nº7 - Estimativa da vida útil de uma viga de concreto armado do exemplo anterior, usando-se a equação do Método dos Fatores. Os valores dos fatores foram obtidos da tabela A.1 (Apêndice A). A Tabela 4.8, acima, resume os fatores.

Portanto:

VUE = $50 \times 1{,}2 \times 1{,}0 \times 1{,}0 \times 1{,}2 \times 1{,}0 \times 1{,}0 \times 1{,}0$

Substituindo os valores, obtém-se a vida útil estimada:

VUE = 72 anos

A Tabela 4.11, abaixo, apresenta os resultados das comparações entre a equação do Método dos Fatores e da Equação Alternativa. Apresenta, também, as vidas úteis totais das estruturas que colapsaram, citadas, neste Trabalho. O resultado das estimativas das vidas úteis, obtidas através da equação do Método dos Fatores e da Equação Alternativa dos exemplos nº2, nº3 e nº4 aproxima-se bastante das vidas úteis totais reais. Os resultados dos exemplos nº1, nº5, nº6 e nº7 são estimativas simples da vida útil.

Tabela 4.11 – Comparações das estimativas entre as equações da VUE do ŷ(VU), ŷ(VUG) e os colapsos reais de algumas estruturas.

Objeto do estudo	**Estimativa da vida útil total, usando-se a equação do Método dos Fatores ISO 15686-1, ou seja, VUE**	**Estimativa da vida útil total, usando-se a equação obtida pela RLM, ou seja, ŷ(VU) e ŷ(VUG)**	**Vida útil total de estruturas que colapsaram (em anos)**
Exemplo nº1 janela de madeira mole. VUR = 25 anos	**62,00**	**60,40 (*)**	**----**
Exemplo nº2 Varanda no Rio Janeiro. VUR = 50 anos	**18,43**	**16,05**	**15**

Objeto do estudo	Estimativa da vida útil total, usando-se a equação do Método dos Fatores ISO 15686-1, ou seja, VUE	Estimativa da vida útil total, usando-se a equação obtida pela RLM, ou seja, ŷ(VU) e ŷ(VUG)	Vida útil total de estruturas que colapsaram (em anos)
Exemplo nº3 Edifício Areia Branca. VUR = 50 anos	**20,48**	**24,07**	**27**
Exemplo nº4 – Estimativa média dos embasamentos	**17,77**	**21,59**	Edifícios: Aquarela = 11 Ericka = 12 Enseada de Serrambi = 10
Exemplo nº4 – Estimativa média da superestrutura	**24,91**	**36,18**	**----**
Exemplo nº5 verga de concreto. VUR = 50 anos	**32,00**	**47,71**	**----**
O exemplo nº6 e nº7 viga de concreto armado são iguais. Muda, apenas, o método. VUR = 50 anos	**72,00**	**85,56**	**----**

(*) Estimativa usando o estimador **ŷ(VUG)**

Obs. O Edifício Areia Branca (Recife-PE) colapsou, com 27 anos, a varanda (Rio de Janeiro - RJ) rompeu com 15 anos e os edifícios Aquarela, Ericka, e Bloco B do Conjunto Enseada de Serrambi da RMR, colapsaram com 11, 12 e 10 anos, respectivamente.

Considerações sobre os estimadores VUE e **ŷ**(VU)

O gráfico de dispersão (Figura 4.12) representa as estimativas das vidas úteis entre os estimadores VUE e **ŷ**(VU), que foram obtidos, a partir das 602 observações do Apêndice da

Tabela C1. Nesse gráfico de linha (Figura 4.13), os resultados, também, representam as estimativas das vidas úteis entre as equações VUE e $\hat{y}$(VU) que foram obtidas, no intervalo 450-465 do Apêndice da Tabela C1.

Conclui-se que, devido à pequena dispersão entre os estimadores VUE e $\hat{y}$(VU), observada no gráfico (Figura 4.12), o modelo encontrado (equação 12) surge, portanto, como uma opção alternativa para estimar a vida útil de elementos construtivos (materiais, componentes e grupos de componentes) facilitando, portanto, o processo de planejamento da vida útil.

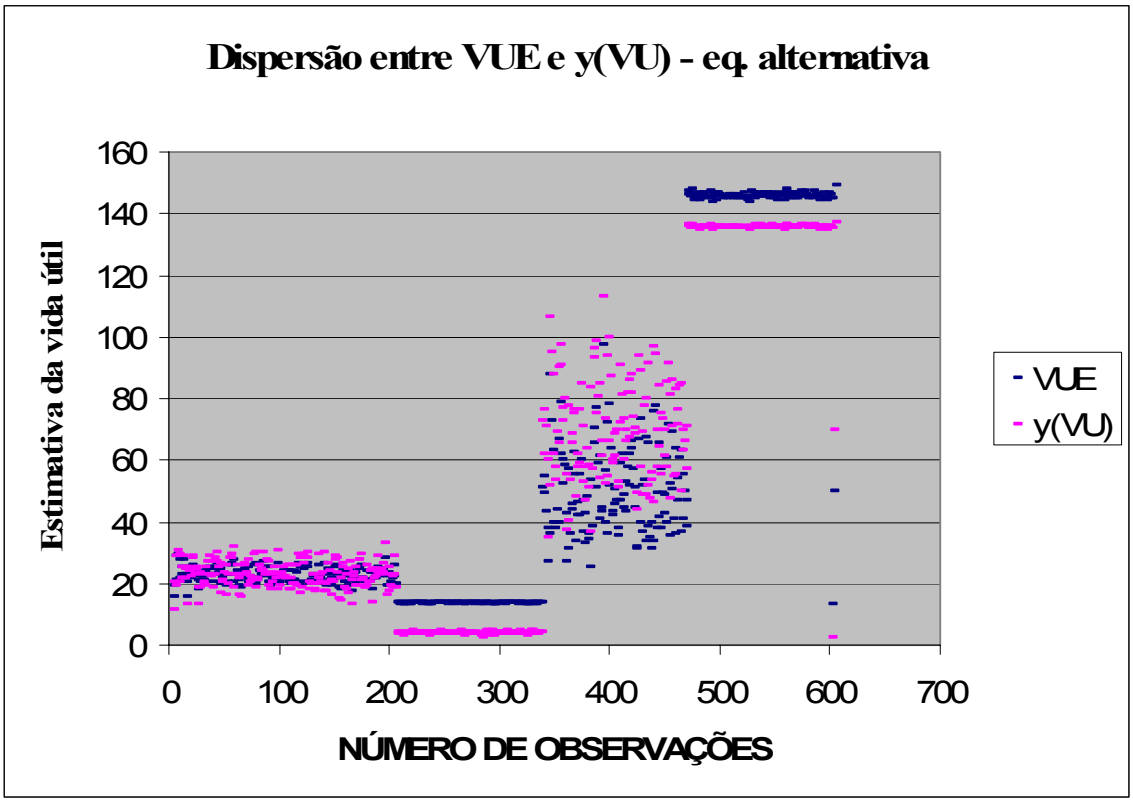

Figura 4.12 – Gráfico de dispersão entre VUE e $\hat{y}$ (VU).

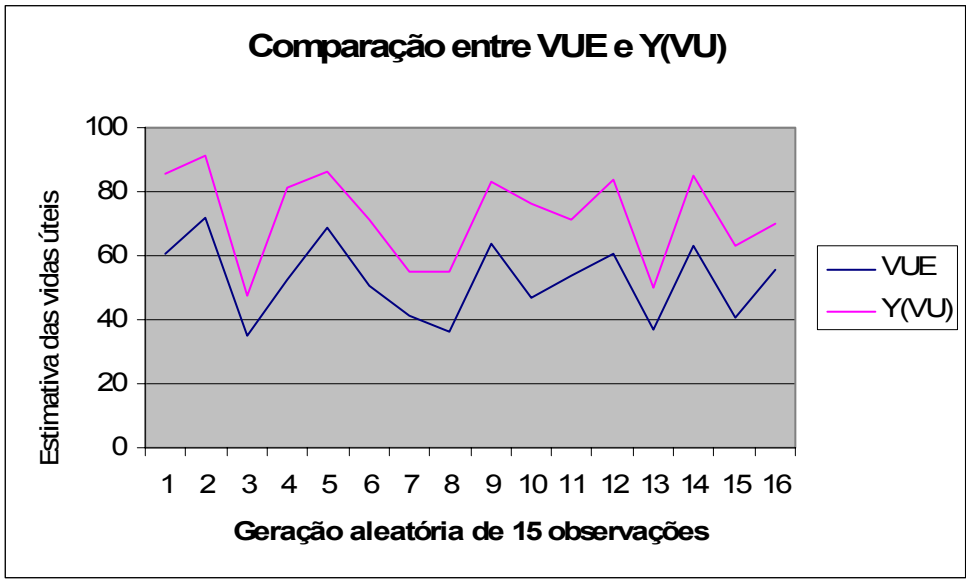

Figura 4.13 – Os resultados representam as estimativas das vidas úteis entre as equações VUE e $\hat{y}$(VU) que foram obtidas, a partir do intervalo 450-465 do Apêndice da Tabela C1.

CAPÍTULO 5

5 Conclusões e sugestões

5.1 Conclusões

Já existem alguns métodos disponíveis para estimar a vida útil de projeto, sendo o Método dos Fatores (MF) simples e fácil de usar, por profissionais especializados. Outro exemplo são as Equações Alternativas ŷ(VU) e ŷ(VUG), baseadas na RLM. A regressão linear múltipla pode dar resultados, cada vez mais precisos, à medida em que o sistema for alimentado com uma modelagem de dados adequados. Surge, portanto, como um modelo alternativo para estimar a vida útil de materiais, componentes, grupos de componentes de diferentes tipos (madeira, concreto) como demonstrados no Capítulo 4, objetivando aprimorar o planejamento da vida útil dos projetos.

É bom salientar que, apesar de os resultados dos estimadores citados, nos exemplos nº2, nº3 e nº4 terem sido tão próximos da vida útil total real, estes estimadores (VUE), ŷ(VU) e ŷ(VUG) devem ser usados, exclusivamente, para estimar a vida útil de serviço ou de utilização de materiais, componentes ou edificações. Daí, a vida útil estimada deve ser maior do que a vida útil de projeto.

No exemplo nº4, foi feito o uso do Método Delphi, em conjunto com o Método dos Fatores para se obter a vida útil média do embasamento e da superestrutura de edifícios do tipo caixão que colapsaram na Região Metropolitana do Recife. A consistência do método foi, mais uma vez, evidenciada, tendo-se em vista, que as edificações que colapsaram, em situações análogas às desse exemplo, como são os casos dos edifícios Aquarela, Ericka, e Bloco B do Conjunto Enseada de Serrambi, todos situados na Região Metropolitana do Recife tinham idades 11, 12 e 10 anos, respectivamente, provando assim, a potencialidade das estimativas.

A vida útil de uma estrutura de concreto é alcançada, quando os efeitos dos agentes agressivos começam a se manifestar, assim como, fissuração do concreto por ataque químico ou manchas, devidas à corrosão das armaduras. A vida útil total corresponde à ruptura e ao colapso parcial ou total da estrutura. A estimativa da vida útil e manutenções necessárias são

aspectos importantes no planejamento da vida útil. O Método dos Fatores e o procedimento alternativo de estimar a vida útil mostram, claramente que as metodologias podem ser de grande valor para os fornecedores, projetistas e construtores, mas depende do conhecimento dos materiais e componentes.

5.2 Sugestões para futuros Trabalhos

É preciso, melhorar o conhecimento do comportamento dos materiais frente aos diversos agentes agressores e criar uma infinidade de conceitos para a faixa de variação inerente a cada fator e não aceitar, apenas, os conceitos: pobre (= 0,8), normal (=1,0) e bom (= 1,2) da ISO 15686. Quando foi feita a geração de dados aleatórios, entre o intervalo padrão 0,8 a 1,2 de cada fator usando-se o programa Minitab, percebeu-se que existe uma infinidade de variações que podem ser conceituadas em diferentes níveis (ver as variáveis X1, X2, X3, X4, X5, X6 e X7 da Tabela B.1 do Apêndice B, usadas para o desenvolvimento da Equação Alternativa). Portanto, cada variação existente pode receber um conceito e como a variação é grande, sugere-se a Pesquisa detalhada dos valores que deverão ser dados a cada conceito. Isso é possível, atente-se para a grande variedade de materiais, qualidade de mão-de-obra, qualidade de projeto, meio ambiente, condições de uso e manutenção de um determinado componente, em uma determinada Região.

As estimativas feitas, através do Método dos Fatores ou da Equação Alternativa, precisam ser incorporadas, nos Trabalhos futuros do planejamento da vida útil, ciclo de vida e avaliação de custos. Há necessidade, portanto, da criação de um Banco de Dados com informações, a respeito do comportamento dos materiais, frente aos diversos agentes agressores, visto que se torna difícil, para os usuários, iniciarem a metodologia sem acesso a tais informações. A avaliação da vida útil baseia-se, sempre, no bom entendimento dos mecanismos de degradação.

A criação do Banco de Dados, com informações de fatores inerentes às condições específicas das diversas Regiões Brasileiras, proporcionaria, aos projetistas, melhores estimativas da vida útil dos materiais ou componentes. Os projetistas teriam, dessa maneira, acesso a informações importantes, referentes às características inerentes aos componentes. Sugere-se, também, a divulgação e a continuidade das Pesquisas dos Métodos dos Fatores do estimador alternativo $\hat{y}(VU)$ ou $\hat{y}(VUG)$, pois o melhor conhecimento desses estimadores proporcionará mais confiabilidade aos projetistas e segurança aos seus usuários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. Carlos. **Concreto - Notas de aula da disciplina AU414 - Estruturas IV - Concreto armado**. Universidade Estadual de Campinas-Faculdade de Engenheiro Civil - Depto. de estruturas, agosto/ 2002.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for Making a Condition Survey of Concrete in Service** -ACI 201.1R-92 (Reapproved 1997).

AMERICAN CONCRETE INSTITURE. **Guide to Durable Concrete, Detroit-USA, ACI Manual of Concrete Practice**, 1991. (ACI 201.2R-77).

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Service-Life Prediction – State of the Art Report**. Jan/ 2000. (ACI 365.1R-00).

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for Concrete Inspection**. Mar/ 2000. (ACI 311.4R-00).

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation**. Feb/ 1994. (ACI 364.1R-94).

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Concrete Repair Guide**. Out/ 2000. (ACI 546R-96).

ANDRADE, J.J.O. Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no Estado de Pernambuco. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

ANDRADE, Jairo José de Oliveira. **Vida útil das Estruturas de Concreto**. *Concreto - Ensino, Pesquisas e Realizações*. São Paulo: Ed. SmartSystem Consulting Ltda., v. 2, Capítulo 31, p. 923-951, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674: **Manutenção de edificações** – Procedimento. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projetos de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, (Brasil), Projeto 02:136.01-001/1: 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522: **Concreto – Determinação do módulo de deformação estática e diagrama – tensão-deformação**. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: **Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação**. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14037: **Manual de operação, uso e manutenção das edificações** – Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931: **Execução de estruturas de concreto - procedimento**. 2003.

BEER, Ferdinand P; JOHNSTON JR, E. Russell. **Resistência dos Materiais, com a colaboração de John T. Dewolf**; tradução e revisão técnica Celso Pinto Morais Pereira. 3ª ed. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1996.

BRANDÃO, Ana Maria da Silva. **Qualidade e Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado** - Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da USP. São Carlos, 1998.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **Guide to durability of buildings and building elements, products and components**. BS 7543:1992.

CASTRO, E.K. **Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado**, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 185p. Dez/ 1994.

CIB (International Council for Research and Innovation in Building and Construction). **Agenda 21 on Sustainable Construction**. CIB Report Publication n.237. Rotterdam: CIB, 1999.

CIB W080/ RILEM 175-SLM. **Service Life Methodologies Prediction of Service Life for Buildings and Components**. HOVDE, Jostein; MOSER, Konrad. State of the Art Reports – Part A: Factor Method for Service Life Prediction – Part B: Engineering Design Methods for Service Life Prediction. Mar/ 2004.

COMMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. **CEB-FIP Model Code 1990**. London: Thomas Telford, 1993.

COLETÂNEA HABITARE. **Construção e Meio Ambiente**. Editores: Fernando Oscar Ruttkay Pereira; Miguel Aloysio Sattres. VOLUME 7 - Programa de Tecnologia da Habitação, 300p. Porto Alegre, 2006.

CRANK, J. The mathematics of diffusion. 2. ed. New York: Oxford University Press, 1975. 414p.

CLIFTON, J.R., and KNAB, L.I, **Service life of concrete**, NUREG/CR-5466, National Bureau of Standards, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C. 1989.

CUNHA, Albino Joaquim Pimenta, LIMA, Nelson Araújo, SOUZA, Vicente Cústódio Moreira de. **Acidentes Estruturais na Construção**, Civil Vol. 1. Editora PINI, São Paulo, jul. 2004.

DRAFT INTERNATIONAL STANDARD. **Building and constructed assets – Service life planning – Part 1: General Principles**. ISO/DIS 15686-8:2006.

DURAR, **Rede Brasileira de Estações de Envelhecimento Natural**. Projeto FINEP, USP-FURG-UFPA. Dezembro, 2006.

FIGUEIREDO, Pazini Enio José; RODRIGUES, Giana Sousa Sena. **Estudo dos Fatores Influentes sobre os Resultados de Módulo de Deformação Estático do Concreto.** 46º Congresso Brasileiro do Concreto - IBRACON - Trabalho CBC0034 - pg. II.956 - II.971, 2003.

GEYER, André Luiz Bottolocci et al. **Importância do Controle de qualidade do Concreto no Estado Fresco.** Universidade Federal de Goiás (UFG) - Informativo Técnico – Tecnologia em Concreto Modernidade a serviço do Cliente. Ano 2 nº2, julho/ 2006.

HELENE, P. R. L. **Vida útil das estruturas de concreto**. In: IV CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES. Anais...Porto Alegre, RS, 1997.

HOOKHAM,C.J. **Rehabilitation of Great Lakes Steel's Number One Dock**, *Paul Klieger Symposium on Performance of Concrete*, SP – 122, D. Whiting, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., pp. 385 -399. (1990).

HOUSE, L.J. **Nondestructive Examination Methods**, NUREG/CR-4731, V.N. Shah and P.E. MacDonald, eds., U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C., pp. 114-122. (1987)

INTERNATIONAL STANDARD. **Building and constructed assets – Service life planning – Part 1: General Principles**. ISO 15686-1: 2000.

INTERNATIONAL STANDARD. **Building and constructed assets – Service life planning – Part 2: Service life prediction procedures**. ISO 15686-2:2001.

INTERNATIONAL STANDARD. **Building and constructed assets – Service life planning – Part 3: Performance audits and reviews**. ISO 15686-3:2002.

INTERNATIONAL STANDARD. **Building and constructed assets – Service life planning – Part 4: Data requirements**. ISO 15686-4:2000.

INTERNATIONAL STANDARD. **Building and constructed assets – Service life planning – Part 5: Life cycle costing**. ISO 15686-5:2000.

KRAUS, Eliane de Castro. **Desenvolvimento de Metodologia para Manutenção de Estruturas de Concreto Armado**; Dissertação de mestrado em estruturas da UnB. Publicação E.DM-004ª/94: Brasília-DF, dezembro 1996.

LIMA, Nelson Araújo. **Empuxo no Vazio Provoca o Colapso da Estrutura de uma Varanda**. *Acidentes Estruturais na Construção Civil*. Rio de Janeiro, Volume 1. Editora PINI, Rio de Janeiro jul/2004.

MARTEINSSON, Björn. **Service Life Estimation in the Design Life of Buildings a Development of the Factor Method – tese de doutorado**. Gävle, Sweden, abr/ 2005.

MARTINS, Gilberto de Andrade. **Estatística Geral e Aplicada**, Editora Atlas, 3ª edição, São Paulo, 2006.

MEHTA, P.K; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto estrutura, propriedades e materiais**, São Paulo: Ed. PINI, 1994.

MONTGOMERY, Douglas C., RUNGER, George C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**, Editora LTC, segunda edição, Rio de Janeiro, 2003.

MURPHY,W.E. **Interpretation of Tests on Strength of Concrete in Structures**, *In Situ/ Nondestructive Testing of Concrete*, SP-82, V. M. Malhotra, ed., American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich, pp. 377-392. (1984).

NETO, Antonio Acácio de Melo; HELENE, Paulo R.L. **Módulo de elasticidade: dosagem e avaliação de modelos de previsão do módulo de elasticidade de concretos** – 44º Congresso Brasileiro de Concreto – Belo Horizonte: Ibracon, 2002.

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. 2ª edição. São Paulo: PINI, 1997.

OLIVEIRA, Romilde Almeida, et al. **Laudo técnico – Causas do Desabamento do Edifício Areia Branca**. CREA – PE, (2005), Recife: PE (Brasil).

PRÖPSTER, H. **Lesiones em los edifícios: Sintomas, causa y reparación**, Barcelona: CEAC, 1981.

REVISTA GALILEU. **Dissecando um furacão**. Editora Globo – edição 160 – out./2004.

SENAI (ES) /CST (Companhia Siderurgica de Tubarão). **Materiais Metálicos e não Metálicos – Mecânica**. *CPM – Programa de Certificação de Pessoal de Manutenção,* (1996).

SILVA, P.F.A.; DJANIKIAN, J.G. Durabilidade do concreto aparente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 3., 1993, São Paulo. Anais... São Paulo, 1993.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira & RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. Ed. PINI – São Paulo - out/ 2005.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em Edifícios, causas, prevenção e recuperação**, Co-edição IPT/EPUSP/PINI, primeira edição, São Paulo, nov/ 2004.

VERÇOZA, Enio José. **Materiais de Construção**. Porto Alegre, Sagra . 1975.

ZARZAR, Fuad C. Júnior, CUNHA, Alberto M.C., MELO, Mauro J.A.Campelo. **Resistência a Compressão e Módulo de Elasticidade**. 48º Congresso Brasileiro de Concreto Rio de Janeiro: Ibracon, 2006.

APÊNDICE A

Discrição das classes de fatores.

Tabela A.1, usada nos diversos exemplos deste Trabalho (exceto exemplo nº1) e desenvolvida pelo Autor e orientador da Dissertação.

Tabela A.1 - Faixa das condições de uso das classes dos fatores.

Classes de fatores			**Condições em uso**			
			Para considerar	**Pobre (0,8)**	**Normal (1,0)**	**Bom (1,2)**
Características de qualidade inerentes	A	Nível de desempenho inerente	Tipo de material e/ ou grau Características de durabilidade, exemplo: grau da resistência à compressão.	15Mpa	30MPa	45Mpa
	B	Nível do projeto	Detalhes da construção	Projeto, executado por técnico ou engenheiro, sem especialização	Projeto, executado por engenheiro calculista de conceito.	Excelente equipe de engenheiros calculistas, vistoriado por terceira pessoa.
	C	Nível de execução do Trabalho	Local de Trabalho	Concreto executado, no local, sem controle.	Concreto com controle de Slump e Resistência à compressão.	Concreto com controles: slump, resistência à compressão e módulo de elasticidade.
Meio ambiente	D	Ambiente interno	Características especiais, exemplo: condensação.	Ambiente interno agressivo influencia de águas servidas, umidade elevada.	Ambiente protegido, mas úmido.	Ambiente protegido e com pouca umidade

Classes de fatores			**Condições em uso**			
			Para considerar	**Pobre (0,8)**	**Normal (1,0)**	**Bom (1,2)**
Meio ambiente	E	Ambiente externo	Características especiais, exemplo: ambiente marinho.	Sem proteção contra vento e chuva	Protegido contra vento e chuva	Protegido contra vento e chuva e distante de ambiente marinho
Condições das operações	F	Condições em uso	Características especiais, exemplo: vandalismo.	Ruim	Normal	Bom
	G	Nível de manutenção dos elementos de fundação.	Cíclico, incluindo qualidade.	Inexistente	Pouca manutenção efetua reparos aparentes.	Segue o manual de manutenção do imóvel construído

APÊNDICE B

Tabela B.1 - Variáveis: X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7 obtidas através da geração de dados aleatórios, parâmetros $\hat{\beta}$ (coeficientes), erro (ε) e com os estimadores VUE e ŷ(VU), obtidos, com a ajuda do Programa Minitab.

1	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	VUE	Coeficientes	ŷ(VU)	ε = VUE-ŷ(VU)
1	0,8321	0,82822	0,80458	0,80576	0,85562	1,00363	0,80185	15,4	-286,032	11,7	3,6647
1	0,86811	0,85295	0,80143	0,84902	0,94887	1,00657	0,80197	19,3	17,899	20,5	-1,1565
1	1,01584	0,91173	0,8033	0,80093	0,86994	1,00905	0,80689	21,1	39,828	19,3	1,8470
1	1,16818	0,95709	0,8075	0,83018	0,943	1,00547	0,80487	28,6	69,772	29,1	-0,5421
1	1,13537	0,99906	0,80182	0,85464	0,9297	1,00871	0,80455	29,3	61,262	30,8	-1,4552
1	1,115	0,97758	0,80317	0,85636	0,9135	1,00792	0,80916	27,9	48,803	29,3	-1,3756
1	1,02029	0,87163	0,80593	0,81138	0,90962	1,00535	0,80975	21,5	38,863	20,6	0,9492
1	1,08956	0,98622	0,8067	0,81486	0,88951	1,004	0,80221	25,3	79,328	25,0	0,2810
1	1,1061	0,8328	0,8065	0,8147	0,92976	1,00836	0,80506	22,8		21,5	1,2989
1	1,14242	0,9342	0,80981	0,80871	0,99581	1,00212	0,8018	28,0		28,8	-0,8554
1	0,93809	0,9885	0,80778	0,81091	0,93805	1,00269	0,80001	22,9		24,4	-1,5241
1	1,09046	0,84988	0,80685	0,85818	0,87798	1,00264	0,80219	22,7		21,7	1,0035
1	0,79908	0,99573	0,8047	0,89337	0,89355	1,00215	0,80552	20,6		25,3	-4,6288
1	0,8	0,85016	0,805	0,81556	0,8594	1,00869	0,80621	15,6		13,4	2,2298
1	1,2	0,86729	0,80207	0,89548	0,82382	1,00875	0,80807	25,1		24,3	0,7780
1	0,99995	0,9237	0,80025	0,81534	0,95289	1,00576	0,80555	23,3		23,9	-0,6697
1	1,00001	0,8376	0,8028	0,89583	0,89262	1,00704	0,80091	21,7		22,4	-0,6698
1	1,00002	0,95623	0,80631	0,88483	0,92781	1,0036	0,80062	25,4		28,2	-2,7804
1	0,99993	0,94693	0,80598	0,8573	0,97522	1,00202	0,80765	25,8		28,9	-3,1213
1	0,9999	0,971	0,80396	0,81037	0,89054	1,00796	0,80585	22,9		22,8	0,0407
1	0,99993	0,94328	0,80217	0,88722	0,86638	1,00597	0,80092	23,4		24,7	-1,2391
1	0,99991	0,93429	0,8039	0,88388	0,88557	1,00013	0,80869	23,8		25,6	-1,7804
1	1,00009	0,97002	0,80929	0,8073	0,81231	1,00494	0,80324	20,8		18,8	1,9366
1	0,99997	0,82864	0,80295	0,82468	0,80422	1,00627	0,80013	17,8		13,2	4,5223
1	0,99997	0,8311	0,80129	0,84694	0,88909	1,0095	0,80015	20,3		18,9	1,3955
1	1,00003	0,85955	0,80056	0,87452	0,91829	1,00218	0,80889	22,4		23,5	-1,0648
1	1,00008	0,86811	0,80275	0,88601	0,88385	1,00753	0,80603	22,2		23,0	-0,8017
1	0,99993	0,91506	0,80074	0,83843	0,8398	1,00504	0,80749	20,9		19,6	1,2893
1	1,00001	0,84443	0,80437	0,87714	0,86616	1,00695	0,80071	20,8		20,3	0,5240
1	0,99994	0,85272	0,80351	0,87678	0,82499	1,00753	0,80784	20,2		19,1	1,0623
1	1,00007	0,93164	0,80875	0,81537	0,97057	1,00061	0,80141	23,9		25,2	-1,2714
1	0,99991	0,92332	0,80119	0,89829	0,92053	1,0091	0,80091	24,7		27,2	-2,5298
1	1,00002	0,98863	0,8018	0,86263	0,8203	1,00623	0,80561	22,7		23,1	-0,3421
1	1	0,92307	0,80811	0,89783	0,93542	1,0018	0,80961	25,4		28,8	-3,4204
1	1,00009	0,9835	0,80786	0,81639	0,86357	1,00485	0,80325	22,6		22,3	0,2726
1	0,99997	0,9397	0,80676	0,85821	0,93994	1,00505	0,80429	24,7		26,9	-2,1756
1	0,99995	0,84848	0,80694	0,80005	0,92566	1,00246	0,8034	20,4		18,8	1,5779
1	0,99993	0,91262	0,80336	0,81987	0,9329	1,00509	0,80647	22,7		23,1	-0,3317
1	0,99991	0,9709	0,80933	0,87279	0,92932	1,00108	0,80048	25,5		28,2	-2,6965
1	0,99999	0,92575	0,80035	0,89055	0,99774	1,00098	0,80146	26,4		30,3	-3,9011
1	0,99992	0,95813	0,80926	0,89896	0,87921	1,00359	0,80176	24,7		27,1	-2,4206

1	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	VUE	Coeficientes	ŷ(VU)	ε = VUE-ŷ(VU)
1	1,00006	0,88492	0,80159	0,85459	0,97182	1,00037	0,80178	23,6		25,3	-1,6766
1	0,99995	0,94451	0,80342	0,81836	0,98439	1,00763	0,80505	24,8		26,7	-1,9454
1	0,99994	0,87719	0,80981	0,82223	0,82553	1,00714	0,80545	19,6		17,0	2,5558
1	1,00007	0,94316	0,80021	0,84985	0,82563	1,00175	0,80831	21,4		20,7	0,7679
1	0,99995	0,96543	0,80416	0,82049	0,85674	1,00448	0,80195	22,0		21,2	0,8243
1	0,99997	0,90695	0,80747	0,84438	0,90822	1,00846	0,80452	22,8		23,4	-0,6102
1	1,00004	0,82341	0,80982	0,88861	0,9619	1,00641	0,8074	23,2		25,7	-2,5505
1	1,00003	0,88699	0,80091	0,83017	0,80774	1,00069	0,80654	19,2		16,2	2,9996
1	0,99994	0,85686	0,80123	0,84978	0,88595	1,00049	0,80031	20,7		19,6	1,1302
1	1,00001	0,94218	0,80468	0,87593	0,84325	1,00558	0,80308	22,6		23,1	-0,5257
1	0,99991	0,99831	0,80124	0,8602	0,92738	1,00772	0,80578	25,9		28,6	-2,6662
1	0,99996	0,99901	0,80551	0,8578	0,95552	1,00369	0,80044	26,5		29,5	-3,0495
1	0,9999	0,95604	0,80582	0,86132	0,94568	1,00933	0,80906	25,6		28,5	-2,8720
1	1	0,87376	0,80869	0,80451	0,89008	1,00978	0,8016	20,5		18,6	1,8301
1	1,00008	0,96358	0,80262	0,8992	0,98624	1,00379	0,80059	27,6		32,0	-4,4232
1	0,99993	0,99035	0,80285	0,84925	0,83113	1,00612	0,80221	22,6		22,7	-0,0059
1	0,99999	0,92487	0,80415	0,83487	0,9658	1,00727	0,80509	24,3		26,1	-1,7856
1	1,00006	0,98403	0,80493	0,80827	0,87286	1,00844	0,80994	22,8		22,8	0,0447
1	1,00004	0,80867	0,80891	0,87107	0,91864	1,00664	0,80828	21,3		22,0	-0,6548
1	0,99998	0,83416	0,80217	0,84444	0,83888	1,00483	0,80153	19,1		16,4	2,7228
1	0,99995	0,84337	0,8075	0,83801	0,81193	1,00252	0,80737	18,8		15,8	2,9843
1	1,00004	0,82116	0,80928	0,86113	0,94654	1,00147	0,80328	21,8		22,6	-0,8405
1	0,99997	0,83972	0,80236	0,82679	0,99552	1,00083	0,80327	22,3		23,1	-0,8544
1	0,9999	0,90837	0,80676	0,85562	0,939	1,00849	0,80793	24,0		25,9	-1,8761
1	1,00004	0,98597	0,80983	0,8438	0,91455	1,00753	0,80112	24,9		26,7	-1,8044
1	1	0,87411	0,80412	0,84925	0,92537	1,00941	0,80632	22,5		23,2	-0,6869
1	0,99993	0,89721	0,80391	0,82289	0,85668	1,00854	0,80485	20,6		19,0	1,6831
1	1,00002	0,9968	0,80383	0,82519	0,9454	1,00653	0,80918	25,5		27,7	-2,1948
1	1	0,93149	0,80918	0,85749	0,8095	1,00966	0,80505	21,3		20,6	0,7002
1	0,99993	0,88327	0,80984	0,87649	0,86624	1,00179	0,80793	22,0		22,5	-0,5664
1	0,99998	0,96044	0,80317	0,86195	0,8034	1,00659	0,80058	21,5		20,8	0,7254
1	0,99994	0,80445	0,80508	0,8365	0,9682	1,00397	0,80843	21,3		21,7	-0,4372
1	0,9999	0,92509	0,80197	0,89547	0,95686	1,0095	0,80726	25,9		29,5	-3,5918
1	0,99993	0,92323	0,8009	0,88202	0,99091	1,00624	0,80612	26,2		30,0	-3,7550
1	0,99995	0,81661	0,80164	0,85724	0,87091	1,0088	0,80451	19,8		18,4	1,4646
1	0,9999	0,90214	0,80596	0,81367	0,89918	1,00839	0,80813	21,7		21,1	0,6176
1	1,00001	0,81767	0,80038	0,82021	0,97743	1,00644	0,80787	21,3		21,4	-0,0967
1	0,99993	0,89608	0,80315	0,83829	0,9799	1,00776	0,80705	24,0		26,0	-1,9171
1	0,99995	0,91193	0,8068	0,88177	0,86872	1,00205	0,80791	22,8		23,9	-1,1141
1	1,00006	0,99465	0,80391	0,83895	0,87451	1,00443	0,80406	23,7		24,5	-0,7764
1	0,99995	0,95219	0,8085	0,87147	0,85034	1,00415	0,80722	23,1		24,1	-1,0273
1	1,00007	0,9933	0,80466	0,84146	0,98352	1,00319	0,80699	26,8		30,1	-3,3473
1	1,00008	0,87601	0,80739	0,89989	0,85893	1,00952	0,80157	22,1		23,0	-0,8374
1	1,00009	0,9271	0,80619	0,80089	0,93989	1,00745	0,80663	22,9		23,1	-0,2545
1	0,99992	0,98741	0,80266	0,81474	0,9812	1,00442	0,80137	25,5		27,6	-2,1023
1	1,00008	0,98844	0,80226	0,8022	0,99397	1,00257	0,80011	25,4		27,3	-1,9361
1	0,99993	0,90984	0,8063	0,81282	0,85763	1,0095	0,80341	20,7		19,0	1,7619

1	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	VUE	Coeficientes	ŷ(VU)	ε = VUE-ŷ(VU)
1	1,00005	0,82374	0,80578	0,87028	0,8277	1,00894	0,80932	19,5		18,0	1,5032
1	0,99996	0,98822	0,80754	0,82359	0,8199	1,00551	0,80106	21,7		20,7	1,0416
1	1,00001	0,89104	0,80818	0,8843	0,87738	1,00713	0,80304	22,6		23,6	-0,9863
1	0,99999	0,90688	0,80346	0,87786	0,86455	1,00109	0,80636	22,3		22,9	-0,5692
1	0,99994	0,81347	0,80505	0,86863	0,99978	1,00384	0,8062	23,0		25,4	-2,3955
1	0,99999	0,84303	0,80268	0,88821	0,87447	1,00907	0,80267	21,3		21,4	-0,1430
1	0,99993	0,837	0,80776	0,82938	0,87038	1,00635	0,8079	19,8		18,0	1,7922
1	1,00002	0,92655	0,80993	0,89786	0,97347	1,0013	0,80676	26,5		30,7	-4,2127
1	0,99993	0,85717	0,804	0,85931	0,9325	1,00687	0,80063	22,3		22,9	-0,6387
1	0,99995	0,82212	0,80128	0,8465	0,88935	1,0073	0,8074	20,2		19,0	1,1917
1	0,99994	0,91501	0,80739	0,89973	0,83016	1,00526	0,80533	22,3		23,2	-0,8936
1	0,99991	0,97383	0,80681	0,8272	0,91312	1,00778	0,80201	24,0		25,0	-0,9888
1	1,00007	0,96272	0,80192	0,80091	0,90384	1,00728	0,80074	22,5		22,0	0,5344
1	1,0001	0,8943	0,80692	0,89991	0,82571	1,00068	0,80477	21,6		21,9	-0,3519
1	1,00003	0,91096	0,80459	0,87126	0,84959	1,00224	0,80567	21,9		22,0	-0,0819
1	1,00007	0,98166	0,80635	0,89206	0,84992	1,00203	0,8002	24,1		25,8	-1,7123
1	0,9999	0,91898	0,80262	0,84969	0,94932	1,00769	0,80666	24,2		26,0	-1,8237
1	1,00005	0,93777	0,80756	0,80831	0,82948	1,00109	0,80225	20,4		18,1	2,2826
1	0,99999	0,82392	0,8053	0,88663	0,89244	1,00231	0,80329	21,1		21,4	-0,2807
1	0,99992	0,82773	0,80095	0,86419	0,85633	1,0004	0,80159	19,7		17,9	1,7530
1	1,00009	0,86305	0,80922	0,83503	0,88122	1,00849	0,80084	20,8		19,6	1,1683
1	1,00002	0,87935	0,80417	0,85015	0,98656	1,00352	0,80392	23,9		26,0	-2,0761
1	0,99997	0,91352	0,80766	0,86085	0,81159	1,00351	0,80732	20,9		20,0	0,8902
1	1,00009	0,815	0,80892	0,8353	0,90067	1,00504	0,80768	20,1		19,0	1,1062
1	0,99991	0,85426	0,80412	0,89303	0,9502	1,00415	0,80179	23,5		25,7	-2,2412
1	1,00003	0,95824	0,80365	0,88567	0,95185	1,00703	0,80061	26,2		29,5	-3,2911
1	0,99995	0,97905	0,80046	0,87539	0,91047	1,00832	0,80862	25,5		28,1	-2,6414
1	1,00007	0,84839	0,80996	0,83393	0,83643	1,00386	0,80675	19,4		17,1	2,3205
1	1,00001	0,88207	0,80752	0,88685	0,98838	1,00893	0,80162	25,2		28,7	-3,4594
1	1,00009	0,85032	0,80844	0,83524	0,86938	1,00731	0,80501	20,2		18,7	1,4955
1	0,99992	0,92145	0,80765	0,87103	0,93263	1,00951	0,8029	24,5		26,7	-2,2186
1	1,00003	0,93101	0,80877	0,88168	0,97594	1,0008	0,80267	26,0		29,6	-3,5637
1	1,00002	0,97598	0,80248	0,858	0,94611	1,00663	0,8018	25,7		28,2	-2,5328
1	1,00005	0,91329	0,80402	0,88091	0,96515	1,0006	0,80971	25,3		28,5	-3,2356
1	0,99992	0,94988	0,80742	0,86323	0,99002	1,00572	0,80165	26,4		29,9	-3,4897
1	1,00009	0,83846	0,80981	0,84263	0,86008	1,00805	0,80421	19,9		18,3	1,6154
1	0,99993	0,83342	0,80073	0,89745	0,84906	1,0099	0,80648	20,7		20,6	0,1384
1	1,00004	0,85678	0,80042	0,85204	0,88404	1,00385	0,80084	20,8		19,7	1,0430
1	0,99996	0,99452	0,80426	0,83346	0,85105	1,00078	0,8026	22,8		22,7	0,0388
1	1,00004	0,93985	0,80294	0,86322	0,85612	1,00009	0,80766	22,5		22,9	-0,3990
1	0,99998	0,88596	0,80897	0,81995	0,82538	1,00779	0,80543	19,7		17,2	2,5178
1	1	0,88671	0,80139	0,80298	0,88397	1,00275	0,80245	20,3		18,1	2,2370
1	1,00005	0,83173	0,80403	0,83223	0,92217	1,00036	0,80413	20,6		19,7	0,8950
1	1,00009	0,92415	0,80779	0,87485	0,98372	1,00454	0,80265	25,9		29,4	-3,4495
1	0,99996	0,96779	0,80081	0,82187	0,85775	1,00756	0,80396	22,1		21,4	0,6984
1	1,00008	0,91666	0,80384	0,82909	0,85763	1,0087	0,80524	21,3		20,2	1,0914

1	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	VUE	Coeficientes	ŷ(VU)	ε = VUE-ŷ(VU)
1	1,00006	0,80146	0,80731	0,88862	0,93905	1,00702	0,80159	21,8		23,1	-1,3149
1	1,00007	0,90114	0,80713	0,82154	0,94445	1,00413	0,80471	22,8		23,4	-0,5527
1	0,99996	0,91289	0,80705	0,80698	0,83611	1,0042	0,80139	20,0		17,4	2,6261
1	0,9999	0,9768	0,8065	0,8525	0,9761	1,0059	0,8076	26,6		30,1	-3,4347
1	0,99993	0,80462	0,80181	0,85598	0,90443	1,00306	0,80886	20,3		19,6	0,6795
1	0,99998	0,81405	0,80545	0,85671	0,85458	1,00563	0,80337	19,4		17,5	1,9025
1	1,00004	0,98461	0,80217	0,80427	0,96197	1,0032	0,80579	24,7		26,2	-1,4799
1	1	0,8538	0,80767	0,81438	0,93636	1,00495	0,80522	21,3		20,7	0,5312
1	1,00003	0,97219	0,80908	0,85706	0,83832	1,00861	0,8099	23,1		23,9	-0,8186
1	0,99995	0,86268	0,80327	0,83376	0,8109	1,0093	0,80971	19,1		16,4	2,7637
1	0,99992	0,8939	0,80974	0,86339	0,85554	1,00234	0,80377	21,5		21,3	0,2097
1	1,00002	0,82088	0,80479	0,85681	0,90491	1,00517	0,80779	20,8		20,5	0,2860
1	1,0001	0,9727	0,8082	0,8541	0,9626	1,0031	0,8045	26,1		29,1	-3,0208
1	0,99994	0,96162	0,80518	0,89651	0,88886	1,00634	0,80443	25,0		27,6	-2,5963
1	1,00003	0,94007	0,80279	0,88734	0,94037	1,00082	0,80058	25,2		28,0	-2,7483
1	0,9999	0,94704	0,8057	0,87849	0,83098	1,0049	0,80835	22,6		23,3	-0,7284
1	1,00003	0,8487	0,80096	0,80298	0,84915	1,00164	0,80705	18,7		15,1	3,5993
1	0,99991	0,91876	0,80836	0,88567	0,80168	1,00899	0,80779	21,5		21,5	-0,0454
1	1,00003	0,83584	0,80865	0,82775	0,80683	1,00297	0,80217	18,2		14,3	3,8826
1	1,00006	0,89189	0,80062	0,87421	0,95532	1,00974	0,80584	24,3		26,6	-2,3331
1	1,00008	0,93764	0,80193	0,87262	0,88831	1,00256	0,80985	23,7		25,2	-1,5181
1	0,99997	0,86845	0,80702	0,84051	0,8495	1,00513	0,80832	20,3		18,9	1,4317
1	1,00006	0,96189	0,80753	0,81764	0,80194	1,00421	0,80023	20,5		18,3	2,2102
1	1,00007	0,98491	0,8089	0,82863	0,85041	1,00424	0,80883	22,8		23,0	-0,1884
1	0,9999	0,80933	0,80094	0,87311	0,98081	1,00183	0,80925	22,5		24,5	-1,9676
1	0,99994	0,83786	0,80144	0,84331	0,82869	1,00733	0,80946	19,1		16,6	2,5106
1	1,00002	0,87135	0,80511	0,88317	0,96111	1,00456	0,80822	24,2		26,9	-2,7361
1	1,00001	0,81591	0,80383	0,82787	0,80892	1,00081	0,80327	17,7		13,3	4,3957
1	0,99999	0,9661	0,804	0,8574	0,8107	1,00753	0,80165	21,8		21,3	0,5227
1	0,99999	0,89654	0,80838	0,86025	0,86782	1,00341	0,80809	21,9		22,1	-0,1934
1	1,00007	0,83476	0,80589	0,85319	0,96056	1,00384	0,80803	22,4		23,6	-1,2403
1	0,99994	0,85915	0,80651	0,82873	0,89003	1,00203	0,80689	20,7		19,5	1,1474
1	1,00004	0,86999	0,8084	0,86728	0,94073	1,00901	0,80706	23,4		25,2	-1,8345
1	1,00007	0,94397	0,80136	0,84464	0,81069	1,00951	0,80121	20,9		19,5	1,4726
1	1	0,98244	0,80483	0,83747	0,95737	1,00238	0,80292	25,5		27,8	-2,3159
1	0,99993	0,89544	0,80013	0,88806	0,96324	1,00109	0,80828	24,8		27,8	-2,9997
1	1,0001	0,98944	0,80962	0,82416	0,81813	1,00949	0,80211	21,9		21,0	0,8269
1	1,0001	0,96405	0,80401	0,89288	0,93063	1,00272	0,80613	26,0		29,4	-3,3634
1	1,00001	0,94819	0,80435	0,85105	0,83638	1,00121	0,80424	21,9		21,4	0,4403
1	0,99998	0,87143	0,80178	0,82298	0,88108	1,00744	0,80497	20,5		18,9	1,6012
1	1,00003	0,9793	0,80031	0,81288	0,80763	1,00019	0,80347	20,7		18,5	2,1434
1	1,00005	0,88143	0,80853	0,88042	0,8067	1,0068	0,80171	20,4		19,4	1,0115
1	1,00006	0,94268	0,80098	0,80346	0,98275	1,00803	0,80701	24,3		25,7	-1,4237
1	1,00002	0,89585	0,80557	0,8698	0,82344	1,00901	0,8039	21,0		20,2	0,7533
1	0,99998	0,9376	0,80223	0,80076	0,96083	1,00279	0,80301	23,3		23,8	-0,5026
1	1,00009	0,89076	0,80344	0,87732	0,83461	1,00019	0,80311	21,0		20,5	0,5876

1	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	VUE	Coeficientes	ŷ(VU)	ε = VUE-ŷ(VU)
1	1,00005	0,94946	0,80412	0,82003	0,93846	1,00499	0,80433	23,7		24,7	-0,9388
1	0,99992	0,80264	0,80971	0,82631	0,82079	1,00682	0,80388	17,8		13,9	3,9317
1	1	0,96481	0,80077	0,87469	0,8003	1,00165	0,80384	21,8		21,5	0,2717
1	1,00006	0,86065	0,80259	0,8934	0,8565	1,00994	0,80977	21,6		22,2	-0,5474
1	0,99995	0,87332	0,80199	0,88901	0,9242	1,00364	0,80051	23,1		24,7	-1,5628
1	0,99999	0,98374	0,8014	0,83148	0,86925	1,00194	0,80938	23,1		23,5	-0,3634
1	1,00003	0,91535	0,80055	0,88894	0,97036	1,00368	0,80584	25,6		28,9	-3,3636
1	0,99996	0,91917	0,80422	0,89968	0,82819	1,0065	0,80569	22,3		23,2	-0,8192
1	0,99999	0,85335	0,80095	0,85862	0,95844	1,00762	0,80464	22,8		24,1	-1,3015
1	1,00007	0,96428	0,80495	0,86183	0,8732	1,00171	0,80575	23,6		24,7	-1,1215
1	1,00003	0,86463	0,80147	0,84	0,95753	1,00884	0,80318	22,6		23,3	-0,7534
1	0,99992	0,97662	0,80002	0,87702	0,89408	1,00853	0,80088	24,7		26,7	-1,9292
1	0,99997	0,99644	0,8011	0,88933	0,98734	1,00321	0,80621	28,3		33,1	-4,7125
1	1,0001	0,85655	0,80291	0,80798	0,8564	1,0064	0,80685	19,3		16,4	2,9080
1	0,99999	0,89137	0,80767	0,8346	0,92789	1,00121	0,80301	22,4		22,7	-0,3335
1	1	0,81979	0,80527	0,85156	0,85914	1,00332	0,80125	19,4		17,4	2,0603
1	1,00003	0,99389	0,80328	0,89841	0,80649	1,00938	0,80477	23,5		25,0	-1,4690
1	1,00001	0,87489	0,80553	0,82141	0,88921	1,00444	0,80076	20,7		19,2	1,5100
1	0,99999	0,84106	0,8024	0,87311	0,83639	1,00555	0,80198	19,9		18,4	1,5169
1	0,99993	0,82051	0,80435	0,82598	0,98591	1,00328	0,80278	21,6		22,1	-0,4139
1	1,0001	0,96613	0,80022	0,87594	0,94049	1,00915	0,80598	25,9		28,9	-2,9930
1	0,99997	0,83608	0,80056	0,85819	0,94852	1,00195	0,80972	22,1		23,1	-0,9587
1	0,99999	0,88256	0,80056	0,87244	0,81367	1,00071	0,80232	20,1		18,6	1,5665
1	1,00004	0,80417	0,80488	0,80172	0,80632	0,80789	0,80189	13,6		3,5	10,0247
1	1,00005	0,80289	0,80818	0,8007	0,80855	0,80898	0,8038	13,7		3,9	9,7097
1	1,00009	0,80275	0,80239	0,80017	0,8081	0,80113	0,80618	13,5		3,4	10,0818
1	0,99996	0,80587	0,80202	0,80671	0,80388	0,80818	0,80833	13,7		4,1	9,5850
1	0,99999	0,80004	0,80917	0,80385	0,80771	0,80448	0,80189	13,6		3,7	9,8283
1	1,00005	0,80442	0,80362	0,80011	0,80031	0,80397	0,80675	13,4		3,3	10,1317
1	0,99999	0,80045	0,80156	0,80395	0,80825	0,80486	0,80458	13,5		3,5	10,0245
1	1,00008	0,80355	0,80451	0,80266	0,80154	0,8089	0,80411	13,5		3,5	10,0084
1	0,99997	0,80803	0,80817	0,80176	0,80666	0,80175	0,80026	13,5		3,6	9,9857
1	0,99993	0,8069	0,8091	0,80967	0,80324	0,80827	0,80253	13,8		4,3	9,4374
1	0,99993	0,80198	0,80996	0,80361	0,80379	0,80788	0,80462	13,6		4,0	9,6333
1	1,00004	0,80803	0,80405	0,80279	0,80492	0,80228	0,80201	13,5		3,4	10,0932
1	0,99999	0,80285	0,80351	0,80248	0,80796	0,80071	0,80549	13,5		3,5	9,9741
1	0,99999	0,80736	0,8034	0,80387	0,8083	0,80038	0,8059	13,6		3,8	9,7856
1	1,00008	0,80571	0,80596	0,80901	0,80949	0,80199	0,80697	13,8		4,4	9,3208
1	0,99991	0,80863	0,80915	0,80502	0,80792	0,80277	0,80767	13,8		4,5	9,2520
1	1,00004	0,80312	0,80755	0,80563	0,80317	0,80363	0,80509	13,6		3,8	9,7285
1	0,99998	0,80672	0,80643	0,80506	0,80485	0,80045	0,80454	13,6		3,8	9,7811
1	0,99991	0,8083	0,8016	0,80035	0,80744	0,80932	0,80889	13,7		4,0	9,6600
1	1	0,80851	0,80504	0,80603	0,80621	0,80706	0,80134	13,7		3,9	9,7819
1	0,99996	0,80899	0,80796	0,805	0,80124	0,80725	0,80318	13,7		4,0	9,7018
1	0,99999	0,80064	0,80595	0,80585	0,80783	0,80757	0,80385	13,6		3,9	9,7025
1	1,00005	0,80103	0,80174	0,80669	0,80359	0,80667	0,80206	13,5		3,3	10,1454
1	1,00004	0,80516	0,80342	0,80894	0,80452	0,80328	0,80959	13,7		4,3	9,4362

1	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	VUE	Coeficientes	ŷ(VU)	ε = VUE-ŷ(VU)
1	1,00001	0,80745	0,80836	0,80268	0,80367	0,80373	0,80065	13,5		3,6	9,9764
1	1,00002	0,80977	0,80206	0,80529	0,80695	0,80154	0,80855	13,7		4,1	9,5899
1	0,99991	0,80295	0,80711	0,80658	0,80465	0,80674	0,80699	13,7		4,2	9,4799
1	0,99998	0,80024	0,80889	0,80184	0,80066	0,80068	0,80944	13,5		3,7	9,7654
1	0,99995	0,80297	0,80413	0,80912	0,80347	0,80509	0,80874	13,7		4,2	9,4886
1	0,9999	0,80477	0,80004	0,80324	0,80022	0,80031	0,80422	13,3		2,9	10,4179
1	1,00001	0,80526	0,80368	0,80292	0,80331	0,80363	0,80453	13,5		3,5	10,0355
1	1,00009	0,80156	0,80909	0,80475	0,80597	0,80135	0,80153	13,5		3,6	9,9038
1	0,99992	0,80785	0,80296	0,80083	0,80557	0,80911	0,80645	13,7		3,9	9,7939
1	0,99998	0,80569	0,80666	0,80325	0,80304	0,80971	0,80514	13,7		4,0	9,6895
1	0,99998	0,80251	0,8026	0,80421	0,80604	0,80166	0,80884	13,5		3,8	9,7850
1	0,99996	0,80014	0,8043	0,80949	0,80904	0,8063	0,80522	13,7		4,1	9,5431
1	0,99992	0,80625	0,80932	0,80955	0,80029	0,8079	0,80225	13,7		4,1	9,5648
1	1,00001	0,80386	0,8032	0,80073	0,80939	0,80922	0,80898	13,7		4,1	9,5943
1	1	0,80184	0,80751	0,80487	0,80101	0,80379	0,80729	13,5		3,8	9,7210
1	1,0001	0,80995	0,80425	0,80919	0,8023	0,80922	0,80933	13,8		4,6	9,2304
1	1,00006	0,80882	0,80399	0,8	0,80636	0,80415	0,80518	13,6		3,7	9,9165
1	1,00006	0,80438	0,80955	0,80675	0,80371	0,80398	0,80576	13,7		4,2	9,4777
1	1,00006	0,80904	0,80715	0,80485	0,80465	0,80042	0,80613	13,6		4,0	9,6063
1	0,99995	0,80941	0,80019	0,80287	0,80671	0,80728	0,80449	13,6		3,7	9,9399
1	1,0001	0,80716	0,80226	0,80947	0,80416	0,80419	0,80024	13,6		3,6	10,0040
1	0,9999	0,8091	0,80334	0,80956	0,80719	0,80562	0,80074	13,7		4,0	9,7393
1	0,99995	0,80293	0,80021	0,80445	0,80064	0,8045	0,80909	13,5		3,5	9,9851
1	1,00006	0,80305	0,80099	0,80982	0,80721	0,80336	0,80891	13,7		4,1	9,5293
1	1,00008	0,80312	0,80926	0,80848	0,80081	0,80024	0,80446	13,5		3,8	9,6997
1	1,00003	0,80831	0,80681	0,80621	0,80749	0,80604	0,8004	13,7		4,0	9,7253
1	1,00007	0,80576	0,80609	0,80144	0,80872	0,80291	0,80089	13,5		3,5	10,0316
1	0,99996	0,80817	0,80338	0,80648	0,80165	0,80716	0,80433	13,6		3,8	9,8135
1	1,00002	0,80328	0,801	0,80219	0,80101	0,80542	0,80912	13,5		3,5	10,0014
1	0,99998	0,80513	0,80259	0,80486	0,80528	0,80934	0,80958	13,7		4,2	9,5061
1	1,00009	0,80664	0,80353	0,80405	0,80277	0,80422	0,80624	13,6		3,7	9,8578
1	1,00001	0,80946	0,80217	0,8029	0,80103	0,80454	0,80623	13,5		3,6	9,9654
1	1,00006	0,80915	0,80491	0,80023	0,80279	0,80826	0,80696	13,6		3,9	9,7632
1	1,00005	0,80931	0,80462	0,80537	0,80058	0,80749	0,80257	13,6		3,7	9,9074
1	1,00005	0,80983	0,80905	0,80835	0,80664	0,80409	0,8073	13,9		4,7	9,1178
1	1,00009	0,80757	0,80822	0,80861	0,80396	0,80834	0,8031	13,8		4,3	9,4546
1	0,99991	0,80831	0,80791	0,80766	0,805	0,80549	0,80292	13,7		4,2	9,5376
1	1,00006	0,80055	0,80256	0,80681	0,80556	0,80215	0,80343	13,5		3,4	10,0590
1	1,00004	0,80303	0,80058	0,80443	0,80361	0,80847	0,80251	13,5		3,3	10,1934
1	1	0,80757	0,80904	0,80443	0,80211	0,80443	0,80642	13,7		4,1	9,5340
1	0,99993	0,80994	0,80164	0,80338	0,80332	0,80919	0,80385	13,6		3,7	9,9350
1	1,00009	0,80167	0,8006	0,80975	0,80874	0,80644	0,8055	13,7		4,0	9,6807
1	0,99994	0,80577	0,80826	0,80765	0,80456	0,80695	0,80384	13,7		4,2	9,5021
1	1,00006	0,80085	0,80846	0,8088	0,80859	0,80893	0,80503	13,8		4,5	9,3069
1	0,99999	0,80369	0,80855	0,80086	0,80376	0,80668	0,80476	13,6		3,8	9,8094
1	0,99993	0,80414	0,80855	0,80769	0,80486	0,80798	0,80075	13,7		4,0	9,6819
1	1,0001	0,80069	0,8064	0,80647	0,80385	0,80499	0,80123	13,5		3,5	9,9970

1	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	VUE	Coeficientes	ŷ(VU)	ε = VUE-ŷ(VU)
1	0,99999	0,80277	0,80795	0,805	0,80811	0,80339	0,80648	13,7		4,2	9,5046
1	0,99998	0,80816	0,80217	0,80487	0,80857	0,80597	0,80338	13,7		3,8	9,8145
1	1,00003	0,80782	0,80348	0,80723	0,80451	0,80261	0,80017	13,5		3,5	10,0514
1	1,00004	0,80052	0,80425	0,80893	0,80155	0,80743	0,80482	13,6		3,8	9,8010
1	0,99999	0,80268	0,80622	0,8008	0,80373	0,80818	0,80753	13,6		3,8	9,7531
1	1,00008	0,80234	0,8011	0,80221	0,80823	0,80905	0,80082	13,5		3,3	10,2255
1	0,99995	0,80794	0,80343	0,80363	0,8028	0,80432	0,80643	13,6		3,7	9,8380
1	1,00003	0,8056	0,80016	0,80064	0,80063	0,80393	0,80092	13,3		2,7	10,6209
1	0,9999	0,80455	0,80562	0,80753	0,80465	0,80613	0,80401	13,6		4,0	9,6789
1	1,00008	0,80347	0,80666	0,8052	0,80021	0,80801	0,80731	13,6		4,0	9,6452
1	1,00005	0,80957	0,8095	0,80461	0,80901	0,80977	0,80697	13,9		4,9	9,0873
1	1,00009	0,8091	0,80278	0,80132	0,80544	0,80588	0,80229	13,6		3,5	10,0875
1	1,00002	0,80908	0,80643	0,8012	0,80712	0,8013	0,80262	13,6		3,6	9,9269
1	0,99992	0,8036	0,80395	0,80453	0,8058	0,80156	0,80754	13,6		3,8	9,7656
1	0,99991	0,8086	0,80239	0,8024	0,80165	0,80156	0,80008	13,4		3,0	10,4273
1	0,99999	0,80115	0,8022	0,802	0,80494	0,80526	0,8054	13,5		3,3	10,1066
1	0,9999	0,80832	0,80798	0,80674	0,80384	0,80942	0,80718	13,8		4,6	9,2602
1	0,99997	0,80438	0,80174	0,80221	0,80779	0,80597	0,80003	13,5		3,2	10,2758
1	0,99995	0,80539	0,80119	0,80724	0,80661	0,80064	0,80269	13,5		3,5	10,0470
1	1,00001	0,80622	0,80029	0,80288	0,8092	0,80037	0,80564	13,5		3,5	10,0078
1	1,00002	0,80297	0,80721	0,80367	0,80981	0,80574	0,80106	13,6		3,8	9,8296
1	0,99999	0,80415	0,80442	0,80934	0,80917	0,80132	0,8099	13,7		4,5	9,2652
1	0,99995	0,80632	0,80153	0,80833	0,80057	0,80858	0,80669	13,6		3,9	9,7281
1	0,99997	0,80658	0,8083	0,80169	0,80171	0,80436	0,80776	13,6		4,0	9,6477
1	0,99991	0,80522	0,80827	0,80564	0,80679	0,80384	0,80835	13,7		4,4	9,3190
1	0,99991	0,80895	0,80701	0,80332	0,8023	0,80688	0,80201	13,6		3,7	9,8751
1	1,00001	0,80209	0,80565	0,80933	0,80801	0,80956	0,80075	13,7		4,0	9,6745
1	0,99996	0,80191	0,8032	0,80148	0,80145	0,80447	0,80877	13,5		3,5	9,9775
1	1,00001	0,80739	0,8098	0,80615	0,80766	0,80461	0,80736	13,8		4,6	9,1836
1	1	0,80346	0,80213	0,80914	0,80377	0,80553	0,80499	13,6		3,8	9,7970
1	0,99994	0,8047	0,80659	0,80151	0,80864	0,80236	0,80689	13,6		4,0	9,6666
1	1,00009	0,80672	0,80456	0,80893	0,80436	0,80685	0,80417	13,7		4,1	9,6064
1	1,00007	0,80046	0,80992	0,80145	0,80362	0,80886	0,80983	13,7		4,3	9,4235
1	1,00003	0,80032	0,8024	0,80936	0,80983	0,80593	0,80836	13,7		4,3	9,4320
1	0,99998	0,80833	0,80819	0,80214	0,80025	0,80341	0,80523	13,6		3,7	9,8187
1	1	0,80472	0,80769	0,80482	0,80832	0,8046	0,80353	13,7		4,0	9,6323
1	0,99994	0,80324	0,80001	0,80918	0,80466	0,80335	0,80648	13,6		3,7	9,8387
1	1,00003	0,80775	0,80012	0,80408	0,80655	0,80872	0,80174	13,6		3,5	10,0726
1	1,00003	0,80662	0,80536	0,80535	0,80955	0,80805	0,80563	13,8		4,3	9,4428
1	1,00008	0,80509	0,80656	0,809	0,80095	0,80265	0,80084	13,5		3,6	9,9433
1	0,99999	0,80777	0,80735	0,80292	0,80758	0,80745	0,80763	13,8		4,4	9,3705
1	0,99991	0,80685	0,80537	0,80543	0,8091	0,80535	0,80923	13,8		4,5	9,2828
1	0,99991	0,80572	0,80065	0,81	0,80596	0,80486	0,80055	13,6		3,6	10,0071
1	1,00001	0,80289	0,80968	0,80782	0,80281	0,80147	0,80327	13,6		3,9	9,6965
1	1,00003	0,80316	0,80292	0,80738	0,80989	0,80642	0,80884	13,8		4,4	9,3853
1	0,99999	0,80392	0,80726	0,80546	0,8094	0,80595	0,8047	13,7		4,2	9,5083
1	0,99999	0,8004	0,80855	0,80216	0,80581	0,80355	0,80463	13,5		3,7	9,8380

1	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	VUE	Coeficientes	ŷ(VU)	ε = VUE-ŷ(VU)
1	0,99993	0,80659	0,80295	0,8009	0,80469	0,80403	0,80307	13,5		3,3	10,1715
1	0,99996	0,8004	0,80361	0,80354	0,80996	0,80227	0,80454	13,5		3,6	9,9397
1	0,99995	0,80112	0,80801	0,80105	0,80547	0,80194	0,80346	13,5		3,4	10,0193
1	1,00006	0,80863	0,80598	0,8015	0,8094	0,80016	0,80176	13,6		3,6	9,9529
1	0,99992	0,80571	0,8099	0,80914	0,80856	0,80077	0,80578	13,8		4,5	9,2378
1	0,99998	0,80541	0,80949	0,80416	0,80462	0,80867	0,80088	13,7		3,9	9,7446
1	0,99991	0,80753	0,80797	0,80768	0,80857	0,80534	0,8057	13,8		4,6	9,2687
1	0,99991	0,80155	0,80458	0,80404	0,80207	0,80574	0,80297	13,5		3,3	10,1149
1	1,00008	0,80523	0,80855	0,80674	0,80486	0,80136	0,80368	13,6		4,0	9,6616
1	0,99994	0,80103	0,80276	0,80018	0,80166	0,80591	0,80816	13,4		3,4	10,0788
1	1,00009	0,80585	0,80652	0,80868	0,80513	0,80762	0,80222	13,7		4,1	9,6137
1	0,99998	0,80997	0,8037	0,80172	0,80457	0,80614	0,80511	13,6		3,8	9,8478
1	1,00006	0,80767	0,80954	0,80059	0,80752	0,80994	0,80679	13,8		4,5	9,3593
1	1	0,80795	0,80917	0,80023	0,80796	0,8024	0,80869	13,7		4,3	9,4212
1	1	1,13408	0,90694	1,10314	0,99834	0,86556	1,03712	50,8		72,5	-21,6850
1	1,00005	1,16932	0,91309	0,83546	1,09927	1,12392	0,89974	49,6		62,0	-12,4491
1	1,00005	1,00029	0,94617	1,15688	0,9736	1,00453	1,02102	54,7		76,1	-21,4750
1	1,00005	0,84269	1,13579	0,86341	0,83624	1,12826	1,11817	43,6		70,9	-27,3383
1	0,99991	0,94161	0,94834	0,91869	1,05738	0,81464	1,07376	37,9		60,3	-22,3232
1	0,99999	1,03207	0,8543	0,82962	0,89538	0,89505	0,92102	27,0		34,9	-7,9514
1	1,00005	1,18367	1,17923	1,16873	1,18931	0,8822	1,02665	87,9		106,7	-18,7903
1	0,99993	0,82081	0,84329	0,88788	1,11492	1,07041	0,98534	36,1		52,0	-15,8320
1	0,99995	1,01116	1,0146	1,18661	0,92489	1,12844	1,14252	72,6		95,2	-22,6714
1	1,00007	0,92849	1,10625	0,91767	0,90299	0,93054	1,00151	39,7		61,9	-22,2682
1	1,00003	1,00869	1,13171	1,1575	0,85568	1,06461	1,04451	62,9		87,9	-25,0413
1	0,9999	0,81138	0,98926	0,91411	1,1304	1,07987	0,84845	38,0		53,6	-15,6517
1	1,00005	0,88538	1,02643	0,95835	0,89965	1,06354	0,94668	39,4		57,8	-18,3473
1	1,00007	0,92752	0,97757	1,00863	0,89067	0,9479	1,13305	43,7		69,0	-25,2501
1	1,00004	0,88011	1,02549	0,91307	0,9272	0,90507	1,14646	39,6		65,8	-26,1343
1	0,99993	1,18861	1,04171	1,17237	1,02289	0,85238	1,05065	66,5		90,1	-23,6187
1	1,00006	0,8347	1,10864	1,072	1,17105	0,96174	1,10959	62,0		90,7	-28,6978
1	1,00004	1,16586	1,17992	0,96246	1,10054	1,00967	1,06878	78,6		97,3	-18,7001
1	0,99995	1,01205	1,03209	0,9836	1,0338	1,1712	0,96268	59,9		76,8	-16,9050
1	1,00006	1,18882	0,92324	0,96259	0,87874	1,01079	1,11218	52,2		73,0	-20,8101
1	1,00009	0,85466	1,14405	1,15223	1,10695	1,13205	0,82573	58,3		79,8	-21,5462
1	0,99998	1,10929	0,96491	0,90253	1,04342	0,99262	0,84988	42,5		55,6	-13,0632
1	0,9999	0,89993	0,89647	1,05861	0,91914	0,84809	0,81226	27,0		37,4	-10,3248
1	0,99995	1,17557	1,09548	0,98664	0,82835	1,07755	1,0037	56,9		77,5	-20,5749
1	0,99998	1,08874	0,93512	0,81037	0,83084	1,06602	0,85616	31,3		40,0	-8,7322
1	0,9999	0,98287	1,06261	0,8703	0,9306	0,92107	0,92911	36,2		53,4	-17,1938
1	0,99998	0,98533	0,89126	1,03234	0,82658	1,15602	1,05932	45,9		65,8	-19,9557
1	0,99995	0,81045	1,06851	0,85618	1,05533	1,04656	1,07391	44,0		68,5	-24,5468
1	1,00003	1,16042	0,91655	0,89005	1,10314	1,18805	1,00502	62,3		76,3	-13,9484
1	0,99997	0,87705	1,15375	1,01376	1,14269	1,16144	0,81689	55,6		75,1	-19,5026
1	1,00003	0,81661	0,92904	0,81518	1,01458	1,12336	0,95909	33,8		48,4	-14,6038
1	1,00005	0,96447	0,955	0,81223	1,15711	1,12383	0,94667	46,1		61,9	-15,8644
1	1,00006	0,90958	0,81652	0,96245	0,98985	1,18486	0,99843	41,9		57,6	-15,7311

1	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	VUE	Coeficientes	ŷ(VU)	ε = VUE-ŷ(VU)
1	1	1,10534	1,00062	0,95355	1,12519	0,82653	0,85733	42,0		59,2	-17,1218
1	1,00002	0,86858	1,13618	1,11872	1,0288	1,16553	0,84013	55,6		76,4	-20,8094
1	0,99997	0,9367	0,86936	1,10117	1,15314	0,99341	1,16732	60,0		84,8	-24,8218
1	0,99996	0,89575	1,12225	0,97763	1,00788	0,95103	0,99354	46,8		70,7	-23,9042
1	0,99998	1,01004	0,94599	1,14014	0,87978	0,90692	0,83929	36,5		52,7	-16,2307
1	0,99997	1,05216	1,06126	0,87663	0,92276	1,08371	0,87274	42,7		57,9	-15,1913
1	0,99993	0,83563	0,96165	0,8149	1,15998	0,99921	0,87628	33,3		47,1	-13,8696
1	0,99999	1,08328	1,02613	0,99125	0,89303	1,1134	0,8748	47,9		63,6	-15,6614
1	0,99994	0,82482	0,93253	0,98054	1,00545	0,89058	1,06784	36,1		58,2	-22,1849
1	1,00009	0,84738	1,08553	0,83447	1,16943	0,93754	0,82047	34,5		51,1	-16,5449
1	1,00001	0,86203	0,81931	1,01022	0,82091	0,90856	0,95619	25,4		36,5	-11,0358
1	1,00001	0,93665	1,03981	1,03797	1,12452	0,81773	1,15533	53,7		83,6	-29,9193
1	0,99999	1,01162	0,94205	1,00682	0,89041	0,92226	0,98351	38,7		56,9	-18,1361
1	1,00004	1,02538	1,13231	1,10188	0,86876	1,01968	1,15784	65,6		93,1	-27,4764
1	1,00009	1,16255	1,14099	1,07054	0,95213	0,90678	1,14957	70,5		96,3	-25,7877
1	1,0001	0,85052	1,04617	1,02416	0,99429	1,08127	1,04517	51,2		74,9	-23,7319
1	1,00007	1,08656	1,09229	1,14017	0,94419	1,06203	1,13264	76,9		98,4	-21,5561
1	1,00008	1,03516	1,18709	1,13153	0,92348	1,0528	0,87491	59,1		80,6	-21,4883
1	1,00007	1,18356	1,03772	1,15779	0,96221	0,87007	1,03201	61,4		85,0	-23,5450
1	1,00002	0,99286	0,99023	0,83519	1,12169	1,07829	0,82813	41,1		54,0	-12,8841
1	0,99992	1,11065	1,00802	1,14066	0,86821	0,87144	0,92684	44,8		66,1	-21,3018
1	0,99991	0,90544	0,87068	1,16605	0,94485	1,06642	0,93041	43,1		61,5	-18,3887
1	1,00007	0,95267	1,0517	1,1687	1,18348	1,18723	1,18707	97,7		112,9	-15,1934
1	0,9999	1,04087	0,99322	0,91378	0,96546	1,02983	0,84268	39,6		52,6	-13,0171
1	0,99995	1,12144	1,12707	0,97624	1,04853	1,0471	0,83647	56,7		73,2	-16,5388
1	0,99996	0,95674	0,83586	1,08886	1,04268	0,81911	0,9715	36,1		54,8	-18,6595
1	1,00001	1,05678	1,08934	0,97848	1,0096	1,08537	1,16751	72,1		94,0	-21,9195
1	0,99992	1,05758	1,10295	1,12126	1,16191	0,93286	1,10046	78,0		99,9	-21,8920
1	0,99995	1,13022	0,90293	1,16947	0,87768	1,18667	0,82832	51,5		66,2	-14,7061
1	1,00005	1,16875	1,14326	0,8728	0,90907	1,0555	1,13824	63,7		87,3	-23,6447
1	1,00004	0,8333	0,89237	0,94611	1,12258	1,12322	0,94587	42,0		58,8	-16,7949
1	1,00006	1,07641	1,1226	0,87962	1,0255	0,9632	0,82981	43,6		60,3	-16,6964
1	1,00003	0,96094	1,0894	1,00048	1,13301	1,02006	0,83287	50,4		68,4	-18,0382
1	0,99991	1,0337	0,92949	0,88227	1,09903	1,01776	0,96026	45,5		61,3	-15,7809
1	1,00009	1,03243	0,95927	1,13844	0,81599	0,99459	1,02644	47,0		69,6	-22,5965
1	1,00003	1,11718	0,81438	0,82436	1,17693	0,87551	0,98373	38,0		53,2	-15,1719
1	0,99998	0,83115	0,92373	0,97446	1,18641	0,93408	0,857	35,5		51,3	-15,7769
1	0,99994	1,01291	0,96095	1,06299	0,85076	0,94482	1,12969	47,0		72,2	-25,2563
1	0,99999	1,1138	1,08606	1,18637	0,83066	0,85182	1,16689	59,2		90,9	-31,6488
1	0,99999	1,1689	1,14236	0,82563	0,99893	1,09811	1,02329	61,9		81,3	-19,4340
1	1,00002	1,03193	1,01692	0,98446	0,88099	1,13947	0,86263	44,7		59,9	-15,2071
1	0,99997	0,88097	1,01563	1,1506	0,86646	1,05576	1,03157	48,6		73,5	-24,8801
1	0,99997	1,03172	0,9031	1,18244	1,10357	1,01256	0,85553	52,7		69,5	-16,8226
1	1,00008	0,99318	0,83659	1,13526	0,84417	1,00314	1,08942	43,5		65,9	-22,4344
1	1,00008	1,12877	1,18319	0,8924	1,11112	0,86866	1,00185	57,6		81,5	-23,8797
1	1,00003	1,02175	1,01452	1,05397	0,84433	1,15084	1,16418	61,8		86,2	-24,4017
1	1,00001	1,17175	0,87009	1,10982	0,91425	1,07143	0,93237	51,7		67,5	-15,7830

1	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	VUE	Coeficientes	ŷ(VU)	ε = VUE-ŷ(VU)
1	0,99998	1,03401	1,0589	1,05186	1,07676	1,16057	0,91947	66,2		82,0	-15,7971
1	0,99995	1,12459	1,13603	1,06885	1,14045	0,82076	0,99661	63,7		88,0	-24,3236
1	0,99991	1,16713	1,11496	0,91958	0,88362	1,17186	0,92169	57,1		74,3	-17,1607
1	1,00005	1,01369	0,93227	0,82325	1,15227	1,0631	1,06938	51,0		70,1	-19,1425
1	0,99995	0,93179	1,02641	1,11262	0,97509	0,86619	0,99411	44,7		68,9	-24,1932
1	1,00001	0,87494	0,81846	0,89635	0,96454	0,94149	1,09786	32,0		49,5	-17,4876
1	1	0,9169	0,91119	0,85183	1,16458	0,86025	0,87267	31,1		43,6	-12,5299
1	1,00005	0,93047	1,18323	0,86154	1,12769	1,05411	1,18186	66,6		94,0	-27,3861
1	0,99991	1,13856	0,86136	1,15721	1,05349	1,14766	1,07165	73,5		89,2	-15,7149
1	0,99999	1,06967	0,8716	0,83969	1,15419	0,86117	1,02513	39,9		57,8	-17,9573
1	1,00008	1,08124	1,00643	0,85892	0,95864	1,01157	0,81512	36,9		48,5	-11,5875
1	1,00002	1,18302	0,84656	0,81314	1,10733	1,05515	1,08935	51,8		69,3	-17,5021
1	1,00001	0,98451	1,1112	1,08341	1,0749	0,87873	0,95696	53,6		77,5	-23,9360
1	1,0001	0,96862	0,9387	0,83059	0,83407	1,06799	1,00768	33,9		49,0	-15,0753
1	0,99994	1,14006	1,01246	0,99736	1,15827	1,12156	0,89704	67,1		80,3	-13,2158
1	1,00007	1,03268	0,9081	0,90794	0,93013	1,05568	0,9226	38,6		51,6	-13,0183
1	0,99995	1,11652	0,97645	1,09346	1,07222	0,86671	1,18508	65,6		91,5	-25,8311
1	1,00001	0,95877	1,0197	0,8215	0,99076	1,01819	0,85811	34,8		47,5	-12,7581
1	0,99993	0,83032	0,83907	0,9516	0,89592	0,89367	1,17439	31,2		53,4	-22,2254
1	0,99992	0,95743	1,02181	0,91023	0,82108	1,16244	0,93082	39,6		56,1	-16,5880
1	0,99992	0,93811	0,81236	0,98798	0,95714	0,98254	0,94831	33,6		46,6	-12,9867
1	0,99991	1,01208	0,97018	1,03992	1,18526	1,05162	1,18943	75,7		96,6	-20,9570
1	1,00006	1,18579	0,97724	0,95389	1,11461	1,07978	1,16529	77,5		94,5	-17,0001
1	1,00008	1,10641	1,02819	1,18872	0,86216	0,96827	0,87622	49,5		69,7	-20,2495
1	0,99991	0,83891	0,86792	1,06336	0,9374	1,0086	1,02986	37,7		57,6	-19,9293
1	1,00003	1,09962	1,15486	1,16819	0,97717	1,09114	0,83271	65,9		84,0	-18,0981
1	1,00007	0,84586	1,14772	0,96752	0,99014	0,96214	0,93307	41,7		64,6	-22,8913
1	0,9999	0,82883	1,02866	0,96122	0,94166	1,07976	0,90638	37,8		55,4	-17,5948
1	1,00002	1,14623	1,0722	1,0436	1,10492	0,91996	0,87436	57,0		75,3	-18,3022
1	1,00007	1,15358	0,92876	1,08509	0,87027	0,87847	1,1072	49,2		73,5	-24,3263
1	1,00008	1,02953	0,93006	0,83783	1,16464	0,95921	1,08814	48,8		69,5	-20,7633
1	0,99999	1,03203	0,8276	1,04284	1,15286	0,85046	0,9764	42,6		61,4	-18,7368
1	1,00002	0,81294	0,87139	0,91314	1,02449	1,15662	1,03138	39,5		57,7	-18,2218
1	1,00006	0,96417	1,12149	1,13245	0,82516	1,16673	1,03134	60,8		85,3	-24,5249
1	0,99991	1,0806	1,07918	0,95991	1,0164	1,12922	1,11846	71,8		91,2	-19,3766
1	0,99993	1,13892	0,84329	1,04592	0,94204	0,87681	0,85059	35,3		47,7	-12,3792
1	0,99994	0,83877	1,07449	1,02931	1,08128	0,92318	1,1283	52,2		81,5	-29,2146
1	1,00004	1,13493	0,98861	1,04431	1,01241	1,09656	1,06006	68,9		86,1	-17,1909
1	0,99997	1,16764	0,94451	0,90721	0,88699	1,02865	1,10943	50,6		71,1	-20,4853
1	1,00003	1,14648	0,89232	0,89795	0,95009	0,99934	0,94391	41,2		54,9	-13,7165
1	0,99991	0,97836	0,99966	0,88078	0,82572	0,97807	1,03761	36,1		55,2	-19,0681
1	1,00005	1,07817	1,1116	1,08799	1,1104	0,97433	0,90673	64,0		83,0	-19,0445
1	1,00004	0,84212	1,15905	0,92884	0,96048	0,96844	1,11494	47,0		76,1	-29,1234
1	0,99991	1,05085	0,82325	1,10314	1,13071	1,02259	0,97995	54,1		71,4	-17,3376
1	1,00006	0,88834	1,0145	0,99941	1,16593	1,06239	1,09161	60,9		84,0	-23,1453
1	1,00008	1,11321	0,86252	0,98861	0,96847	0,89994	0,8922	36,9		50,0	-13,0549
1	0,99992	0,91935	1,0172	1,17368	1,08417	1,06306	0,99835	63,1		84,8	-21,6362

1	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	VUE	Coeficientes	ŷ(VU)	ε = VUE-ŷ(VU)
1	1,00006	0,82148	1,06668	1,15867	0,86091	1,05385	0,88406	40,7		63,1	-22,3745
1	0,99999	1,1618	0,89719	0,99276	1,03841	1,08087	0,95525	55,5		70,0	-14,5442
1	0,99991	1,09235	1,10688	0,87476	0,92346	1,14994	0,88657	49,8		66,3	-16,4940
1	1,00003	1,02871	1,07991	0,83602	1,14698	0,84863	1,0438	47,2		71,2	-23,9802
1	0,99993	0,88488	0,86131	1,00855	1,00709	0,9762	1,02515	38,7		57,4	-18,6675
1	1,00001	1,1964	1,19715	1,19777	1,19984	1,19899	1,19335	147,3		136,2	11,0173
1	1,00007	1,19871	1,19657	1,19381	1,19065	1,19471	1,19881	146,0		135,9	10,1415
1	0,99996	1,1945	1,19353	1,19992	1,19639	1,19528	1,19204	145,8		135,6	10,1730
1	1,0001	1,19774	1,19265	1,19597	1,19762	1,19575	1,19912	146,7		136,1	10,6053
1	1,00003	1,19886	1,1998	1,19986	1,1933	1,19967	1,19554	147,7		136,5	11,1620
1	1,00009	1,19295	1,19716	1,19635	1,19031	1,19174	1,19233	144,5		135,2	9,3131
1	0,99996	1,19119	1,19275	1,19287	1,19915	1,19517	1,19146	144,7		135,1	9,6035
1	1,00003	1,19319	1,19085	1,19846	1,19368	1,1907	1,19683	144,8		135,4	9,4731
1	0,99997	1,19916	1,1909	1,19556	1,19927	1,19416	1,19316	145,9		135,5	10,3196
1	1,00003	1,19477	1,19942	1,19087	1,19813	1,198	1,19359	146,2		135,8	10,3813
1	0,9999	1,19589	1,19091	1,19303	1,1996	1,19087	1,1907	144,5		135,0	9,5391
1	1,00003	1,19522	1,19752	1,19716	1,1955	1,19734	1,19443	146,5		136,0	10,4927
1	0,9999	1,19392	1,19054	1,19774	1,19399	1,19844	1,1909	145,0		135,2	9,8683
1	1	1,19715	1,1988	1,19508	1,19112	1,19997	1,19701	146,7		136,1	10,5950
1	1,0001	1,19887	1,19655	1,19537	1,1911	1,19562	1,19835	146,3		136,0	10,3423
1	1,00008	1,19383	1,19006	1,19238	1,19926	1,19731	1,19839	145,8		135,6	10,1424
1	0,99994	1,19076	1,19529	1,19075	1,19785	1,19146	1,19985	145,1		135,6	9,5201
1	1,00005	1,19385	1,196	1,19079	1,19434	1,19676	1,19809	145,6		135,7	9,9371
1	1,00004	1,19933	1,19711	1,19553	1,19148	1,19093	1,19601	145,7		135,7	9,9481
1	1,00008	1,1945	1,1989	1,19931	1,1999	1,19532	1,19101	146,7		136,1	10,6491
1	0,99998	1,19041	1,19973	1,19569	1,19895	1,19196	1,19003	145,2		135,5	9,7303
1	0,99998	1,1993	1,1969	1,19811	1,19944	1,19132	1,19744	147,1		136,4	10,7649
1	1,00008	1,1901	1,19158	1,19304	1,19299	1,19517	1,19084	143,6		134,6	9,0126
1	0,99997	1,19278	1,1973	1,19679	1,1922	1,19378	1,19116	144,9		135,3	9,5737
1	0,9999	1,19983	1,19583	1,19788	1,19091	1,19488	1,19297	145,9		135,7	10,2041
1	0,99995	1,19549	1,19923	1,19273	1,19633	1,19917	1,19605	146,7		136,1	10,6067
1	1	1,19438	1,19371	1,19375	1,19422	1,19207	1,19263	144,5		135,1	9,4092
1	1,00006	1,19985	1,1996	1,19234	1,1985	1,19792	1,1911	146,7		135,9	10,8164
1	0,99999	1,19788	1,19952	1,191	1,19328	1,19373	1,19423	145,6		135,6	9,9621
1	1,00005	1,19927	1,19105	1,19517	1,19951	1,19096	1,19922	146,2		135,9	10,3322
1	0,9999	1,19079	1,19316	1,19939	1,19339	1,19978	1,19569	145,9		135,7	10,1178
1	0,99994	1,19427	1,19513	1,19247	1,19712	1,19838	1,19418	145,8		135,6	10,1858
1	0,99994	1,1954	1,19667	1,19711	1,19531	1,1952	1,19228	145,8		135,7	10,1634
1	0,99995	1,19472	1,19054	1,19502	1,19725	1,19809	1,19155	145,3		135,2	10,0122
1	0,99991	1,19782	1,19242	1,19236	1,19507	1,19375	1,19732	145,4		135,5	9,9246
1	1,00008	1,19188	1,19117	1,19465	1,191	1,19789	1,1977	144,9		135,3	9,5953
1	1,0001	1,19011	1,19894	1,19728	1,19456	1,19903	1,19036	145,6		135,6	10,0563
1	1,00003	1,19836	1,1978	1,19365	1,19623	1,19493	1,19195	146,0		135,7	10,2971
1	0,99993	1,19963	1,19908	1,19033	1,19659	1,19531	1,19119	145,9		135,6	10,2770
1	0,99993	1,19398	1,19145	1,19934	1,1987	1,19656	1,19533	146,2		135,8	10,3986
1	1,00005	1,19151	1,19755	1,19045	1,19899	1,19832	1,19774	146,2		135,9	10,2585
1	0,99991	1,19864	1,191	1,19287	1,19667	1,19657	1,19091	145,2		135,2	10,0263

1	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	VUE	Coeficientes	ŷ(VU)	ε = VUE-ŷ(VU)
1	1,00001	1,19386	1,19893	1,1919	1,19052	1,19903	1,1965	145,7		135,7	9,9928
1	1,00005	1,19069	1,19573	1,1974	1,19089	1,19798	1,197	145,6		135,7	9,8661
1	1,00007	1,19087	1,19623	1,19656	1,19427	1,19312	1,19358	145,0		135,4	9,5596
1	1,00002	1,19643	1,19732	1,19052	1,19322	1,1993	1,19982	146,4		136,0	10,4000
1	1,00001	1,19438	1,19436	1,19337	1,19908	1,19046	1,19723	145,5		135,6	9,8326
1	1,00009	1,19064	1,19431	1,19938	1,19252	1,19686	1,19248	145,2		135,4	9,7478
1	1,00009	1,19702	1,19131	1,19699	1,19665	1,19136	1,19505	145,4		135,5	9,9248
1	1,00006	1,19609	1,19034	1,19939	1,19053	1,19994	1,19175	145,4		135,3	10,0613
1	0,99991	1,19972	1,19767	1,19149	1,19902	1,19778	1,19547	147,0		136,1	10,8496
1	1,00006	1,19616	1,19659	1,19244	1,19018	1,19798	1,1934	145,2		135,4	9,8564
1	0,99993	1,19581	1,19117	1,19291	1,19721	1,1997	1,19273	145,5		135,4	10,1842
1	0,99997	1,19006	1,19725	1,19063	1,19678	1,19134	1,19684	144,7		135,4	9,3475
1	1,00002	1,19448	1,1947	1,19451	1,19595	1,19081	1,19114	144,6		135,1	9,4745
1	0,99993	1,19075	1,1949	1,19285	1,19636	1,19524	1,19623	145,1		135,5	9,6784
1	0,9999	1,19143	1,19719	1,19052	1,19067	1,19463	1,19007	143,7		134,7	8,9892
1	1,00007	1,19717	1,19895	1,19379	1,19967	1,19981	1,19277	147,1		136,1	10,9692
1	1,00006	1,19494	1,19751	1,19908	1,19214	1,19277	1,19087	145,3		135,5	9,8092
1	0,99999	1,19953	1,19753	1,19781	1,19162	1,19309	1,19783	146,5		136,1	10,3875
1	1,00002	1,1974	1,19103	1,19983	1,19095	1,19268	1,19241	144,9		135,2	9,6852
1	0,99997	1,19081	1,19875	1,19658	1,19889	1,19639	1,19799	146,7		136,3	10,4720
1	0,99996	1,19606	1,19348	1,19602	1,19224	1,19263	1,19786	145,4		135,6	9,7871
1	1,00004	1,19425	1,1919	1,1931	1,19807	1,19983	1,19799	146,2		135,8	10,4182
1	1,0001	1,19927	1,19458	1,19982	1,19684	1,19229	1,19356	146,4		135,9	10,4812
1	0,99997	1,19651	1,1964	1,19936	1,19244	1,19573	1,19935	146,8		136,3	10,5184
1	0,99995	1,19782	1,19178	1,19447	1,19799	1,19192	1,19808	145,8		135,7	10,1172
1	0,99994	1,19393	1,19546	1,1957	1,19166	1,19455	1,19771	145,5		135,7	9,8043
1	1,00008	1,19009	1,19227	1,19918	1,19362	1,1981	1,19389	145,3		135,4	9,8255
1	0,99999	1,19866	1,19589	1,19333	1,1939	1,19906	1,19812	146,7		136,1	10,6356
1	0,99996	1,19213	1,19237	1,19378	1,19905	1,19167	1,19895	145,3		135,6	9,7337
1	1,00003	1,19235	1,19707	1,19831	1,19983	1,19887	1,19004	146,4		135,8	10,5561
1	1,00001	1,19073	1,19269	1,19968	1,1984	1,19456	1,19155	145,3		135,4	9,8767
1	1,00002	1,19722	1,19957	1,19789	1,19873	1,19588	1,19256	147,1		136,2	10,8443
1	1,0001	1,19184	1,19476	1,19453	1,19332	1,19524	1,19809	145,3		135,6	9,7407
1	0,99999	1,19868	1,19277	1,19168	1,19369	1,1976	1,19024	145,0		135,1	9,8998
1	0,99995	1,1967	1,19916	1,195	1,19275	1,19662	1,19984	146,8		136,3	10,5285
1	0,99995	1,19389	1,1961	1,19157	1,19694	1,19561	1,19061	145,0		135,2	9,7577
1	0,99998	1,19944	1,19507	1,19249	1,1927	1,19372	1,19492	145,4		135,5	9,9345
1	0,99999	1,19831	1,19481	1,1923	1,19956	1,19273	1,19473	145,9		135,7	10,2285
1	1,00006	1,19752	1,19478	1,19001	1,19773	1,19353	1,19697	145,7		135,6	10,0600
1	1,00006	1,19256	1,19169	1,19895	1,19113	1,1915	1,19586	144,6		135,3	9,3388
1	0,99993	1,19548	1,19772	1,19614	1,19409	1,1973	1,19735	146,6		136,1	10,4681
1	0,99995	1,19196	1,19471	1,19623	1,19498	1,19959	1,19821	146,3		136,0	10,3195
1	0,99994	1,19665	1,19162	1,19821	1,19124	1,19582	1,1943	145,3		135,4	9,9085
1	0,99993	1,19604	1,1917	1,1997	1,19232	1,19662	1,19567	145,8		135,7	10,1548
1	1,00002	1,19295	1,19872	1,19698	1,19359	1,19207	1,19726	145,8		135,9	9,8967
1	1,00007	1,19098	1,19013	1,19688	1,1999	1,19937	1,19834	146,3		135,9	10,3992
1	1,00008	1,19649	1,19181	1,19025	1,19326	1,19511	1,1935	144,5		135,0	9,4998

1	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	VUE	Coeficientes	ŷ(VU)	ε = VUE-ŷ(VU)
1	0,99993	1,19586	1,19617	1,19955	1,19996	1,19851	1,19442	147,4		136,3	11,0350
1	1,00006	1,19986	1,19561	1,1978	1,19772	1,19977	1,19974	148,1		136,7	11,4215
1	0,99992	1,19142	1,19628	1,19996	1,19606	1,19305	1,19021	145,2		135,5	9,7728
1	0,99993	1,19146	1,19147	1,19388	1,19486	1,19971	1,19972	145,7		135,7	10,0273
1	0,99993	1,19717	1,19074	1,19177	1,19844	1,19758	1,1909	145,2		135,1	10,0402
1	1,00001	1,19844	1,19232	1,19772	1,1952	1,19676	1,19691	146,5		136,0	10,5520
1	1,00009	1,19723	1,19281	1,19945	1,19539	1,19925	1,19525	146,8		136,0	10,7444
1	0,99992	1,19189	1,1945	1,19558	1,19644	1,19788	1,19948	146,3		136,0	10,2785
1	0,9999	1,19279	1,1917	1,19326	1,19495	1,19966	1,19775	145,6		135,6	10,0267
1	0,99992	1,19017	1,19064	1,19496	1,19574	1,19663	1,19543	144,8		135,2	9,5721
1	1,00005	1,1925	1,19695	1,19429	1,19381	1,1977	1,19057	145,1		135,3	9,8080
1	1,00007	1,19969	1,19559	1,19456	1,19888	1,1947	1,19399	146,5		135,9	10,6146
1	1,00001	1,19389	1,1942	1,19889	1,19849	1,19217	1,19369	145,8		135,7	10,0672
1	0,99992	1,19843	1,1984	1,19677	1,1961	1,1989	1,19784	147,6		136,5	11,0916
1	1,00004	1,19119	1,19746	1,19448	1,19215	1,19918	1,19973	146,1		136,0	10,1269
1	0,99991	1,19702	1,19749	1,19582	1,19585	1,19377	1,19732	146,5		136,1	10,3943
1	1,0001	1,1978	1,1963	1,19304	1,19514	1,19013	1,19747	145,6		135,7	9,9007
1	0,99998	1,19639	1,19395	1,19932	1,19511	1,19967	1,19928	147,3		136,4	10,9029
1	1,00003	1,19482	1,19748	1,19294	1,19036	1,19869	1,19607	145,7		135,6	10,0043
1	1,00001	1,19779	1,19697	1,19238	1,19521	1,19541	1,19532	146,0		135,7	10,2369
1	0,99992	1,19857	1,1952	1,19533	1,19332	1,19513	1,19351	145,7		135,6	10,1373
1	1,00004	1,19055	1,19548	1,19449	1,19224	1,19621	1,1967	145,1		135,5	9,6051
1	1,00007	1,19392	1,19332	1,1992	1,19537	1,19287	1,19486	145,6		135,6	9,9308
1	0,99997	1,1953	1,19131	1,19917	1,19331	1,19323	1,19221	144,9		135,2	9,6920
1	0,99996	1,19259	1,1994	1,19615	1,19307	1,19604	1,19405	145,8		135,8	9,9999
1	0,99992	1,19896	1,19589	1,19803	1,19902	1,19647	1,19556	147,3		136,3	10,9919
1	0,9999	1,19842	1,19132	1,19422	1,19644	1,19146	1,19605	145,3		135,5	9,8835
1	1,00009	1,19861	1,19308	1,1917	1,19355	1,19881	1,19207	145,4		135,3	10,0913
1	1	1,19646	1,19589	1,19618	1,19623	1,19197	1,19571	145,9		135,8	10,1061
1	0,99992	1,19388	1,1984	1,19683	1,19641	1,19936	1,19225	146,5		135,9	10,5344
1	0,99994	1,19613	1,19181	1,19956	1,19569	1,19533	1,19126	145,6		135,5	10,1120
1	1,0001	1,19766	1,19235	1,19075	1,19384	1,19025	1,19366	144,2		134,9	9,3037
1	1,00004	1,19899	1,19381	1,19895	1,19072	1,19333	1,19149	145,3		135,4	9,9067
1	0,99992	1,19284	1,19244	1,19128	1,19688	1,1975	1,1997	145,7		135,7	9,9961
1	1,00001	1,19934	1,19611	1,19981	1,19332	1,19137	1,1973	146,5		136,1	10,3801
1	0,99992	1,19661	1,19486	1,19314	1,192	1,19211	1,19426	144,7		135,2	9,5133
1	0,99991	1,19714	1,19347	1,1972	1,19575	1,19308	1,19453	145,7		135,6	10,0928
1	1	1,19481	1,19043	1,19527	1,19166	1,19099	1,19522	144,2		135,0	9,2003
1	0,99993	1,19637	1,1965	1,1912	1,19852	1,1904	1,19528	145,4		135,5	9,8366
1	1,00008	1,19174	1,19066	1,19875	1,19863	1,19995	1,19863	146,6		136,1	10,5736
1	0,99994	1,19968	1,19902	1,1912	1,19177	1,19409	1,1901	145,1		135,3	9,8324
1	1	1,19823	1,1905	1,19807	1,19876	1,19745	1,19208	146,2		135,7	10,5686
1	1,00007	1,1929	1,19402	1,19886	1,19759	1,19068	1,19218	145,2		135,4	9,7288
1	1,00008	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	13,1		2,2	10,9550
1	1,00001	1,0003	1,0002	1	1	1	1	50,0		69,7	-19,7236
1	1,0001	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	149,3		137,3	12,0181

APÊNDICE C

Tabela C.1 – Análise de variância ANOVA entre as médias do VUE e ŷ(VU) obtido com a ajuda do programa Microsoft Excel

VUE	**ŷ(VU)**	**Anova: fator único**						
15,3818686	11,7171708							
19,2956405	20,4521822	**RESUMO**						
21,1029666	19,2559594	***Grupo***	***Contagem***	***Soma***	***Média***	***Variância***		
28,59942	29,1415288	Coluna 1	602	32456,6271	53,9146629	2605,09908		
29,323989	30,7792104	Coluna 2	602	32456,8315	53,9150026	2472,88272		
27,9274217	29,3029835							
21,5315305	20,5823472							
25,3027094	25,0217389	**ANOVA**						
22,8411322	21,5422232	***Fonte da variação***	***SQ***	***gl***	***MQ***	***F***	***valor-P***	***F crítico***
27,9621345	28,8175006	Entre grupos	3,4725E-05	1	3,4725E-05	1,3677E-08	0,99990671	3,84920659
22,8527564	24,3768789	Dentro dos grupos	3051867,06	1202	2538,9909			
22,6576737	21,6541476							
20,6298156	25,258659	Total	3051867,06	1203				
15,6030686	13,3733062							
25,0984375	24,3204342							
23,2634219	23,9331238	Onde:						
21,6838024	22,3535667	Sq = Soma dos quadrados						
25,4299605	28,2104009	Gl = Grau de liberdade						
25,817408	28,9387063	Mq = Média quadrática						
22,8779838	22,8372513	F = F calculado						
23,4290544	24,6681266	Valor-P = A probabilidade mínima para rejeitar Ho						
23,7720911	25,5525047	F crítico = F tabelado						
20,7797358	18,8431829							
17,7640736	13,241809							
20,252211	18,8566839							
22,3991769	23,4639593							
22,160753	22,9624137							
20,933661	19,6443164							
20,8037019	20,2796576							
20,1680681	19,1058148							
23,9091853	25,1806165							
24,7164155	27,2462033							
22,7347246	23,0768337							
25,405729	28,8261484							
22,608273	22,3356537							
24,7166129	26,8922034							
20,4171896	18,839297							
22,7252838	23,0569664							
25,5343573	28,2308574							
26,4070851	30,308196							
24,6536029	27,0742275							
23,6271094	25,3037303							
24,7934687	26,7388461							
19,5560002	17,0002128							

VUE	ŷ(VU)	Anova: fator único						
21,4411916	20,6732985							
21,9794634	21,1551217							
22,7819152	23,3921425							
23,1575705	25,7080298							
19,2242166	16,2246596							
20,6917329	19,5615616							
22,6115914	23,1372444							
25,9042364	28,5704487							
26,4941542	29,5436736							
25,6190703	28,4910956							
20,4780536	18,6479626							
27,5610807	31,9842714							
22,6465056	22,6523603							
24,3150167	26,1006045							
22,8226483	22,7779694							
21,2957149	21,9505408							
19,0879896	16,3651516							
18,7518407	15,7675145							
21,7882694	22,6287637							
22,2909782	23,1454055							
23,9841057	25,8602536							
24,8682334	26,6726355							
22,4793206	23,1662064							
20,6348537	18,9517811							
25,4557915	27,6506293							
21,2636004	20,5634485							
21,9769009	22,5433414							
21,5230762	20,7976917							
21,2847921	21,7219653							
25,8991596	29,4910016							
26,2083616	29,96339							
19,8316409	18,3669933							
21,6730077	21,0554422							
21,3299109	21,4266444							
24,0392613	25,9563535							
22,8118921	23,9259698							
23,6907761	24,4671322							
23,1199941	24,1473316							
26,7769839	30,1243083							
22,1204052	22,9577976							
22,862161	23,1166664							
25,4970298	27,599282							
25,3624876	27,2985522							
20,7364576	18,9745373							
19,5218349	18,0186816							
21,7012612	20,6596965							
22,5936688	23,580017							
22,3201688	22,8893603							
23,0121033	25,4075831							
21,2850303	21,4280664							

VUE	ŷ(VU)	Anova: fator único						
19,8391128	18,0469312							
26,4935868	30,706254							
22,2567356	22,8953923							
20,1659791	18,9743027							
22,3346104	23,2282385							
23,9810624	24,9698354							
22,5396512	22,0052912							
21,5934423	21,9453633							
21,9047868	21,986638							
24,0621603	25,7744881							
24,1784511	26,0021501							
20,3902179	18,1076306							
21,1350313	21,4157245							
19,6701367	17,9170873							
20,7543527	19,5860471							
23,9245766	26,0006379							
20,8802219	19,9899738							
20,1328603	19,0267005							
23,4630029	25,7042407							
26,1713438	29,4624553							
25,4628681	28,1042798							
19,4101865	17,0896386							
25,2485816	28,7079457							
20,2404675	18,7449982							
24,4985001	26,7170998							
26,0245864	29,5883105							
25,6574185	28,1902655							
25,2916039	28,5271625							
26,4196079	29,9092616							
19,9480215	18,3325853							
20,706783	20,5683983							
20,7643857	19,7213531							
22,7843002	22,7455185							
22,5244881	22,9234647							
19,6854082	17,1676018							
20,2927576	18,0558007							
20,6433411	19,7483577							
25,9029682	29,3524512							
22,1276048	21,4292487							
21,2800058	20,1886113							
21,792751	23,1076301							
22,8019441	23,3546332							
20,001561	17,3754351							
26,625055	30,0597736							
20,2597506	19,580273							
19,3907494	17,4882022							
24,7000861	26,1799681							
21,2761213	20,7449281							
23,0834384	23,9020629							
19,1432213	16,3795709							

VUE	ŷ(VU)	Anova: fator único						
21,5359692	21,326292							
20,7953637	20,5093904							
26,0783019	29,0991335							
24,9727209	27,5690544							
25,2284085	27,9767004							
22,6211961	23,3496371							
18,7346918	15,1353736							
21,4878455	21,5332504							
18,159369	14,2767485							
24,263664	26,5967388							
23,6634345	25,1814878							
20,3279353	18,896221							
20,4653236	18,2551338							
22,8019936	22,9903505							
22,499947	24,4675307							
19,1306323	16,6200758							
24,1741154	26,9102364							
17,6547564	13,2590916							
21,8036393	21,2809119							
21,934985	22,1284278							
22,3615936	23,6019392							
20,6602818	19,5128592							
23,3643051	25,1988206							
20,9492882	19,4766525							
25,5112241	27,8271135							
24,793932	27,7936097							
21,8701648	21,0432532							
26,0331384	29,39656							
21,8566404	21,4163767							
20,5425064	18,9413526							
20,6750629	18,5316588							
20,4284328	19,4169066							
24,2516921	25,6753831							
20,9635144	20,2102105							
23,3000313	23,8025854							
21,0487551	20,4611671							
23,7480614	24,6868865							
17,8361443	13,9044429							
21,7725886	21,5009195							
21,6144625	22,1618987							
23,115715	24,6785151							
23,1037746	23,4671901							
25,5627577	28,9263986							
22,3319198	23,1510945							
22,8014575	24,1029223							
23,5747593	24,6963027							
22,5822082	23,3356276							
24,7398066	26,6689965							
28,343859	33,0563581							
19,3229627	16,4149534							

VUE	ŷ(VU)	Anova: fator único						
22,411949	22,7454987							
19,4131154	17,3528478							
23,4958494	24,9648574							
20,7015256	19,1915111							
19,871354	18,3544823							
21,6415236	22,0553948							
25,9042345	28,89725							
22,1007453	23,0594791							
20,1346514	18,568186							
13,5538606	3,52919505							
13,6590331	3,94935195							
13,4509336	3,36912871							
13,6902201	4,10519724							
13,5574393	3,72917424							
13,4249646	3,29323315							
13,4987228	3,47424636							
13,5274087	3,51905797							
13,5485806	3,56291465							
13,7697711	4,33236665							
13,636048	4,00273193							
13,5069323	3,41375206							
13,4882695	3,51418884							
13,5925021	3,80693847							
13,7620735	4,44124794							
13,7946261	4,54257616							
13,5762675	3,84780725							
13,5729672	3,79187401							
13,7044358	4,04445854							
13,6770253	3,89512049							
13,6665751	3,9647698							
13,6343861	3,93185814							
13,4685464	3,32310547							
13,6899467	4,2537251							
13,5476709	3,5713047							
13,6767216	4,08683825							
13,6902055	4,21033766							
13,4661013	3,70068009							
13,6649555	4,17639211							
13,316739	2,89886914							
13,493992	3,45845348							
13,5104323	3,60664176							
13,6517734	3,85785308							
13,6650869	3,97563268							
13,5358327	3,75078436							
13,6814649	4,13836344							
13,6988027	4,13402771							
13,6970247	4,1027469							
13,5440485	3,82308458							
13,8494681	4,619114							
13,5813778	3,66484991							

VUE	ŷ(VU)	Anova: fator único						
13,6768473	4,19918448							
13,6445878	4,03824688							
13,6213332	3,68145416							
13,5644182	3,56042394							
13,6985719	3,95928699							
13,4677017	3,48262083							
13,6630415	4,13377881							
13,5456205	3,84587928							
13,695436	3,97012194							
13,5360888	3,50449649							
13,6254668	3,81198646							
13,4720458	3,47067763							
13,7207393	4,2145903							
13,5646015	3,70675706							
13,5441384	3,57875799							
13,6452844	3,88212922							
13,6056001	3,69819369							
13,8668771	4,74912495							
13,7738736	4,31931248							
13,7285931	4,19103883							
13,4565338	3,39751338							
13,4825429	3,28916935							
13,6739523	4,13997111							
13,6271919	3,69221614							
13,6526589	3,97191398							
13,7245998	4,22247802							
13,7877509	4,48087642							
13,5769951	3,76755342							
13,6724274	3,99049814							
13,5000199	3,5030173							
13,668562	4,16397215							
13,6584476	3,8439214							
13,535953	3,48454853							
13,564151	3,76316292							
13,5911505	3,83801329							
13,5011347	3,275597							
13,5808661	3,74284809							
13,303159	2,68224823							
13,6472715	3,9683974							
13,6218205	3,97665076							
13,9386536	4,851311							
13,5532139	3,46573873							
13,5679589	3,64107375							
13,5542485	3,78866765							
13,3811421	2,95381208							
13,4539206	3,34727535							
13,8343102	4,57406157							
13,4729416	3,19713814							
13,5003397	3,45333145							
13,5149254	3,5071295							

VUE	ŷ(VU)	Anova: fator único						
13,6140575	3,78450051							
13,7464315	4,48121139							
13,6391816	3,91112974							
13,6124829	3,96480543							
13,7426623	4,42366543							
13,6125892	3,73745496							
13,6971624	4,02269955							
13,4587895	3,48126111							
13,827164	4,64359452							
13,5894653	3,79243559							
13,6169097	3,95029063							
13,7021308	4,095754							
13,6764306	4,2529059							
13,7110605	4,27903772							
13,5643747	3,74570308							
13,6685726	4,03628298							
13,5531961	3,71454442							
13,5887519	3,51612272							
13,7863612	4,34355751							
13,5241879	3,58088662							
13,7879784	4,4174952							
13,7978254	4,51498555							
13,5663647	3,55927645							
13,5710178	3,8744995							
13,7525141	4,36724184							
13,7194395	4,21114193							
13,5232405	3,68524655							
13,4745593	3,30305694							
13,5095387	3,56988816							
13,4548484	3,43556273							
13,5630055	3,61014368							
13,7722387	4,53444747							
13,6602504	3,91563188							
13,8224575	4,55374406							
13,4526189	3,33769365							
13,6142811	3,95272662							
13,4318698	3,35303029							
13,7095029	4,09576969							
13,6259655	3,77813323							
13,8117729	4,45243144							
13,7140762	4,29289709							
50,8425758	72,5276193							
49,5816698	62,0307894							
54,6704764	76,1455256							
43,5935903	70,9318944							
37,9349119	60,2581012							
26,9953015	34,9467379							
87,8657471	106,656002							
36,1321199	51,9641383							
72,5777331	95,2491555							

VUE	ŷ(VU)	Anova: fator único						
39,6634721	61,9317095							
62,8653628	87,9066562							
37,9917815	53,6434489							
39,446232	57,7935263							
43,7453461	68,9954207							
39,643714	65,7779756							
66,4830234	90,101735							
61,9879759	90,6858099							
78,6217366	97,3218295							
59,8736714	76,7786852							
52,1872648	72,9973818							
58,293258	79,8394297							
42,5162212	55,5794355							
27,03496	37,3597652							
56,913486	77,4883816							
31,2805141	40,0127386							
36,1899809	53,3837533							
45,8825564	65,838297							
43,9681799	68,5149503							
62,346038	76,2944696							
55,6054012	75,1080133							
33,8026128	48,406395							
46,0507516	61,9151828							
41,853908	57,5849903							
42,0446795	59,1664775							
55,6106489	76,4200893							
59,9531507	84,7749583							
46,7941954	70,6983988							
36,4753722	52,7061185							
42,7133476	57,904628							
33,2525651	47,1222083							
47,9201326	63,5815384							
36,0554448	58,2403801							
34,5276165	51,0725153							
25,4421789	36,4779831							
53,6999203	83,6192254							
38,7463715	56,8824927							
65,6121287	93,0885061							
70,4756468	96,2633086							
51,2038002	74,9357403							
76,8510421	98,4071594							
59,1423666	80,6306401							
61,4339769	84,9789658							
41,1239681	54,0080414							
44,771834	66,0736095							
43,085571	61,474253							
97,6584722	112,851888							
39,570604	52,5876634							
56,6566915	73,1955093							
36,1233673	54,782826							

VUE	ŷ(VU)	Anova: fator único						
72,0546646	93,9741615							
77,9962756	99,8882446							
51,4776554	66,1837525							
63,6887164	87,3334227							
41,955503	58,7503648							
43,5636962	60,2601448							
50,4094277	68,447668							
45,5213811	61,302267							
46,9659603	69,5624741							
38,0134998	53,1854391							
35,5262597	51,3031566							
46,9742873	72,2306306							
59,2444809	90,8932552							
61,8744149	81,308436							
44,7313725	59,938487							
48,5724948	73,452563							
52,6610696	69,4836695							
43,5138513	65,9482287							
57,6285574	81,5083047							
61,7964952	86,1981985							
51,6705514	67,4535245							
66,1647633	81,9618768							
63,6893389	88,0129047							
57,0985521	74,2592682							
50,9601573	70,102689							
44,6710728	68,8642595							
31,9970999	49,4846837							
31,1098494	43,6397106							
66,6316256	94,0177632							
73,5157424	89,2306							
39,8838269	57,8410987							
36,9433416	48,5308418							
51,8265803	69,3287228							
53,5669419	77,5029047							
33,8978931	48,9732209							
67,0726714	80,2884894							
38,5697116	51,5880445							
65,6406823	91,4718092							
34,7623418	47,5204403							
31,1671064	53,3925342							
39,5535356	56,1414896							
33,5708042	46,557517							
75,6849207	96,6419442							
77,5167595	94,5168436							
49,4619566	69,7114184							
37,6901969	57,6194592							
65,8586568	83,9567702							
41,7487902	64,6401213							
37,7588151	55,353635							
56,9967897	75,2990143							

VUE	ŷ(VU)	Anova: fator único						
49,2067193	73,5329915							
48,764166	69,5275146							
42,633833	61,3705959							
39,5279462	57,7497592							
60,7959307	85,3208399							
71,8429171	91,2195202							
35,2860748	47,6652824							
52,2377605	81,4523977							
68,9493475	86,1402203							
50,6368391	71,1221407							
41,1652638	54,8817915							
36,0899478	55,1580067							
63,9610989	83,0055637							
47,0128934	76,1362535							
54,0618257	71,3994335							
60,8968709	84,0422113							
36,9094833	49,9643823							
63,1408146	84,7770605							
40,7197651	63,0942928							
55,4734402	70,0176413							
49,7838508	66,2778449							
47,1814999	71,1616756							
38,7324892	57,4000322							
147,2582	136,240942							
146,010748	135,869251							
145,80005	135,627041							
146,700421	136,095141							
147,695236	136,533194							
144,503994	135,19091							
144,696783	135,093302							
144,842489	135,36942							
145,86764	135,548089							
146,190421	135,809167							
144,494488	134,955403							
146,485161	135,992494							
145,044286	135,175944							
146,718869	136,123828							
146,333515	135,99117							
145,763541	135,621169							
145,101172	135,5811							
145,590262	135,653184							
145,656011	135,707941							
146,706705	136,05764							
145,204697	135,474412							
147,131084	136,366144							
143,64361	134,631009							
144,871106	135,297419							
145,868596	135,664541							
146,696566	136,089873							
144,482941	135,073701							

VUE	ŷ(VU)	Anova: fator único						
146,748499	135,932065							
145,55753	135,595387							
146,240706	135,908555							
145,855722	135,737943							
145,784419	135,598619							
145,836105	135,672689							
145,25134	135,239127							
145,437397	135,512759							
144,920046	135,324708							
145,649855	135,593593							
145,964365	135,667294							
145,851003	135,574052							
146,247214	135,848605							
146,165591	135,9071							
145,183084	135,156771							
145,693724	135,700959							
145,572108	135,706006							
144,961312	135,401737							
146,412236	136,012252							
145,468109	135,635474							
145,152178	135,404413							
145,419297	135,494466							
145,370541	135,309227							
146,95371	136,10407							
145,216341	135,359958							
145,535301	135,3511							
144,735026	135,387499							
144,58543	135,110938							
145,147407	135,46898							
143,711729	134,722508							
147,101202	136,132012							
145,284001	135,474815							
146,506633	136,119147							
144,911695	135,226492							
146,748987	136,276997							
145,390044	135,602932							
146,236032	135,817798							
146,39424	135,913001							
146,79622	136,277818							
145,846935	135,729758							
145,475031	135,670697							
145,267016	135,441467							
146,69748	136,061905							
145,346963	135,613242							
146,395891	135,839769							
145,312401	135,435715							
147,056561	136,212276							
145,348517	135,607777							
144,95165	135,051837							
146,827579	136,299083							

VUE	ŷ(VU)	Anova: fator único						
144,954299	135,196571							
145,398677	135,464177							
145,899272	135,670812							
145,677649	135,617693							
144,601972	135,263187							
146,581916	136,113798							
146,28964	135,970114							
145,331691	135,423223							
145,842911	135,688088							
145,797803	135,901082							
146,29456	135,895369							
144,452287	134,952494							
147,365798	136,330756							
148,129284	136,707788							
145,222853	135,450039							
145,725669	135,698408							
145,178046	135,137893							
146,503473	135,951427							
146,763547	136,019195							
146,296346	136,01786							
145,601777	135,57508							
144,810112	135,238034							
145,102237	135,294236							
146,51934	135,904752							
145,767003	135,699802							
147,607929	136,516297							
146,119141	135,992254							
146,479766	136,085451							
145,603118	135,702368							
147,280612	136,377697							
145,651241	135,646962							
145,98165	135,744731							
145,722024	135,584709							
145,08291	135,477834							
145,558195	135,627415							
144,933787	135,241746							
145,756398	135,756533							
147,298559	136,306668							
145,334299	135,450792							
145,350397	135,259056							
145,902198	135,796051							
146,462732	135,928318							
145,56746	135,455446							
144,223583	134,919883							
145,277993	135,371287							
145,66883	135,672697							
146,489611	136,109462							
144,73974	135,22647							
145,734069	135,641267							
144,193958	134,993645							

VUE	ŷ(VU)	Anova: fator único						
145,381907	135,545322							
146,634473	136,060922							
145,088651	135,256223							
146,22338	135,654741							
145,154186	135,425436							
13,1082486	2,15323192							
50,0255033	69,7490818							
149,31413	137,29599							

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo