

**UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO  
PRÓ-REITORIA ACADÊMICA  
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL**



**CELSO MARTINHO DO ESPIRITO SANTO JUNIOR**

**MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL ESTIMADA DE  
PONTES, VIADUTOS E PASSARELAS DE CONCRETO**

**Recife  
2020**

**CELSO MARTINHO DO ESPIRITO SANTO JUNIOR**

**MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL ESTIMADA DE PONTES,  
VIADUTOS E PASSARELAS DE CONCRETO**

Dissertação apresentada à Universidade Católica de Pernambuco, exigida pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Concentração em Tecnologia das Construções.

**Orientador** Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira

**Recife  
2020**

E77m      Espírito Santo Júnior, Celso Martinho do.  
             Método de determinação da vida útil estimada de  
             pontes, viadutos e passarelas de concreto / Celso  
             Martinho do Espírito Santo Júnior, 2020.  
             116 f. : il.

             Orientador: Romilde Almeida de Oliveira.  
             Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de  
             Pernambuco. Programa de Pós-graduação em  
             Engenharia Civil. Mestrado em Engenharia Civil, 2020.

             1. Pontes - Durabilidade. 2. Engenharia de estruturas.  
             3. Concreto - Durabilidade. I. Título.

CDU 624.21/.28

Pollyanna Alves - CRB-4/1002

**ATA DE DEFESA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO ALUNO**

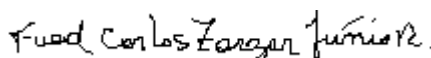
**CELSO MARTINHO DO ESPÍRITO SANTO JÚNIOR**

Aos quinze dias do mês de dezembro do ano de dois mil e vinte, realizou-se, às nove horas, em Recife-PE, por *Google Meet*, remotamente e mediada pelas tecnologias digitais da informação e comunicação, a sessão pública de Defesa da Dissertação **“MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL ESTIMADA DE PONTES, VIADUTOS E PASSARELAS DE CONCRETO”**, apresentada e defendida pelo mestrando CELSO MARTINHO DO ESPÍRITO SANTO JÚNIOR, Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Católica de Pernambuco, e que concluiu os créditos exigidos para obtenção do título de “Mestre em Engenharia Civil”, segundo encaminhamento do Prof. Dr. Joaquim Teodoro Romão de Oliveira, Coordenador do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - Mestrado desta Universidade, e documentação constante nos arquivos da Secretaria de Registros Acadêmicos, desta Pró-reitoria. Os trabalhos foram instalados e coordenados pelo Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira, Presidente da Banca Examinadora, constituída pelos Professores Doutores: Fuad Carlos Zarzar Júnior, da Universidade Católica de Pernambuco, João Manoel Freitas Mota, da Instituto Federal de Pernambuco e Romilde Almeida de Oliveira, da Universidade Católica de Pernambuco, Orientador do mestrando, presentes, remotamente, por videoconferência, em conformidade com a Portaria nº 36 da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES - de 19 de março de 2020. O Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira, como Presidente da Banca Examinadora, solicitou ao mestrando que apresentasse sua Dissertação em ambiente digital. Em seguida, a Banca tendo decidido aceitar a Dissertação passou à arguição pública do mestrando. Encerrados os trabalhos de arguição, os examinadores deram o parecer final sobre a Dissertação, tendo sido o candidato **APROVADO**, por todos os membros da Banca Examinadora e para constar, foi lavrada a presente Ata, que vai assinada, digitalmente, pelos membros da Banca Examinadora.

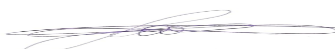
Recife, 15 de dezembro de 2020.



Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira  
Presidente da Banca Examinadora - Orientador



Prof. Dr. Fuad Carlos Zarzar Júnior  
Examinador Interno



Prof. Dr. João Manoel Freitas Mota  
Examinador Externo

Dedico este trabalho a Deus, que me ajudou nesta longa e árdua caminhada, e ao meu filho Lorenzo Câmara Benincasa do Espírito Santo, inspirador da continuidade.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a DEUS, o grande arquiteto do universo.

Ao CNPQ/CAPES, pela oportunidade ao contribuir com a minha formação enquanto bolsista de pós-graduação.

À Universidade Católica de Pernambuco, por congregar tantos saberes no Mestrado de Engenharia Civil e, ao mesmo tempo, acolher alunos e ex-alunos na ampliação do conhecimento.

Ao Professor Dr. Romilde de Oliveira Almeida, orientador da pesquisa, pelos incentivos, disponibilidade e conhecimento transmitido, a quem sou muito grato.

Aos Professores do Mestrado de Engenharia Civil Joaquim Romão, Fernando Artur, Maria da Graças Vasconcelos, Silvio Romero e Eliana Monteiro, pela disponibilidade e disposição em contribuir com o nosso aprendizado.

Aos Professores Antônio Oscar, Paulo Helene, Ênio Pazini Figueiredo, Júlio Timerman e José Afonso Pereira Vitória, pela transferência de conhecimentos realizada através de suas palestras, cursos e conversas.

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, me apoiaram para a realização deste trabalho e, em especial, a duas pessoas que me deram forças para chegar até aqui, as mulheres da minha vida, minha mãe Marcia de Lourdes Benincasa Espirito Santo e minha esposa Diana Patrícia Lopes Câmara do Espirito Santo.

## RESUMO

O Brasil conta com um sistema viário composto por um grande número de Obras de Arte Especiais (OAEs) em concreto (pontes, viadutos e passarelas), que apresentam sérios problemas de degradação em suas estruturas, ocasionados pela falta de um plano de gestão em manutenção. Não se tem o conhecimento do número exato de OAEs que compõe este sistema, tampouco o real estado de conservação destas estruturas, entretanto, há uma demanda crescente da necessidade de intervenções nestas estruturas, a fim de se mantê-las em condições adequadas de uso e operação. Levando em consideração o fato da inexistência de um banco de dados com registros de inspeções e a falta de empenho dos órgãos competentes para mudar esta realidade, na tentativa de colaborar com a sociedade técnica-científica, beneficiando indiretamente a sociedade civil, dissertou-se sobre este tema. Trazendo-se a sugestão da utilização de um método matemático, conhecido como Método dos Fatores (MF), na determinação da Vida Útil Estimada (VUE) de OAEs, pela qual se pode obter uma melhor compreensão do real estado de conservação em que estas estruturas se encontram, possibilitando-se estimar por quanto tempo estas estruturas serão capazes de atender às condições de funcionalidade para as quais foram projetadas. Considerando que o MF é muito pouco difundido na nossa sociedade técnico-científica e acaba sendo pouco utilizado no Brasil, procurou-se construir através da revisão bibliográfica uma conceituação explicativa para uma melhor aplicação tanto do método quanto de sua utilização. Após a realização destes estudos, foi sugerida uma metodologia para a utilização do método na determinação da VUE das OAEs. A metodologia consistiu na orientação da determinação dos valores a serem atribuídos à Vida Útil de Referência (VUR) e aos Fatores Modificantes (FM), quando da utilização do método para a determinação da VUE de OAEs. No estudo do método, foram simulados quatro tipos distintos de cenários, abrangendo vários quadros anômalos, alternando-se os valores atribuídos aos FM e a VUR. Conclui-se que os resultados obtidos para as VUEs variaram de acordo com o previsto e esperado, sendo os FM e a VUR responsáveis por esta variabilidade. Comprovou-se a eficácia do método através de sua aplicação aos quatro cenários, que reproduziram situações prováveis de ocorrer em estruturas reais que estejam em uso e operação.

Palavras-chave: Pontes. Desempenho. Durabilidade. Vida útil. Inspeção. Método dos fatores.

## **ABSTRACT**

Brazil has a road system composed of a large number of Special Engineering Structures in concrete (bridges, viaducts, and walkways), which present serious problems of degradation in their structures, caused by the lack of a maintenance management plan. We do not know the exact number of Special Engineering Structures that make up this system, nor the real state of conservation of these structures, however, there is a growing demand for interventions in these structures, in order to keep them in proper conditions of use and operation. Considering the fact that there is no database with inspection records and the lack of commitment of the competent agencies to change this reality, in an attempt to collaborate with technical-scientific knowledge, indirectly benefiting civil society, this work addresses this issue. Suggesting the use of a mathematical method, known as Method of Factors (MF), in the determination of the Expected Useful Life (EUL) of Special Engineering Structures, through which one can obtain a better understanding of the real state of conservation of these structures, making it possible to estimate how long these structures will be in useful conditions. Considering that MF is not a very widespread method in our technical-scientific academy, and ends up being scarcely used in Brazil, an attempt was made to create, through the bibliographic review, an explanatory concept for a better application of both the method and its use. After conducting these studies, a methodology for using the method in determining the EUL of Special Engineering Structures was suggested. The methodology consisted in defining the values to be attributed to the Reference Useful Life and the MF, when using the method for determining the EUL of Special Engineering Structures. In the study of the method, four different types of scenarios were simulated, covering several anomalous scenarios, alternating the values attributed to MF and EUL. It is concluded that the results obtained for the EULs varied accordingly to the estimated and expected, being the MF and the EUL responsible for this variability. The effectiveness of the method was proven through its application to the four scenarios, which reproduced situations likely to occur in real structures that are in use and operation.

**Keywords:** Bridges. Performance. Durability. Lifespan. Inspection. Method of Factors.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ponte em concreto armado e protendido sobre represa Billings, SP	20
Figura 2 – Divisão estrutural de uma ponte	23
Figura 3 – Gráfico da incidência de manifestações patológicas nas pontes de São Paulo	26
Figura 4 – Organograma das condições que afetam o desempenho	32
Figura 5 – Gráfico dos diferentes desempenhos de uma estrutura, com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos	34
Figura 6 – Organograma estrutural da norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a)	36
Figura 7 – Fluxograma de hipóteses para reconversão de estruturas com desempenho insatisfatório	39
Figura 8 – Fluxograma de inter-relacionamento entre conceitos de durabilidade e desempenho	42
Figura 9 – Gráfico de conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando-se por referência o fenômeno de corrosão das armaduras	44
Figura 10 – Organograma da inter-relação entre as partes da norma ISO 15.686:2011	48
Figura 11 – Organograma do círculo da qualidade para a construção civil	55
Figura 12 – Gráfico do custo das várias estratégias de manutenção	57
Figura 13 – Gráfico de comparação de desempenhos previsíveis para uma estrutura se submetida a programas de manutenção estratégica e se sob manutenção esporádica e reparações	58
Figura 14 – Lei dos Cincos	59
Figura 15 – Representação da evolução dos custos em função da fase da vida da estrutura em que a intervenção é feita	60
Figura 16 – Anexo C (da norma 9452, de Inspeção de Pontes) – Fluxograma de gerenciamento de OAE	63
Figura 17 – Discretização dos cenários	96

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição do sistema estrutural	38
Tabela 2 – Exemplo de VUP que podem ser especificadas	45
Tabela 3 – VUP segundo a norma 15575, de Desempenho	46
Tabela 4 – VUPs mínimas e superiores indicadas pela norma de Desempenho	47
Tabela 5 – Indicação dos valores de desvio em relação a VUR	50
Tabela 6 – Descrição das condições de influência dos fatores modificantes	52
Tabela 7 – Caracterização dos elementos estruturais segundo a relevância	66
Tabela 8 – Nota de classificação da OAE segundo os parâmetros estruturais	67
Tabela 9 – continuação - Nota de classificação da OAE segundo os parâmetros estruturais	68
Tabela 10 – Classificação segundo parâmetros funcionais	69
Tabela 11 – Classificação segundo parâmetros de durabilidade	70
Tabela 12 – continuação - Classificação segundo parâmetros de durabilidade	71
Tabela 13 – Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade	74
Tabela 14 – Modelo de ficha de classificação da OAE	75
Tabela 15 – Valores a ser atribuídos aos Fatores Modificantes (FM)	99

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Análise percentual das causas de problemas patológicos em estruturas de concreto	27
Quadro 2 – Classificações das causas dos processos de deterioração das estruturas de concreto	28
Quadro 3 – Causas intrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto	29
Quadro 4 – Causas extrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto	30
Quadro 5 – Processos físicos de deterioração das estruturas de concreto	31
Quadro 6 – Descrição dos requisitos gerais aplicáveis as estruturas	37
Quadro 7 – Cálculos de VUE dos cenários	95
Quadro 8 – Cálculos de Intervalos de Confiança dos cenários	95

## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

a.C.	Antes de Cristo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
C	Elemento complementar
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EUL	Expected Useful Life (em português Vida Útil Estimada)
FCK	Feature Compression Know (traduzido para o português como Resistência Característica do Concreto à Compressão)
FM	Fatores Modificantes
I	Intermediário (nível de desempenho para edificações)
ISO	International Organization for Standardization
M	Mínimo (nível de desempenho para edificações)
MF	Método dos Fatores (em inglês, Method of Factors)
NBR	Norma Brasileira
OAE	Obra de Arte Especial
P	Elemento principal
S	Superior (nível de desempenho para edificações)
S	Elemento secundário
SE	Sistema Estrutural
Sinaenco	Sindicato Nacional das Empresas de Arquitetura e Engenharia Consultiva
SP2	Telejornal local brasileiro produzido e exibido pela TV Globo São Paulo, cuja pauta é composta por notícias da Região Metropolitana de São Paulo
VU	Vida Útil
VUE	Vida Útil Estimada
VUP	Vida Útil de Projeto
VUR	Vida Útil de Referência

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\mu$	Média aritmética para uma população
$m$	Metro
$S$	Desvio padrão amostral
$t_0$	Idade em que se inicia a corrosão generalizada (em anos)
$t_1$	Fim da vida útil da estrutura (em anos)
$X$	Média aritmética para uma amostra
$\sigma$	Desvio padrão populacional

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS	15
1.2	JUSTIFICATIVA	16
1.3	OBJETIVOS	17
1.3.1	Objetivo geral	17
1.3.2	Objetivos específicos	17
1.4	APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>19</b>
2.1	PONTES	19
2.2	CONCRETO	27
2.3	DESEMPENHO	32
2.4	DURABILIDADE	39
2.5	VIDA ÚTIL	43
2.6	DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL ESTIMADA (VUE) PELO MÉTODO DOS FATORES (MF)	47
2.7	MANUTENÇÃO ESTRUTURAL	54
2.8	ESTRUTURA - A DECISÃO DE RECUPERAR OU NÃO	57
2.9	INSPEÇÃO DE PONTES, VIADUTOS E PASSARELAS DE CONCRETO	61
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>76</b>
3.1	CENÁRIOS	82
3.2	METODOLOGIA SUGERIDA PARA USO NO MÉTODO DOS FATORES (MF)	96
<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SUGERIDA</b>	<b>101</b>
4.1	CENÁRIO 1	102
4.2	CENÁRIO 2	105
4.3	CENÁRIO 3	108
4.4	CENÁRIO 4	111
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS</b>	<b>114</b>
5.1	CONCLUSÕES	114
5.2	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	114
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>115</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O Sistema Viário Brasileiro possui um grande número de Obras de Arte Especiais (OAEs) em concreto – pontes, viadutos e passarelas, que apresentam sérios problemas de degradação em suas estruturas, ocasionados pela falta de manutenção e acometimento de manifestações patológicas. Essas OAEs constituem um acervo público de valor inestimável, dada a sua importância no desenvolvimento socioeconômico do país.

Porém, ao contrário do que se espera, existe uma enorme carência de políticas públicas voltadas para a conservação dessas OAEs, o que acaba gerando uma demanda crescente de manutenção e conservação desse acervo. Na medida em que este trabalho é relevado, deixando-se de ser executado, contribui-se para a diminuição da Vida Útil (VU) dessas estruturas.

A presente dissertação traz a sugestão da utilização de um método matemático, conhecido como Método dos Fatores (MF), na determinação da Vida Útil Estimada (VUE) de OAEs. Através desta determinação se consegue ter uma melhor compreensão do real estado de conservação em que estas estruturas se encontram, possibilitando-se estimar por quanto tempo estas estruturas serão capazes de atender às condições de funcionalidade para a qual foram projetadas. Com este entendimento, passa-se a ter uma maior precisão do passivo gerado ao Estado pela falta da aplicação de políticas públicas apropriadas.

Vale a pena ressaltar que não é somente o real estado de conservação dessas estruturas que é desconhecido, mas também o número exato de OAEs que compõe o Sistema Viário Brasileiro. A falta deste conhecimento gera riscos econômicos ao Estado quando se pensa que a cadeia produtiva nacional depende na sua maior parte do transporte rodoviário, sem falar nos riscos aos quais os usuários estão submetidos caso essas estruturas venham a colapsar.

No ano de 2013, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou a norma 15575, mais conhecida como norma de Desempenho, onde estão descritos requisitos, critérios e métodos de avaliação dos diversos elementos que constituem uma estrutura (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a). Considerou-se que essa norma é o material disponível mais adequado para uso em estudos ligados a estruturas de OAEs, no que se refere à VU, devido ao fato de que até o momento as normas que tratam das OAEs não contemplaram este conceito.

Prolongar a VU de uma estrutura consiste em analisar a influência do ambiente no desempenho da construção ao longo do tempo, observando-se o acometimento de manifestações patológicas a que a estrutura está submetida.

Através da correlação entre os parâmetros utilizados na determinação da Vida Útil de Projeto (VUP), condições de operação e uso da estrutura, nível de degradação natural a que a estrutura está submetida, e qualidade dos materiais e componentes empregados na construção, é possível se obter um mecanismo que possibilita determinar o tempo de VUE de uma estrutura, mantendo-se as condições de funcionalidade para qual foi projetada.

A norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), indica a utilização do Método dos Fatores (MF) na determinação da VUE de estruturas. O MF, quando aplicado sob o nível de função matemática, possibilita a determinação da Vida Útil Estimada VUE de uma estrutura após sua entrada em operação e uso, permitindo-se avaliar o estágio em que se encontram as estruturas sob a ótica do desempenho versus tempo.

## 1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), permite relacionar as variáveis que afetam as construções e que precisam ser consideradas na avaliação do desempenho.

Devido ao baixo grau de investimento dos órgãos governamentais em vistorias e manutenções das OAEs, vê-se necessário cada vez mais aumentar a busca da qualidade de projetos, execução e materiais, a fim de se alcançar um aumento no tempo de Vida Útil (VU) destas estruturas. Diante disto se verifica a necessidade de se ter uma produção de nível de qualidade elevado dessas estruturas, de modo a diminuir a sua crescente demanda de manutenção.

O uso da norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), confere não apenas ao construtor uma visão mais clara sobre suas obrigações, como também ao fornecedor de materiais e serviços.

Para atender à norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), torna-se necessário o cumprimento dos parâmetros definidos pelo conjunto normativo vigente no Brasil para todas as etapas do processo construtivo, desde o projeto até a manutenção das edificações. Nesse sentido, a norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), assume o papel balizador da qualidade construtiva para as estruturas a fim de melhorar a VU das obras, como também contribuir com a sustentabilidade ambiental.



Do ponto de vista da manutenção, faz-se necessário não apenas observar de forma rigorosa os prazos para realização das manutenções descritas na norma 9452, de Inspeção de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto – Procedimento, também mais conhecida simplesmente como norma de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), mas também ter conhecimento prévio dos materiais e dos métodos construtivos utilizados na construção das estruturas, uma vez que apenas com este conhecimento é que o proprietário ou responsável será capaz de verificar a evolução das manifestações patológicas, bem como entender o risco ao qual a estrutura está submetida, uma vez que cabe a ele a responsabilidade por manter a estrutura em condições ideais de uso e operação.

A degradação imposta às estruturas, por força do envelhecimento natural de seus componentes e materiais empregados, exige uma permanente atenção aos sinais que se apresentam ao longo do tempo e o conhecimento das recomendações de projeto.

A Vida Útil de Projeto (VUP) está relacionada diretamente com o uso e operação da estrutura.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Observando a demanda crescente da necessidade de intervenções nas estruturas das OAEs no âmbito nacional, a fim de mantê-las em condições adequadas de uso e operação, e levando em consideração o fato da inexistência de um banco de dados com registros das inspeções realizadas em boa parte destas estruturas, ainda se valendo da falta do empenho de tempo e recursos pelos órgãos competentes para este trabalho, e entendendo ainda que a norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), não tem como objetivo a determinação da Vida Útil Estimada (VUE) de uma OAE, é possível, através da utilização do Método dos Fatores (MF) estimar a VU de uma estrutura.

A utilização do MF na determinação da VUE é indicada pela norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), para qualquer tipo de estrutura. Com a determinação da VUE de uma estrutura, consegue-se planejar com maior eficácia um programa de manutenção e monitoramento.

Acreditando na eficácia do método, dissertou-se sobre o tema, na busca de um melhor entendimento da metodologia de uso e afim de se atestar sua eficiência na utilização em estruturas de OAEs, buscando-se contribuir desta forma com a sociedade técnico-científica.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo geral

A finalidade deste trabalho foi dissertar sobre um tema de relevância para a engenharia, colaborando de alguma forma com a sociedade técnica-científica e indiretamente beneficiar a sociedade civil, enriquecendo o conhecimento acadêmico.

Nesta busca, observando-se o risco crescente de possíveis colapsos nas estruturas de OAEs, sabendo-se da importante contribuição que se faz com um plano de manutenção à Vida Útil Estimada (VUE) das estruturas em análise, sugeriu-se um método matemático capaz de determinar a VUE de OAEs nas diversas regiões brasileiras, o Método dos Fatores (MF), tornando-se possível sua utilização em todo o território nacional, seguindo-se a indicação da norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a).

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Demonstrar que é possível determinar a VUE de uma OAE com a utilização do MF;
- Sugerir uma metodologia de utilização para o MF quando estiver sendo empregado em estruturas de OAEs;
- Constatar que os FM e a Vida Útil de Referência (VUR) são responsáveis pela variabilidade e certeza dos resultados da VUE.
- Comprovar a eficácia do método através de sua utilização em cenários que reproduzam situações possíveis em estruturas reais que estejam em uso e operação.

## 1.4 APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está subdividida em 05 (cinco) capítulos:

- **Capítulo 1**, introdutório, onde se faz uma breve apresentação dos assuntos abordados na pesquisa. Acrescenta-se nesta parte do trabalho a justificativa, trazendo aspectos gerais sobre a inter-relação das normas em estudo na determinação das vidas úteis das estruturas. Descreve-se ainda os objetivos (gerais e específicos) e como será disposto o trabalho;

- **Capítulo 2**, onde se trata sobre o referencial teórico, sendo o conteúdo principal considerações a respeito das OAEs e suas partes constituintes, manifestações patológicas, desempenho, durabilidade, VU, MF, manutenções e seus custos, e inspeções de OAEs;
- **Capítulo 3**, em que se discorre sobre os estudos realizados e o método sugerido para a determinação da VUE de OAEs;
- **Capítulo 4**, em que se aborda o desenvolvimento da aplicação do método sugerido na determinação da VUE das estruturas;
- **Capítulo 5**, onde são apresentadas as conclusões advindas da utilização do método sugerido e sugestões para trabalhos posteriores.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PONTES

Certamente as primeiras formas encontradas para transpor rios e vales foram através de pontes com estruturas simples, realizadas com cordas, madeira e pedras trabalhadas em forma de chapa, que serviam para integrar desde pequenos vilarejos a cidades.

Estas estruturas possuíam limitações, principalmente para vencer grandes vãos e rios com muita profundidade. A genialidade dos construtores, aqueles que seriam os primeiros engenheiros, procurando novas formas e técnicas de construção, aliada à criação de novos materiais, permitiu o aumento da capacidade de transpor obstáculos cada vez maiores, tendo a execução de pontes acabado por representar grandes marcos da evolução da engenharia moderna.

Segundo Matsuo Bridges CO (2000), “[...] As primeiras grandes pontes realizadas foram feitas com madeira e pedras. Oficialmente, a ponte mais antiga de que se tem registro é a ponte de madeira ‘Sweet Track’ com 1.100 metros de comprimento, feita na Inglaterra em 3.806 a.C.”.

A forma estrutural mais utilizada em pontes ao longo do tempo é a de arco. Os Sumérios parecem ter sido os primeiros a construírem pontes em arco, antes de 3.200 a.C. Os romanos também fizeram muito uso deste tipo de estrutura para a construção de pontes e viadutos. Dois exemplos destas estruturas são a Ponte Sant’Ângelo, originalmente conhecida como “Pons Aelius”, construída pelos romanos em torno de 135 a.C., e o aqueduto conhecido como “Pont du Gard”, localizado próximo de Nîmes, na França, construído pelos romanos há aproximadamente 2.000 anos. Os materiais predominantemente utilizados na construção dessas obras foram as rochas, até o surgimento do aço, que permitiu a construção de estruturas mais leves com vãos maiores.

A primeira ponte em aço foi feita em 1779, na Inglaterra, e tinha 30 m de comprimento, localizada em Shropshire, ficando conhecida como “A Ponte de Aço”.

Com o surgimento do concreto armado e protendido, as pontes puderam ter vãos cada vez maiores e estes materiais passaram a ser os mais empregados (Figura 1).

Figura 1 – Ponte em concreto armado e protendido sobre represa Billings, SP



Fonte: Autoria própria (2009).

Entende-se por Obra de Arte Especial (OAE) as estruturas classificadas como ponte, viaduto, passarela e pontilhão.

- a) **Ponte:** estrutura destinada à transposição de obstáculo à continuidade do leito normal de uma via, e cujo obstáculo deve ser constituído por canal aquífero, como rio, mar, lago, córrego e outros.
- b) **Viaduto:** estrutura destinada à transposição de obstáculo à continuidade do leito normal de uma via, e cujo obstáculo é constituído por rodovia, ferrovia, vale, grota, contorno de encosta. Esta estrutura destina-se também à substituição de aterros.
- c) **Passarela:** estrutura destinada exclusivamente à travessia de pedestre e/ou de ciclista, desde que devidamente projetada para tanto, sobre obstáculo natural ou artificial.
- d) **Pontilhão:** ponte ou viaduto de vão único com comprimento igual ou inferior a 6 m.

Segundo definições apresentadas por Pfeil (1983, p. 13), pode-se relacionar quatro funções principais para as pontes e viadutos: viária, estática, estética e ligação da obra com a estrada.

Por sua vez, pode-se relacionar cinco requisitos principais para as pontes e viadutos: funcionalidade, segurança, estética, economia e durabilidade.

A durabilidade de uma ponte deve atender às exigências de uso durante um certo período, previsto de acordo com a sua classificação:

- a) **Pontes permanentes:** são aquelas construídas em caráter definitivo, sendo que sua durabilidade deverá atender até que sejam alteradas as condições da estrada.
- b) **Pontes provisórias:** são as construídas para duração limitada, geralmente até que se construa a obra definitiva, prestando-se quase sempre a servir como desvio de tráfego.
- c) **Pontes desmontáveis:** são construídas para uma duração limitada, sendo que diferem das provisórias por serem reaproveitáveis.

Pode-se elencar alguns elementos de projeto para pontes, dentre eles:

- d) **Geométricos:** tramo ou vão, vão livre do tramo, vão teórico do tramo, altura de construção, altura livre, esconsidade, largura e gabarito.
- e) **Hidrológicos:** área de bacia hidrográfica, comprimento da linha de fundo, precipitação pluviométrica, declividade de talvegue, indicações com relação a permeabilidade, vegetação, rugosidade da calha e pontes existentes nas proximidades.
- f) **Geotécnicos:** relatório de sondagem, reconhecimento do subsolo.
- g) **Cargas horizontais:** frenagem / aceleração, (NBR 7187, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), variação de temperatura (NBR 6118, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), retração do concreto (NBR 6118, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) e empuxo de terra.
- h) **Cargas transversais:** ação da água, ação do vento e força centrífuga.
- i) **Cargas verticais:** carga permanente (peso próprio), sobrecarga permanente e carga móvel.

Podem-se classificar as pontes:

- a) **Segundo a natureza do tráfego:** ponte ou viaduto rodoviário, rodoferroviário, ferroviário, aeroviário, passarela, aqueduto e canal.

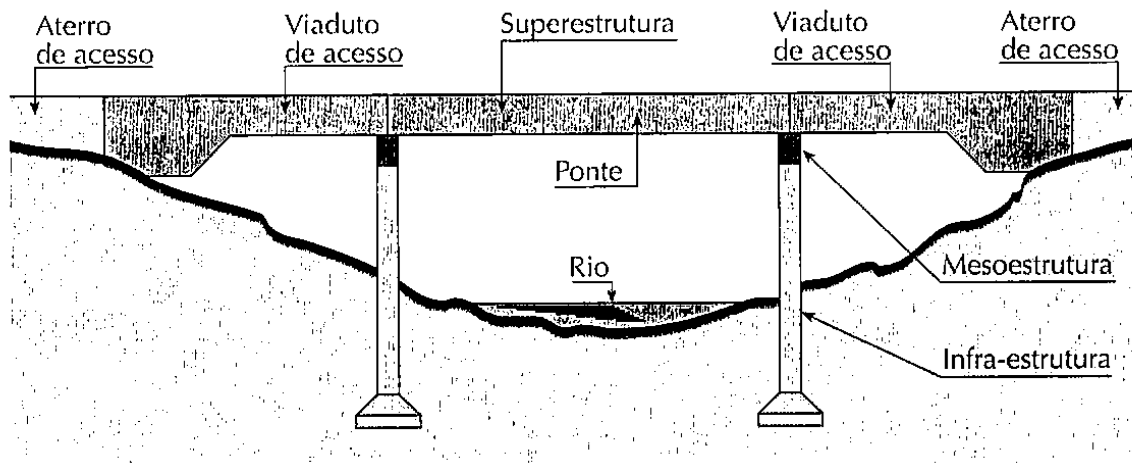
- b) Segundo o desenvolvimento planimétrico:** ao se considerar a projeção do eixo da ponte em um plano horizontal (planta), podem-se ter: pontes retas (ortogonais ou esconsas) e pontes curvas.
- c) Segundo o desenvolvimento altimétrico:** ao se considerar a projeção do eixo da ponte em um plano vertical (elevação), podem-se ter: pontes horizontais ou em nível e pontes em rampa (retilíneas ou curvilíneas).
- d) Segundo o sistema estrutural:** em vigas, em pórticos, em arco, pênséis e atirantadas.

A correta escolha do sistema estrutural de um projeto o torna eficiente, capaz de gerar a diminuição tanto dos custos iniciais quanto dos de manutenção. Esta escolha também pode melhorar a funcionalidade da ponte ou viaduto, moderando as restrições de execução, aumentando sua vida útil e evitando interrupções de tráfego devidas à sua manutenção. Podem-se ter pontes com os seguintes sistemas estruturais: em lajes, em vigas contínuas, em viga reta de alma cheia, em viga reta de treliça, em quadro rígido ou pórticos, em arco ou abóbada, pênsil, estaiada, basculante de pequeno vão, levadiça, corrediça, giratória, de meia encosta e flutuante.

Segundo Almeida; Souza e Cordeiro (2000), “[...] muitas vezes a solução do projeto de uma ponte ou um viaduto está condicionado ao método construtivo utilizado para a execução da obra”. O sistema construtivo adotado será influenciado por diversos fatores, tais como: o comprimento da obra, a altura do escoramento, o regime de profundidade do rio, a velocidade do rio, a capacidade portante do terreno de fundação. O custo da infraestrutura será função da disponibilidade de equipamento da construtora e do cronograma de execução da obra e economia.

Estruturalmente as pontes e viadutos podem ser divididas em três partes principais: infraestrutura, mesoestrutura, superestrutura (Figura 2).

Figura 2 – Divisão estrutural de uma ponte



Fonte: Marchetti (2008).

- a) **Superestrutura:** conjunto de elementos destinados a receber as cargas permanentes e acidentais e transferi-las à mesoestrutura ou diretamente à estrutura. A superestrutura contempla em si os seguintes elementos: laje (ponte em arco, extradorso, pênsil e estaiada) e placa de pré-laje; viga longarina, viga treliçada e viga caixão; viga transversina (exceto quando em caráter de cortina de contenção de aterro dos encontros); articulação (dente tipo Gerber, Freyssinet e outros); estais; viga em arco superior, intermediário ou inferior.
- b) **Mesoestrutura:** conjunto de elementos destinados a receber as cargas provenientes da superestrutura e transferi-las à infraestrutura. A mesoestrutura contempla em si os seguintes elementos: viga-travessa, pilar, pilone (torre, portal etc.), aparelho de apoio, e viga de travamento de pilares.
- c) **Infraestrutura:** conjunto de elementos destinados a receber as cargas provenientes da mesoestrutura ou diretamente da superestrutura e transferi-las ao substrato. A infraestrutura contempla em si os seguintes elementos: viga de travamento de blocos de fundação; viga-alavanca, tubulão, sapata, estaca, bloco sobre estacas, e bloco de transição.

São os seguintes os elementos constituintes de pontes, segundo a norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019):



- a) **Elemento principal (P):** elemento estrutural cujo dano pode ocasionar o colapso parcial ou total da obra.
- b) **Elemento secundário (S):** elemento cujo dano pode ocasionar ruptura localizada em apenas parte de um vão.
- c) **Elemento complementar (C):** elemento cujo dano não causa nenhum comprometimento estrutural, apenas funcional e de durabilidade na OAE. Contempla elementos funcionais de segurança, de drenagem, e transição de estrutura, como: barreira rígida, guarda-corpo e tela de proteção; pavimento, lastro e dormente; junta de dilatação; sistema estrutural para suporte de elemento de sinalização, iluminação, utilidade e drenagem; talude revestido ou não sob a projeção da estrutura e laterais; rampa e passeio de acesso; buzinode (barbacã/dreno); sarjeta, canaleta, escada hidráulica; boca de lobo e boca de leão; tubulação de condução de água; pingadeira; poste e luminária.

Segundo a norma 9452, de Inspeção de Pontes, (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), podem-se classificar as manifestações patológicas, como sendo:

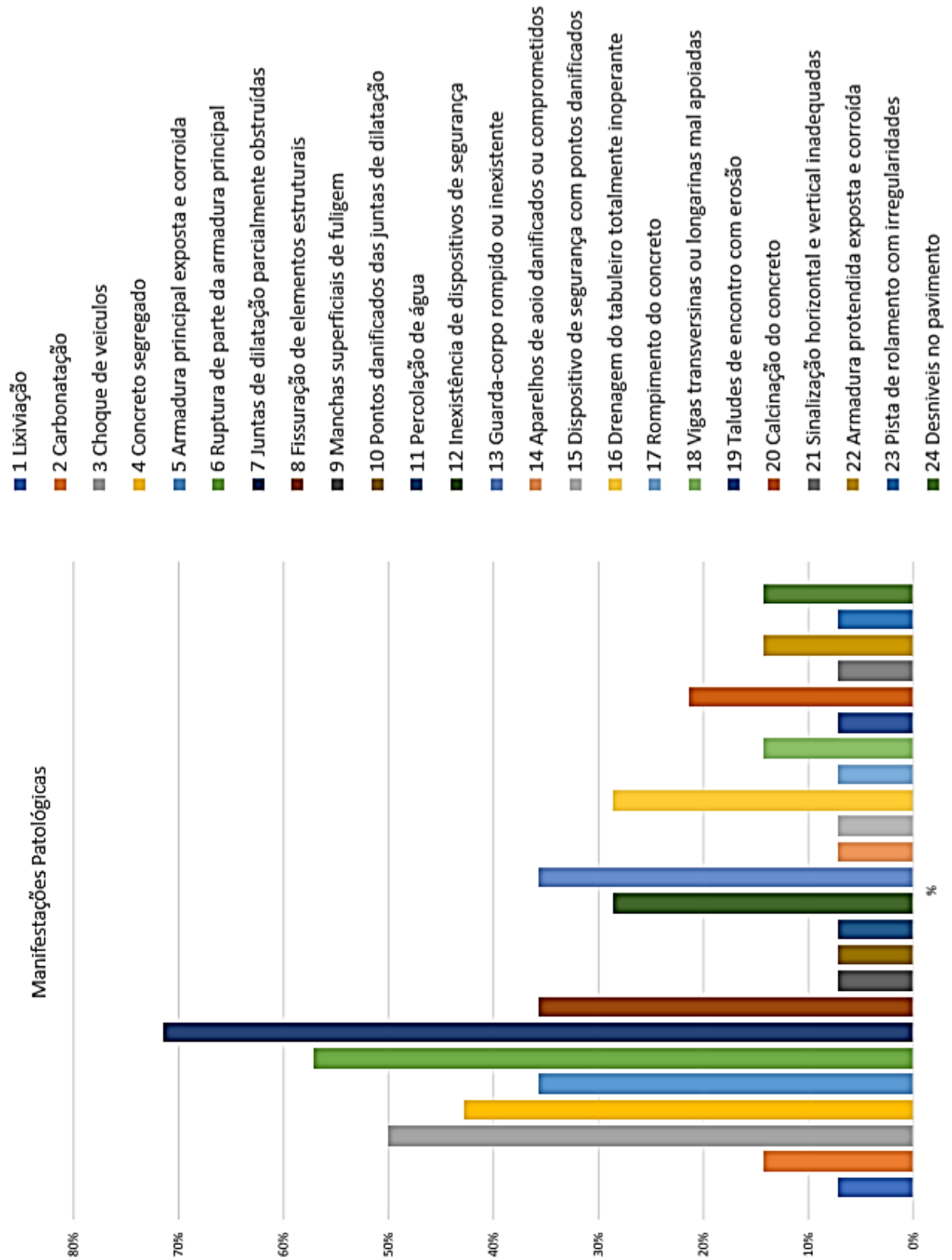
- a) **Anomalia:** descaracterização de um elemento ou sistema integrante da OAE em relação a sua concepção original.
- b) **Diagnóstico:** resultado da atividade de identificação da natureza de uma anomalia.
- c) **Patologia:** estudo técnico e especializado do fator (ou conjunto de fatores) que gera determinada anomalia, bem como das alterações por esta trazida ao elemento em análise e à OAE.

Segundo o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (BRASIL, 2004, p. 54), o concreto, como todos os demais materiais, está sujeito à degradação natural. Entretanto, várias causas, agrupadas a seguir, podem apressar a degradação das estruturas de concreto, em particular as pontes: projeto inadequado, na concepção, no dimensionamento, no detalhamento e nas especificações; construção sem controle de qualidade, podendo gerar escoramentos e formas defeituosas, má colocação de armaduras, cobrimentos insuficientes, concreto com qualidades inferiores às especificadas, ausência de plano de concretagem; manutenção inexistente ou inadequada;

utilização inadequada da estrutura, submetendo-a a sobrecargas imprevistas; causas de origem química, tais como reações internas do concreto, presença de cloretos, presença de água, presença de anidrido carbônico, presença de ácidos e sais; causas da origem física, tais como ação do calor, do vento e da água; causas da origem mecânica, tais como choques de veículos e embarcações, acidentes de origem diversa e recalque de fundações; causas de origem biológica, mais raras, tais como crescimento de vegetais nas juntas, de raízes sob fundações diretas e superficiais e a ação de insetos, tais como cupins e formigas.

A Reportagem do SP2 (Telejornal local brasileiro produzido e exibido pela TV Globo São Paulo, cuja pauta é composta por notícias da Região Metropolitana de São Paulo), em conjunto com o Sinaenco - Sindicato Nacional das Empresas de Arquitetura e Engenharia Consultiva (2017), juntamente com diversos outros pesquisadores brasileiros. Realizou-se uma pesquisa das pontes e viadutos com mais incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto na cidade de São Paulo, cujos resultados são apresentados na Figura 3 (SP2, 2017).

Figura 3 – Gráfico da incidência de manifestações patológicas nas pontes de São Paulo



Fonte: SP2 (2017) (adaptação do autor).

## 2.2 CONCRETO

As manifestações patológicas desenvolvidas nas estruturas de concreto afetam sua segurança e durabilidade e são originárias de diversos fatores, podendo ser associadas as fases de projeto, construção, uso e manutenção. Cada manifestação patológica normalmente apresenta uma sintomatologia própria, permitindo sua identificação.

Souza e Ripper (1998) realizaram um levantamento de porcentagens das causas de ocorrência de problemas patológicos em estruturas de concreto, a partir de dados obtidos por pesquisadores de diversos países, e apresentaram os resultados mostrados no Quadro 1.

Quadro 1 – Análise percentual das causas de problemas patológicos em estruturas de concreto

FONTE DE PESQUISA	CAUSAS DOS PROBLEMAS PATOLÓGICOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO			
	Concepção e Projeto	Materiais	Execução	Utilização e Outras
Edward Grunau Paulo Helene (1992)	44	18	28	10
D.E. Allen (Canadá) (1979)	55	49		---
C.S.T.C. (Bélgica) Verçoza (1991)	46	15	22	17
C.E.B. Boletim 157 (1982)	50	40		10
Faculdade de Engenharia da Fundação Armando Álvares Penteado Verçosa (1991)	18	6	52	24
B.R.E.A.S. (Reino Unido) (1972)	58	12	35	11
Bureau Securitas (1972)	88			12
E.N.R. (U.S.A.) (1968 – 1978)	9	6	75	10
S.I.A. (Suíça) (1979)	46	---	44	10
Dov Kaminetzky (1991)	51	40		16
Jean Blévot (França) (1974)	35	---	65	---
L.E.M.I.T. (Venezuela) (1965-1975)	19	5	57	19

Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 23) (adaptação do autor).

O conhecimento acerca da deterioração em estruturas de concreto requer uma investigação profunda, pois engloba diversas causas semelhantes e que, muitas vezes, atuam de forma simultânea, podendo ser classificadas de duas formas, as quais interagem entre si [ver Quadro 2], sendo demonstradas segundo uma única abordagem.

Quadro 2 – Classificações das causas dos processos de deterioração das estruturas de concreto

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Causa intrínsecas (inerentes às estruturas)</li>   <li>• Causas extrínsecas (externas ao corpo estrutural)</li> </ul>	<p>CAUSAS DOS PROCESSOS DE DETERIORAÇÃO DAS ESTRUTURAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falhas humanas</li>   <li>• Causas naturais próprias ao material concreto</li>   <li>• Ações externas</li> </ul>
--	--	---

Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 28) (adaptação do autor).

#### a) Causas intrínsecas

No Quadro 3 observa-se que pode-se considerar que as causas intrínsecas à deterioração do concreto armado abrangem essencialmente os seus materiais constituintes, tanto na fase de execução, quanto utilização e qualidade desses materiais, além de falhas humanas e ações externas como acidentes.

Quadro 3 – Causas intrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto

<b>CAUSAS INTRÍNSECAS</b>	<b>FALHAS HUMANAS DURANTE A CONSTRUÇÃO</b>	<b>DEFICIÊNCIAS DE CONCRETAGEM</b>	Transporte Lançamento Juntas de concretagem Adensamento Cura	
		<b>INADEQUAÇÃO DE ESCORAMENTOS E FÔRMAS</b>		
		<b>DEFICIÊNCIAS NAS ARMADURAS</b>	Má interpretação dos projetos Insuficiência de armaduras Mal posicionamento das armaduras Cobrimento de concreto insuficiente Dobramento inadequado das barras Deficiências nas ancoragens Deficiências nas emendas Má utilização de anticorrosivos	
		<b>UTILIZAÇÃO INCORRETA DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO</b>	FCK inferior ao especificado Aço diferente do especificado Solo com características diferentes Utilização de agregados reativos Utilização inadequada de aditivos Dosagem inadequada do concreto	
		<b>INEXISTENCIA DE CONTROLE DE QUALIDADE</b>		
	<b>FALHAS HUMANAS DURANTE A UTILIZAÇÃO (ausência de manutenção)</b>			
	<b>CAUSAS NATURAIS</b>	<b>CAUSAS PRÓPRIAS À ESTRUTURA POROSA DO CONCRETO</b>		
		<b>CAUSAS QUÍMICAS</b>	Reações internas ao concreto Expansibilidade de certos constituintes do cimento Presença de cloretos Presença de ácidos e sais Presença de anidrido carbônico Presença de água Elevação da temperatura interna do concreto	
		<b>CAUSAS FÍSICAS</b>	Variação de temperatura Insolação Vento Água	
		<b>CAUSAS BIOLÓGICAS</b>		

Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 29) (adaptação do autor).

### **b) Causas extrínsecas**

A deterioração estrutural também pode ocorrer por meio de causas extrínsecas, como demonstrado no Quadro 4, que são aquelas que desgastam os elementos “de fora para dentro” durante sua concepção e vida útil, independentemente do tipo de material ou de erros na execução.

Quadro 4 – Causas extrínsecas aos processos de deterioração das estruturas de concreto

<b>CAUSAS EXTRÍNSECAS</b>	<b>FALHAS HUMANAS DURANTE PROJETO</b>	Modelização inadequada Má avaliação das cargas Detalhamento errado ou insuficiente Inadequação ao ambiente Incorreção na interação solo-estrutura Incorreção na consideração de juntas de dilatação
	<b>FALHAS HUMANAS DURANTE A UTILIZAÇÃO</b>	Alterações estruturais Sobrecargas exageradas Alterações das condições do terreno de fundação
	<b>AÇÕES MECÂNICAS</b>	Choques de veículos Recalque de fundações Acidentes (ações imprevisíveis)
	<b>AÇÕES FÍSICAS</b>	Variação de temperatura Insolação Atuação da água
	<b>AÇÕES QUÍMICAS</b>	
	<b>AÇÕES BIOLÓGICAS</b>	

Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 41) (adaptação do autor).

### c) **Processos físicos de deterioração**

Em estruturas de concreto, é comum que os processos de deterioração, intrínsecos ou extrínsecos (sintetizados no Quadro 5), se tornem inicialmente evidentes nos pontos mais frágeis e sensíveis do sistema, manifestando-se negligências que poderiam ter sido evitadas, desde a escolha dos materiais aos detalhes de projeto bem como a execução e os programas de manutenção que deveriam ter sido utilizados. Pode-se ressaltar, ainda, a influência das sobrecargas, impactos e outras falhas mecânicas mais imprevisíveis como acidentes e sismos, provocando danos estruturais de magnitude considerável e, conseqüentemente, levar uma edificação ao colapso ou diminuir sua vida útil.

Quadro 5 – Processos físicos de deterioração das estruturas de concreto

<b>PROCESSOS FÍSICOS DE DETERIORAÇÃO</b>	<b>FISSURAÇÃO</b>	Deficiência de projeto Contração plástica Assentamento do concreto/perda de aderência Movimentação de escoramentos e/ou fôrmas Retração Deficiências de execução Reações expansivas Corrosão das armaduras Recalques diferenciais Variação de temperatura Ações aplicadas
	<b>DESAGREGAÇÃO DO CONCRETO</b>	Fissuração Movimentação das fôrmas Corrosão do concreto Calcinação Ataque biológico
	<b>CARBONATAÇÃO DO CONCRETO</b>	
	<b>PERDA DE ADERÊNCIA</b>	
	<b>DESGASTE DO CONCRETO</b>	

Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 56) (adaptação do autor).

Um sistema estrutural concebido em concreto armado sempre está sujeito a condições e intempéries do meio ambiente, sobretudo quando este é favorável a tais agressões, como em zonas industriais, zonas marítimas, ou obras sujeitas a presença de forte umidade, correntes de ar ou variações bruscas de temperatura.

Em meio a todas estas variáveis fica evidente a necessidade de um estudo minucioso do local e de suas características, da atenção aos detalhes construtivos, detalhamento e especificações técnicas a respeito do critério de qualidade do material e do processo construtivo, como o cobrimento mínimo especificado na NBR 6118:2014. Essas falhas, quando associadas aos defeitos decorrentes dos erros de execução, podem diminuir bastante a vida útil das estruturas, facilitando a atuação de agentes deteriorantes através da oxidação das armaduras e degradação do concreto.



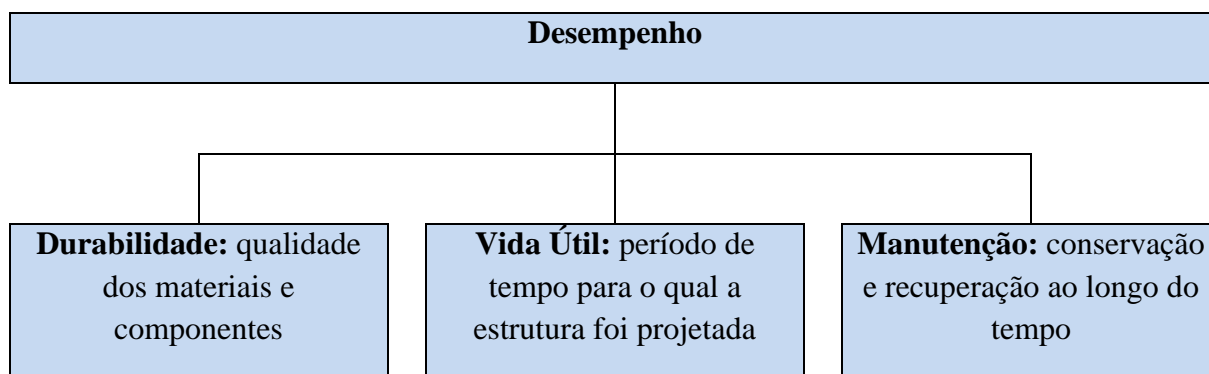
## 2.3 DESEMPENHO

Segundo a norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), desempenho é o comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas.

O conceito de desempenho passou a ser difundido mundialmente com a publicação, em 1987, da série ISO 9000, conjunto normativo de padrões internacionais a respeito da Administração e Garantia da Qualidade, publicada pela International Organization for Standardization (ISO), criada em 1947, com sede em Genebra na Suíça. (BALLESTERO-ALVAREZ, 2010, p. 172).

A série ISO 9000 dispõe sobre qualidade na gestão organizacional, não tratando de aspectos relacionados ao produto final desenvolvido pela empresa. Vale ressaltar que não há como desenvolver produtos e serviços de alto desempenho sem que a empresa seja voltada para a qualidade, conforme indicado na Figura 4.

Figura 4 – Organograma das condições que afetam o desempenho



Fonte: Autoria própria (2020).

Evoluindo-se o processo construtivo com a gestão da qualidade, consegue-se o aumento do desempenho, que é a capacidade de responder satisfatoriamente às definições projetadas, acatando-se as exigências e expectativas do usuário sob três aspectos: durabilidade, vida útil e manutenção.

O concreto quando utilizado como material de construção se torna instável ao longo do tempo, alterando suas propriedades físicas e químicas devido a resposta de seus componentes as condicionantes do meio ambiente, gerando conseqüências que podem vir a comprometer o desempenho estrutural através de deteriorações. Estas deteriorações são ocasionadas por agentes de deterioração, cada material ou componente da estrutura reage de uma forma

particular aos diversos tipos de agentes a que são submetidos, que tem a forma e a velocidade de deterioração em função da natureza do material, seus componentes e as condições de exposição.

A análise da deterioração de uma estrutura ou material, possibilita que através do nível de acometimento se tenha o entendimento da melhor ação a ser adotada, onde uma situação pode ser considerada satisfatória desde que exista uma relação positiva entre o seu custo inicial, sua curva característica de deterioração, sua vida útil e seu custo de reposição ou recuperação.

Para que seja possível realizar um orçamento real de uma obra é necessário que se tenha o conhecimento da vida útil e da curva de deterioração de cada material ou estrutura e dos programas de manutenção adequados e realistas.

Entende-se por desempenho o comportamento de cada produto em serviço ao longo da sua vida útil, e seu valor sempre irá depender do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção.

Toda estrutura e seus materiais, mesmo quando submetidos a um programa de manutenção bem definido deterioram-se, chegando a um limite irreversível, existe um ponto limite para cada estrutura, definido em função da deterioração, que ocorre quando a estrutura atinge níveis de desempenho insatisfatórios, estes níveis variam de acordo com o tipo da estrutura.

Algumas estruturas já iniciam sua operação e uso tendo vidas insatisfatórias, ocasionado por falhas de projeto ou de execução, enquanto outras chegam ao final de suas vidas úteis projetadas ainda mostrando um bom desempenho.

O fato de uma estrutura em determinado momento de sua vida apresentar um desempenho insatisfatório não significa que ela esteja necessariamente condenada, o maior objetivo da Patologia das Estruturas é realizar a avaliação desta situação, e determinar se a estrutura requer imediata intervenção técnica de forma que ainda seja possível reabilitá-la.

Na [Figura 5], são representadas, genericamente, três diferentes histórias de desempenhos estruturais, ao longo de suas respectivas vidas úteis em função de ocorrências de fenômenos patológicos diversos.

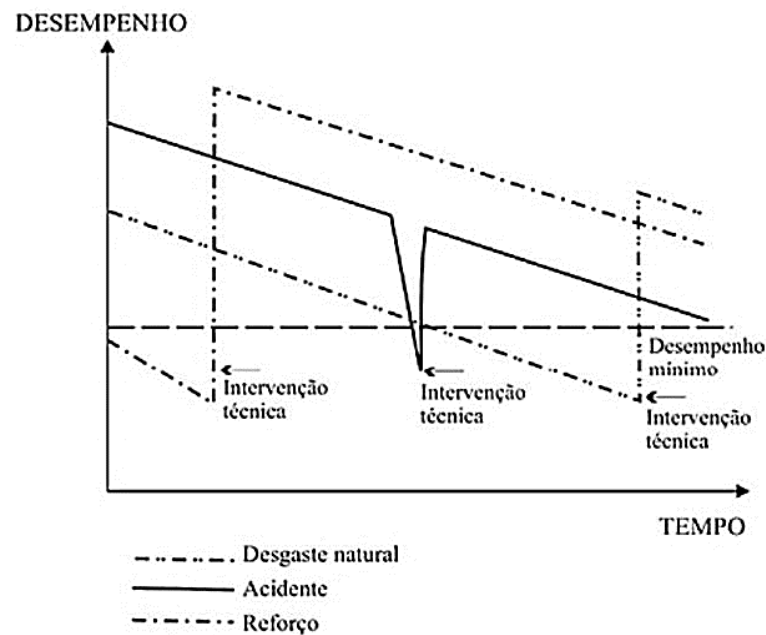
No primeiro caso, curva traço duplo-ponto, está ilustrado o fenômeno natural de desgaste de uma estrutura, onde observa-se que após intervenção a estrutura recupera-se, voltando a seguir à linha de desempenho acima do mínimo exigido para sua utilização.

No segundo caso, linha-cheia, ilustra uma estrutura que a dada altura esteve sujeita a um problema súbito e necessita de imediata intervenção corretiva para que possa voltar a se comportar de forma satisfatória.

No terceiro caso, linha-traço monoponto, ilustra uma estrutura com erros de projeto, erros de execução e/ou tenha alterado seus propósitos funcionais, caracteriza a necessidade de reforço.

A situação ideal para uma estrutura ocorre quando seu projeto é desenvolvido permitindo que a construção possa ser bem executada e que a sua manutenção seja facilitada, mantendo seu grau deterioração em níveis mínimos.

Figura 5 – Gráfico dos diferentes desempenhos de uma estrutura, com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos



Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 18).

A norma de 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), sugere adequação dos processos construtivos visando atender aos conceitos de durabilidade e vida útil.

A norma é dividida em seis partes, descritas a seguir:

- Parte 1 – Requisitos gerais;
- Parte 2 – Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3 – Requisitos para os sistemas de pisos;

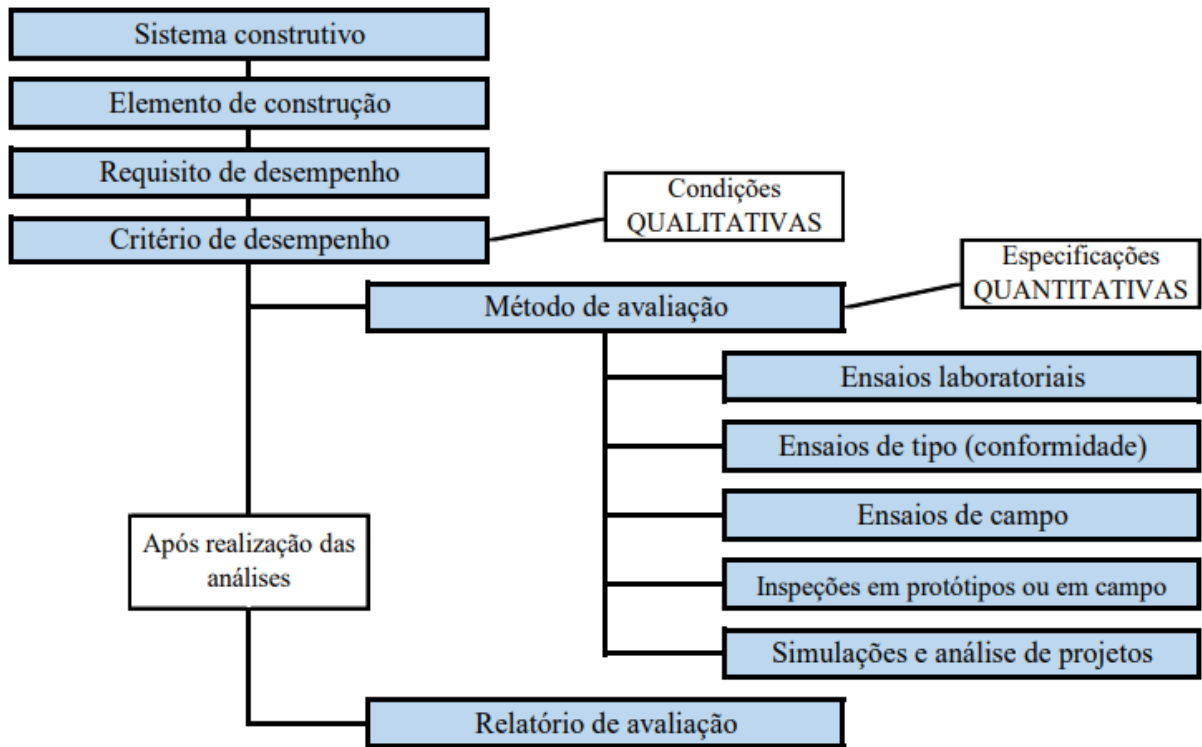
- Parte 4 – Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- Parte 5 – Requisitos para os sistemas de coberturas; e
- Parte 6 – Requisitos para os sistemas hidro sanitários.

Esses sistemas são avaliados sob os seguintes aspectos: exigências do usuário; incumbência dos intervenientes; avaliação de desempenho; desempenho estrutural; segurança contra incêndio; segurança no uso e operação; estanqueidade; desempenho térmico; desempenho acústico; desempenho lumínico; durabilidade e manutenibilidade; saúde, higiene e qualidade do ar; conforto tátil e adequação ambiental.

Na Figura 6 é apresentada em formato de fluxograma a estrutura da [norma 15575,] de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a)], onde observa-se através do esquema os requisitos e critérios que devem ser analisados nos métodos de avaliação, específicos para cada etapa da construção, iniciando-se pelo exame dos projetos utilizados na implantação da obra, inclusive a análise do entorno, até os materiais empregados nas etapas de construção e manutenção.

A norma propõe que as avaliações não se resumam em averiguações determinísticas, através de ensaios laboratoriais, mas que se façam pela observação completa da edificação, para cada sistema construtivo haverá a aplicação de um determinado tipo de ensaio específico.

Figura 6 – Organograma estrutural da norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a)



Fonte: Silva (2016) (adaptação do autor).

Haverá sempre a necessidade da interlocução entre projetista, executor e usuário. Para que os projetistas consigam manter a integridade de toda estrutura, observando que alguns sistemas construtivos não fazem parte direta do corpo da norma, é necessário que seja levado em consideração as mesmas bases de desempenho a serem cumpridas para o conjunto num todo.

A [norma 15575,] de Desempenho [(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a)] define níveis de desempenho para as edificações, sua escala varia do critério mínimo (M) à superior(S) passando pelo critério intermediário (I). O CBIC (2013) determina que os diferentes elementos e sistemas que compõe a construção devem obrigatoriamente atingir o critério intermediário (I), prezando pela durabilidade e vida útil da estrutura. Para que uma construção alcance um nível de desempenho elevado é preciso que não apenas o construtor e usuário sejam responsáveis pela vida útil, mas também, toda a cadeia de fornecedores, composta por fornecedores de materiais, componentes e mão de obra.

A [norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a)] descreve de forma clara as incumbências dos intervenientes, cabendo aos fornecedores apresentar resultados comprobatórios do desempenho de seus produtos e componentes, bem como, cabe ao projetista estabelecer de forma clara e objetiva, a [Vida Útil de Projeto] (VUP) de cada sistema construtivo, principalmente quando a VUP for superior aos requisitos e critérios definidos para o nível mínimo (M) de desempenho, alertando e esclarecendo o usuário quanto a sua responsabilidade pela manutenção da estrutura após o início de uso e operação.

No [Quadro 6] pode-se observar os procedimentos a serem adotados na avaliação do desempenho no sistema estrutural, que será avaliado apenas pelo desempenho, durabilidade e manutenibilidade, diferentemente de outros sistemas estruturais que são avaliados por outros elementos, como, por exemplo, Habitabilidade e Sustentabilidade.

Quadro 6 – Descrição dos requisitos gerais aplicáveis as estruturas

<b>Requisitos Gerais</b>		
	Exigências do usuário	Atender aos fatores de SEGURANÇA, HABITABILIDADE e SUSTENTABILIDADE
	Incumbência dos Intervenientes	Fornecedores, Projetistas, Construtor, Incorporador e Usuário
	Avaliação de desempenho	Realizadas por instituições de ensino e pesquisa; projetos elaborados com base topográfica e geológica; análise do entorno; segurança e estabilidade – agressividade do ambiente.
<b>Fatores Construtivos</b>		
<b>SEGURANÇA</b>	Desempenho estrutural	Avaliar o estado limite último e estados-limite de serviço – em conformidade com as normas de projeto, a NBR 15.575-2 e a NBR 15.575-6.
	Segurança contra incêndio	Proteção contra descarga atmosférica; risco de ignição nas instalações elétricas; e vazamentos de gás. Minimizar o colapso estrutural.
	Segurança no uso e operação	Avaliar a segurança dos sistemas e das instalações.
<b>SUSTENTABILIDADE</b>	Durabilidade e manutenibilidade	Exigência econômica do usuário que está associada ao custo global do imóvel. Avaliar a vida útil de projeto (VUP), a durabilidade e a manutenibilidade através de inspeção predial.
	Adequação ambiental	Apesar de estar relatado na norma que não foi possível estabelecer critérios e métodos de avaliação do impacto ambiental, recomenda-se considerar riscos de desastres geotécnicos, condições relativas à exploração e consumo de recursos naturais e o consumo e reuso da água.

Fonte: Norma 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a) e Silva (2016, p. 27)

Na avaliação do desempenho de um sistema estrutural deve-se realizar ensaios de laboratório com uso de protótipos e/ou a realização de ensaios diretamente na obra, conforme indicado na Tabela 1. É importante salientar que são requisitos para análise de desempenho o uso de normas vigentes na elaboração de projetos, execução e manutenções de construções.

Tabela 1 – Descrição do sistema estrutural

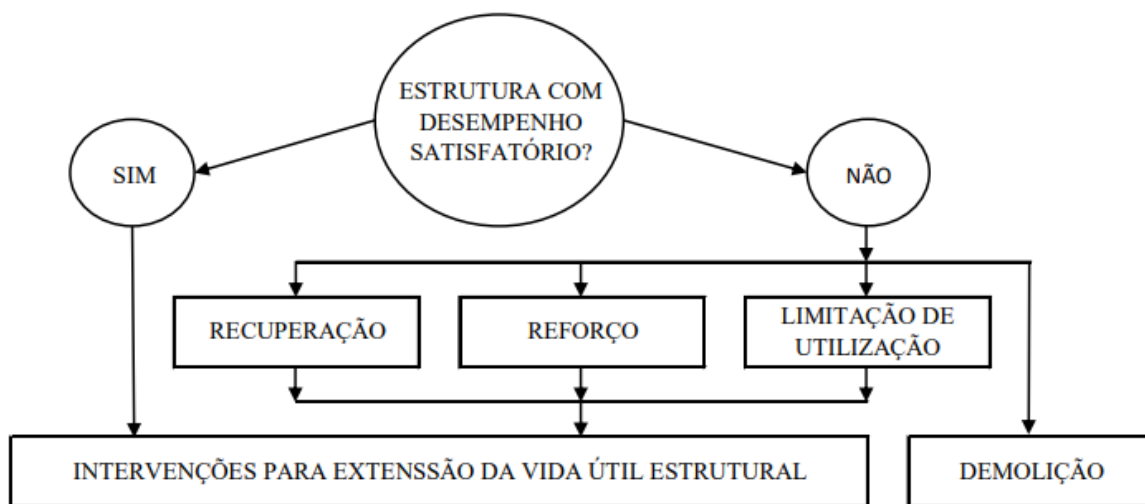
<b>Sistema Estrutural (SE)</b>		
<b>Requisito</b>	<b>Critério</b>	<b>Método de avaliação</b>
Estabilidade e resistência do SE e dos demais elementos com função estrutural	Estado-limite último	Análise do projeto
Deformações ou estado de fissuração	Estados-limite de serviço	Verificar as condições apresentadas na Tabela 1 <sup>1</sup> – deslocamentos limites para cargas permanentes e cargas acidentais em geral, e Tabela 2 <sup>1</sup> – flechas máximas para vigas e lajes; ou proceder a análise de projeto
Impactos de corpo mole e corpo duro	Para elementos estruturais localizados na fachada da edificação, em exteriores acessíveis ao público	Verificar as condições apresentada na Tabela 3 <sup>1</sup> – impacto de corpo mole na face externa (define a energia a ser aplicada e quais as consequências)
Durabilidade	Vida útil de projeto do sistema estrutural	Análise de projetos; ou ensaios físico-químicos e de envelhecimento acelerado; ou aplicação de modelos para previsão do avanço das frentes de carbonatação, cloretos, corrosão e outros
Manutenção	Manual de operação, uso e manutenção do sistema estrutural	Atendimento as diretrizes das NBR 5.674, NBR 15.575-1, NBR 14.037 constantes no manual de operação, uso e manutenção da edificação

Fonte: Norma 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a) (adaptação do autor).

<sup>1</sup> Tabela da norma 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a).

Caso o desempenho de uma estrutura venha a se tornar insatisfatório devido a uma eventualidade, cabe aos responsáveis estarem habilitados a adotar a opção mais conveniente sobre como proceder, respeitando pontos de vista técnicos, econômicos e socioambientais.

Figura 7 – Fluxograma de hipóteses para reconversão de estruturas com desempenho insatisfatório



Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 21) (adaptação do autor).

## 2.4 DURABILIDADE

Durabilidade pode ser entendida como a capacidade de a estrutura e seus sistemas de desempenhar suas funções ao longo do tempo sob condições de uso e manutenções especificadas. No entanto, é importante observar que cada sistema construtivo possui particularidades, exigindo, assim, avaliação diferenciada quanto ao tempo de vida útil dos sistemas e seus componentes.

O envelhecimento natural das estruturas deve ser considerado desde o momento em que a construção é pensada, levando-se em consideração as etapas de projeto e execução. A durabilidade não é uma propriedade intrínseca dos materiais, mas sim uma função relacionada com o desempenho deles sob determinadas condições ambientais. O envelhecimento destes resulta das alterações de suas propriedades mecânicas, físicas e químicas, tanto na superfície como no seu interior, em grande parte devida à agressividade do meio ambiente.

Neste sentido, a entrada em vigor da norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), elimina as dúvidas referentes à



importância de que se cumpram as manutenções previstas em projeto, como também daquelas recomendadas pela própria norma, mas, sobretudo a observância na utilização de materiais duráveis na execução da obra.

Os aspectos relacionados à durabilidade nem sempre foram importantes requisitos para as normas técnicas relacionadas aos materiais de construção ou mesmo ao funcionamento dos sistemas construtivos. No entanto, o entendimento de que o ambiente é fator determinante na condição de degradação das edificações, os tornaram fatores preponderantes para garantir a durabilidade das construções, tendo sido gradativamente inseridos no corpo normativo utilizado atualmente pela construção civil.

O conceito de durabilidade é estritamente associado à definição de vida útil de projeto: uma estrutura só pode ser considerada durável se sua vida útil for pelo menos igual à requerida na fase de projeto.

As estruturas de concreto devem ser projetadas e executadas, levando-se em consideração as condições ambientais às quais estarão expostas, isto deve ser previsto desde a época do projeto, e sua utilização e operação devem seguir conforme fora preconizado no projeto, para que seja possível conservar sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço, durante toda a sua vida útil.

Quando se projeta visando durabilidade, busca-se desacelerar o processo de deterioração da estrutura. O conceito de durabilidade preconiza as seguintes fases: [planejamento, projetos executivos, materiais e produtos produzidos fora do canteiro, execução, uso e operação, manutenção preventiva e corretiva, demolição e reciclagem].

Como consequência dessa interação, estão envolvidos na questão da durabilidade todos aqueles que participam de alguma das fases do processo construtivo. Assim, cada um deles tem uma parcela de responsabilidade no resultado.

Em termos de durabilidade das estruturas de concreto e, para além das questões ligadas à resistência mecânica propriamente dita, o fator de maior relevância será a quantidade de água no concreto e a sua relação com a quantidade de ligante os elementos básicos que irão 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.

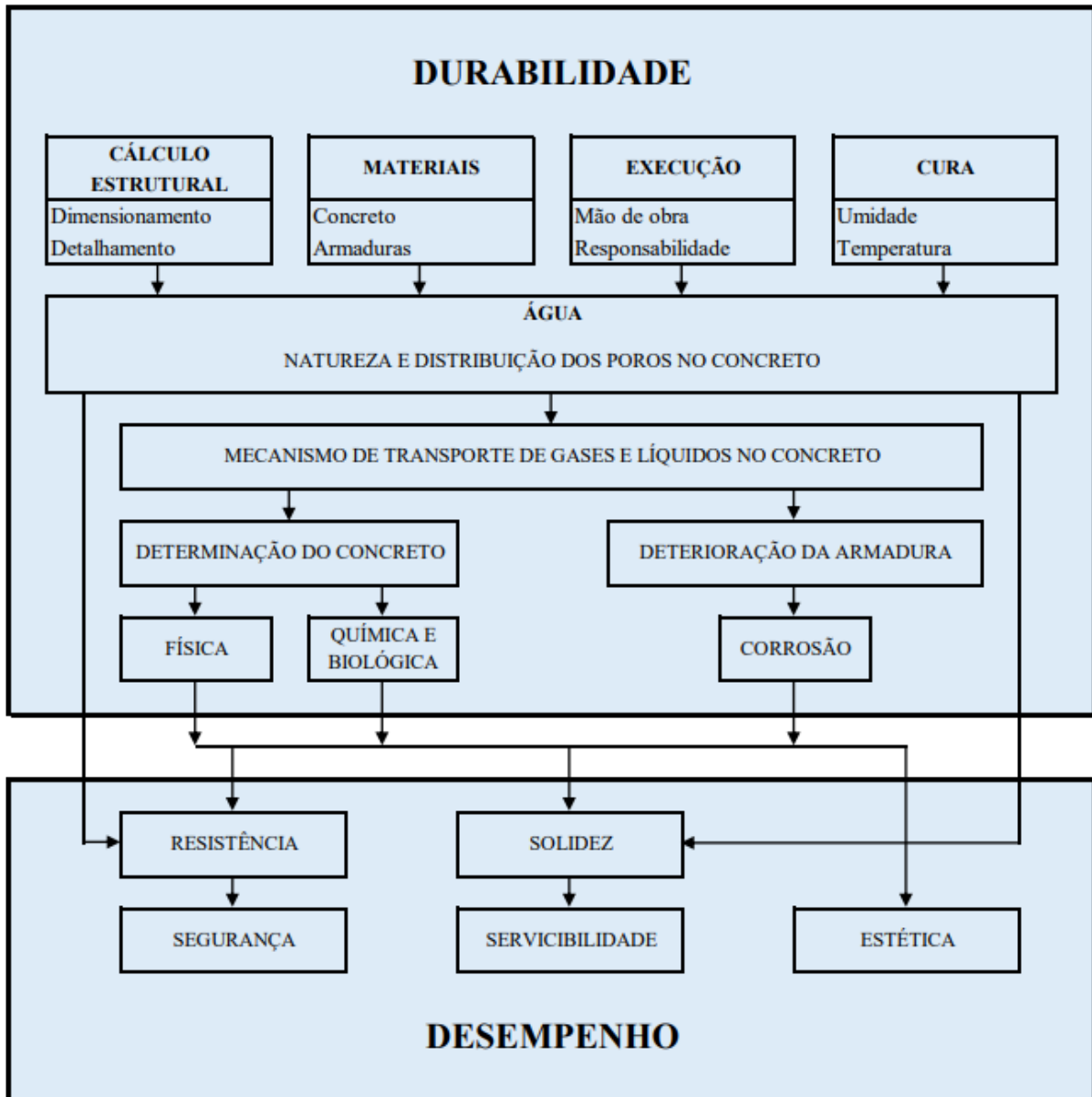
A outra parte da equação está ligada a agressividade ambiental, à capacidade de transporte de líquidos e gases contidos no meio ambiente para o interior da estrutura.

Por tanto, a discretização do estudo de durabilidade passa pela avaliação e compatibilização entre a agressão ambiental e "qualidade" do concreto empregado na estrutura, tendo sempre como premissa do cenário em estudo a relação tempo x custo.

As normas que estão hoje em uso estabelecem 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, havendo distinções para cada caso ou combinação de casos, onde as classes de exposição indicarão níveis de risco e/ou parâmetros mínimos a serem observados como condição primeira para que se consiga uma construção durável, buscando-se a partir destes limites, ou com a mínima observância a eles, o desempenho das estruturas, de uma maneira geral, e atendidas as questões dimensionais, seja no seu todo satisfatório.

O quadro apresentado na [Figura 8] resume vários parâmetros relacionados aos critérios que devem ser adotados para a obtenção de uma construção durável, demonstrando o conjunto de inter-relações entre os diversos fatores que influem na durabilidade e no resultante desempenho de uma estrutura.

Figura 8 – Fluxograma de inter-relacionamento entre conceitos de durabilidade e desempenho



Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 20) (adaptação do autor).

Através do quadro, observa-se que a combinação dos agentes ambientais transportados para a massa de concreto, bem como, a resposta dessa massa à ação, constituem os principais elementos do processo de caracterização da durabilidade, sendo a água o elemento principal de toda a questão. Estes conceitos quando aplicados da forma correta na execução de uma obra, o resultado será um desempenho satisfatório num período de tempo adequado com custos de manutenção razoáveis.

Para evitar o envelhecimento prematuro e satisfazer as exigências de durabilidade segundo a norma 6118, de Concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), devem ser observados os seguintes critérios no conjunto de projetos relativos à obra: drenagem, formas arquitetônicas e estruturais, qualidade do concreto de cobrimento, detalhamento das armaduras, controle de fissuração, medidas especiais, inspeção e manutenção preventiva.

## 2.5 VIDA ÚTIL

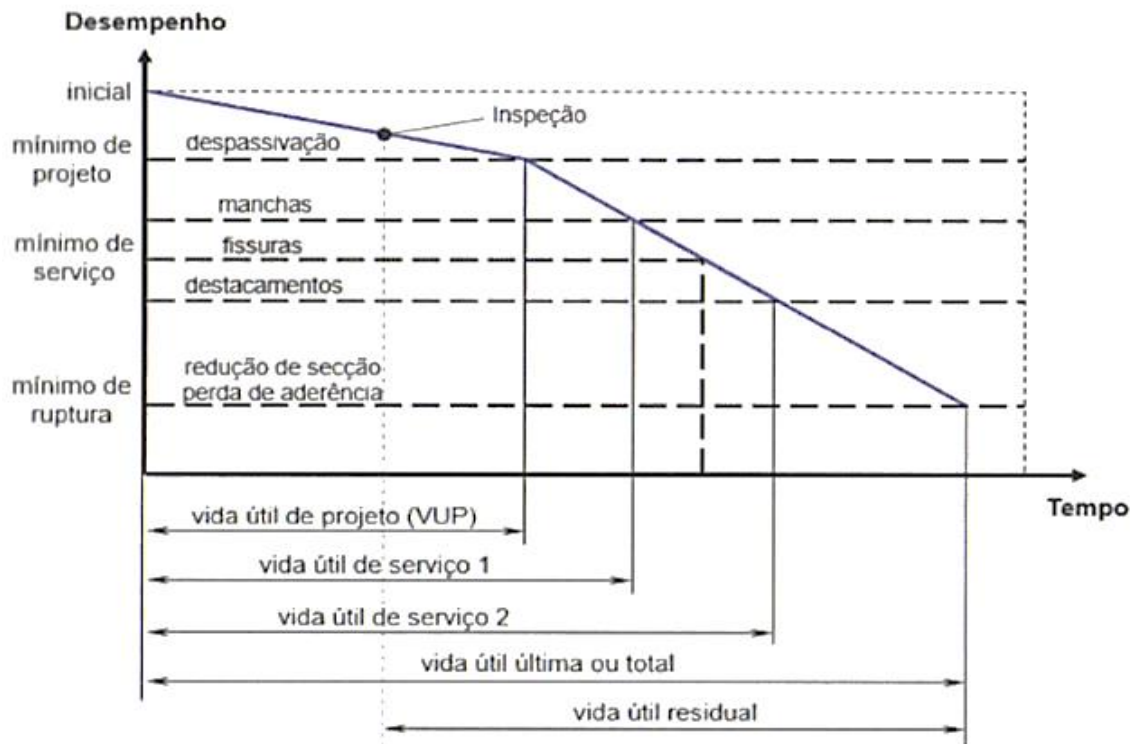
É inevitável a associação dos conceitos de vida útil e durabilidade, onde entende-se por durabilidade o parâmetro que relaciona a aplicação de características conhecidas, ou estimadas, de deterioração do material concreto e dos sistemas estruturais de uma determinada construção, individualizando-a pela avaliação da resposta que dará aos efeitos da agressividade ambiental, definindo-se, então, a vida útil.

O estudo da vida útil das estruturas está ligado ao que é tecnicamente ponderável a durabilidade dos materiais, componentes e sistemas estruturais, assim como pelo aperfeiçoamento dos processos construtivos e programas e técnicas de manutenção.

Distingue-se Vida Útil (VU) de Vida Útil de Projeto (VUP), entendendo-se por VU o desempenho efetivo da estrutura que depende da operação e manutenção. Já a VUP corresponde a uma estimativa justificada da vida útil, com base em modelos de precisão, sendo obrigatório seu registro e informe no projeto estrutural.

É apresentado na Figura 9 o mais conhecido e utilizado modelo de vida útil para as estruturas de concreto, considerado o mais importante cientificamente, que contempla o fenômeno da corrosão de armaduras, pode-se distinguir pelo menos quatro situações e suas correspondentes vidas úteis, em princípio, este conceito pode ser aplicado aos demais mecanismos de deterioração.

Figura 9 – Gráfico de conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando-se por referência o fenômeno de corrosão das armaduras



Fonte: Bueno e Kimura (2015, p. 31).

A partir da Figura 9 podem ser definidas as seguintes vidas úteis:

- a) **Vida útil de projeto:** denominado período de iniciação, vai até a despassivação da armadura, corresponde ao período que a frente de carbonatação ou de cloretos despassive a armadura, período que deve ser adotado no projeto a favor da segurança;
- b) **Vida útil de serviço ou de utilização:** denominado período variável, vai até o aparecimento de manifestações patológicas inadmissíveis, seu limite aceitável depende de razões estéticas, conforto visual e segurança dos usuários;
- c) **Vida útil última ou total:** momento no qual há redução significativa de seção da armadura ou perda de aderência armadura/concreto, tem seu termino na ruptura ou colapso parcial ou total da estrutura, normalmente antes de se atingir este estágio a estrutura já deixou de cumprir suas funções de projeto;
- d) **Vida útil residual ou vida útil estimada:** determinada a partir da data de uma inspeção, período que a estrutura ainda é capaz de desempenhar suas funções de projeto, seu prazo final pode ser o limite de projeto, o limite das condições de serviço e/ou o limite de ruptura.

Segundo (BUENO; KIMURA, 2015, p. 30), “a [Vida Útil de Projeto] (VUP) pode também ser entendida como o período durante o qual a estrutura deve ser capaz de desempenhar bem as funções para as quais foi projetada”.

Na determinação da (VUP) devem ser considerados três conceitos fundamentais que implicam no efeito da durabilidade:

- a) Efeito que uma falha causa no desempenho de um subsistema ou elemento;
- b) Em caso de falha no desempenho o grau de dificuldade de manutenção e reparação;
- c) Custo de correção da falha e de correção de outros elementos afetados pela falha.

(BUENO; KIMURA, 2015), recomenda a todos envolvidos nos processos de projeto, construção e manutenção trabalhem de forma conjunta em prol do aumento da vida útil da estrutura, tendo como referência os limites mínimos indicados pelas normas em uso, podendo variar de 50 a 100 anos, determinados a partir da análise das condições de exposição, para obras de caráter provisório é recomendável adotar-se vida útil de projeto mínima de um ano.

Para pontes e outras obras de caráter permanente, podem ser adotados períodos de 50 ou até mais de 100 anos, conforme a demonstrado na [Tabela 2].

Tabela 2 – Exemplo de VUP que podem ser especificadas

<b>Tipo de estrutura</b>	<b>Fib Model Code for Concrete Structures 2010</b>	<b>Fib CEB-FIB Bulletin 34 Model Code for Service Life Design (2006)</b>
Estruturas de caráter temporário	Entre 1 a 5 anos	10 anos
Elementos substituíveis de estruturas (por exemplo, pórticos e aparelhos de apoio)	25 anos	Entre 10 a 25 anos
Estruturas agrícolas ou similares	-	Entre 15 a 30 anos
Edifícios e outras estruturas comuns de importância média	50 anos	50 anos
Estruturas muito importantes, como estruturas monumentais, pontes ou outras estruturas especiais	100 anos ou mais	100 anos

Fonte: Bueno e Kimura (2015, p. 34).

Ressalta-se ainda que a norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), conceitua Vida Útil Estimada

(VUE) como sendo a durabilidade prevista para um dado produto, inferida a partir de dados históricos de desempenho do produto ou de ensaios de envelhecimento acelerado. Portanto, essa variável está diretamente ligada ao comportamento dos componentes dos sistemas, após aplicação, sem o qual não é possível prever de forma satisfatória o período em que uma edificação ou produto sobreviverá atendendo as expectativas para que foi projetado.

O projeto deve especificar um valor teórico para Vida Útil de Projeto (VUP) de cada um dos sistemas que o compõem, a fim de se alcançar uma durabilidade compatível, não inferiores aos estabelecidos na Tabela 3.

Tabela 3 – VUP segundo a norma 15575, de Desempenho

<b>Sistema</b>	<b>VUP mínima (anos)</b>
Estrutura	$\geq 50$ , segundo ABNT NBR 8681-2003
Pisos internos	$\geq 13$
Vedação vertical externa	$\geq 40$
Vedação vertical interna	$\geq 20$
Cobertura	$\geq 20$
Hidro sanitário	$\geq 20$

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013a, p. 32) (adaptação do autor).

Os fabricantes dos componentes que serão aplicados na construção devem desenvolver produtos que atendam pelo menos a VUP mínima obrigatória e informem em documentação técnica específica as recomendações para manutenção corretiva, contribuindo para que a VUP mínima seja alcançada.

Pode-se observar, na Tabela 4, as VUPs mínimas e superiores indicadas pela norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a):

Tabela 4 – VUPs mínimas e superiores indicadas pela norma de Desempenho

Sistema	VUP (anos)	
	Mínimo	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 75
Pisos Internos	≥ 13	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 30
Hidro sanitário	≥ 20	≥ 30

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013a, p. 54) (adaptação do autor).

## 2.6 DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL ESTIMADA (VUE) PELO MÉTODO DOS FATORES (MF)

Existem métodos da engenharia que permitem a aplicação de modelos matemáticos e estatísticos aos dados de projeto a fim de se extrair informações inerentes aos objetos em estudo.

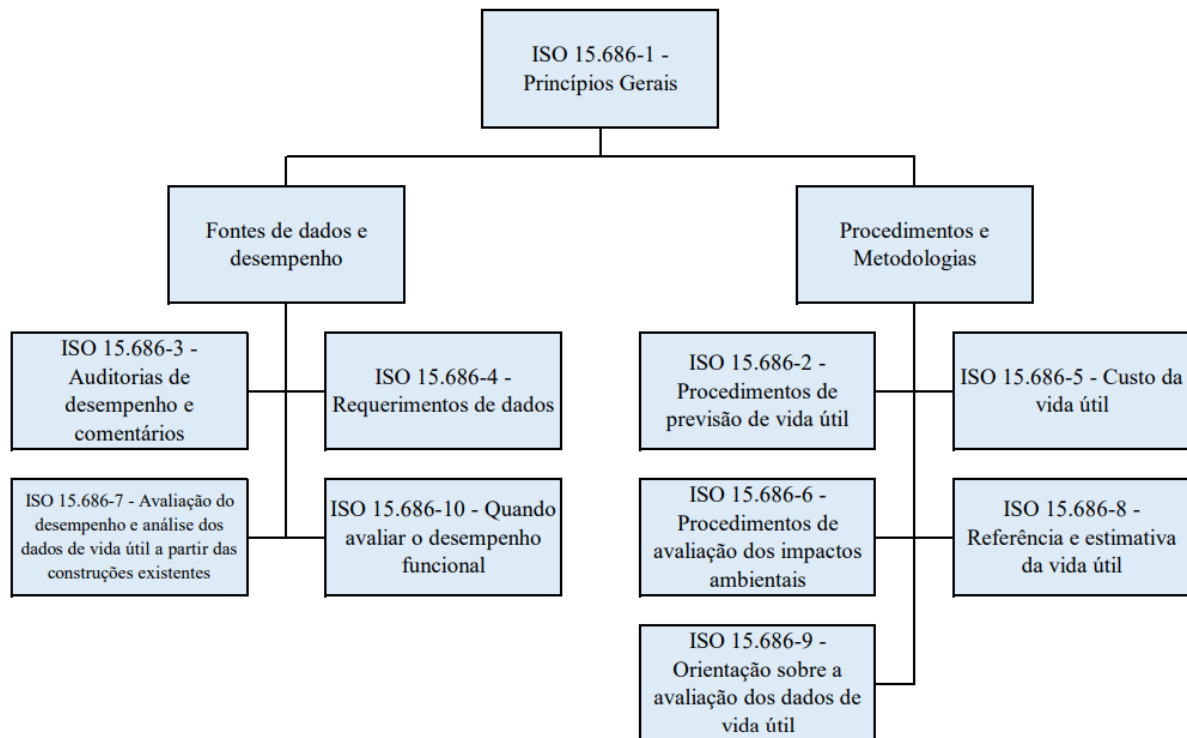
Conhecer os fatores que influenciam o comportamento geral de um material ou componente facilita o entendimento de assuntos fundamentais, mas pode não ser suficiente para a determinação da vida útil, visto que são vários os fatores inerentes ao processo de degradação das estruturas, dentre eles, como o mais importante, o meio ambiente. O Método do Fatores (MF) utiliza uma equação que contempla os fatores e seus respectivos níveis de relevância para realizar o cálculo da vida útil dos elementos que compõem as estruturas, através da combinação de fatores entre si, equação derivada da norma ISO 15686:2011-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2011), feita, especialmente, para se adequar aos problemas a serem estudados.

Segundo Zarzar Jr. (2007), o uso frequente do MF tem sido limitado devido à falta de conhecimento do método entre praticantes.

A norma ISO 15686:2011-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2011) proporciona diretrizes compreensivas sobre a predição e segurança da vida útil de componentes de edificações e conjuntos de componentes, estabelecendo uma metodologia para definição da vida útil de projeto, conforme indicado na Figura 10 (ZARZAR JR., 2007).



Figura 10 – Organograma da inter-relação entre as partes da norma ISO 15.686:2011



Fonte: Zarzar Jr. (2007) (adaptação do autor).

Na busca da estimativa da Vida Útil Estimada (VUE) dos elementos constituintes das estruturas, o desenvolvimento deste método aborda partes da norma ISO que são interligadas ao Método dos Fatores (MF):

- a) norma **ISO 15686-1:2011**: Lida com os princípios gerais, assuntos e dados necessários para prever a vida útil, e apresenta o Método dos Fatores (MF) para estimar a Vida Útil (VU) de componentes ou família de componentes para uso em projetos específicos (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2011);
- b) norma **ISO 15686-2:2012**: Descreve-se 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 15.686:2000. 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 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2012);

- c) norma **ISO 15686-8:2008**: Refere-se a vida útil de referência e estimativa da vida útil (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2008).

Indica-se que seja utilizada uma metodologia capaz de se estimar a Vida Útil (VU), possibilitando-se estimar o tempo correto de intervenção nas estruturas, através de manutenções, e, quando necessário, substituição de componentes, garantindo-se que a vida útil de serviço seja maior do que a vida útil de projeto. Esse método permite estimar a vida útil em anos, de um componente em particular ou uma família em situação específica.

O método é baseado na Vida Útil de Referência (VUR) e em uma série de fatores variáveis que se reportam à situação específica de um caso. Esse método usa fatores variáveis (ZARZAR JR., 2007):

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

Considerando que a VUR pode ser alterada por diversas condições expressas pelos fatores modificadores, a norma prevê uma classificação em três níveis, conforme o grau de influência que as condições do componente exercerão sobre a vida útil do sistema construtivo. Assim os valores aplicados pela norma ISO 15686-1:2011 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2011), para o desvio quantitativo em relação ao valor de referência, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Indicação dos valores de desvio em relação a VUR

<b>Desvio em relação à condição de referência</b>	<b>Valor</b>
Quando o fator tem influência <u>negativa</u> sobre o elemento em estudo	0,8
Quando o fator <u>não representa desvio</u> em relação à condição de referência	1,0
Quando o fator tem influência <u>positiva</u> sobre o elemento em estudo	1,2

Fonte: International Organization for Standardization (2011).

Para considerar o peso a ser atribuído aos Fatores Modificantes (FM), com uma variação entre 0,8 a 1,2, o referido intervalo pode ser justificado através do Teorema de Tchebycheff, estatístico russo que viveu entre 1821 a 1894, conforme (LARSON; FARBER, 2010). O teorema matemático não considera uma variação simétrica ou assimétrica, mas para todo tipo de amostra. De acordo com Martins e Domingues (2005, p. 87), para qualquer distribuição com média e desvio padrão, pode-se aplicar o teorema, desde que:

- a) O intervalo  $(X \pm 2S)$  ou  $(\mu \pm 2\sigma)$  contenha, no mínimo, 75% de todas as observações;
- b) O intervalo  $(X \pm 3S)$  ou  $(\mu \pm 3\sigma)$  contenha, no mínimo, 89% de todas as observações;

onde:

X – Média aritmética para uma amostra;

$\mu$  – Média aritmética para uma população;

S – Desvio padrão amostral;

$\sigma$  – Desvio padrão populacional.

Cada fator permite uma avaliação qualitativa do componente ou sistema em análise. Nesse sentido, a norma ISO 15686 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2011) apresenta uma descrição para os fatores de A a G, de acordo com o apresentado na Tabela 6. Na norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), recomenda-se utilizar o Método dos Fatores (MF), metodologia proposta pela norma ISO 15686 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2011) para se verificar se o projeto atende aos valores mínimos para a VUP, a fim de validar se a VUP adotada em projeto atende aos requisitos e critérios definidos pela norma. Desse modo, a equação adotada pela

norma ISO 15686 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2011, p. 32) para obtenção da Vida Útil Estimada (VUE) é:

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

VUE – Vida Útil Estimada;

VUR – Vida Útil de Referência dos componentes;

((A · B · C · C · E · F · G) – fatores modificantes.

Os pesos atribuídos aos fatores modificantes devem levar em consideração a experiência prévia, sendo vantajoso o uso desse método por se permitir examinar, ao mesmo tempo, as variações que interferem na vida útil de um determinado material ou componente construtivo e possibilitar o registro documental dessas variações (ZARZAR JR., 2007). Assim, o método se presta também para possibilitar a retroalimentação dos sistemas de melhoria contínua e para a realização de verificações posteriores ao uso dos sistemas.

O Método dos Fatores pode ser aplicado através de avaliação baseada na experiência do avaliador, buscando determinar a influência que determinado fator terá no cálculo da VUP e também pode ser aplicado através da função matemática já expressa anteriormente, onde, de acordo com (ZARZAR JR., 2007), as variáveis de A até G refletem a dependência da Vida Útil (VU) entre o objeto específico e a condição de referência, ou seja, os valores previstos para a VUP podem ser alterados a partir da influência, matematicamente calculada, dos fatores modificantes.

Tabela 6 – Descrição das condições de influência dos fatores modificantes

<b>Agentes</b>	<b>Fatores Modificantes</b>	<b>Situação que influenciam a aplicabilidade dos fatores modificantes</b>
Fatores relacionados à qualidade	Fator A: Qualidade dos componentes	Pressupõe o uso de materiais para execução conforme a qualidade definida em projeto ou de mesma qualidade técnica.
	Fator B: Nível de qualidade do projeto	Pressupõe definições especiais, em projeto, para aplicação dos componentes, a fim de garantir boa execução e proteção contra agentes de degradação.
	Fator C: Nível de qualidade da execução	Pressupõe mão-de-obra qualificada e controle de qualidade rigoroso.
Fatores relacionados ao ambiente	Fator D: Características do ambiente interno	Refere-se às características do ambiente interno, devendo ser levado em consideração a exposição dos componentes construtivos a agente de degradação.
	Fator E: Características do ambiente externo	Refere-se às características do ambiente externo, devendo ser levado em consideração a exposição dos componentes construtivos a agente de degradação.
Fatores relacionados à condição de operação e uso	Fator F: Condições de uso	Reflete o efeito do uso da construção através dos componentes construtivos, devendo ser identificado se o uso for comum ou privado.
	Fator G: Nível de manutenção	Refere-se a qualidade da manutenção aplicada a construção, devendo serem obedecidos os parâmetros de projeto.

Fonte: Norma ISO 15686 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2011).

De acordo com Zarzar Jr. (2007), na dificuldade de se obter dados para a discretização de modelos determinísticos, pode-se utilizar um método de apoio, conhecido como método Delphi, cuja técnica começou a ser utilizada, no início da década de 60 por Olaf Helmer e Norman Dalker, Pesquisadores da Rand Corporation.

Esse método tem como principal característica a busca progressiva de consenso nas áreas do conhecimento que não estejam consolidadas, que ainda estejam no período de pesquisas, das quais o tema seja complexo. O método é desenvolvido mediante a aplicação de sucessivos questionamentos a um grupo de especialistas, cujas respostas serão acumuladas e analisadas afim de se chegar à obtenção ou ausência de consenso.

Esta dinâmica se desenvolve através de uma espécie de roteiro, onde pode-se discretizar sua seqüência de etapas da seguinte forma:

Etapa n° 1 – Etapa inicial, monta-se uma “banca” composta por 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;

Etapa n° 2 – Distribui-se para preenchimento um questionário formado por questões pertinentes ao tema em estudo, através das respostas obtidas pelos questionários elabora-se nota sobre o assunto em questão, tudo em sigilo;

Etapa n° 3 - Depois estes questionários são entregues à um conselho, para que se possa fazer a coleta e análise dos dados obtidos, caso os resultados converge para um determinado valor, se verifica a necessidade de se introduzir novos questionamentos, caso contrário executa-se a etapa n° 5;

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

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

Etapa n° 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 a etapa n° 8;

Etapa n° 7 – Etapa final, será feito um relatório final;

Etapa n° 8 - Novas questões são introduzidas e repete-se o procedimento a partir da etapa n° 4.

A aplicação do Método Delphi para obtenção dos fatores modificantes (FM) a ser utilizados no método dos fatores (MF), implica em solicitar opiniões sobre a distribuição de diferentes fatores a um grupo de especialistas, estes fatores compreenderiam a distribuição normal, log-normal e de Gumbel, bem como, seus valores médios e desvios padrão, a determinação do valor destes fatores deve-se ocorrer de uma forma mais fácil por ser realizada com base na experiência e julgamento profissional destes especialistas.

Após a determinação destes valores, aplicando-os na equação do método dos fatores (MF) calcula-se a vida útil. Os dados utilizados são os dados extraídos da junta do conselho de especialistas, onde as distribuições são empregadas no lugar dos fatores plenos na fórmula matemática para determinação da vida útil, ao termino da determinação da vida útil realiza-se uma discussão geral sobre os resultados encontrados e os parâmetros dominantes.

Para calcular a vida útil estimada sob condições de diferentes classes de fatores modificantes (FM), ou seja, quando a VUR é multiplicada por vários fatores diferentes, faz-se necessário determinar o intervalo de confiança. De acordo com (ZARZAR JR., 2007)

A estimativa do intervalo deve ser baseada na confiança do dado para estimar a VUE e na incerteza inerente ao procedimento para calcular a VUE, a partir do que se recomenda a norma ISO 15686-8 [(INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2008).

Assim, é possível atribuir um intervalo de confiança para os fatores modificantes de  $\pm 10\%$  do valor atribuído ao fator, como também o mesmo percentual à VUR, de modo que seja determinado o intervalo de confiança para a VUE, tal que:

$$\Delta VUE = VUE \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})$$

onde:

$\Delta VUE$  – intervalo de confiança da VUE;

$\Delta VUR$  – intervalo de confiança da VUR;

$\Delta A$  à  $\Delta G$  – intervalo de confiança dos fatores modificantes.

A variação da VUE dentro de um intervalo de confiança, para mais ou para menos, ampliará as condições do projetista em elevar ou reduzir a Vida Útil de Projeto.

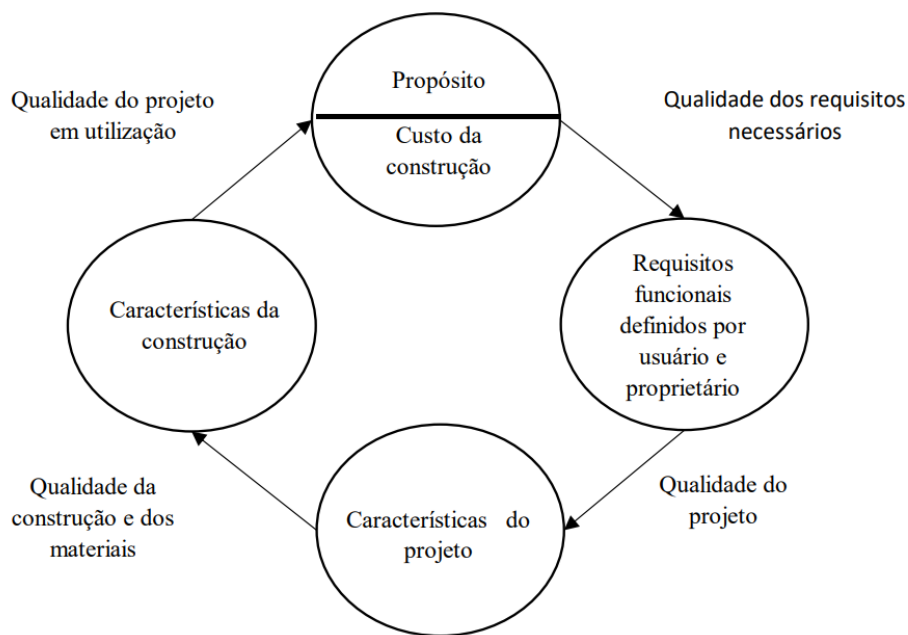
## 2.7 MANUTENÇÃO ESTRUTURAL

A Manutenção estrutural é composta por um conjunto de ações, afim de se garantir o desempenho satisfatório da estrutura ao longo do tempo, formada por uma série de rotinas que tem por finalidade o aumento vida útil de uma estrutura com custos plausíveis, para que isto seja possível é necessário que seja elaborado um programa de manutenção, que implica na definição de metodologias adequadas de operação, controle e execução da obra, e na análise do custo-benefício desta manutenção.

Para que este conjunto de ações seja exitoso é de suma importância que o usuário se faça presente na última etapa, a etapa de utilização, assumindo responsabilidades como elemento participante do processo, contribuindo desta forma com a garantia do desempenho e durabilidade da construção.

O esquema da [Figura 11] foi extraído do C.E.B. e demonstra o chamado círculo de qualidade para a construção civil, deixando claro a corresponsabilidade tanto do proprietário e investidor quanto do usuário no que se refere a manutenção, onde, estes 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.

Figura 11 – Organograma do círculo da qualidade para a construção civil



Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 22) e Euro-International Committee for Concrete (1992).

A estratégia de utilização e manutenção de uma estrutura de concreto deve começar antes mesmo do início de operação e uso, no período da concepção, incluindo sempre um programa adequado e sistemático de inspeções.



As estruturas devem ser projetadas, calculadas, detalhadas e construídas levando em consideração o ambiente ao qual estará inserida, tornando possível de se realizar, ao longo de sua vida útil, inspeções e manutenções. Os pontos mais vulneráveis da estrutura devem estar sempre identificados, tanto na fase de projeto quanto na fase de construção, estabelecendo para estes um programa particular de inspeções e manutenções, com uma intensidade maior do que o restante da estrutura.

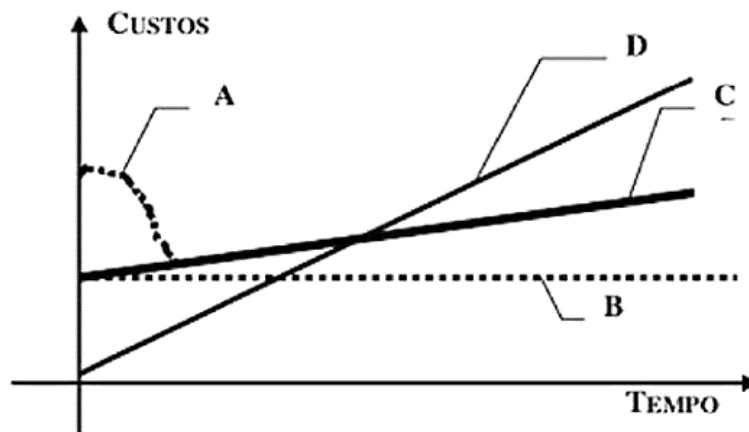
Há a necessidade de se definir as estratégias de inspeção e manutenção de acordo com cada obra, em função do grau de confiança e dos cuidados com as peças principais da estrutura.

Existem situações que uma determinada obra tem mais de um proprietário ou responsável, diante desta realidade dois grandes grupos classificadores de estratégias de manutenção são formados, onde o primeiro grupo é composto por obras de grande porte do qual pontes e viadutos fazem parte, e o segundo grupo que é composto por obras de menor porte, ou seja, somente o primeiro grupo tem relevância para o estudo em questão, grupo composto por casos em que a estrutura provavelmente terá um só responsável durante toda a sua vida útil.

Devido a este fato, se faz necessário que os órgãos competentes, em nível municipal, estadual e federal, tenham condições técnicas de definir políticas adequadas de inspeção e manutenção, bem como, dispor de pessoal capacitado e devidamente instrumentado. Sendo indispensável zelar pelo patrimônio edificado, prevenindo degradações. Desta forma evitando custos socioeconômicos e perdas de vidas humanas, possíveis de ocorrer nos casos em que a degradação atinge o seu ponto máximo, causando o colapso da estrutura.

Os custos com programas de manutenção tendem a variar de acordo com a localização geográfica e as condições do meio ambiente que as estruturas estão expostas, pode-se observar esta discretização no gráfico representado na Figura 12.

Figura 12 – Gráfico do custo das várias estratégias de manutenção



- A – Custo de reparação de defeitos originais, de projeto ou construção;
- B – Custo fixo de um sistema de inspeções programadas;
- C – Custo de um sistema de manutenção estratégica, com base no resultado das inspeções programadas;
- D – Custo de manutenção esporádica, sem inspeções.

Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 232).

Por muitas vezes os trabalhos de manutenção são vistos pelos responsáveis como improdutivos e desnecessários e deixam de ser realizados. Observando o gráfico da Figura 12, pode-se ter ideia do tamanho da irresponsabilidade de quem assim procede, devido ao fato de que quando se negligencia a manutenção há um acúmulo de deficiências e custos que podem vir a tornar-se insuportáveis num determinado momento.

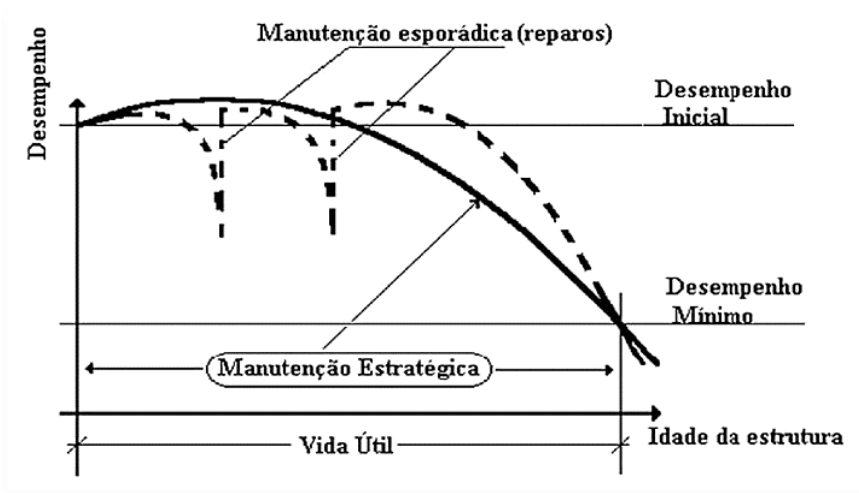
## 2.8 ESTRUTURA - A DECISÃO DE RECUPERAR OU NÃO

Para que o responsável por uma obra tenha condições de fazer uma correta análise técnica e socioeconômica da viabilidade de uma intervenção, determinando qual a ação se faz mais vantajosa, recuperar, reforçar e/ou substituir um ou mais elementos estruturais danificados por elementos novos, ou à decisão da não intervenção, opção essa normalmente desconsiderada, mas que poderá vir a ser perfeitamente a mais razoável em situação de danos muito graves, de custos elevados para reforço e recuperação, ou ainda em casos em que o próprio propósito funcional da estrutura já ficou ou ficará ultrapassado em um curto espaço de tempo. A decisão da não intervenção pode representar a demolição, a utilização da estrutura para outro tipo de função e/ou seu uso sob restrições.

A análise técnica e socioeconômica da viabilidade de uma intervenção, está diretamente ligada ao estado de degradação ao qual a estrutura se encontra no momento da tomada de decisão, fator determinante do custo da ação mais vantajosa, por tanto, quanto mais eficiente for o programa de inspeção e manutenção, mais apropriada e fundamentada será a decisão.

Um programa de inspeção e manutenção eficiente é capaz de definir a velocidade em tempo do avanço da degradação de uma determinada estrutura, de forma a estabelecer o prazo necessário para realizar os eventuais reparos, devolvendo o desempenho esperado para a estrutura, mantendo ou estendendo a sua vida útil, como se pode observar no esquema da Figura 13.

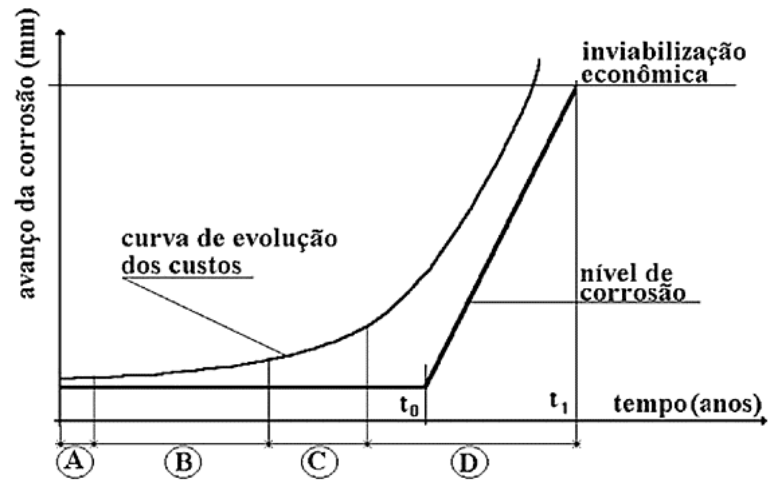
Figura 13 – Gráfico de comparação de desempenhos previsíveis para uma estrutura se submetida a programas de manutenção estratégica e se sob manutenção esporádica e reparações



Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 241).

É fundamental estabelecer no tempo devido uma correta estratégia de manutenção, evitando desta forma a necessidade de operações de recuperação (Figura 13), para que não ocorra a maximização com custos de manutenção estrutural, como explica De Sitter (1984), na famosa "Lei dos Cincos" (Figura 14).

Figura 14 – Lei dos Cincos



$t_0$  - idade em que se inicia a corrosão generalizada

$t_1$  - fim da vida útil da estrutura

Fase A: Projeto - Construção - Cura.

Fase B: Pré-corrosão, com início da carbonatação e ataque de cloretos.

Fase C: Evidência de corrosão localizada.

Fase D: Corrosão generalizada.

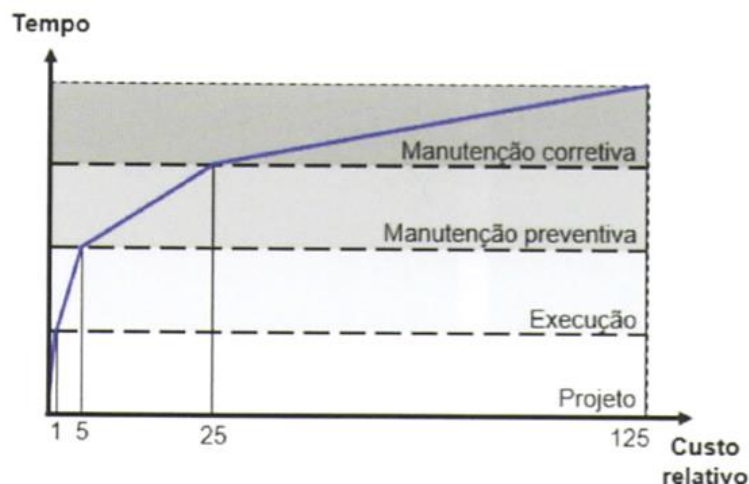
Fonte: Souza e Ripper (1998, p. 242).

Segundo (SOUZA; RIPPER, 1998),

*"Um dólar não gasto para garantir qualidade na fase A será cinco dólares gastos em manutenção preventiva na fase B, ou vinte e cinco dólares para a manutenção corretiva na fase C, ou, por fim, cento e vinte e cinco dólares de recuperação/reforço na fase D."* (SOUZA; RIPPER, 1998, p. 242, grifo do autor).

O significado dessa "lei" pode ser exposto, segundo a intervenção seja nas fases descritas na Figura 15.

Figura 15 – Representação da evolução dos custos em função da fase da vida da estrutura em que a intervenção é feita



Fonte: Bueno e Kimura (2015, p. 35); adaptação de De Sitter (1984).

- a) **Fase de projeto:** medidas adotadas na fase do projeto executivo podem aumentar a proteção e a durabilidade da estrutura, implicando diretamente no custo que pode ser associado ao número 1, estas medidas estão relacionadas com o cobrimento da armadura, a relação água/cimento e FCK do concreto, FCK, adição de sílica ativa, tratamentos protetores de superfície e outras tantas;
- b) **Fase de execução:** medidas tomadas durante a fase de execução afim de se aumentar a proteção e durabilidade da estrutura, implicam em um custo 5 vezes superior a medidas adotadas na fase de projeto, estas medidas podem estar relacionadas a redução da relação água/cimento, o que permite o redimensionamento da estrutura, considerando um concreto com maior resistência à compressão, maior módulo de elasticidade e menor fluência. Reduzindo as dimensões de componentes estruturais, formas, volume de concreto, peso próprio e taxas de armadura. Medidas eficazes e oportunas do ponto de vista da vida útil, porém, que não conseguem mais propiciar economia e otimização da estrutura;
- c) **Fase de manutenção preventiva:** pintura, limpeza e impermeabilização são medidas adotadas na fase de manutenção preventiva, necessárias para assegurar as boas condições da estrutura ao longo da sua vida útil, porém, podem custar até 25 vezes mais que medidas tomadas na fase de projeto, por outro lado, podem ser cinco vezes mais econômicas que medidas adotadas na fase de manutenção corretiva;
- d) **Fase de manutenção corretiva:** diagnóstico, reparo, reforço, reabilitação e proteção de estruturas são medidas adotadas na fase de manutenção corretiva, necessárias em estruturas que perderam sua Vida Útil de Projeto e estão acometidas de manifestações patológicas, tendo um custo de 125 vezes superior ao custo das medidas da fase de projeto, que implicariam num mesmo nível de durabilidade da obra sem a necessidade de intervenções corretivas.

## 2.9 INSPEÇÃO DE PONTES, VIADUTOS E PASSARELAS DE CONCRETO

As pontes, bem como todas as estruturas de concreto devem passar por rotinas de vistorias, que seguem um conjunto de procedimentos.

Segundo a norma 16230, de Inspeção de Estruturas de Concreto (item 3.1) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b),

[...] inspeção é conjunto de procedimentos técnicos e especializados que compreendem a coleta de dados necessários e a formulação de diagnóstico da estrutura, visando manter ou restabelecer seus requisitos de segurança estrutural, de funcionalidade e de durabilidade. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013b, p. 1)

Em poder dos dados gerados através destas inspeções, o profissional devidamente qualificado, fazendo uso dos mecanismos de orientação existentes, determina se a estrutura em análise esta enquadrada num quadro de recuperação e/ou reforço, ou se o percentual de danos ao qual a estrutura está submetida não justifica este investimento, optando-se pela condenação total ou parcial da estrutura.

As anomalias comumente encontradas em OAEs são:

– **Na estrutura da OAE:** defeitos construtivos, danos causados por acidentes, deslocamento linear ou angular, deformações excessivas, desaprumo de pilares, estados de fissuração dos elementos, exposição de armaduras, corrosão de armaduras, condições superficiais do concreto, quebra de concreto, esmagamento de concreto, deterioração por agentes agressivos, falha de acabamento dos nichos de ancoragens das armaduras protendidas, drenos de injeção não arrematados.

– **Nos aparelhos de apoio e entornos:** ausência de aparelho de apoio, bloqueio, posicionamento inadequado, acúmulo de detritos, ruptura, fissuras, trincas, esmagamentos, deformações laterais excessivas, deslocamentos, distorção excessiva; peças de aço oxidadas, assentamento irregular com concentração de esforços; deterioração do berço de assentamento e de nivelamento superior.

– **Nas pistas e seu entorno:** erosão; **instabilidade** de talude; desgaste, ondulações e cavidades no pavimento; deficiência e/ou ausência de sinalização, descontinuidade de greide; deficiência no sistema de drenagem.

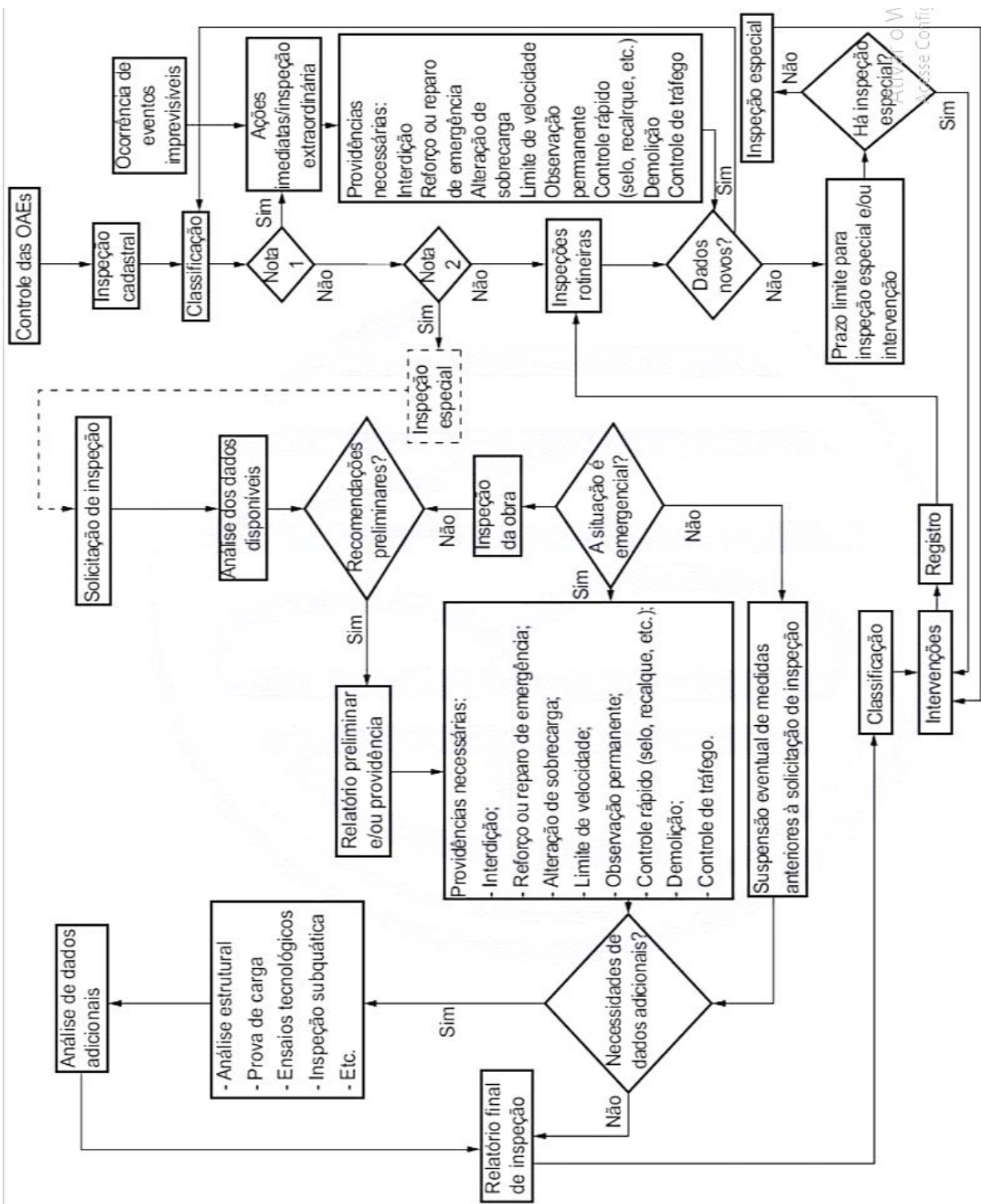
– **Nas juntas de dilatação:** ausência de vedação e estanqueidade; saliência ou depressão; deterioração dos lábios poliméricos e berços; acúmulo de detritos; perfil elastomérico com deslocamento, rasgos, ressecamento ou esmagamento; abertura excessiva.

– **Especificamente em obras ferroviárias:** defeitos nos trilhos; falha de adensamento do lastro; dormentes soltos, ausentes ou danificados; **fixações** danificadas; trilhos desalinhados em região de junta; espessura excessiva do lastro.

Na norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), são considerados quatro tipos de inspeções: cadastral, rotineira, especial, extraordinária.

Para a orientação dos passos decisórios que o inspetor deve tomar para as inspeções a serem realizadas, a norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), dispõe, em seu **Anexo C**, de um fluxograma de gerenciamento de OAE (Figura 16).

Figura 16 – Anexo C (da norma 9452, de Inspeção de Pontes) – Fluxograma de gerenciamento de OAE



Fonte: Norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019).

Define-se, através da norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), as seguintes características para os quatro tipos de inspeções:



### **a) Inspeção cadastral**

Deve ser a primeira inspeção a ser realizada na obra, efetuada logo após sua conclusão, instalação e/ou quando houver alterações na configuração da estrutura, como alargamento, acréscimo de comprimento, reforço ou mudança de sistema.

Nas inspeções cadastrais, devem ser coletados e apresentados os dados de registro fotográfico; documentos iniciais; cadastro de anomalias; ficha de inspeção cadastral; desenhos esquemáticos da planta do tabuleiro, e das seções típicas transversal e longitudinal; classificação da OAE; e demais informações consideradas importantes pelo responsável pela inspeção.

No registro fotográfico de caracterização da estrutura deve conter pelo menos a vista geral, superior, lateral e inferior do tabuleiro; os elementos da mesoestrutura e infraestrutura; as anomalias detectadas que comprometam as condições estruturais, funcionais e de durabilidade; datas; permitindo a visualização da situação, aspecto geral e esquema estrutural.

### **b) Inspeção rotineira**

Deve ser realizada no prazo máximo de um ano, verificando: evolução de anomalias pré-existentes detectadas em inspeções anteriores, novas ocorrências, reparos e/ou recuperações efetuadas, com ou sem a utilização de equipamentos e/ou recursos especiais para análise ou acesso.

Devem atender à mesma metodologia da inspeção cadastral, constando informações básicas, como rodovia e trecho inspecionado; classificação da OAE; ficha de inspeção rotineira; registro fotográfico e demais informações consideradas importantes, excluindo-se a parte de cadastro e croqui. No caso da existência de novas anomalias, estas devem ser cadastradas e terapias devem ser sugeridas, classificando a OAE segundo os parâmetros: estrutural, funcional e de durabilidade.

### **c) Inspeção especial**

Deve ter uma periodicidade de cinco anos, com a possibilidade de ser postergada até oito anos, desde que seja enquadrada concomitantemente nos casos de obras com classificação de intervenção de longo prazo e/ou obras com total acesso a seus elementos constituintes na inspeção rotineira.

Devem contemplar mapeamento gráfico e quantitativo das anomalias de todos os elementos aparentes e/ou acessíveis da OAE, possibilitando o diagnóstico e prognóstico da estrutura, podendo ser necessária a utilização de equipamentos especiais para acesso a todos os componentes da estrutura.

Sua realização deve ser antecipada, quando a inspeção anterior indicar uma classificação de intervenção em curto prazo nos seus parâmetros de desempenho estrutural e de durabilidade e/ou quando forem previstas adequações de grande porte, como alargamentos, prolongamentos, reforços e elevação de classe portante.

A fase inicial da inspeção consiste na coleta de informações gerais do contexto em que a obra está inserida, busca por documentos e informes construtivos e inspeções já realizadas. É composta por alguns requisitos:

- Relatório I – Patologia (localização, descrição da obra, inspeção, ensaios);
- Relatório II – Terapia e projeto de reparos;
- Relatórios técnicos complementares.

Diferentemente dos outros tipos de inspeções, na inspeção especial é necessário que se faça um maior detalhamento na questão da classificação da condição da OAE, considerando a relevância da anomalia e o elemento estrutural onde a mesma foi detectada.

A Referência de classificação da OAE nas inspeções especiais, pode vir da importância dos elementos na segurança estrutural e as consequências de danos em cada tipo de elemento:

- Elemento principal (P): cujo dano pode ocasionar o colapso parcial ou total da obra;
- Elemento secundário (S): cujo dano pode ocasionar ruptura localizada;
- Elemento complementar (C): cujo dano não causa nenhum comprometimento estrutural, apenas funcional na OAE.

A Tabela 7 tem como objetivo balizar a identificação dos tipos de elementos nas estruturas convencionais. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019).

Tabela 7 – Caracterização dos elementos estruturais segundo a relevância

Elemento			Sistema estrutural				
			Duas vigas	Grelha	Caixão	Laje	Galeria
Superestrutura	Viga	Longarina	P	P	---	---	---
		Transversina	S	S	S	S	S
	Laje		S	S	P	P	P
Mesoestrutura		Travessas	P	P	P	P	---
		Pilares	P	P	P	P	---
		Aparelho de apoio	P	P	P	P	---
Encontros		Cortina	S	S	S	S	---
		Laje de transição	S	S	S	S	S
		Muros de ala	S	S	S	S	S
Infraestrutura		Blocos	P	P	P	P	P
		Sapatas	P	P	P	P	P
		Estacas, tubulões	P	P	P	P	P
Complementares		Barreira rígida	C	C	C	C	C
		Guarda-corpo	C	C	C	C	C

Fonte: Norma 9452, de Inspeção de Pontes, (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019, p. 31).

Nas Tabelas 8 a 12 são apresentados os quadros referenciais de OAE com classificações para os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019) No que se refere a classificação funcional, as avaliações ligadas aos gabaritos devem levar em consideração: pistas existentes; ocorrência de acidentes; sinais de impacto de veículos; sinalização existente; critérios dos manuais e normas de projeto geométrico, como a classe da rodovia e o volume de tráfego.

Tabela 8 – Nota de classificação da OAE segundo os parâmetros estruturais

Condição verificada na inspeção especial segundo parâmetros estruturais		Nota de classificação		
		Elemento onde foi constatada a anomalia		
		Principal	Secundário	Complementar
<b>Fissuração</b>	Fissuração superficial de retração, hidráulica ou térmica	4	4	5
	Fissuração em elementos protendidos	1	2	---
	Fissuras em elementos de concreto armado com abertura dentro dos limites previstos conforme ABNT NBR 6118:2014, 13.4	3	4	4
	Fissuras em elementos de concreto armado com abertura superior aos limites previstos conforme ABNT NBR 6118:2014, 13.4	2	3	4
<b>Flecha</b>	Flechas não congênitas acima dos limites conforme ABNT NBR 6118	1	2	3
<b>Anomalias na armadura</b>	Armadura principal exposta e corroída, com perda de seção de até 20% do total da armadura	3	4	5
	Armadura principal exposta e corroída, com perda de seção acima de 20% da área total de armadura ou que comprometa a estabilidade da peça	2	3	4
	Armaduras principais rompidas	1	2	3
	Ruptura de parte da armadura principal passiva ou ativa	1	2	3
	Tirantes rompidos	1	---	---
	Armadura protendida exposta e corroída	2	---	---
	Perda ou falta de protensão em elemento principal	2	---	---
<b>Anomalias no concreto</b>	Concreto segregado com áreas inferiores a 0,1 m <sup>2</sup> em zonas favoráveis de tensões	4	5	5
	Concreto segregado em regiões de tensões de compressão, mas em pequenas áreas (entre 0,1 m <sup>2</sup> e 0,5 m <sup>2</sup> )	3	4	5
	Concreto segregado em regiões sujeitas a tensões de compressão, em área superior a 0,5 m <sup>2</sup>	2	3	4
	Rompimento do concreto em pontos de altas tensões de compressão	1	2	3

Fonte: Norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019, p. 32).

Tabela 9 – continuação - Nota de classificação da OAE segundo os parâmetros estruturais

<b>Condições verificada na inspeção especial segundo parâmetros estruturais</b>		<b>Nota de classificação</b>
<b>Apoio (mesoestrutura)</b>	Deslocamento e ou desalinhamento de peças estruturais gerando excentricidades que podem ocasionar instabilidade ou concentração de tensões	2
	Vigas transversinas ou longarinas mal ou insuficientemente apoiadas em pilares, sintomas localizados como trincas (grandes fissuras) junto aos apoios na interface das vigas e pilares podem vir a reforçar este juízo	1
<b>Aparelho de apoio</b>	Aparelhos de apoio de neoprene com pequenos rasgos na camada superficial, sem exposição das chapas de frenagem	5
	Aparelhos de apoio metálicos com corrosão superficial	4
	Aparelhos de apoio danificados ou comprometidos gerando alguma vinculação sem causar grandes esforços, recalques diferenciais e sem criação de cunhas de ruptura ou fissuras no entorno	3
	Aparelhos de apoio comprometidos, gerando vínculos imprevistos com cunhas de ruptura e recalques diferenciais com trincas ou fissuras	2
	Aparelhos de apoio danificados totalmente rompidos, dando origem a esforços horizontais e ou travamento de rotações, indesejáveis no esquema estrutural original	1
<b>Juntas</b>	Juntas de dilatação parcialmente obstruídas sem causar restrições à movimentação dos tabuleiros	5
	Juntas de dilatação obstruídas, causando restrições à movimentação dos tabuleiros	4
	Juntas de dilatação obstruídas, com contribuição para quadro patológico com formação de fissuras em vigas longarinas e lajes	3
	Juntas de dilatação obstruídas, causando graves danos à superestrutura (esmagamento do concreto de vigas e lajes, formação de quadro de fissuração e esforços não previstos na meso e infraestrutura)	2
<b>Encontros</b>	Taludes de encontro com pequenos sulcos, sem causar danos às fundações	5
	Talude de encontro com erosão, com situação estabilizada, sem causar danos às fundações	4
	Deslizamento de taludes de encontro	2
	Deslizamento de taludes de encontro gerando possível perda de base de apoio de fundações e/ou empuxos ativos nos pilares	1
	Desníveis do pavimento, na transição terraplano x tabuleiro, gerando acréscimo no impacto da carga acidental	3
<b>Outros</b>	Drenos inexistentes ou comprometidos no interior dos caixões, acarretando retenção de água no seu interior	3

Fonte: Norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019, p. 33).

Tabela 10 – Classificação segundo parâmetros funcionais

Condição verificada na inspeção especial, segundo parâmetros funcionais		Classificação nota
<b>Drenagem</b>	Drenagem deficiente sem causar empoçamento ou aquaplanagem	4
	Drenagem no tabuleiro deficiente com empoçamento localizados que não provoquem o fenômeno de aquaplanagem	3
	Drenagem ineficiente ou inexistente gerando pontos úmidos e formação de lâmina de água, possibilitando derrapagem ou o fenômeno de aquaplanagem	1
<b>Pista</b>	Pista de rolamento com pequenas irregularidades, sem gerar desconforto ao usuário	5
	Pista de rolamento com irregularidades, gerando desconforto ao usuário	4
	Desníveis no pavimento, na transição terrapleno x tabuleiro e juntas de dilatação, causando solavancos	3
<b>Juntas</b>	Pontos danificados nas juntas de dilatação sem causar desconforto ao usuário	4
	Berço danificado nas juntas de dilatação, gerando pequeno desconforto ao usuário	3
<b>Dispositivos de segurança</b>	Dispositivos de segurança com pontos danificados (segregação de concreto, armadura exposta)	3
	Dispositivos de segurança inexistentes, comprometendo a segurança dos usuários	1
	Inexistência de dispositivos de segurança para proteção de peças estruturais sujeitas a impactos	2
<b>Passeio e guarda-corpo</b>	Guarda-corpo rompido ou inexistente	1
<b>Gabaritos</b>	Sinalização horizontal e vertical inadequadas ou inexistentes, com risco à segurança da obra e usuários	2
	Acidentes com choques de veículos ou embarcações na estrutura	2

Fonte: Norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019, p. 34).

Tabela 11 – Classificação segundo parâmetros de durabilidade

(continua)

Condição verificada na inspeção especial segundo parâmetro de durabilidade		Nota de classificação		
		Elemento onde foi constatada a anomalia		
		Principal	Secundário	Complementar
<b>Fissuração</b>	Quadro de fissuração generalizada, mas dentro dos limites previstos conforme ABNT NBR 6118:2014, 13.4	5	5	5
	Quadro de fissuração inaceitável, conforme ABNT NBR 6118:2014, 13.4	1	2	3
	Fissuração de elementos estruturais com indícios de reação expansiva (álcali-agregado ou sulfatos)	2	2	3
<b>Armadura</b>	Armaduras expostas com corrosão incipiente	3	4	4
	Armadura exposta em processo evolutivo de corrosão	2	3	4
	Armadura protendida exposta, mesmo sem corrosão, em ambiente de baixa e média agressividade	3	4	---
	Armadura protendida exposta e corroída	1	2	3
	Obras com deficiência de cobrimento sem armadura exposta	4	5	5
	Obras com deficiência de cobrimento com estufamento por expansão da corrosão	3	4	4
<b>Concreto</b>	Concreto segregado com áreas inferiores a 0,1 m <sup>2</sup> em zonas favoráveis de tensões	4	4	5
	Concreto segregado em regiões de tensões de compressão, mas em pequenas áreas (entre 0,1 m <sup>2</sup> e 0,5 m <sup>2</sup> )	3	4	5
	Concreto segregado em regiões sujeitas a tensões de compressão, em área superior a 0,5 m <sup>2</sup>	2	3	4
	Lixiviação superficial do concreto	4	4	5
	Manchas superficiais de fuligem atmosférica	4	4	5
	Calcinação do concreto com exposição de armaduras	1	2	3
<b>Carbonatação</b>	Eflorescências, com surgimento de manchas esbranquiçadas decorrentes de reação de carbonatação	4	4	5
	Carbonatação com profundidade atingindo armaduras principais	3	3	4
	Carbonatação com profundidade superior à espessura do cobrimento da armadura	2	3	3

Fonte: Norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019, p. 35).

Tabela 12 – continuação - Classificação segundo parâmetros de durabilidade

(continuação)

Condição verificada na inspeção especial, segundo parâmetros de durabilidade		Classificação nota
<b>Drenagem</b>	Buzinotes obstruídos	3
	Drenagem do caixão inexistente ou insuficiente, com acúmulo de água dentro dos mesmos	2
	Presença de água internamente às bainhas da armadura protendida	1
	Drenagem do tabuleiro totalmente inoperante	2
<b>Taludes</b>	Taludes dos encontros com erosão localizada ou solapamento de material	3
	Taludes dos encontros com erosão significativa	2
	Taludes dos encontros com erosão significativa, acarretando desconfinamento da fundação	1
	Taludes protegidos com placas faltantes ou danificados	4
	Percolação de águas pluviais ou subterrâneas pelos taludes dos encontros	3

Fonte: Norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019, p. 36).

#### **d) Inspeção extraordinária**

A inspeção extraordinária ocorre de forma não programada, gerada por uma demanda pontual, independente da necessidade de se avaliar com maior critério um elemento ou parte da OAE, normalmente ocorre em situações excepcionais decorrentes de alterações ambientais ou acidentes, bem como, impacto de veículo, trem ou embarcação; ou eventos da natureza, como inundação, vendaval, sismo e outros.

Deve ser apresentada em formato de relatório específico, com descrição da obra e identificação das anomalias, incluindo o mapeamento da estrutura, documentação fotográfica e terapia recomendada. Para a confecção deste relatório pode ser necessária a utilização de equipamentos especiais que permitam o acesso à elementos ou parte da estrutura. Quando houver a necessidade de se inspecionar elementos submersos realiza-se uma inspeção subaquática.

A inspeção subaquática é a inspeção detalhada dos elementos submersos de uma OAE, se faz no intuito da detecção e identificação de anomalias existentes, é considerada como parte integrante das inspeções especiais, desta forma, deve ocorrer em intervalos regulares ou extraordinários conforme o determinado para a inspeção extraordinária.



Caso a estrutura tenha mais de dez apoios submersos, é permitido que se faça uma inspeção por amostragem, determinada de acordo com as anomalias detectadas, de forma que no prazo de dez anos todos os apoios submersos tenham sido inspecionados. Esta conduta deve ocorrer em comum acordo com o órgão responsável pela manutenção da OAE.

As anomalias detectadas devem ser registradas por recursos de mídia e documentação descrita na norma, observando as recomendações reguladoras de segurança.

A inspeção deve ser realizada através de um plano de trabalho, onde, quando necessário os elementos deverão ser limpos com o auxílio de espátulas e ou jatos de água na remoção de incrustações, devido à dificuldade e ao tempo da execução deste serviço de limpeza, limita-se o mesmo à área do elemento estrutural a ser inspecionado.

Geralmente os equipamentos audiovisuais utilizados nas inspeções subaquáticas permitem que exista a comunicação vocal bidirecional e visual, o que, torna possível ao mergulhador fazer em tempo real a descrição da anomalia que está sendo observada. Permitindo que a equipe de apoio possa fazer o registro de forma eficiente, solicitando informações mais detalhadas e fornecendo esclarecimentos através do acompanhamento de desenhos e esquemas, verificando a validade das observações e o acerto na localização da anomalia.

As OAEs devem ser classificadas segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade e a gravidade dos problemas detectados, respeitando as normas brasileiras aplicáveis em cada caso.

#### **a) Parâmetros estruturais**

Os parâmetros estruturais são aqueles relacionados à segurança estrutural da OAE, ou seja, referentes à sua estabilidade e capacidade portante, sob o critério de seus estados limites último e de utilização, conforme norma 6118, de Concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

Sob o ponto de vista de prioridades de ações de recuperação, é frequente estes parâmetros serem objeto de maior atenção, notadamente quando a obra apresenta sintomatologia já visualmente detectável de desempenho estruturalmente anômalo.

#### **b) Parâmetros funcionais**

Por parâmetros funcionais entendem-se aqueles aspectos da OAE relacionados diretamente aos fins a que ela se destina, devendo, para tanto, possuir requisitos geométricos adequados, como: visibilidade, gabaritos verticais e horizontais. Deve proporcionar também

conforto e segurança a seus usuários, apresentando, por exemplo, guarda-corpos íntegros, ausência de depressões e/ou buracos na pista de rolamento e sinalização adequada.

### **c) Parâmetros de durabilidade**

Designam-se por parâmetros de durabilidade aquelas características das OAEs diretamente associadas à sua vida útil, ou seja, com o tempo estimado em que a estrutura deve cumprir suas funções em serviço.

Deste modo, estes parâmetros vinculam-se à resistência da estrutura contra-ataques de agentes ambientais agressivos. Exemplificam-se como anomalias associadas à durabilidade, ausência de cobrimento de armadura, corrosão, fissuração que permite infiltrações, erosões nos taludes de encontros, entre outras.

A relevância dos problemas de durabilidade deve ser avaliada em conjunto com a agressividade do meio em que se situam, como o objetivo de inferir a velocidade de deterioração a eles associados.

A classificação da OAE consiste na atribuição de valores na avaliação de sua condição, que pode ser excelente, boa, regular, ruim ou crítica, associando notas aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade. Essas notas de avaliação devem variar de 1 a 5, refletindo a maior ou menor gravidade dos problemas detectados.

A classificação deve seguir o estabelecido na Tabela 13, que correlaciona essas notas com a condição da OAE e caracteriza os problemas detectados, segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Tabela 13 – Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção e rotina.
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
2	Ruim	Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo.	OAE com funcionalidade visivelmente comprometida com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometem sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.
1	Critica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não.	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.

Fonte: Norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019).

No caso das inspeções especiais que sejam mais detalhadas, cada elemento da obra é inspecionado e suas anomalias são registradas. A classificação pode seguir o quadro referencial de classificação da OAE constante do **Anexo E** (da norma 9452, de Inspeção de Pontes) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019).

A nota final deve ser a menor nota atribuída ao parâmetro analisado, conforme a Tabela 14.

A classificação final deve ser apresentada conforme o modelo apresentado na Tabela 14, por componente estrutural e com uma classificação para cada um dos parâmetros considerados, estrutural, funcional e de durabilidade, com base nas notas da Tabela 13.

Tabela 14 – Modelo de ficha de classificação da OAE

Parâmetro	Elemento						Nota final
	Super estrutura	Meso estrutura	Infra estrutura	Elementos complementares		Pista	
				Estrutura	Encontro		
Estrutura							
Funcional		NA	NA				
Durabilidade							

Fonte: Norma 9452 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019, p. 8).

### 3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa foi exploratória e descritiva, com técnicas de pesquisa documental e bibliográfica.

A pesquisa constituiu-se no estudo da norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a) em conjunto com a norma ISO 15686:2000-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2011), no que se refere a análise de Vida Útil (VU), e no estudo da norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019).

Em relação à norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), o estudo se desenvolveu a partir da parte da norma que trata das estruturas de edificações, seguindo-se a orientação de se utilizar o Métodos dos Fatores (MF), descrito na norma ISO 15686:2000-1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2011), como ferramenta de determinação da VUE para os elementos que compõe as estruturas.

Em relação a norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), o estudo se desenvolveu a partir da parte da norma que trata dos critérios de classificação das condições em que se encontram as estruturas.

Realizou-se, ainda, um estudo comparativo entre a norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), e o Método dos Fatores (MF), no que se refere aos critérios de classificação, observando-se que as duas ferramentas levam em consideração as condições em que se encontram as estruturas em análise, bem como, as influências determinantes destas condições.

O intuito deste estudo foi de demonstrar que a utilização do Método dos Fatores (MF) na determinação da VUE de OAEs é de grande valia, já que a norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), fornece em seus relatórios somente notas de classificação de seus elementos quanto ao seu estado estrutural, funcional e de durabilidade, não estimando a perda de Vida Útil (VU) devida aos acometimentos de manifestações patológicas e a falta de manutenções.

A metodologia sugerida aplica o Método dos Fatores (MF) através de uma equação matemática, com os Fatores Modificantes (FM) sob simples multiplicação, sendo seus valores determinados pelo responsável na utilização do método.

Através do estudo comparativo, pode-se observar que, tanto o Método dos Fatores (MF), quanto a norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), têm seus dados de entrada relacionados aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade.

Na norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), estes parâmetros são apresentados nos resultados de forma isolada na Tabela 12, não havendo uma correlação entre eles, o que impossibilita que se faça uma estimativa da Vida Útil (VU) da estrutura em análise, já que a norma não considera o grau de acometimento patológico ao qual a estrutura está submetida na sua totalidade.

No Método dos Fatores (MF), diferentemente da norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), estes parâmetros se correlacionam matematicamente pela equação de determinação da Vida Útil Estimada (VUE), onde os Fatores Modificantes (FM) se multiplicam entre si, determinando a intensidade da influência sobre a Vida Útil de Projeto (VUP), apresentada na equação como Vida Útil de Referência (VUR):

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

VUE – Vida útil estimada

VUR – vida útil de referência dos componentes

(A · B · C · C · E · F · G) – fatores modificantes

A seguir são demonstradas as semelhanças entre as duas ferramentas em estudo, no que se refere a esses três parâmetros.

- a) Norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019):

Tabela 14 – Modelo de ficha de classificação da OAE

Parâmetro	Elemento						
	Super estrutura	Meso estrutura	Infra estrutura	Elementos complementares		Pista	Nota final
				Estrutura	Encontro		
Estrutura							
Funcional		NA	NA				
Durabilidade							

Fonte: Norma 9452 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019, p. 8).

- **Parâmetros estruturais:** são aqueles relacionados à segurança estrutural da OAE, ou seja, referentes a sua estabilidade e capacidade portante, sob o critério de seus estados limites último e de utilização, conforme a norma 6118, de Concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014). Sob o ponto de vista de prioridades de ações de recuperação, é frequente estes parâmetros serem objeto de maior atenção, notadamente quando a obra apresenta sintomatologia já visualmente detectável de desempenho estruturalmente anômalo.
- **Parâmetros funcionais:** são aqueles aspectos da OAE relacionados diretamente aos fins a que ela se destina, devendo, para tanto, possuir requisitos geométricos adequados, como: visibilidade, gabaritos verticais e horizontais. Devem proporcionar também conforto e segurança a seus usuários, apresentando, por exemplo, guarda-corpos íntegros, ausência de depressões e/ou buracos na pista de rolamento e sinalização adequada.
- **Parâmetros de durabilidade:** são aquelas características das OAEs diretamente associadas à sua vida útil, ou seja, com o tempo estimado em que a estrutura deve cumprir suas funções em serviço. Deste modo, estes parâmetros vinculam-se à resistência da estrutura contra-ataques de agentes ambientais agressivos. Exemplificam-se como anomalias associadas à durabilidade, ausência de cobrimento de armadura, corrosão, fissuração que permite infiltrações, erosões nos taludes de encontros, entre outras. A relevância dos problemas de durabilidade deve ser avaliada em conjunto com a agressividade do meio em que se situam, como o objetivo de inferir a velocidade de deterioração a eles associados.

**b) Métodos dos Fatores (MF)**

Tabela 6 – Descrição das condições de influência dos fatores modificantes

<b>Agentes</b>	<b>Fatores Modificantes</b>	<b>Situação que influenciam a aplicabilidade dos fatores modificantes</b>
Fatores relacionados à qualidade	Fator A: Qualidade dos componentes	Pressupõe o uso de materiais para execução conforme a qualidade definida em projeto ou de mesma qualidade técnica.
	Fator B: Nível de qualidade do projeto	Pressupõe definições especiais, em projeto, para aplicação dos componentes, a fim de garantir boa execução e proteção contra agentes de degradação.
	Fator C: Nível de qualidade da execução	Pressupõe mão-de-obra qualificada e controle de qualidade rigoroso.
Fatores relacionados ao ambiente	Fator D: Características do ambiente interno	Refere-se às características do ambiente interno, devendo ser levado em consideração a exposição dos componentes construtivos a agente de degradação.
	Fator E: Características do ambiente externo	Refere-se as características do ambiente externo, devendo ser levado em consideração a exposição dos componentes construtivos a agente de degradação.
Fatores relacionados à condição de operação e uso	Fator F: Condições de uso	Reflete o efeito do uso da construção através dos componentes construtivos, devendo ser identificado se o uso for comum ou privado.
	Fator G: Nível de manutenção	Refere-se a qualidade da manutenção aplicada a construção, devendo serem obedecidos os parâmetros de projeto.

Fonte: Norma ISO 15686 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2011).

Através do estudo, pode-se observar, que da mesma forma que o Método dos Fatores (MF), a norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), tem como critérios de classificação a atribuição de valores numéricos, sendo que, na norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), estes valores variam de 1 (um) a 5 (cinco) e, no Método dos Fatores (MF), estes valores variam de 0,8 (zero oito) a 1,2 (um virgula dois).

Na norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), a atribuição destes valores consiste na avaliação das condições estrutura, variando entre excelente e crítica, associando-se estas notas aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade. As variações destas notas refletem o grau da gravidade dos problemas detectados, como estabelecido na Tabela 13.

No Método dos Fatores (MF), a determinação dos valores dos Fatores Modificantes (A, B, C, D, E, F e G) é realizada de acordo com as condições de influência destes, conforme



demonstrado na Tabela 6 e seguindo as indicações de determinação da Tabela 5, podendo variar seus graus de influência entre condições de escala máxima positiva e mínima negativa, cujos valores são associados aos parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade, refletindo desta forma o grau da gravidade dos problemas detectados na estrutura.

A seguir são demonstradas as comparações entre as duas ferramentas em estudo, no que se refere a estas condições:

a) Valores de classificação segundo o Método dos Fatores (MF)

Tabela 5 – Indicação dos valores de desvio em relação a VUR

<b>Desvio em relação à condição de referência</b>	<b>Valor</b>
Quando o fator tem influência <u>negativa</u> sobre o elemento em estudo	0,8
Quando o fator <u>não representa desvio</u> em relação à condição de referência	1,0
Quando o fator tem influência <u>positiva</u> sobre o elemento em estudo	1,2

Fonte: International Organization for Standardization (2011).

b) Valores de classificação segundo a norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019)

Tabela 13 – Classificação da condição de OAE segundo os parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade

Nota de classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários.	A OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção e rotina.
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo.	A OAE apresenta desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental.
2	Ruim	Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo.	OAE com funcionalidade visivelmente comprometida com riscos de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometem sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental.
1	Critica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não.	A OAE não apresenta condições de utilização.	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problema já de risco estrutural e/ou funcional.

Fonte: Norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019).

### 3.1 CENÁRIOS

Aprofundando mais o estudo no Método dos Fatores (MF), foram discretizados 5 (cinco) cenários na formação de 4 universos de possibilidades de VUEs, a fim de se observar as variações que se tem devido aos valores atribuídos a VUP e os Fatores Modificantes (MF), no cálculo da VUE, como demonstrado abaixo:

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

VUE – Vida útil estimada;

VUR – vida útil de referência dos componentes;

(A · B · C · C · E · F · G) – Fatores Modificantes.

$$\Delta VUE = VUE \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})$$

onde:

$\Delta VUE$  – intervalo de confiança da VUE;

$\Delta VUR$  – intervalo de confiança da VUR;

$\Delta A$  à  $\Delta G$  – intervalo de confiança dos fatores modificantes.

Para definir os limites compreendidos entre os cenários, variou-se os valores dos desvios entre 0,8 e 1,20, como descrito a seguir:

- Cenário 1: atribuiu-se ao cálculo o valor de 0,80 para os Fatores Modificantes;
- Cenário 2: atribuiu-se ao cálculo o valor de 0,90 para os Fatores Modificantes;
- Cenário 3: atribuiu-se ao cálculo o valor de 1,00 para os Fatores Modificantes;
- Cenário 4: atribuiu-se ao cálculo o valor de 1,10 para os Fatores Modificantes;
- Cenário 5: atribuiu-se ao cálculo o valor de 1,20 para os Fatores Modificantes.

Nestes 5 (cinco) cenários, foram exploradas quatro opções de VUP, com valores respectivos de 50, 62,5, 75 e 100 anos, dando origem a 4 (quatro) universos de possibilidades, atendendo-se a norma 6118, de Concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), e a norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), no que se refere a VUP, como demonstrado nas Tabelas 2 e 4 a seguir:

Tabela 2 – Exemplo de VUP que podem ser especificadas

<b>Tipo de estrutura</b>	<b>Fib Model Code for Concrete Structures 2010</b>	<b>Fib CEB-FIB Bulletin 34 Model Code for Service Life Design (2006)</b>
Estruturas de caráter temporário	Entre 1 a 5 anos	10 anos
Elementos substituíveis de estruturas (por exemplo, pórticos e aparelhos de apoio)	25 anos	Entre 10 a 25 anos
Estruturas agrícolas ou similares	-	Entre 15 a 30 anos
Edifícios e outras estruturas comuns de importância média	50 anos	50 anos
Estruturas muito importantes, como estruturas monumentais, pontes ou outras estruturas especiais	100 anos ou mais	100 anos

Fonte: Bueno e Kimura (2015, p. 34).

Tabela 4 – VUPs mínimas e superiores indicadas pela norma de Desempenho

<b>Sistema</b>	<b>VUP (anos)</b>	
	<b>Mínimo</b>	<b>Superior</b>
Estrutura	≥ 50	≥ 75
Pisos Internos	≥ 13	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 30
Hidro sanitário	≥ 20	≥ 30

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013a, p. 54) (adaptação do autor).

Através do estudo conseguiu-se observar as variações de VUEs devidas aos valores atribuídos tanto para as VUPs quanto para os Fatores Modificantes (FM).

Assim:

- Uma OAE, que tenha uma Vida Útil de Projeto (VUP) de 50 anos, terá uma Vida Útil Estimada (VUE) que varia de 8 a 230 anos;

- Uma OAE, que tenha uma Vida Útil de Projeto (VUP) de 62,5 anos, terá uma Vida Útil Estimada (VUE) que varia de 9 a 287 anos;
- Uma OAE, que tenha uma Vida Útil de Projeto (VUP) de 75 anos, terá uma Vida Útil Estimada (VUE) que varia de 11 a 345 anos;
- Uma OAE, que tenha uma Vida Útil de Projeto (VUP) de 100 anos, terá uma Vida Útil Estimada (VUE) que varia de 15 a 460 anos.

Desta forma, os cenários apresentaram-se da seguinte forma:

– **Cenário 1:**

Determinação dos Fatores Modificadores (FM)

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

<b>Fator A</b> (Qualidade dos componentes)	= 0,8 (Influência Negativa)
<b>Fator B</b> (Nível de qualidade do projeto)	= 0,8 (Influência Negativa)
<b>Fator C</b> (Nível de qualidade da execução)	= 0,8 (Influência Negativa)
<b>Fator D</b> (Características Ambiente Interno)	= 0,8 (Influência Negativa)
<b>Fator E</b> (Características Ambiente Externo)	= 0,8 (Influência Negativa)
<b>Fator F</b> (Condições de uso)	= 0,8 (Influência Negativa)
<b>Fator G</b> (Nível de manutenção)	= 0,8 (Influência Negativa)

Determinação da Vida Útil de Referência (VUR)

$$VUE = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

a) **VUR** = VUP = 50 anos

$$VUE1A = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})(1A)$$

$$VUE1A = 50 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8$$

$$VUE1A = \mathbf{10,49 \text{ anos}}$$

$$\Delta VUE1A = VUE1A \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(1A)$$

$$\Delta VUE1A = 10 \cdot \sqrt{((5/50)^2 + 7 \times (0,08/0,8)^2)}$$

$$\Delta VUE1A = \pm \mathbf{2,97 \text{ anos}}$$

**b) VUR = VUP = 62,5 anos**

$$VUE1B = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})(1B)$$

$$VUE1B = 62,5 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8$$

$$VUE1B = \mathbf{13,11 \text{ anos}}$$

$$\Delta VUE1B = VUE1B \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(1B)$$

$$\Delta VUE1B = 13 \cdot \sqrt{((7,5/75)^2 + 7 \times (0,08/0,8)^2)}$$

$$\Delta VUE1B = \pm \mathbf{3,71 \text{ anos}}$$

**c) VUR = VUP = 75 anos**

$$VUE1B = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})(1B)$$

$$VUE1B = 75 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8$$

$$VUE1B = \mathbf{15,73 \text{ anos}}$$

$$\Delta VUE1B = VUE1B \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(1B)$$

$$\Delta VUE1B = 16 \cdot \sqrt{((7,5/75)^2 + 7 \times (0,08/0,8)^2)}$$

$$\Delta VUE1B = \pm \mathbf{4,45 \text{ anos}}$$

d) **VUR = VUP = 100 anos**

$$VUE1C = \mathbf{VUR} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{E} \cdot \mathbf{F} \cdot \mathbf{G} \quad (\text{Eq. 1})(1C)$$

$$VUE1C = 100 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,8$$

$$VUE1C = \mathbf{20,97 \text{ anos}}$$

$$\Delta VUE1C = VUE1C \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(1C)$$

$$\Delta VUE1C = 21 \cdot \sqrt{((10/100)^2 + 7 \times (0,08/0,8)^2)}$$

$$\Delta VUE1C = \mathbf{+/- 5,93 \text{ anos}}$$

– **Cenário 2:**

Determinação dos Fatores Modificadores (FM)

$$VUE = \mathbf{VUR} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{E} \cdot \mathbf{F} \cdot \mathbf{G} \quad (\text{Eq. 1})$$

**Fator A** (Qualidade dos componentes) = 0,9 (Influência Intermediária Negativa)

**Fator B** (Nível de qualidade do projeto) = 0,9 (Influência Intermediária Negativa)

**Fator C** (Nível de qualidade da execução) = 0,9 (Influência Intermediária Negativa)

**Fator D** (Características Ambiente Interno) = 0,9 (Influência Intermediária Negativa)

**Fator E** (Características Ambiente Externo) = 0,9 (Influência Intermediária Negativa)

**Fator F** (Condições de uso) = 0,9 (Influência Intermediária Negativa)

**Fator G** (Nível de manutenção) = 0,9 (Influência Intermediária Negativa)

Determinação da Vida Útil de Referência (VUR)

$$VUE = \mathbf{VUR} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{E} \cdot \mathbf{F} \cdot \mathbf{G} \quad (\text{Eq. 1})$$

a) **VUR = VUP = 50 anos**

$$VUE2A = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})(2A)$$

$$VUE2A = 50 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9$$

$$VUE2A = \mathbf{23,91 \text{ anos}}$$

$$\Delta VUE2A = VUE2A \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(2A)$$

$$\Delta VUE2A = 24 \cdot \sqrt{((5/50)^2 + 7 \times (0,09/0,9)^2)}$$

$$\Delta VUE2A = \mathbf{+/- 6,76 \text{ anos}}$$

b) **VUR = VUP = 62,5 anos**

$$VUE2B = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})(2B)$$

$$VUE2B = 62,5 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9$$

$$VUE2B = \mathbf{29,89 \text{ anos}}$$

$$\Delta VUE2B = VUE2B \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(2B)$$

$$\Delta VUE2B = 30 \cdot \sqrt{((7,5/75)^2 + 7 \times (0,09/0,9)^2)}$$

$$\Delta VUE2B = \mathbf{+/- 8,46 \text{ anos}}$$

c) **VUR = VUP = 75 anos**

$$VUE2B = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})(2B)$$

$$VUE2B = 75 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9$$

$$VUE2B = \mathbf{35,87 \text{ anos}}$$



$$\Delta VUE2B = VUE2B \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(2B)$$

$$\Delta VUE2B = 36 \cdot \sqrt{((7,5/75)^2 + 7 \times (0,09/0,9)^2)}$$

$$\Delta VUE2B = +/- \mathbf{10,15 \text{ anos}}$$

**d) VUR = VUP = 100 anos**

$$VUE2C = \mathbf{VUR} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{E} \cdot \mathbf{F} \cdot \mathbf{G} \quad (\text{Eq. 1})(2C)$$

$$VUE2C = 100 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9$$

$$VUE2C = \mathbf{47,83 \text{ anos}}$$

$$\Delta VUE2C = VUE2C \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(2C)$$

$$\Delta VUE2C = 48 \cdot \sqrt{((10/100)^2 + 7 \times (0,09/0,9)^2)}$$

$$\Delta VUE2C = +/- \mathbf{13,53 \text{ anos}}$$

– **Cenário 3:**

Determinação dos Fatores Modificadores (FM)

$$VUE = VUR \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{E} \cdot \mathbf{F} \cdot \mathbf{G} \quad (\text{Eq. 1})$$

<b>Fator A</b> (Qualidade dos componentes)	= 1,0 (Influência Nula)
<b>Fator B</b> (Nível de qualidade do projeto)	= 1,0 (Influência Nula)
<b>Fator C</b> (Nível de qualidade da execução)	= 1,0 (Influência Nula)
<b>Fator D</b> (Características Ambiente Interno)	= 1,0 (Influência Nula)
<b>Fator E</b> (Características Ambiente Externo)	= 1,0 (Influência Nula)
<b>Fator F</b> (Condições de uso)	= 1,0 (Influência Nula)
<b>Fator G</b> (Nível de manutenção)	= 1,0 (Influência Nula)

Determinação da Vida Útil de Referência (VUR)

$$VUE = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

a) **VUR = VUP = 50 anos**

$$VUE3A = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})(3A)$$

$$VUE3A = 50 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0$$

$$VUE3A = \mathbf{50,00 \text{ anos}}$$

$$\Delta VUE3A = VUE3A \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(3A)$$

$$\Delta VUE3A = 50 \cdot \sqrt{((5/50)^2 + 7 \times (0,1/1,0)^2)}$$

$$\Delta VUE3A = \mathbf{+/- 14,14 \text{ anos}}$$

b) **VUR = VUP = 62,5 anos**

$$VUE3B = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})(3B)$$

$$VUE3B = 62,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0$$

$$VUE3B = \mathbf{62,50 \text{ anos}}$$

$$\Delta VUE3B = VUE3B \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(3B)$$

$$\Delta VUE3B = 62,5 \cdot \sqrt{((7,5/75)^2 + 7 \times (0,1/1,0)^2)}$$

$$\Delta VUE3B = \mathbf{+/- 17,68 \text{ anos}}$$

c) **VUR = VUP = 75 anos**

$$VUE3B = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})(3B)$$

$$VUE3B = 75 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0$$

$$VUE3B = \mathbf{75,00 \text{ anos}}$$

$$\Delta VUE3B = VUE3B \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(3B)$$

$$\Delta VUE3B = 75 \cdot \sqrt{((7,5/75)^2 + 7 \times (0,1/1,0)^2)}$$

$$\Delta VUE3B = \mathbf{+/- 21,21 \text{ anos}}$$

d) **VUR = VUP = 100 anos**

$$VUE3C = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})(3C)$$

$$VUE3C = 100 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0$$

$$VUE3C = \mathbf{100,00 \text{ anos}}$$

$$\Delta VUE3C = VUE3C \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(3C)$$

$$\Delta VUE3C = 100 \cdot \sqrt{((10/100)^2 + 7 \times (0,1/1,0)^2)}$$

$$\Delta VUE3C = \mathbf{+/- 28,28 \text{ anos}}$$

– **Cenário 4:**

Determinação dos Fatores Modificadores (FM)

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

**Fator A** (Qualidade dos componentes) = 1,1 (Influência Intermediária Positiva)

**Fator B** (Nível de qualidade do projeto) = 1,1 (Influência Intermediária Positiva)

**Fator C** (Nível de qualidade da execução) = 1,1 (Influência Intermediária Positiva)

**Fator D** (Características Ambiente Interno) = 1,1 (Influência Intermediária Positiva)  
**Fator E** (Características Ambiente Externo) = 1,1 (Influência Intermediária Positiva)  
**Fator F** (Condições de uso) = 1,1 (Influência Intermediária Positiva)  
**Fator G** (Nível de manutenção) = 1,1 (Influência Intermediária Positiva)

Determinação da Vida Útil de Referência (VUR)

$$VUE = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

a) **VUR = VUP = 50 anos**

$$VUE4A = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})(4A)$$

$$VUE4A = 50 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1$$

$$VUE4A = \mathbf{97,44 \text{ anos}}$$

$$\Delta VUE4A = VUE4A \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(4A)$$

$$\Delta VUE4A = 97 \cdot \sqrt{((5/50)^2 + 7 \times (0,11/1,1)^2)}$$

$$\Delta VUE4A = \mathbf{+/- 27,56 \text{ anos}}$$

b) **VUR = VUP = 62,5 anos**

$$VUE4B = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})(4B)$$

$$VUE4B = 62,5 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1$$

$$VUE4B = \mathbf{121,79 \text{ anos}}$$

$$\Delta VUE4B = VUE4B \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(4B)$$

$$\Delta VUE4B = 146 \cdot \sqrt{((7,5/75)^2 + 7 \times (0,11/1,1)^2)}$$

$$\Delta VUE4B = \mathbf{+/- 34,45 \text{ anos}}$$

c) **VUR = VUP = 75 anos**

$$VUE4B = \mathbf{VUR} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{E} \cdot \mathbf{F} \cdot \mathbf{G} \quad (\text{Eq. 1})(4B)$$

$$VUE4B = 75 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1$$

$$VUE4B = \mathbf{146,15 \text{ anos}}$$

$$\Delta VUE4B = VUE4B \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(4B)$$

$$\Delta VUE4B = 146 \cdot \sqrt{((7,5/75)^2 + 7 \times (0,11/1,1)^2)}$$

$$\Delta VUE4B = \mathbf{+/- 41,34 \text{ anos}}$$

d) **VUR = VUP = 100 anos**

$$VUE4C = \mathbf{VUR} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{E} \cdot \mathbf{F} \cdot \mathbf{G} \quad (\text{Eq. 1})(4C)$$

$$VUE4C = 100 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1$$

$$VUE4C = \mathbf{194,87 \text{ anos}}$$

$$\Delta VUE4C = VUE4C \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(4C)$$

$$\Delta VUE4C = 195 \cdot \sqrt{((10/100)^2 + 7 \times (0,11/1,1)^2)}$$

$$\Delta VUE4C = \mathbf{+/- 55,12 \text{ anos}}$$

– **Cenário 5:**

Determinação dos Fatores Modificadores (FM)

$$VUE = \mathbf{VUR} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{E} \cdot \mathbf{F} \cdot \mathbf{G} \quad (\text{Eq. 1})$$

**Fator A** (Qualidade dos componentes) = 1,2 (Influência Positiva)

**Fator B** (Nível de qualidade do projeto) = 1,2 (Influência Positiva)

<b>Fator C</b> (Nível de qualidade da execução)	= 1,2 (Influência Positiva)
<b>Fator D</b> (Características Ambiente Interno)	= 1,2 (Influência Positiva)
<b>Fator E</b> (Características Ambiente Externo)	= 1,2 (Influência Positiva)
<b>Fator F</b> (Condições de uso)	= 1,2 (Influência Positiva)
<b>Fator G</b> (Nível de manutenção)	= 1,2 (Influência Positiva)

Determinação da Vida Útil de Referência (VUR)

$$VUE = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

a) **VUR = VUP = 50 anos**

$$VUE5A = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})(5A)$$

$$VUE5A = 50 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2$$

$$VUE5A = \mathbf{179,16 \text{ anos}}$$

$$\Delta VUE5A = VUE5A \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(5A)$$

$$\Delta VUE5A = 179 \times \sqrt{((5/50)^2 + 7 \times (0,12/1,2)^2)}$$

$$\Delta VUE5A = \mathbf{+/- 50,67 \text{ anos}}$$

b) **VUR = VUP = 62,5 anos**

$$VUE5B = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})(5B)$$

$$VUE5B = 62,5 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2$$

$$VUE5B = \mathbf{223,95 \text{ anos}}$$

$$\Delta VUE5B = VUE5B \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(5B)$$

$$\Delta VUE5B = 269 \times \sqrt{((7,5/75)^2 + 7 \times (0,12/1,2)^2)}$$

$$\Delta VUE5B = +/- \mathbf{63,34 \text{ anos}}$$

c) **VUR = VUP = 75 anos**

$$VUE5B = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})(5B)$$

$$VUE5B = 75 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2$$

$$VUE5B = \mathbf{268,74 \text{ anos}}$$

$$\Delta VUE5B = VUE5B \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(5B)$$

$$\Delta VUE5B = 269 \cdot \sqrt{((7,5/75)^2 + 7 \times (0,12/1,2)^2)}$$

$$\Delta VUE5B = +/- \mathbf{76,01 \text{ anos}}$$

d) **VUR = VUP = 100 anos**

$$VUE5C = \mathbf{VUR} \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})(5C)$$

$$VUE5C = 100 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2$$

$$VUE5C = \mathbf{358,32 \text{ anos}}$$

$$\Delta VUE5C = VUE5C \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})(5C)$$

$$\Delta VUE5C = 358 \cdot \sqrt{((10/100)^2 + 7 \times (0,12/1,2)^2)}$$

$$\Delta VUE5C = +/- \mathbf{101,35 \text{ anos}}$$

Quadro 7 – Cálculos de VUE dos cenários

CALCULO DE VUE									
	VUP=VUR	A	B	C	D	E	F	G	VUE
Cenário 1A	50,0	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	10,49
Cenário 1B	62,5	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	13,11
Cenário 1C	75,0	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	15,73
Cenário 1D	100,0	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	20,97
Cenário 2A	50,0	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	23,91
Cenário 2B	62,5	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	29,89
Cenário 2C	75,0	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	35,87
Cenário 2D	100,0	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	47,83
Cenário 3A	50,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	50,00
Cenário 3B	62,5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	62,50
Cenário 3C	75,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	75,00
Cenário 3D	100,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	100,00
Cenário 4A	50,0	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	97,44
Cenário 4B	62,5	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	121,79
Cenário 4C	75,0	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	146,15
Cenário 4D	100,0	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	194,87
Cenário 5A	50,0	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	179,16
Cenário 5B	62,5	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	223,95
Cenário 5C	75,0	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	268,74
Cenário 5D	100,0	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	358,32

Fonte: Autoria própria (2020).

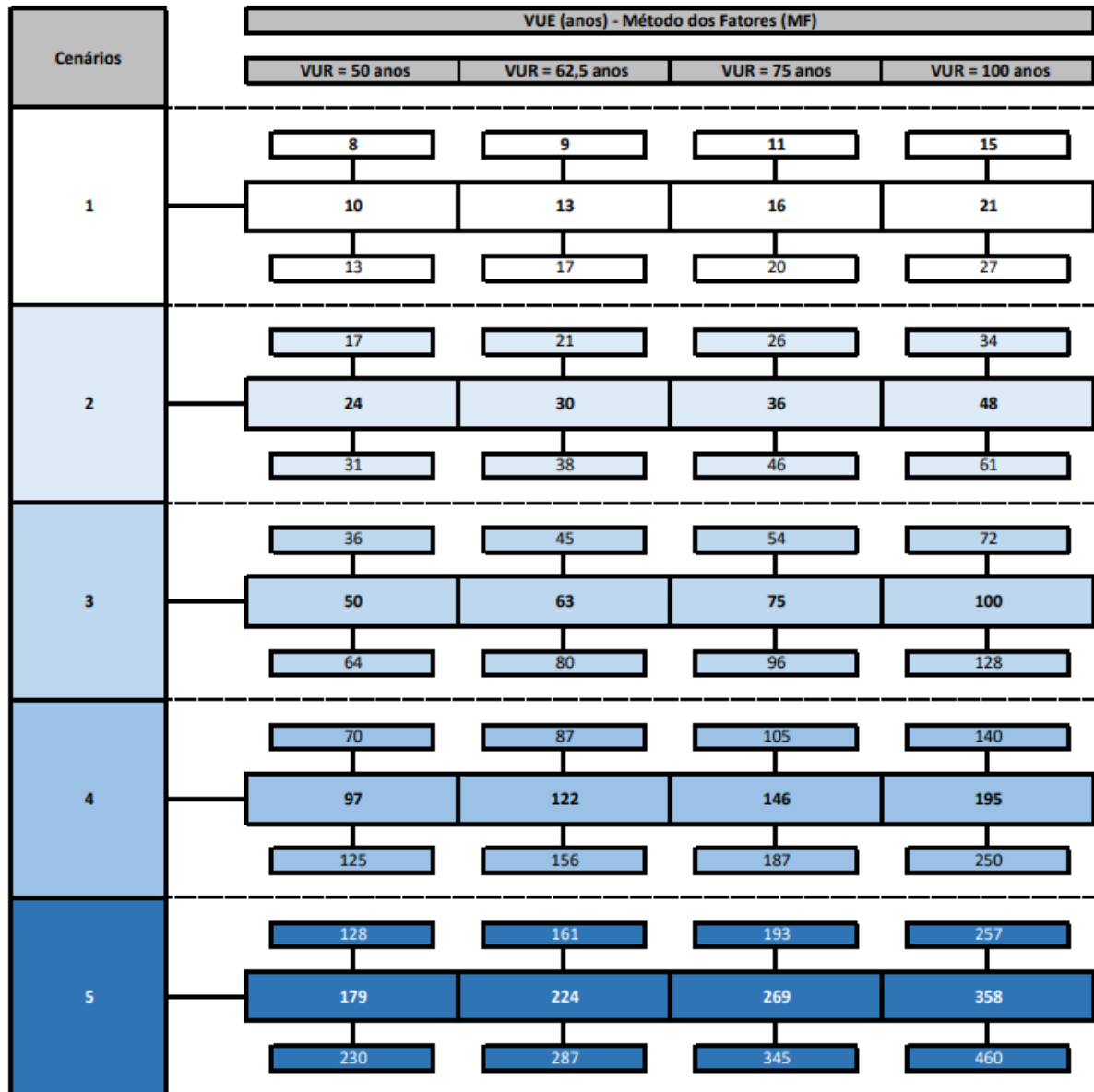
Quadro 8 – Cálculos de Intervalos de Confiança dos cenários

CALCULO DO INTERVALO DE CONFIANÇA						
	$((VUR/10)/VUR)^2$	$7X((FM/10)/FM)^2$	$(L+M)^{1/2}$	VUE X N	VUE-	VUE+
Cenário 1A	0,01	0,07	0,28284271	2,97	7,52	13,45
Cenário 1B	0,01	0,07	0,28284271	3,71	9,40	16,81
Cenário 1C	0,01	0,07	0,28284271	4,45	11,28	20,18
Cenário 1D	0,01	0,07	0,28284271	5,93	15,04	26,90
Cenário 2A	0,01	0,07	0,28284271	6,76	17,15	30,68
Cenário 2B	0,01	0,07	0,28284271	8,46	21,44	38,35
Cenário 2C	0,01	0,07	0,28284271	10,15	25,73	46,02
Cenário 2D	0,01	0,07	0,28284271	13,53	34,30	61,36
Cenário 3A	0,01	0,07	0,28284271	14,14	35,86	64,14
Cenário 3B	0,01	0,07	0,28284271	17,68	44,82	80,18
Cenário 3C	0,01	0,07	0,28284271	21,21	53,79	96,21
Cenário 3D	0,01	0,07	0,28284271	28,28	71,72	128,28
Cenário 4A	0,01	0,07	0,28284271	27,56	69,88	124,99
Cenário 4B	0,01	0,07	0,28284271	34,45	87,35	156,24
Cenário 4C	0,01	0,07	0,28284271	41,34	104,82	187,49
Cenário 4D	0,01	0,07	0,28284271	55,12	139,75	249,99
Cenário 5A	0,01	0,07	0,28284271	50,67	128,49	229,83
Cenário 5B	0,01	0,07	0,28284271	63,34	160,61	287,29
Cenário 5C	0,01	0,07	0,28284271	76,01	192,73	344,75
Cenário 5D	0,01	0,07	0,28284271	101,35	256,97	459,67

Fonte: Autoria própria (2020).



Figura 17 – Discretização dos cenários



Fonte: Autoria própria (2020).

### 3.2 METODOLOGIA SUGERIDA PARA USO NO MÉTODO DOS FATORES (MF)

Após a realização dos estudos entre a norma 9452, de Inspeção de Pontes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019), e o Método dos Fatores (MF), com uma melhor compreensão entre suas semelhanças, distinções e limitações, sugeriu-se uma metodologia para a utilização do Método dos Fatores (MF) na determinação da VUE das OAEs.

A metodologia consistiu na orientação da determinação dos valores a serem atribuídos à Vida Útil de Referência (VUR) e aos Fatores Modificantes (FM) na utilização do Método dos Fatores (MF) para a determinação da VUE de OAEs.

Buscou-se através dessa metodologia obter-se uma maior eficácia nos resultados.

Em seguida, foi realizada a discretização dos passos da metodologia sugerida:

**1º** Determinação da Vida Útil de Referência (VUR):

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

**VUR** = VUP, devendo ser determinada seguindo-se as orientações da norma 6118, de Concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), e a norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), conforme as Tabelas 2 e 4 a seguir:

Tabela 2 – Exemplo de VUP que podem ser especificadas

<b>Tipo de estrutura</b>	<b>Fib Model Code for Concrete Structures 2010</b>	<b>Fib CEB-FIB Bulletin 34 Model Code for Service Life Design (2006)</b>
Estruturas de caráter temporário	Entre 1 a 5 anos	10 anos
Elementos substituíveis de estruturas (por exemplo, pórticos e aparelhos de apoio)	25 anos	Entre 10 a 25 anos
Estruturas agrícolas ou similares	-	Entre 15 a 30 anos
Edifícios e outras estruturas comuns de importância média	50 anos	50 anos
Estruturas muito importantes, como estruturas monumentais, pontes ou outras estruturas especiais	100 anos ou mais	100 anos

Fonte: Bueno e Kimura (2015, p. 34).

Tabela 4 – VUPs mínimas e superiores indicadas pela norma de Desempenho

Sistema	VUP (anos)	
	Mínimo	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 75
Pisos Internos	≥ 13	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 30
Hidro sanitário	≥ 20	≥ 30

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013a, p. 54) (adaptação do autor).

2º Determinar os valores dos Fatores Modificantes (FM), em consonância como se referem aos parâmetros: estrutura, funcionalidade e durabilidade:

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

**Parâmetros Estruturais** - Fatores Modificantes (A, B, C):

Os parâmetros estruturais são aqueles relacionados à segurança estrutural da OAE, ou seja, referentes à sua estabilidade e capacidade portante, sob o critério de seus estados limites último e de utilização, conforme norma 6118, de Concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

- **Fator Modificante A** - Qualidade dos componentes;
- **Fator Modificante B** - Nível de qualidade do projeto;
- **Fator Modificante C** - Nível de qualidade da execução.

**Parâmetros de Durabilidade** - Fatores Modificantes (D, E):

Os parâmetros de durabilidade são aqueles relacionados à resistência da estrutura contra ataques de agentes ambientais agressivos, que deve ser avaliada em conjunto com a

agressividade do meio em que se situam, com o objetivo de inferir a velocidade de deterioração a eles associados.

- **Fator Modificador D** - Características do ambiente interno;
- **Fator Modificador E** - Características do ambiente externo.

Deve-se observar que, só deverá ter valores atribuídos diferentes de 1,0, quando a estrutura em análise for do tipo caixão ou similar. Do contrário, o valor do mesmo deve ser 1,0, não influenciando desta forma na equação de determinação da VUE.

#### **Parâmetros Funcionais - Fatores Modificantes (F, G):**

Por parâmetros funcionais entendem-se aqueles aspectos da OAE relacionados diretamente aos fins a que ela se destina, devendo-se, para tanto, possuir requisitos geométricos adequados, como: visibilidade, gabaritos verticais e horizontais. Deve-se proporcionar também conforto e segurança a seus usuários, apresentando, por exemplo, guarda-corpos íntegros, ausência de depressões e/ou buracos na pista de rolamento e sinalização adequada.

- **Fator Modificador F** - Condições de uso;
- **Fator Modificador G** - Nível de manutenção.

Tabela 15 – Valores a ser atribuídos aos Fatores Modificantes (FM)

<b>Valor de desvio em relação a VUR –</b>	<b>Características</b>
<b>0,80</b> - (Influência Negativa)	Crítica
<b>0,90</b> - (Influência Intermediária Negativa)	Ruim
<b>1,00</b> - (Influência Nula)	Neutra
<b>1,10</b> - (Influência Intermediária Positiva)	Boa
<b>1,20</b> - (Influência Positiva)	Excelente

Fonte: Autoria própria (2020).

3º Calcular a Vida Útil Estimada (VUE) pelo Método dos Fatores (MF):

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

VUE – Vida útil estimada;

VUR – vida útil de referência dos componentes;

(A · B · C · C · E · F · G) – Fatores Modificantes.

4º Calcular o Intervalo de Confiança:

$$\Delta VUE = VUE \cdot \sqrt{\left[ \left( \frac{\Delta VUR}{VUR} \right)^2 + \left( \frac{\Delta A}{A} \right)^2 + \left( \frac{\Delta B}{B} \right)^2 + \left( \frac{\Delta C}{C} \right)^2 + \left( \frac{\Delta D}{D} \right)^2 + \left( \frac{\Delta E}{E} \right)^2 + \left( \frac{\Delta F}{F} \right)^2 + \left( \frac{\Delta G}{G} \right)^2 \right]} \quad (\text{Eq. 2})$$

onde:

$\Delta VUE$  – intervalo de confiança da VUE;

$\Delta VUR$  – intervalo de confiança da VUR;

$\Delta A$  à  $\Delta G$  – intervalo de confiança dos fatores modificantes.

## 4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SUGERIDA

Para o estudo do método, simularam-se 4 (quatro) tipos distintos de cenários que abrangem algumas possibilidades de aplicação.

Esses 4 (quatro) cenários distintos abrangem vários quadros anômalos, alternando os valores atribuídos aos Fatores Modificantes (FM) na determinação das VUEs pelo Método dos Fatores (MF).

Buscou-se uma exploratória que compreendesse todo o conjunto de possibilidades, formado entre os resultados máximos e os mínimos, tornando-se desta forma desnecessária a realização de estudos de casos reais para a demonstração da eficácia do método.

Os conjuntos exploratórios foram definidos da seguinte forma:

**Cenário 1** – Foram atribuídos valores máximos a médios para os FM, variando-se de:

- 1,2 para os Fatores Modificantes correspondentes a estrutura;
- 1,1 para os Fatores Modificantes correspondentes a durabilidade;
- 1,0 para os Fatores Modificantes correspondentes a funcionalidade.

**Cenário 2** – Foram atribuídos valores médios a mínimos para os FM, variando-se de:

- 1,0 para os Fatores Modificantes correspondentes a estrutura;
- 0,9 para os Fatores Modificantes correspondentes a durabilidade;
- 0,8 para os Fatores Modificantes correspondentes a funcionalidade.

**Cenário 3** – Foram atribuídos valores médios para os FM, variando-se de:

- 1,1 para os Fatores Modificantes correspondentes a estrutura;
- 1,0 para os Fatores Modificantes correspondentes a durabilidade;
- 0,9 para os Fatores Modificantes correspondentes a funcionalidade.

**Cenário 4** – Foram atribuídos valores intercalados para os FM, variando-se de:

- 1,2 para os Fatores Modificantes correspondentes a estrutura;
- 1,0 para os Fatores Modificantes correspondentes a durabilidade;
- 0,8 para os Fatores Modificantes correspondentes a funcionalidade.

#### 4.1 CENÁRIO 1

1º Determinação da Vida Útil de Referência (VUR):

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

**VUR = VUP = 50 anos**, determinada seguindo-se as orientações da norma 6118, de Concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), e da norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), conforme as Tabelas 2 e 4 a seguir:

Tabela 2 – Exemplo de VUP que podem ser especificadas

<b>Tipo de estrutura</b>	<b>Fib Model Code for Concrete Structures 2010</b>	<b>Fib CEB-FIB Bulletin 34 Model Code for Service Life Design (2006)</b>
Estruturas de caráter temporário	Entre 1 a 5 anos	10 anos
Elementos substituíveis de estruturas (por exemplo, pórticos e aparelhos de apoio)	25 anos	Entre 10 a 25 anos
Estruturas agrícolas ou similares	-	Entre 15 a 30 anos
Edifícios e outras estruturas comuns de importância média	50 anos	50 anos
Estruturas muito importantes, como estruturas monumentais, pontes ou outras estruturas especiais	100 anos ou mais	100 anos

Fonte: Bueno e Kimura (2015, p. 34).

Tabela 4 – VUPs mínimas e superiores indicadas pela norma de Desempenho

Sistema	VUP (anos)	
	Mínimo	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 75
Pisos Internos	≥ 13	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 30
Hidro sanitário	≥ 20	≥ 30

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013a, p. 54) (adaptação do autor).

2º Determinação dos valores dos Fatores Modificantes (FM):

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

**Estrutura** = (A, B, C);

**Durabilidade** = (D, E);

**Funcional** = (F, G);

**Fator A** (Qualidade dos componentes) = **1,20** (Influência Positiva);

**Fator B** (Nível de qualidade do projeto) = **1,20** (Influência Positiva);

**Fator C** (Nível de qualidade da execução) = **1,20** (Influência Positiva);

**Fator D** (Características Ambiente Interno) = **1,10** (Influência Intermediária Positiva);

**Fator E** (Características Ambiente Externo) = **1,10** (Influência Intermediária Positiva);

**Fator F** (Condições de uso) = **1,00** (Influência Nula);

**Fator G** (Nível de manutenção) = **1,00** (Influência Nula).



3º Cálculo da Vida Útil Estimada (VUE) pelo Método dos Fatores (MF):

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

$$VUE = 50 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0$$

$$VUE = 104 \text{ anos}$$

4º Cálculo do Intervalo de Confiança:

$$\Delta VUE = VUE \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\Delta VUE = 104 \cdot \sqrt{((5/50)^2 + 3 \cdot (0,12/1,2)^2 + 2 \cdot (0,11/1,1)^2 + 2 \cdot (0,10/1,0)^2)}$$

$$\Delta VUE = +/- 29 \text{ anos}$$

5º Análise dos resultados:

Considerando-se que, para a OAE em estudo, foram atribuídos valores máximos a médios para os FM, variando-os de: 1,2 para os Fatores Modificantes correspondentes à estrutura; 1,1 para os Fatores Modificantes correspondentes à durabilidade; 1,0 para os fatores Modificantes correspondentes à funcionalidade, calculou-se pelo Método dos Fatores (MF) sua Vida Útil Estimada (VUE), obtendo-se 104 anos com um intervalo de confiança de +/- 29 anos, sugerindo-se desta forma que, nas atuais condições de manutenção e conservação a qual está OAE se encontra, a estimativa de sua vida útil residual varia de **75 a 133 anos**.

## 4.2 CENÁRIO 2

1º Determinação da Vida Útil de Referência (VUR):

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

**VUR = VUP = 50 anos**, determinada seguindo as orientações da norma 6118, de Concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), e da norma 15575, de Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013a), conforme as Tabelas 2 e 4 a seguir:

Tabela 2 – Exemplo de VUP que podem ser especificadas

<b>Tipo de estrutura</b>	<b>Fib Model Code for Concrete Structures 2010</b>	<b>Fib CEB-FIB Bulletin 34 Model Code for Service Life Design (2006)</b>
Estruturas de caráter temporário	Entre 1 a 5 anos	10 anos
Elementos substituíveis de estruturas (por exemplo, pórticos e aparelhos de apoio)	25 anos	Entre 10 a 25 anos
Estruturas agrícolas ou similares	-	Entre 15 a 30 anos
Edifícios e outras estruturas comuns de importância média	50 anos	50 anos
Estruturas muito importantes, como estruturas monumentais, pontes ou outras estruturas especiais	100 anos ou mais	100 anos

Fonte: Bueno e Kimura (2015, p. 34).

Tabela 4 – VUPs mínimas e superiores indicadas pela norma de Desempenho

Sistema	VUP (anos)	
	Mínimo	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 75
Pisos Internos	≥ 13	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 30
Hidro sanitário	≥ 20	≥ 30

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013a, p. 54) (adaptação do autor).

2º Determinação dos valores dos Fatores Modificantes (FM):

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

**Estrutura** = (A, B, C);

**Durabilidade** = (D, E);

**Funcional** = (F, G);

**Fator A** (Qualidade dos componentes) = **1,00** (Influência Nula);

**Fator B** (Nível de qualidade do projeto) = **1,00** (Influência Nula);

**Fator C** (Nível de qualidade da execução) = **1,00** (Influência Nula);

**Fator D** (Características Ambiente Interno) = **0,90** (Influência Intermediária Negativa);

**Fator E** (Características Ambiente Externo) = **0,90** (Influência Intermediária Negativa);

**Fator F** (Condições de uso) = **0,80** (Influência Negativa);

**Fator G** (Nível de manutenção) = **0,80** (Influência Negativa).

3º Cálculo da Vida Útil Estimada (VUE) pelo Método dos Fatores (MF):

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

$$VUE = 50 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,8$$

$$VUE = 26 \text{ anos}$$

4º Cálculo do Intervalo de Confiança:

$$\Delta VUE = VUE \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\Delta VUE = 26 \cdot \sqrt{((5/50)^2 + 3 \cdot (0,1/1,0)^2 + 2 \cdot (0,09/0,9)^2 + 2 \cdot (0,08/0,8)^2)}$$

$$\Delta VUE = +/- 7 \text{ anos}$$

5º Análise dos resultados:

Considerando-se que, para a OAE em estudo, foram atribuídos valores médios a mínimos para os FM, variando-os de: 1,0 para os Fatores Modificantes correspondentes à estrutura; 0,9 para os Fatores Modificantes correspondentes à durabilidade; 0,8 para os Fatores Modificantes correspondentes à funcionalidade, calculou-se pelo Método dos Fatores (MF) sua Vida Útil Estimada (VUE), obtendo-se 26 anos com um intervalo de confiança de +/- 7 anos, sugerindo-se desta forma que, nas atuais condições de manutenção e conservação a qual está OAE se encontra, a estimativa de sua vida útil residual varia de **19 a 33 anos**.

### 4.3 CENÁRIO 3

1º Determinação da Vida Útil de Referência (VUR):

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

**VUR = VUP = 50 anos**, determinada seguindo as orientações da norma de Concreto (ABNT; NBR 6118) e a norma de Desempenho (ABNT; NBR 15.575:2013), conforme as Tabelas 2 e 4 a seguir:

Tabela 2 – Exemplo de VUP que podem ser especificadas

<b>Tipo de estrutura</b>	<b>Fib Model Code for Concrete Structures 2010</b>	<b>Fib CEB-FIB Bulletin 34 Model Code for Service Life Design (2006)</b>
Estruturas de caráter temporário	Entre 1 a 5 anos	10 anos
Elementos substituíveis de estruturas (por exemplo, pórticos e aparelhos de apoio)	25 anos	Entre 10 a 25 anos
Estruturas agrícolas ou similares	-	Entre 15 a 30 anos
Edifícios e outras estruturas comuns de importância média	50 anos	50 anos
Estruturas muito importantes, como estruturas monumentais, pontes ou outras estruturas especiais	100 anos ou mais	100 anos

Fonte: Bueno e Kimura (2015, p. 34).

Tabela 4 – VUPs mínimas e superiores indicadas pela norma de Desempenho

Sistema	VUP (anos)	
	Mínimo	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 75
Pisos Internos	≥ 13	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 30
Hidro sanitário	≥ 20	≥ 30

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013a, p. 54) (adaptação do autor).

2º Determinação dos valores dos Fatores Modificantes (FM):

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

**Estrutura** = (A, B, C);

**Durabilidade** = (D, E);

**Funcional** = (F, G);

**Fator A** (Qualidade dos componentes) = **1,10** (Influência Intermediária Positiva);

**Fator B** (Nível de qualidade do projeto) = **1,10** (Influência Intermediária Positiva);

**Fator C** (Nível de qualidade da execução) = **1,10** (Influência Intermediária Positiva);

**Fator D** (Características Ambiente Interno) = **1,00** (Influência Nula);

**Fator E** (Características Ambiente Externo) = **1,00** (Influência Nula);

**Fator F** (Condições de uso) = **0,90** (Influência Intermediária Negativa);

**Fator G** (Nível de manutenção) = **0,90** (Influência Intermediária Negativa).

3º Cálculo da Vida Útil Estimada (VUE) pelo Método dos Fatores (MF):

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

$$VUE = 50 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,9$$

$$VUE = 54 \text{ anos}$$

4º Cálculo do Intervalo de Confiança:

$$\Delta VUE = VUE \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\Delta VUE = 104 \cdot \sqrt{((5/50)^2 + 3 \cdot (0,11/1,1)^2 + 2 \cdot (0,10/1,0)^2 + 2 \cdot (0,09/0,9)^2)}$$

$$\Delta VUE = +/- 15 \text{ anos}$$

5º Análise dos resultados:

Considerando-se que, para a OAE em estudo, foram atribuídos valores médios para os FM, variando-os de: 1,1 para os Fatores Modificantes correspondentes à estrutura; 1,0 para os Fatores Modificantes correspondentes à durabilidade; 0,9 para os Fatores Modificantes correspondentes à funcionalidade, calculou-se pelo Método dos Fatores (MF) sua Vida Útil Estimada (VUE), obtendo-se 54 anos com um intervalo de confiança de +/- 15 anos, sugerindo-se desta forma que, nas atuais condições de manutenção e conservação a qual está OAE se encontra, a estimativa de sua vida útil residual varia de **39 a 69 anos**.

#### 4.4 CENÁRIO 4

1º Determinação da Vida Útil de Referência (VUR):

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

**VUR = VUP = 50 anos**, determinada seguindo as orientações da norma de Concreto (ABNT; NBR 6118) e a norma de Desempenho (ABNT; NBR 15.575:2013), conforme as Tabelas 2 e 4 a seguir:

Tabela 2 – Exemplo de VUP que podem ser especificadas

<b>Tipo de estrutura</b>	<b>Fib Model Code for Concrete Structures 2010</b>	<b>Fib CEB-FIB Bulletin 34 Model Code for Service Life Design (2006)</b>
Estruturas de caráter temporário	Entre 1 a 5 anos	10 anos
Elementos substituíveis de estruturas (por exemplo, pórticos e aparelhos de apoio)	25 anos	Entre 10 a 25 anos
Estruturas agrícolas ou similares	-	Entre 15 a 30 anos
Edifícios e outras estruturas comuns de importância média	50 anos	50 anos
Estruturas muito importantes, como estruturas monumentais, pontes ou outras estruturas especiais	100 anos ou mais	100 anos

Fonte: Bueno e Kimura (2015, p. 34).



Tabela 4 – VUPs mínimas e superiores indicadas pela norma de Desempenho

Sistema	VUP (anos)	
	Mínimo	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 75
Pisos Internos	≥ 13	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 30
Hidro sanitário	≥ 20	≥ 30

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013a, p. 54) (adaptação do autor).

2º Determinação dos valores dos Fatores Modificantes (FM):

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

onde:

**Estrutura** = (A, B, C);

**Durabilidade** = (D, E);

**Funcional** = (F, G);

**Fator A** (Qualidade dos componentes) = **1,20** (Influência Positiva);

**Fator B** (Nível de qualidade do projeto) = **1,20** (Influência Positiva);

**Fator C** (Nível de qualidade da execução) = **1,20** (Influência Positiva);

**Fator D** (Características Ambiente Interno) = **1,00** (Influência Nula);

**Fator E** (Características Ambiente Externo) = **1,00** (Influência Nula);

**Fator F** (Condições de uso) = **0,80** (Influência Negativa);

**Fator G** (Nível de manutenção) = **0,80** (Influência Negativa).

### 3º Cálculo da Vida Útil Estimada (VUE) pelo Método dos Fatores (MF)

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot C \cdot E \cdot F \cdot G \quad (\text{Eq. 1})$$

$$VUE = 50 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,8$$

$$VUE = 55 \text{ anos}$$

### 4º Cálculo do Intervalo de Confiança:

$$\Delta VUE = VUE \cdot \sqrt{\left[\left(\frac{\Delta VUR}{VUR}\right)^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2\right]} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\Delta VUE = 104 \cdot \sqrt{((5/50)^2 + 3 \cdot (0,12/1,2)^2 + 2 \cdot (0,10/1,0)^2 + 2 \cdot (0,08/0,8)^2)}$$

$$\Delta VUE = +/- 15 \text{ anos}$$

### 5º Análise dos resultados:

Considerando- se que, para a OAE em estudo, foram atribuídos valores intercalados para os FM, variando-os de: 1,2 para os Fatores Modificantes correspondentes à estrutura; 1,0 para os Fatores Modificantes correspondentes à durabilidade; 0,8 para os Fatores Modificantes correspondentes à funcionalidade, calculou-se pelo Método dos Fatores (MF) sua Vida Útil Estimada (VUE), obtendo-se 55 anos com um intervalo de confiança de +/- 15 anos, sugerindo desta forma que, nas atuais condições de manutenção e conservação a qual está OAE se encontra, a estimativa de sua vida útil residual varia de **40 a 70 anos**.

## 5 CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS

### 5.1 CONCLUSÕES

Demonstrou-se que é possível determinar a VUE de uma OAE com a utilização do Método dos Fatores (MF).

Sugeriou-se uma metodologia em 5 (cinco) passos na aplicação do Método dos Fatores (MF) através da utilização de uma equação matemática, com os Fatores Modificantes (FM) usados sob simples multiplicação. A metodologia consiste na orientação da determinação dos valores a serem atribuídos à Vida Útil de Referência (VUR) e aos Fatores Modificantes (FM) pelo responsável na utilização do método.

Conclui-se que os resultados obtidos para as Vidas Úteis Estimadas (VUEs) das OAEs variaram de acordo com o previsto e esperado, sendo os Fatores Modificantes (FM) e a Vida Útil de Referência (VUR) os responsáveis por esta variabilidade, constatando-se que as determinações dos valores dessas variáveis são de grande importância e estão diretamente ligadas às certezas dos resultados.

Comprovou-se a eficácia do método através de sua utilização em 4 (quatro) cenários que reproduziram situações possíveis de ocorrer em estruturas reais que estejam em uso e operação.

### 5.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Aplicar o Método dos Fatores (MF) em estruturas de OAEs que por algum motivo tenham vindo a colapsar, perdendo sua funcionalidade, cujos colapsos hajam corrido de forma total ou parcial, sendo importante que se consiga levantar informações suficientes para a aplicação do Método dos Fatores (MF) no intuito de se comprovar a eficácia do método.

Aplicar o Método dos Fatores (MF) em OAEs antes da realização de intervenções estruturais, e reaplicá-lo em inspeção posterior, demonstrando o aumento da Vida Útil Estimada (VUE) dos elementos que tenham passado por intervenções.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. M. F.; SOUZA, V. C. M.; CORDEIRO, T. J. R. **Processos construtivos de pontes e viadutos pré-moldados no Brasil**. In: Congresso Nacional da Indústria de Pré-fabricação em Betão, Porto–Portugal, 1º, 2000, Porto (Portugal). v. 1. Porto (Portugal): p. 139-154.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7187**: Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16230**: Inspeção de estruturas de concreto - Qualificação e certificação de pessoal - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452**: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- BALLESTERO-ALVAREZ, M. E. **Gestão de Qualidade, Produção e Operações**. São Paulo: Atlas, 2010. 432 p. ISBN 978-85-2245-95-13.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA. COORDENAÇÃO DO INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias**: Rio de Janeiro: 2004.
- BUENO, S.; KIMURA, A. (org.). **ABNT NBR 6118:2014 Comentários e Exemplos de Aplicação**. São Paulo: Ibracon, 2015. 480 p.
- DE SITTER, W. R. Costs of service life optimization "The Law of Fives". In: **CEB-RILEM Workshop on Durability of Concrete Structures**. Copenhagen: Comité Euro-International du Béton, 1984. p. 131-134.
- EURO-INTERNATIONAL COMMITTEE FOR CONCRETE. **Durable Concrete Structures**: CEB Design Guide. Switzerland: CEB: 120 p. 1992.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15686-8**: Buildings and constructed assets — Service-life planning — Part 8: Reference service life and service-life estimation. Londres: ISO, 2008.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15686-1**: Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles and framework. Londres: ISO, 2011.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15686-2**: Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 2: Service life prediction procedures. Londres: ISO, 2012.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística aplicada**. Tradução VIANNA, L. F. P. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

MARCHETTI, O. **Pontes de concreto armado**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda., 2008.

MARTINS, G. A.; DOMINGUES, O. **Estatística Geral e Aplicada**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

MATSUO BRIDGES CO. **Obras de arte - pontes e estruturas modernas**. 2000.

Disponível em: <https://structurae.net/en/companies/matsuo-bridge>. Acesso em: 26 jul. 2018.

PFEIL, W. **Pontes: curso básico**: projeto, construção e manutenção. Rio de Janeiro: Campus 1983.

SILVA, N. C. M. S. **Análise da vida útil estimada das edificações baseada na norma de desempenho (ABNT NBR 15.575:2013)**. 2016. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2016.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.

SP2. SP tem 73 pontes e viadutos de SP com problemas, diz pesquisa; veja as piores. **SPTV, TV Globo**, São Paulo, 29 set. 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/veja-lista-das-pontes-e-viadutos-de-sp-com-mais-problemas-segundo-estudo.ghtml>. Acesso em: 19 jun. 2018.

ZARZAR JR., F. C. **Metodologia para estimar a vida útil de elementos construtivos, baseada no Método dos Fatores**. 2007. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2007.