

## Uma abordagem conceitual holística para a vida útil das estruturas de concreto: divisão em diferentes estágios de tempo

P. Castro-Borges<sup>1\*</sup> , P. Helene<sup>2</sup> 

\* Autor de Contato: [pcastro@cinvestav.mx](mailto:pcastro@cinvestav.mx)

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i3.324>

Recepção: 15/06/2018 | Aceitação: 29/08/2018 | Publicação: 31/08/2018

### RESUMO

O objetivo deste artigo é analisar e discutir uma abordagem conceitual que considere o caráter holístico da vida útil das estruturas de concreto, dividida em sete estágios de tempo que podem ser comparados, para fins de compreensão, com os de um ser humano. Os conceitos existentes sobre a vida útil podem estar incompletos em relação àqueles que devem considerar toda a vida de uma estrutura de concreto. Uma das razões para isso é a falta de certeza das previsões de vida útil baseadas em modelos que consideram uma mistura de estágios não claramente definidos. A vida de uma estrutura tem muitas semelhanças com a de um ser humano. De fato, não é coincidência que a engenharia tenha adotado alguns termos das ciências médicas como “patologia” para se referir a estruturas com problemas de “saúde”. O artigo discute a sobreposição dos diferentes estágios de tempo, bem como as razões pelas quais os modelos de previsão podem falhar.

**Palavras-chave:** vida útil; durabilidade; estrutura.

**Citar como:** P. Castro-Borges, P. Helene (2018), “Uma abordagem conceitual holística para a vida útil das estruturas de concreto: divisão em diferentes estágios de tempo”, Revista ALCONPAT, 8 (3), pp. 280-287, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i3.324>

<sup>1</sup> Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN Unidad Mérida, Carretera Antigua a Progreso, Km 6, 97310, Mérida, Yucatán, México.

<sup>2</sup> University of Sao Paulo, Escola Politécnica, Av. Prof. Almeida Prado, trav 2, 83 SP 05508-900, Brazil.

### Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Website: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antiga estrada para Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

É totalmente proibida a reprodução total ou parcial dos conteúdos e imagens da publicação sem autorização prévia do ALCONPAT International A.C.

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no segundo número do ano 2019, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do primeiro número do ano de 2019.

## **A holistic conceptual approach to concrete service life: a split into different time-stages**

### **ABSTRACT**

The goal of this paper is to analyze and discuss a conceptual approach that considers the holistic character of concrete service life but splits it into seven time-stages that can be compared, for understanding purposes, with those of a human being. The existing concepts about service life may be incomplete regarding those that must consider the whole life of a concrete structure. One of the reasons for this is the lack of certainty of the service life predictions which are based on models that consider a series of non-clearly defined time-stages. The life of a structure has many similarities with that of a human being. In fact, it is no coincidence that engineering has adopted some terms from the medical sciences like “pathology” to refer to structures with problems of “health”. The paper discusses the overlapping of the different time-stages as well as the reasons why the prediction models can fail.

**Keywords:** service life; durability; structure.

## **Un enfoque conceptual holístico para la vida de servicio del concreto: división en diferentes etapas de tiempo**

### **RESUMEN**

El objetivo de este documento es analizar y discutir un enfoque conceptual que considera el carácter holístico de la vida de servicio concreta, pero lo divide en siete etapas de tiempo que se pueden comparar, para fines de comprensión, con las de un ser humano. Los conceptos existentes sobre la vida útil pueden ser incompletos con respecto a aquellos que deben considerar toda la vida de una estructura concreta. Una de las razones para esto es la falta de certeza de las predicciones de la vida útil que se basan en modelos que consideran una combinación de etapas de tiempo no claramente definidas. La vida de una estructura tiene muchas similitudes con la de un ser humano. De hecho, no es coincidencia que la ingeniería haya adoptado algunos términos de las ciencias médicas como "patología" para referirse a estructuras con problemas de "salud". El documento analiza la superposición de las diferentes etapas de tiempo, así como las razones por las que los modelos de predicción pueden fallar.

**Palabras clave:** vida de servicio; durabilidad; estructura.

## **1. INTRODUÇÃO**

A introdução de parâmetros para definir a vida útil do concreto como um conceito holístico tem sido muito comum nos últimos trinta anos. Esses parâmetros são mais quantitativos hoje do que alguns anos atrás e incluem conceitos que estão intimamente relacionados, como facilidade de manutenção, funcionalidade, segurança, confiabilidade e durabilidade. A vida útil foi definida em códigos, normas e artigos por muitos autores. Cada autor ou código tem razões próprias para propor modificações e inclusões à definição. Três das definições mais comuns de vida útil, conforme definido por certas organizações, são dadas abaixo:

- a) American Concrete Institute: É o período de tempo após a instalação, durante o qual todas as propriedades excedem os valores mínimos aceitáveis quando rotineiramente mantidos (ACI-365, 200).

- b) Rede DURAR: É o período de tempo durante o qual a estrutura conserva os requisitos do projeto em termos de segurança, funcionalidade e estética, sem custo de manutenção inesperado (Troconis et al, 1998)
- c) Diretiva de Produtos de Construção (CPD): É o período de tempo durante o qual o desempenho das obras será mantido a um nível compatível com o cumprimento dos requisitos essenciais (E. Community, 1989).
- d) APROY-NMX-C-530-ONNCCE (2017): É o tempo durante o qual o desempenho de um material, elemento ou estrutura de concreto preserva as características do projeto em termos de segurança (resistência mecânica e estabilidade, segurança no caso de incêndio, segurança no uso), funcionalidade (higiene, saúde e meio ambiente, proteção contra ruídos e economia de energia e conforto térmico) e estética (deformações, rachaduras, destacamentos), com um mínimo de manutenção que lhe permita resistir aos efeitos ambientais e naturais em seu ambiente durante o uso.

Embora aparentemente semelhantes, esses conceitos de vida útil têm diferenças e não consideram uma divisão em estágios de tempo durante os quais alguns fenômenos específicos e particulares ocorrem. Esses fenômenos particulares, como rachaduras, carbonatação, movimentação de cloro, etc., podem ter diferentes comportamentos de acordo com determinados estágios de tempo, como início ou fim da vida útil. Então, sua modelagem comportamental e previsões devem corresponder a estágios de tempo específicos, a menos que saibamos exatamente como seu comportamento específico poderia estar em qualquer estágio de tempo.

Esta pode ser a razão pela qual a extrapolação de previsões de modelos determinísticos, semi-probabilísticos ou probabilísticos para diferentes estágios de tempo não pode ser verificada com precisão e completamente. Em outras palavras, a vida útil do concreto deve ser dividida em diferentes estágios de tempo, onde o material é exposto a diferentes circunstâncias além do envelhecimento. Cada estágio de tempo é definido como o tempo específico em que os materiais específicos e o comportamento ambiental podem ser conhecidos sem quaisquer circunstâncias que possam ser atribuídas a outros estágios de tempo e, em seguida, à afetação de previsões de modelos quantitativos.

Por outro lado, precisamos entender o conceito de vida útil como um conceito de vida total e como vemos nossa própria existência como seres humanos. De fato, usamos alguns conceitos em engenharia como "patologia" que foi adotada das ciências médicas para se referir a problemas de "saúde" da estrutura. O objetivo deste artigo é discutir uma abordagem que considere o caráter holístico da vida útil concreta, mas dividi-la em sete estágios de tempo que podem ser comparados, para fins de compreensão, com os de um ser humano. O artigo discute a sobreposição dos diferentes estágios de tempo, bem como as razões pelas quais os modelos de previsão podem falhar.

## 2. ALGUNS ASPECTOS SOBRE A EVOLUÇÃO DOS MODELOS DE VIDA ÚTIL

Provavelmente, uma das abordagens mais importantes para a vida útil foi a fornecida pelo modelo de Tuutti em 1982 (Tuutti, 1982). Este modelo foi o primeiro a propor duas etapas para a vida útil: iniciação e propagação. Muito do conhecimento atual para prevenir danos e reparar estruturas é baseado na concepção deste modelo. Os novos materiais, a agressividade do meio ambiente e as novas técnicas de construção tornaram necessárias melhorias no modelo de Tuutti.

A inclusão da quantidade total de danos, bem como etapas específicas, como inspeção, diagnóstico, prognóstico, reparação e opções de manutenção foram introduzidas em 1994 (C. Andrade, 1994). Em 1996 (Sarja e Vesikaeri, 1996) propuseram vários níveis de modelos para incluir elementos, materiais ou edifícios completos. A ajuda de modelos determinísticos para prever a vida útil programada é discutida em conjunto com a importância dos modelos estocásticos. Em 1996, dois

estados, como a despassivação e a fissuração do concreto, foram levados em consideração nos modelos conceituais.

Um modelo conceitual mostrando as distribuições de degradação, vida útil e limites de manutenção também foram apresentados naquele ano (Sarja e Vesikaeri, 1996). A obsolescência das estruturas foi levada em consideração nos modelos conceituais durante 1997 (Somerville, 1997) e a ideia de projetar para a vida final foi introduzida.

A necessidade de incluir novos conceitos nas abordagens da vida útil continuou em 1998 (Helene, 2003) quando o conceito de vida útil foi dividido em várias partes. Helene (2003) apresentou o estágio de vida útil dividido em quatro partes específicas e sobrepostas. Todas essas abordagens ajudaram a melhorar as previsões de vida útil através de modelos determinísticos ou probabilísticos. No entanto, a sobreposição de seus diferentes estágios complicou a precisão das previsões, porque muitos fenômenos químicos, físicos ou eletroquímicos podem ter um comportamento totalmente diferente em diferentes estágios da vida útil.

Portanto, é necessária uma abordagem com estágios definidos e não sobrepostos que possam permitir melhores previsões de vida útil em qualquer um dos seus estágios. Em outras palavras, não devemos fazer previsões da vida útil se não conhecermos o comportamento esperado de todos os fenômenos durante toda a vida útil, o que é praticamente impossível.

A esse respeito, a literatura forneceu vários outros modelos com interessantes conceitos e subdivisões da vida útil em vários estágios. No entanto, apesar dessas importantes contribuições, não foram encontrados documentos sobre a filosofia com a qual devemos analisar a vida útil de uma estrutura. Como o termo "patologia" foi adaptado das ciências médicas para o campo da construção, é coerente falar sobre "problemas patológicos de construção". Isso nos é familiar por causa da existência de analogias entre as ciências médicas e as ciências da construção; isso é entre um ser humano e estruturas. Portanto, a abordagem a seguir considera as semelhanças da vida total entre um ser humano e uma estrutura.

Os critérios mais conhecidos consideravam a vida útil de uma estrutura dividida em vida útil e vida residual. Além do aparecimento de problemas de durabilidade, a vida útil total foi dividida em mais partes, como vida útil, vida residual e outras que se aplicam ao ser humano, bem como algumas exceções óbvias.

### **3. ANALOGIAS ENTRE A VIDA ÚTIL DE UM SER HUMANO E UMA ESTRUTURA**

Vamos considerar as seguintes semelhanças dos estágios da vida útil entre um ser humano e uma estrutura.

O primeiro estágio é o da concepção. A concepção de um ser humano é dada pela relação entre o casal. Conceber um ser humano requer preparação emocional prévia. No caso de um projeto, a concepção é dada pelas primeiras discussões sobre o projeto e sua preparação. Dependendo do tipo de projeto, a estrutura pode durar para sempre. Esta é a fase em que a vida total é projetada. Este estágio pode ser chamado de projeto de planejamento da vida total da estrutura (estágio 1) e inclui o projeto estrutural, arquitetônico e de durabilidade (figura 1). O produto deste estágio ou condição de contorno é o projeto executivo.

O segundo estágio é o da gestação. Este é o momento em que a mãe gesta o recém-nascido. Alguns profissionais, como o ginecologista, supervisionam esse estágio. A analogia com este estágio é dada pelo período de construção da estrutura. Seguir as especificações do projeto com supervisão adequada determinará o período de vida total da estrutura. Este estágio pode ser chamado de preparação para a vida útil (estágio 2). O produto deste estágio, ou condição de contorno, é a nova estrutura final.

O terceiro estágio é o da entrega. Um grupo de profissionais, como o ginecologista, o pediatra e o anestesista, é responsável por receber o recém-nascido e assegurar boas condições durante esse período. Em termos de estrutura, este é o dia em que a estrutura é colocada em serviço, o dia em serviço. Este é o momento em que a vida útil começa. Este estágio pode ser chamado de iniciação da vida útil (estágio 3).

A quarta etapa é a do parto até a idade adulta (18 anos). Esta é uma fase crítica em que a supervisão dos pais é importante para prevenir, detectar e corrigir qualquer tipo de problema relacionado à saúde mental ou física, emoção ou acidentes que possam afetar o desenvolvimento de longa data da pessoa. A analogia com esse estágio é aquela em que a nova estrutura pode ou não receber ou manutenção preventiva para evitar danos futuros. A duração desta etapa dependerá das necessidades evidentes de manutenção corretiva para a estrutura. Uma condição limite para este estágio quatro pode ser declarada como o momento em que os agentes agressivos alcançam a barra da armadura.

Em termos de durabilidade, esse pode ser o chamado estágio de iniciação ou chamado de vida útil (estágio 4). Será o período do dia em serviço até o dia em que a agressividade do ambiente e / ou cargas resultará em deterioração direta do aço / concreto. Este estágio deve considerar o comportamento esperado quando a estrutura é saudável e sem deterioração evidente. A presença de evidência visual de deterioração pode ser o sinal de que o modelo de comportamento foi modificado ou alterado para incluir condições diferentes.

O quinto estágio inclui a idade adulta até pouco antes da idade do idoso. Este é um período de maturidade em que o desenvolvimento correto depende da pessoa e dos hábitos corretos durante os estágios anteriores. Certos aspectos sobre problemas de saúde ou emocionais determinam o comportamento no final deste estágio. Em termos de durabilidade, esta fase corresponde ao período de propagação. No entanto, conforme definido, o período de propagação termina quando as capacidades originais de suportar cargas estruturais e ambientais não puderem ser restauradas na estrutura. Na realidade, essas habilidades têm uma alta probabilidade de serem restauradas se a estrutura for adequadamente reparada ou reabilitada em um determinado momento crítico. É como um câncer que pode ser curado para corrigir e diagnosticar a tempo.

Este estágio pode ser chamado de vida útil residual (estágio 5). É um estágio no qual a estrutura será útil apesar de seus problemas, mas somente se receber um tratamento correto e oportuno. O limite entre este e o estágio seguinte é dado pelo fato de que nem todo "remédio" terá o efeito desejado.

O sexto estágio pode ser aquele do idoso até o instante antes de morrer. Nesta fase, todas as funções da pessoa devem ser cuidadosamente seguidas, porque não podem devido ao envelhecimento e condições prévias de vida. No caso de uma estrutura, é o momento em que qualquer ação preventiva ou corretiva não pode restaurar suas condições esperadas de funcionalidade, capacidade de manutenção, durabilidade, cargas, etc. É nesse período que o inspetor e o proprietário devem pensar em uma mudança de uso da estrutura. Algumas atividades como descarga de algumas zonas, evacuação de pessoas, desmontagem de algumas instalações, etc. devem ser planejadas antes da morte da estrutura. Este estágio termina pouco antes da morte da estrutura e pode ser chamado apenas como vida residual (estágio 6). A condição limite aqui corresponde ao momento em que a estrutura não é mais útil.

O sétimo e último estágio é o da morte como resultado de fracassos, colapsos ou dores prolongadas. No caso de uma estrutura, esta etapa corresponde ao início do colapso parcial ou total. Este estágio pode ser chamado de fim da vida residual (estágio 7).

Cada etapa do modelo conceitual deve ser acompanhada de alguns ensaios específicos. Os resultados de um tipo de ensaio podem significar interpretações diferentes se aplicados em diferentes estágios. Como exemplo, podemos pensar no ensaio de permeabilidade (Basheer, 1993). Os valores de permeabilidade podem ser diferentes na dependência das condições agressivas da



estrutura durante certas etapas: a aplicação deste ensaio no estágio 3 pode indicar um bom concreto, mas um melhor no estágio 4 (devido a um período de cura mais longo, etc). O NMX-C-530 leva isso em consideração.

#### 4. A NOVA ABORDAGEM DE VIDA ÚTIL DO CONCRETO

A Figura 1 mostra uma abordagem da vida útil das estruturas de concreto que é baseada nas melhores características de outras abordagens, bem como nas analogias entre uma estrutura e um ser humano. Esta abordagem é apresentada com uma filosofia diferente e uma divisão dos estágios de tempo, que está mais de acordo com o planejamento do projeto, bem como com as previsões futuras.

O desempenho ideal é obtido durante as três primeiras etapas e inclui o planejamento, a preparação e o dia da entrada em serviço da estrutura.

A condição mínima de serviço será mantida apenas durante a quarta etapa, onde a manutenção preventiva contra a entrada de substâncias agressivas é necessária. Em termos globais, os estágios cinco, seis e sete são aqueles em que a estrutura não é mais capaz de exibir desempenho aceitável. Estes estágios incluem a vida útil residual e o fim da vida residual.

#### 5. SOBREPOSIÇÃO ENTRE OS DIFERENTES ESTÁGIOS

Qualquer um dos estágios da Figura 1, mas particularmente os quatro últimos, devem ser analisados individualmente ao realizar previsões de vida útil. A literatura tem dado muita importância aos estágios 4 e 5, pois acredita-se que as informações obtidas em tais estágios são suficientes para prever o comportamento futuro. Os eventos de cada estágio de tempo único devem ser interpretados e considerados para qualquer previsão, devido à influência dos fenômenos ocorridos durante os estágios de tempo anteriores. A sobreposição de fenômenos que ocorrem em diferentes estágios pode resultar em previsões enganosas.

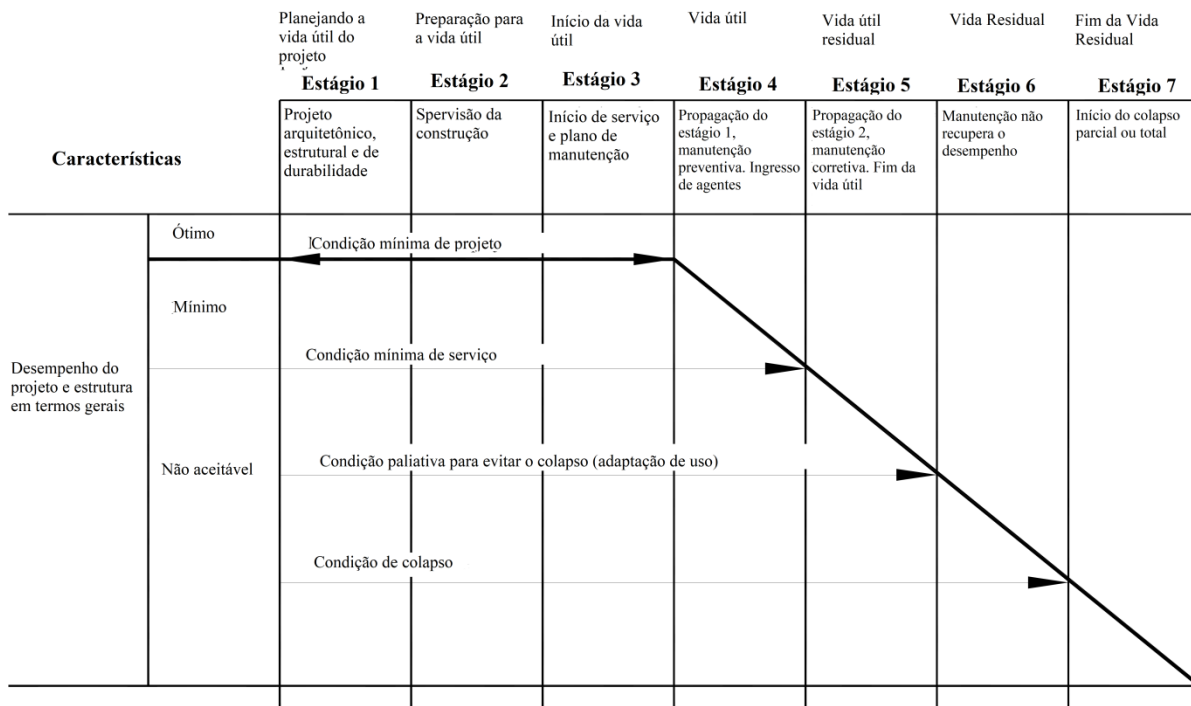


Figura 1. Abordagem para vida útil de estruturas de concreto.

Um exemplo simples é a previsão da frente de carbonatação ou perfil de cloreto adjacente à armadura após alguns anos de exposição a um determinado ambiente. O estágio 4, vida útil, inclui o ingresso desses agentes, mas as previsões geralmente não levam em conta os estágios 5, 6 e 7, nos quais podem ocorrer fissuras ou outros fenômenos.

Esta é uma das principais razões pelas quais não podemos encontrar facilmente uma verificação válida de previsão desses fenômenos. A melhor coisa neste caso é circunscrever um modelo de previsão para o estágio 5 e pensar em modificações ou em um diferente após esse estágio. Os itens incluídos nos sete estágios, assim como os dados necessários para as previsões, serão publicados em outro lugar.

## 6. EXEMPLO DE APLICAÇÃO DAS SETE FASES DO MODELO CONCEITUAL

O cais de Progreso é a mais antiga estrutura de concreto relatada com o uso de 304 SS. Foi projetado e construído pela empresa dinamarquesa Christiani e Nielsen. Esta empresa pensou em uma estrutura de vida útil de 50 anos com um mínimo de manutenção. Seis dos estágios do modelo conceitual podem ser facilmente identificados. Vários artigos publicados, citados aqui, podem apoiar o uso do modelo conceitual:

Etapa 1.- Planejamento da vida útil (2 anos). O cais foi projetado para funcionar por 50 anos. A elaboração do projeto durou cerca de dois anos.

Etapa 2.- Preparação para a vida útil (período de construção, 5 anos). A estrutura foi construída entre 1936 e 1941.

Etapa 3. - Início da vida útil. A estrutura foi inaugurada em 1941

Estágio 4. - Vida útil (60 anos). A estrutura teve um atendimento satisfatório de 1941 a 2001, após 60 anos de serviço, quando um furacão (Isidore, 2002) evidenciou diversos problemas como a erosão que afetou as estacas, vigas e deck.

Estágio 5.- Vida útil residual (15 anos). A estrutura, desde então (2002), está em serviço graças a intervenções no tempo. Um novo píer foi proposto para o ministério da construção, que foi finalmente construído e inaugurado em 2016. Este foi o fim do estágio 5 para o antigo píer, uma vez que a maioria das fortes cargas foi transferida para o novo píer.

Estágio 6.- Vida Residual (2 anos e contando). A manutenção não recupera o desempenho original e não pode ajudar o píer a sustentar as cargas de 10 vezes maiores. Em seguida, o uso do cais foi modificado para permitir apenas parte das cargas planejadas originais que são equivalentes, hoje em dia, a carros e caminhões turísticos, pessoas e tráfego de manutenção. De fato, está tendo uma intervenção, para garantir que ela possa sustentar uma certa porcentagem das cargas originais do projeto. Nestas circunstâncias, espera-se que pelo menos uma duração do estágio 6 de 22 anos, ou seja, o complemento tenha o dobro da expectativa de vida útil inicial, o que significa um total de 100 anos.

## 7. CONCLUSÃO

A contribuição de várias abordagens para a vida útil de estruturas de concreto foi discutida. Uma nova abordagem que leva em conta as semelhanças entre os diversos estágios da vida útil de um ser humano comparativamente à vida útil de estruturas de concreto foi proposta. A influência da sobreposição dos estágios da vida útil nas previsões de comportamento futuro foi brevemente discutida. Com base na nova abordagem, recomenda-se o uso de modelos de previsão simples cujos resultados se aplicam a estágios individuais.

## 8. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Institutos, bem como ao CONACYT e ao CNPq pelo apoio parcial a este trabalho e colaboração. Registra-se um forte agradecimento a M. Balancan. As opiniões aqui expressas são de responsabilidade dos autores e não necessariamente das organizações de apoio.

## 9. REFERÊNCIAS

- American Concrete Institute (2000), “*ACI-365: Service-Life Prediction- State-of-the-Art Report*”.
- Andrade, C. (1994), *Quantification of durability of reinforcing steel, methods and calculation procedures of Concrete technology: New Trends, Industrial Applications*, A. Aguado, R. Gettu and S.P. Shah, Editors. RILEM. Published by E&FN Spon, 2-6 Boundary Row, London SE1 8HN, UK ISBN 0 419 20150 5. pp: 158-175.
- APROY-NMX-C-530-ONNCCE (2017), “*Industria de la construcción – Durabilidad – Norma general de durabilidad de estructuras de concreto reforzado – Criterios y Especificaciones*”.
- Basheer, P. A. M. (1993), *A brief review of methods for measuring the permeation properties of concrete in-situ*, Structures and Buildings, Proceedings of the ICE, vol 99, 74-83. <https://doi.org/10.1680/istbu.1993.22515>
- European Community (1989), “*COUNCIL DIRECTIVE of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products.*”, Off. J. Eur. Communities, vol. 40, no. L, pp. 12–26.
- Helene, P. (2003), *A nova NB 1/2003 (NBR 6118) e a vida útil das estruturas de concreto*, University of Sao Paulo PCC USP.
- Sarja, A., Vesikaeri, E. (1996), *Chapter 7 Durability models*, In *Durability Design of Concrete Structures*. Manuscript of RILEM Report of TC 130-CSL, RILEM Report Series 14. pp: 97-111, E & FN Spon, Chapman and Hall, 165 p.
- Somerville, G. (1997), “*Engineering design and service life: a framework for the future*”, In *Prediction of concrete durability: Proceedings of the STATS 21st anniversary conference /1997*, J. Glanville and A. M. Neville, Editors, pp. 58-76, E & FN Spon, UK.
- Troconis, O., Romero, A., Andrade, C., Helene, P., Díaz, I. (1998), *Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado*, 2nd ed. Red Durar.
- Tuutti, K. (1982), “*Corrosion of steel in concrete*”, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm.