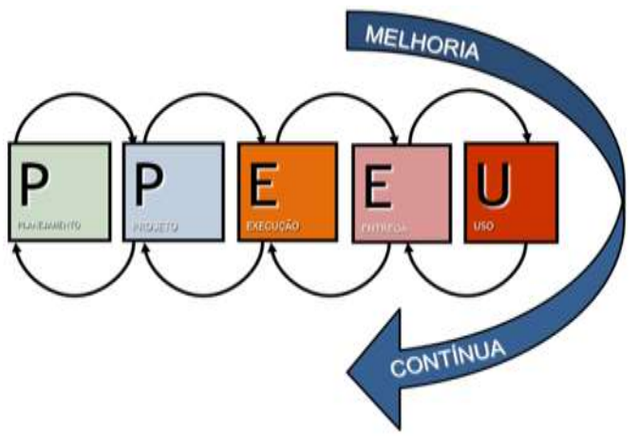
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ESTRUTURAL EM EDIFICAÇÕES E A NBR 15.575/2013 DA ABNT

Na longa História da Humanidade aqueles
que aprenderam a colaborar e a improvisar
mais efetivamente prevaleceram.

Charles Darwin

A avaliação do desempenho estrutural de uma edificação requer análises das 5 fases do empreendimento (PPEEU), representadas pelo planejamento (terreno), projeto, execução, entrega e uso, podendo-se reportar à metodologia dos 5 passos das Diretrizes de Avaliação de Desempenho em Edificações do Instituto de Engenharia.

Para melhor visualização das cinco fases e cinco passos, seguem as ilustrações:



Os dados do terreno e seu entorno, principalmente o clima e condições ambientais, da fase de planejamento, são fundamentais para que a fase seguinte, ou seja, a do projeto da estrutura, se desenvolva em atendimento às exigências das normas da ABNT, principalmente as normas nbr 6120 (cargas para o cálculo de estrutura em edificações), nbr 8681 (ações e segurança nas estruturas), nbr 6123 (forças devido ao vento em edificações), nbr 6118 (projeto de estruturas de concreto) e nbr 15200 (projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio). A avaliação de desempenho estrutural nessas duas fases, planejamento e projeto, são bem explicitadas pela Dra. Maria Angélica Covelo, podendo-se reportar aos três passos de sua metodologia de desempenho, representados por:

> *Passo 1 – conhecer e registrar no projeto as considerações feitas sobre as características de uso da edificação e de suas partes ao longo da vida útil, para estabelecer requisitos em função das condições reais de uso;*
>
> *Passo 2 – conhecer e registrar no projeto as características de exposição a que estarão sujeitos os materiais, componentes e sistemas e o edifício como um todo...Identificar os "riscos previsíveis" e prover os estudos técnicos necessários.*
>
> *Passo 3 – definir os requisitos e critérios a atender diante das características de uso e condições de exposição usando os estudos técnicos realizados.*

Além disso, na fase de execução, é necessário que a estrutura de concreto atenda as exigências da norma NBR 14931 (execução de estruturas de concreto), o que recomenda inspeções e ensaios no decorrer da obra, para a devida avaliação técnica do desempenho da execução da estrutura.

Na fase de entrega da obra a avaliação do desempenho da estrutura concluída requer inspeção “in loco” para verificar se não há deslocamentos maiores do que os estabelecidos nas normas de projeto, ou fissuras com aberturas superiores aos limites estabelecidos, ou aberturas maiores do que 0,6 mm, além de verificar também as condições de Degradação e Durabilidade, tais como aqueles preconizados nas Diretrizes para durabilidade das estruturas de concreto, item 6 da NBR 6118 da ABNT, que aponta, inclusive os mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto, ou seja:

a) Lixiviação: por ação de águas puras, carbônicas agressivas ou ácidas que dissolvem e careiam os compostos hidratados da pasta de cimento;

b) Expansão por ação de águas e solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado;

c) Expansão por ação das reações entre os álcalis do cimento e certos agregados reativos;

d) Reações deletérias superficiais de certos agregados decorrentes de transformação de produtos ferruginosos presentes na sua constituição mineralógica.

E também é preciso verificar os mecanismos preponderantes de deterioração relativos à armadura:

a) Despassivação por carbonatação, ou seja, por ação do gás carbônico da atmosfera;

b) Despassivação por elevado teor de ion cloro (cloreto).

Idem, idem, quanto aos mecanismos de deterioração da estrutura propriamente dita, devido às ações mecânicas, movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação.

Portanto, para se completar a avaliação técnica do desempenho estrutural é preciso verificar se a estrutura atende, ou não, a durabilidade e vida útil projetada para o nível de desempenho especificado (mínimo, intermediário e superior) e, para tanto, há necessidade da aplicação de metodologia específica, como recomenda a norma de desempenho no item 14.1.2, porém sem nenhuma indicação metodológica.

Como resolver a questão?

Preliminarmente deve-se esclarecer que a norma de desempenho em edificações da ABNT, vigente desde 19 de julho de 2013, estabelece três níveis de desempenho e vida útil a serem atingidos pelos sistemas, quais sejam: mínimo, intermediário e superior.

Tais níveis estão devidamente indicados em diversos itens da norma, cabendo destacar alguns, tais como as tabelas dos anexos C e E da parte 1 da norma, podendo-se exemplificar com algumas, tais como:

Tabela C.5 – Vida útil de projeto mínima, intermediária e superior (VUP) [a]

Sistema	VUP		
	Mínimo	Intermediário	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 63	≥ 75
Pisos internos	≥ 13	≥ 17	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 50	≥ 60

Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 25	≥ 30
[a] Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.			

Tabela E1 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de Desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	Ti, máx. ≤ Te, máx.	Ti, máx. ≤ Te, máx.
I	Ti, máx. ≤ (Te, máx. – 2° C)	Ti, máx. ≤ (Te, máx. – 1° C)
S	Ti, máx. ≤ (Te, máx. – 4 °C)	Ti, máx. ≤ (Te, máx. – 2°C)
Ti, máx. é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius. Te, máx. é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. Ti, mín. é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius. Te, mín. é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. NOTA Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3		

Tabela E3 – Níveis de Iluminamento natural

Dependência	Iluminamento Geral para os níveis de Desempenho (lux)		
	M [a]	I	S
Sala de estar, dormitório, copa/cozinha e área de serviço	≥ 60	≥ 90	≥ 120
Banheiro, corredor ou escada interna à unidade, corredor de uso comum (prédios), escadaria de uso comum (prédios), garagens/estacionamentos	Não requerido	≥ 30	≥ 45

[a] Valores mínimos obrigatórios, conforme 13.2.1.

NOTA 1 Para os edifícios multipiso, são permitidos, para as dependências situadas no pavimento térreo ou em pavimentos abaixo da cota da rua, níveis de iluminância ligeiramente inferiores aos valores especificados nesta Tabela (diferença máxima de 20% em qualquer dependência).

NOTA 2 Os critérios desta Tabela não se aplicam às áreas confinadas ou que não tenham iluminação natural.

NOTA 3 Deve-se verificar e atender às condições mínimas requeridas pela legislação local.

Tabela E6 – Parâmetros acústicos de verificação

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
$L_{Aeq,nT}$	Nível de pressão sonora equivalente, padronizado de equipamento predial	ISSO 16032	Ruído gerado durante a operação de equipamento predial
$L_{ASmáx.,nT}$	Nível de pressão sonora máximo, padronizado de equipamento predial	ISSO 16032	Ruído gerado durante a operação de equipamento predial
$L_{Aeq,ai}$	Nível de pressão sonora equivalente no ambiente interno, com equipamento fora de operação	ISSO 16032	Nível de ruído no ambiente, com o equipamento fora de operação (ruído residual)

Vale reiterar que diversos são os métodos de avaliação do desempenho da estrutura de obra pronta, com verificações dos deslocamentos-limites para cargas permanentes e cargas acidentais em geral, níveis de fissuração, flechas máximas para vigas e lajes, além de outros requisitos das demais normas da ABNT, ou das tabelas A a E da parte 2 da própria norma de desempenho.

Porém, no tocante à durabilidade e vida útil das estruturas de concreto a norma é conceitual, vaga, sugerindo no item 14.1.2 a "aplicação de modelos", conforme explicitado a seguir:

a) *análise do projeto, considerando a adequação dos materiais, detalhes construtivos adotados visando o atendimento às disposições previstas nas normas específicas utilizadas no projeto; ou;*
b) *ensaios físico-químicos e ensaios de envelhecimento acelerado (porosidade, absorção de água, permeabilidade, dilatação térmica, choque térmico, expansão higroscópica, câmara de condensação, câmara de névoa salina,*

câmara CUV, câmara de SO2, Wheater-O-Meter (Intemperismo Acelerado)e outros); ou

c) *aplicação de modelos para previsão do avanço de frentes de carbonatação, cloretos, corrosão e outros. "*

Ora, s.m.j, tal explicitação nada explica.

Mas, recentemente, foi desenvolvido interessante modelagem criada pelos engenheiros Fabrício Bolina e Bernardo Tutikian, mestrando e mestre da Unisinos, apresentado à comunica técnica através de publicação do artigo *"Especificação de parâmetros da estrutura de concreto armado segundo os preceitos de desempenho, durabilidade e segurança contra incêndio"*, publicado na edição 76, ano XLII, outubro a dezembro de 2014, da revista Concreto & Construções.

Em robusto artigo técnico, os autores demonstram ter "*realizado uma revisão dos principais modelos teóricos que inferem sobre previsão de vida útil do elemento estrutural. Buscou-se analisar modelos que admitem, essencialmente, espessuras carbonatadas e espessuras de ingresso de cloretos sobre diferentes características do concreto. Da espessura contaminada obtida com os modelos teóricos determina-se, então, qual espessura de cobrimento nominal das armaduras o elemento estrutural, inserido naquele ambiente, deve ter. A justificativa para a escolha de apenas dois tipos de agressão, gás carbônico e cloretos, fundamenta-se no fato de que estas formas de ataque mais corriqueiramente observadas nas construções convencionais, além de serem estas as formas de ataque que, indiretamente, fundamentam a essência das classes de agressividade ambiental da normalização brasileira. Obviamente que em situações em que o fenômeno da agressão prepondertante seja outro, como lixiviação, reação álcali-agregado, ataque por sulfato, ação de gelo-degelo, entre outros, o profissional responsável pela especificação do concreto deve tomar as precauções cabíveis para essa situação.".* E o

resultado desse complexo trabalho, após análises dos modelos teóricos de Morinaga (1990) e Bob (1991) para as classes de agressividade I e II, e de Paulo Helene (1993), Maage et al (1996) e Bom (1996) para as classes de agressividade III e IV, resultaram na tabela de dimensionamento estrutural à durabilidade para uma VUP de 50, 63 e 75 anos, como segue :

VIDA ÚTIL	50 Anos				63 Anos				75 Anos			
CAA	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
ELEMENTO	Cobrimento (mm)/ Classe concreto Relação ac / Consumo cimento (kg/m³)				Cobrimento (mm) / Classe concreto Relação ac / Consumo cimento (kg/m³)				Cobrimento(mm) / Classe concreto Relação ac / Consumo cimento (kg/m³)			
Laje	20/C20 0,65/260	25/C25 0,6/280	35/C30 0,55/320	45/C40 0,45/360	25/C25 0,6/280	35/C35 0,5/300	45/C40 0,45/340	55/C50 0,40/360	30/C30 0,60/280	40/C40 0,50/340	50/C40 0,40/360	65/C50 0,40/380
Viga/pilar	25/C20 0,65/260	30/C25 0,6/280	40/C30 0,55/320	50/C40 0,45/360	30/C25 0,6/280	40/C35 0,5/300	50/C40 0,45/340	60/C50 0,40/360	35/C30 0,60/280	45/C40 0,50/340	55/C40 0,40/360	70/C50 0,35/380
Elementos em contato com solo	30/C20 0,65/260	30/C25 0,6/280	40/C30 0,55/320	50/C40 0,45/360	30/C25 0,6/280	40/C35 0,5/300	50/C40 0,45/340	60/C50 0,35/360	40/C30 0,60/280	45/C40 0,45/340	55/C40 0,40/360	70/C50 0,35/380

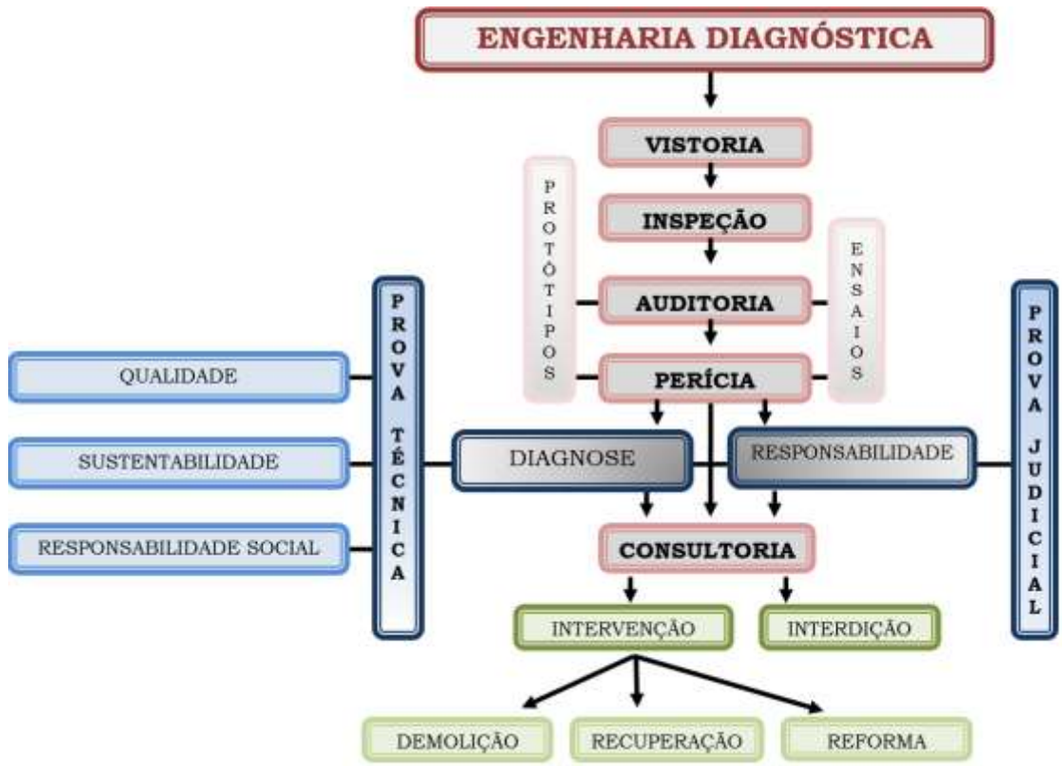
E os engenheiros Fabrício Bolina e Bernardo Tutikian concluem que *"foi possível estabelecer critérios e parâmetros de projeto para uma estrutura com durabilidade e segurança contra incêndio atendendo as normas ABNT NBR 15.575:2013, ABNT NBR 6118:2014 e ABNT NBR 15200:2012, com base em modelos de previsão de vida útil e especificações de normas internacionais, para diferentes vidas úteis de projeto (VUP), atendendo os 50, 63 e 75 anos."*

Com base nesses dados, bastante confiáveis cientificamente, os Engenheiros Diagnósticos podem acrescentar essas análises dos cobrimentos especificados em projetos, medi-los na execução da obra e na entrega da mesma, para bem estimar a VUP e, finalmente, avaliar o desempenho da estrutura entregue, além de eventuais verificações complementares das relações água/cimento e consumo de cimento (Kg/m³) do concreto.

Quanto à fase de uso, a avaliação técnica do desempenho da estrutura requer a inspeção "in loco" para verificar as características reais de uso, condições de exposição, degradação, patologias, manutenção, vida útil consumida, bem como a eventual estimativa da vida útil remanescente. Evidentemente, outras

interpretações objetivas deverão ser desenvolvidas nessa avaliação de desempenho da fase de uso.

Vale acrescentar que a Engenharia Diagnóstica em Edificações, inclusive com ensaios, oferece as ferramentas para essas avaliações técnicas, pois visa a investigação técnica criteriosa e minuciosa, com o objetivo de medir e avaliar a qualidade predial. Inclusive, as ferramentas técnicas e os procedimentos gerais estão apontados nas Diretrizes Técnicas de Avaliação do Desempenho em Edificações do Instituto de Engenharia, valendo reproduzir o fluxograma geral da disciplina:



E a avaliação técnica do sistema estrutural pode ser classificada e conter conclusão com base na metodologia do item 6 das Diretrizes de Avaliação de Desempenho em Edificações do Instituto de Engenharia, nos seguintes termos:

"Recomenda-se que os Engenheiros Diagnósticos envolvidos no ciclo da avaliação de desempenho apresentem conclusão final indicando o nível de desempenho real da edificação dentre as seguintes classificações:

- *Desempenho Superior (DS) – supera a especificação;*
- *Desempenho Médio (DM) – corresponde ao projetado nos principais requisitos;*
- *Desempenho Inferior (DI) – não atende a requisitos fundamentais.*

A conclusão deve ser fundamentada com base em dados reais ou interpretação objetiva."

Portanto, aplicando a metodologia de durabilidade dos engenheiros Fabrício Bolina e Bernardo Tutikian e as Diretrizes Técnicas de Avaliação de Desempenho em Edificações do Instituto de Engenharia, com as respectivas ferramentas da Engenharia Diagnóstica em Edificações, é possível se avaliar tecnicamente o desempenho e durabilidade das estruturas de concreto das edificações, nas cinco fases do empreendimento.

Tito Lívio Ferreira Gomide
Engenheiro Civil – FAAP 77- Crea 64.517/D
Perito de Engenharia Diagnóstica em Edificações do
Gabinete de Perícias Gomide