

4)Efeitos em elementos estruturais – podem afetar as peças estruturais provocando afastamentos em relação às hipóteses de cálculos adotadas.

m) Impermeabilização deficiente:

A impermeabilização pode ser definida como um sistema de vedação constituído por materiais rígidos, plásticos ou elásticos, com a finalidade de impedir a penetração de umidade ou líquidos no concreto. No caso de reservatórios e cortinas, deve ser projetada para resistir às pressões hidrostáticas, o que não é necessário para as lajes de cobertura, terraços, calhas, onde não ocorre este tipo de pressão. Os danos podem ser causados por ações mecânicas, previsão incorreta de movimentos da estrutura e perda de elasticidade dos materiais utilizados.

n) Manchas:

Ocorrência de manchas escuras no concreto, devido à contaminação por fungos, mofo, etc., principalmente nas fachadas expostas. Outras manchas como as relacionadas à corrosão e eflorescências, não devem ser consideradas.

o) Obstrução de juntas de dilatação:

A junta de dilatação é uma separação física entre duas partes de uma estrutura, para que estas partes possam se movimentar sem transmissão de esforço entre elas. A presença de material rígido ou de material de preenchimento que tenha perdido a sua elasticidade produz tensões indesejáveis na estrutura, podendo ocasionar fissuras nas lajes adjacentes à junta, com a possibilidade de se propagar às vigas e pilares próximos. Os sistemas de vedação/enchimento das juntas devem acomodar a amplitude do movimento da mesma.

p) Recalque:

O recalque provoca movimentação na estrutura que, conforme o seu tipo, pode ser afetada pelo assentamento total máximo (recalque uniforme), pela inclinação uniforme (desaprumo) ou pelos assentamentos diferenciais (recalques diferenciais e distorções angulares)

Os recalques distorcionais das fundações, inadmissíveis estruturalmente, ocorrem por deformações excessivas e podem ser causados por um ou mais dos seguintes fatores de risco: ausência, insuficiência ou má qualidade das investigações geotécnicas; má interpretação dos resultados da investigação geotécnica; avaliação errônea dos valores dos esforços provenientes da estrutura (sub-dimensionamento); adoção inadequada da tensão admissível do solo ou da cota de apoio das fundações; modelos inconvenientes de cálculo das fundações; cálculo estrutural incorreto; influências externas (escavações ou deslizamentos não previsíveis, agressividade ambiental, enchentes, construções vizinhas, descalçamento das fundações por escavações vizinhas); colapso do solo (por exemplo, devido à ruptura de tubulações subterrâneas ou vazamentos em reservatórios subterrâneos); alteração do nível do lençol freático; modificação no carregamento devido a mudança de utilização da estrutura (acréscimos ou ampliação de áreas), efeito piscina (entupimento de drenos), sobrecargas não previstas; cargas dinâmicas (vibrações, tremores de terra, etc.) e por fim, falha de manutenção em obras críticas.

q) Sinais de esmagamento do concreto:

Início do processo de desintegração do concreto. No caso de pilares, caracteriza-se pelo aparecimento de fissuras diagonais. É causado por sobrecargas excessivas ou movimentação da estrutura, podendo evoluir para um intenso lascamento do concreto, com perda de seção e flambagem das armaduras.

r) Umidade:

Penetração de águas, agressivas ou não, em peças estruturais, através de fissuras, ninhos de concretagem, juntas de concretagem mal executadas ou devido à alta porosidade do concreto. Pode ainda, ter origem em danos na impermeabilização, deficiências no escoamento de águas pluviais, vazamento em tubulações, etc. Esse dano pode favorecer: o aparecimento da corrosão; a lixiviação; e danos nos demais elementos da edificação.

s) Umidade na base:

A presença de umidade na base de pilares e/ou blocos de fundação, pela sua gravidade, deve ser tratada como dano específico. Podem ser proveniente de deficiência no escoamento de águas pluviais, vazamento em tubulações, vazamento em reservatórios enterrados, etc. A presença de umidade pode favorecer o aparecimento de recalques.

3. CÁLCULO DO GRAU DE DETERIORAÇÃO DOS ELEMENTOS E DA ESTRUTURA

3.1 - Preliminares

São apresentados, a seguir, os parâmetros para aplicação da metodologia que visa quantificar os graus de deterioração dos elementos e da estrutura. Partindo dos fatores de ponderação e de intensidade dos danos nos elementos, faz-se a determinação seqüencial dos graus dos danos existentes em cada elemento estrutural, dos graus de deterioração dos elementos e das famílias de elementos de mesma natureza, e, por fim, do grau de deterioração da estrutura, conforme proposto por Castro, Clímaco e Nepomuceno (1995).

São também apresentadas, ao fim deste caderno, as tabelas A.1, A.2 e A.3, que devem ser preenchidas mediante inspeções da estrutura por técnicos especificamente treinados. Como complemento do trabalho de inspeção/avaliação da estrutura, e com o objetivo de confrontar os resultados obtidos da aplicação da metodologia com a situação física real da edificação, é altamente recomendável que seja feita uma ampla documentação fotográfica, que deverá constar do Relatório de Avaliação.

3.2 - Fator de ponderação do dano (F_p)

Fator que visa quantificar a importância relativa de um determinado dano, no que se refere às condições gerais de estética, funcionalidade e segurança dos elementos de uma família, tendo em vista as manifestações patológicas passíveis de serem neles detectadas. Para sua definição são estabelecidos os problemas mais relevantes quanto aos aspectos de durabilidade e segurança estrutural. Assim, para cada manifestação patológica, e em função da família de elementos que apresentam o problema, foi estabelecido um grau numa escala de 1 a 5. Uma determinada manifestação patológica pode ter fatores de ponderação diferentes de acordo com as características da família onde o elemento se insere, dependendo das conseqüências que o dano possa acarretar.

3.3 - Fator de intensidade do dano (F_i)

Fator que classifica a gravidade e evolução de uma manifestação de dano em um determinado elemento, segundo uma escala de 0 a 4, como segue:

- elemento sem lesões	$F_i = 0$
- elemento com lesões leves	$F_i = 1$
- elemento com lesões toleráveis	$F_i = 2$
- elemento com lesões graves	$F_i = 3$
- elemento em estado crítico	$F_i = 4$

A Tabela A.1, ao fim do texto, apresenta uma classificação dos tipos de danos mais freqüentes em edificações usuais com estrutura de concreto armado, com uma identificação do nível de gravidade das lesões e descrição sucinta das intensidades das manifestações, conforme características específicas, para fins de aplicação desta metodologia.

O Anexo 2, com fotos ilustrativas, foi inserido com a finalidade de facilitar a identificação dos danos e a atribuição dos Fatores de intensidade.

3.4 - Grau do dano (D), Grau de deterioração de um elemento (G_{de}), Grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df}) e Grau de deterioração da estrutura (G_d):

O grau de cada dano no elemento estrutural é calculado em função do fator de ponderação (F_p) e respectivo fator de intensidade (F_i), atribuídos conforme este Roteiro de Inspeção.

No Anexo 1 foram reunidas as fórmulas necessárias, na sua forma modificada, para o cálculo do Grau do Dano (D), Grau de deterioração do elemento (G_{de}), Grau de deterioração de uma família de elementos (G_{df}) e Grau de deterioração da estrutura (G_d). As modificações propostas resultaram de dezenas de aplicações da metodologia.

4. PLANILHAS DE DANOS PARA FAMÍLIAS DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS

A Tabela A.2 apresenta as planilhas específicas para as famílias de elementos mais comuns em estruturas de concreto de edificações usuais, com os danos possíveis e os respectivos fatores de ponderação, para uso na presente metodologia. Os fatores sugeridos na tabela foram definidos a partir de uma gama extensa de testes de aplicação (Castro, 1994; Lopes, 1998; Boldo, 2002).

A Tabela A.3 apresenta a tipologia de fissuras em elementos de concreto armado, com uma descrição sucinta de suas manifestações, croquis para auxiliar na sua identificação e os respectivos fatores de ponderação. Os fatores sugeridos na tabela foram definidos de acordo com a gravidade de cada fissura.

Os valores numéricos atribuídos aos fatores não devem, no entanto, ser encarados de forma rígida, podendo ser modificados, segundo as indicações de cada análise específica.

Tabela 4 - Limites para deslocamentos
(Tabela 13.2 da NBR 6118/2003)

Tipo de efeito	Razão de Limitação	Exemplo	Deslocamentos a considerar	Deslocamento limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	l/250
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Desvio de cargas	l/350
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	l/250 ¹⁾
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pista de boliche	Total	l/350+ contraflecha ²⁾
			Ocorrido após a construção do piso	l/600
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento	
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenarias, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	l/500 ³⁾ ou 10 mm ou $\theta = 0,0017 \text{ rad}^{4)}$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	l/250 ³⁾ ou 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação Freqüente ($\psi = 0,30$)	H/1700 ou H/850 ⁵⁾ entre pavimentos ⁶⁾
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	l/400 ⁷⁾ ou 15 mm
	Forros	Movimentos térmicos horizontais	Provocado por diferença de temperatura	H/500
		Revestimentos colados	Ocorrido após construção do Forros	l/350
		Revestimentos pendurados ou com juntas	Deslocamento ocorrido após construção do forro	l/175
	Pontes Rolantes	Desalinhamento de trilhos	Deslocamento provocado pelas ações decorrentes da frenagem	H/400
Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-as ao modelo estrutural adotado.		

1) As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por contraflechas, de modo a não se ter acúmulo de água.

2) Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que l/350.

3) O vão l deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.

4) Rotação nos elementos que suportam paredes.

5) H é a altura total do edifício e Hi o desnível entre dois pavimentos vizinhos.

6) Esse limite aplica-se ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos devido à atuação de ações horizontais.

Não devem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais nos pilares. O limite também se aplica para o deslocamento

vertical relativo das extremidades de lintéis conectados a duas paredes de contraventamento, quando Hi representa o comprimento do lintel.

7) O valor l refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno.

NOTAS

1 Todos os valores limites de deslocamentos supõem elementos de vão l suportados em ambas as extremidades por apoios que não se movem. Quando se tratar de balanços, o vão equivalente a ser considerado deve ser o dobro do comprimento do balanço.

2 Para o caso de elementos de superfície, os limites prescritos consideram que o valor l é o menor vão, exceto em casos de verificação de paredes e divisórias, onde interessa a direção na qual a parede ou divisória se desenvolve, limitando-se esse valor a duas vezes o vão menor.

3 O deslocamento total deve ser obtido a partir da combinação das ações características ponderadas pelos coeficientes

definidos na seção 11. 4 Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contraflechas.

5. REFERÊNCIAS

1. ABNT (2003) - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2003), "Texto concluído da norma NBR 6118/2003: Projeto de estruturas de concreto".
2. BOLDO, P. (2002) - "Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro", Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, DF, janeiro.
3. BOLDO, P., CLÍMACO, J.C.T.S. (2002) - "Avaliação quantitativa do grau de deterioração de estruturas de concreto de edificações públicas", resumo aprovado para o ENTAC 2002 - Foz do Iguaçu – PR.
4. BOLDO, P., CLÍMACO, J.C.T.S. (2002) - "Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro", resumo aprovado para as XXX Jornadas Sul Americanas de Engenharia Estrutural – Brasília - DF.
5. CÂNOVAS, M.F. (1988), "Patologia e terapia do concreto armado", Editora Pini, São Paulo, 522p.
6. CAPUTO, H. P. (1981), "Mecânica dos Solos e suas aplicações", V. 2, Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., Rio de Janeiro, 488p.
7. CASTRO, E. K. (1994) - "Desenvolvimento de metodologia para manutenção de estruturas de concreto armado", Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, DF, 185p, dezembro.
8. CASTRO, E.K., CLÍMACO, J.C.T.S., NEPOMUCENO, A.A. (1995) - "Desenvolvimento de uma metodologia de manutenção de estruturas de concreto armado", 37ª Reunião Anual do Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, Anais, Vol.1, pp. 293-307, Goiânia, julho.
9. CASTRO, E.K., CLÍMACO, J.C.T.S. (1999) - "Avaliação da estrutura de uma edificação residencial após o reparo de elementos danificados", 41o Congresso Brasileiro do Concreto - IBRACON, Anais, Salvador.
10. LOPES, B.A.R. (1998) - "Sistema de manutenção predial para grandes estoques de edifícios: estudo para inclusão do componente estrutura de concreto". Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 308p, setembro.
11. ISAIA, G.C., (2005) - "CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações". IBRACON, São Paulo SP, 1600p.
12. LOPES, B.A.R., CLÍMACO, J.C.T.S., NEPOMUCENO, A.A., CASTRO, E.K. (1999) - "Sistema de manutenção para grandes estoques de edifícios", CONPAT 99, Anais, Vol. 3, pp 1897-1905, Montevideo - Uruguai, outubro.
13. MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P. J. M. (1994), "Concreto, Estrutura, Propriedades e Materiais". Editora PINI, São Paulo, 580p.

14. MOSKVIN, V.; IVANOV, F.; ALEKSEYEV, S.; GUZEYEV, E. (1983), "Concrete and Reinforced Concrete Deterioration and Protection", Mir Publishers, Moscow, Russia, 400p.
15. NEPOMUCENO, A.A. (1999), "Patologia, recuperação e manutenção de estruturas", Notas de Aula, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, Agosto.
16. SOUZA, V.C.M. e RIPPER, T. (1999), "Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto", Editora PINI, São Paulo, 250p.
17. VARGAS, M. (1981), "Introdução à Mecânica dos Solos", Editora McGraw-Hill, São Paulo, 509p.

Tabela A.1 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (F_i) (continua)

Tipos de danos	Fator de intensidade do dano - Tipos de manifestação
<i>Carbonatação</i>	1 - localizada, com algumas regiões com $pH < 9$, sem atingir a armadura; 2 - localizada, atingindo a armadura, em ambiente seco; 3 - localizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido; 4 - generalizada, atingindo a armadura, em ambiente úmido.
<i>Cobrimento deficiente</i>	1 - menores que os previstos em norma sem, no entanto, permitir a localização da armadura; 2 - menor que o previsto em norma, permitindo a localização visual da armadura ou armadura exposta em pequenas extensões; 3 - deficiente, com armaduras expostas em extensões significativas
<i>Contaminação por cloretos</i>	2 - em elementos no interior sem umidade; 3 - em elementos no exterior sem umidade; 4 - em ambientes úmidos.
<i>Corrosão de armaduras</i>	2 - manifestações leves, pequenas manchas; 3 - grandes manchas e/ou fissuras de corrosão; 4 - corrosão acentuada na armadura principal, c/perda relevante de seção.
<i>Desagregação</i>	2 - início de manifestação; 3 - manifestações leves, início de estofamento do concreto; 4 - por perda acentuada de seção e esfrelamento do concreto.
<i>Deslocamento por empuxo</i>	3 - deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, estável; 4 - deslocamento lateral da cortina no sentido horizontal, instável.
<i>Desplacamento</i>	2 - pequenas escamações do concreto; 3 - lascamento de grandes proporções, com exposição da armadura; 4 - lascamento acentuado com perda relevante de seção
<i>Desvios de geometria</i>	2 - pilares e cortinas com excentricidade $\leq h/100$ ($h =$ altura); 3 - pilares e cortinas com excentricidades $h/100 \leq e < h/50$; 4 - pilares e cortinas com excentricidades $\geq h/50$.
<i>Eflorescência</i>	1 - início de manifestações; 2 - manchas de pequenas dimensões; 3 - manchas acentuadas, em grandes extensões. 4 - grandes formações de crostas de carbonato de cálcio (estalactites).
<i>Falha de concretagem</i>	1 - superficial e pouco significativa em relação às dimensões da peça; 2 - significativa em relação às dimensões da peça; 3 - profunda em relação às dimensões da peça, com ampla exposição da armadura 4 - perda relevante da seção da peça.

Tabela A.1 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (F_i) (continuação)

Tipos de danos	Fator de intensidade do dano - Tipos de manifestação
<i>Fissuras</i>	1 - abertura menores do que as máximas previstas em norma; 2 - estabilizadas, com abertura até 40% acima dos limites de norma; 3 - aberturas excessivas; estabilizadas; 4 - aberturas excessivas; não estabilizadas.
<i>Flechas</i>	1 - não perceptíveis a olho nu; 2 - perceptíveis a olho nu, dentro dos limites previstos na norma; 3 - superiores em até 40% às previstas na norma; 4 - excessivas.
<i>Impermeabilização deficiente</i>	2 - danos na camada protetora e/ou perda de elasticidade do material da impermeabilização; 3 - descontinuada, degradada em alguns pontos (pontos de infiltração); 4 - degradação acentuada, com perda relevante da estanqueidade.
<i>Manchas</i>	2 - manchas escuras de pouca extensão, porém significativas (< 50% da área visível do elemento estrutural); 3 - manchas escuras de grande extensão (>50%); 4 - manchas escuras em todo o elemento estrutural (100%).
<i>Obstrução de juntas de dilatação</i>	2 - perda de elasticidade do material da junta; início de fissuras paralelas às juntas nas lajes adjacentes; 3 - presença de material não compressível na junta; grande incidência de fissuras paralelas às juntas nas lajes adjacentes; 4 - fissuras em lajes adjacentes às juntas, com prolongamento em vigas e/ou pilares de suporte.
<i>Recalques</i>	2 - indícios de recalque pelas características das trincas na alvenaria; 3 - recalque estabilizado com fissuras em peças estruturais; 4 - recalque não estabilizado com fissuras em peças estruturais.
<i>Sinais de esmagamento do concreto</i>	3 - desintegração do concreto na extremidade superior do pilar, causada por sobrecarga ou movimentação da estrutura; fissuras diagonais isoladas; 4 - fissuras de cisalhamento bidiagonais, com intenso lascamento e/ou esmagamento do concreto devido ao cisalhamento e a compressão, com perda substancial de material; deformação residual aparente; exposição e início de flambagem de barras da armadura.

Tabela A.1 - Classificação dos danos e fatores de intensidade (F_i) (continuação)

Tipos de danos	Fator de intensidade do dano - Tipos de manifestação
<i>Umidade</i>	1 - indícios de umidade; 2 - pequenas manchas; 3 - grandes manchas; 4 - generalizada.
<i>Umidade na base</i>	3 - indícios de vazamento em tubulações enterradas que podem comprometer as fundações; 4 - vazamentos em tubulações enterradas causando erosão aparente junto às fundações.

Tabela A.2 - Famílias de elementos estruturais (continua)

PILARES

Nome do Elemento				
Local				
<i>Danos</i>	F_p	F_i	D	<i>Croquis/Observações</i>
<i>carbonatação</i>	3			
<i>cobrimento deficiente</i>	3			
<i>contaminação por cloretos</i>	4			
<i>corrosão de armaduras</i>	5			
<i>desagregação</i>	3			
<i>desplacamento</i>	3			
<i>desvio de geometria</i>	4			
<i>eflorescência</i>	2			
<i>Falha de concretagem</i>	3			
<i>Fissuras</i>	2 a 5*			
<i>manchas</i>	3			
<i>recalque</i>	5			
<i>sinais de esmagamento</i>	5			
<i>umidade na base</i>	3			

VIGAS

Nome do Elemento				
Local				
<i>Danos</i>	F_p	F_i	D	<i>Croquis/Observações</i>
<i>carbonatação</i>	3			
<i>cobrimento deficiente</i>	3			
<i>contaminação por cloretos</i>	4			
<i>corrosão de armaduras</i>	5			
<i>desagregação</i>	3			
<i>desplacamento</i>	3			
<i>eflorescência</i>	2			
<i>Fissuras</i>	2 a 5*			
<i>Falhas de concretagem</i>	2			
<i>flechas</i>	5			
<i>manchas</i>	3			
<i>sinais de esmagamento</i>	4			
<i>umidade</i>	3			