



ICOMOS
COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO
DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

RECOMENDAÇÕES PARA ANÁLISE, CONSERVAÇÃO E
RESTAURAÇÃO ESTRUTURAL DO PATRIMÔNIO
ARQUITETÔNICO

DOCUMENTO APROVADO PELO COMITÊ NA REUNIÃO DE PARIS,
13 DE SETEMBRO 2001



ICOMOS
COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO
DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

Versão Brasileira

Tradução

Silvia Puccioni, engenheira civil

Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

Antonio Albuquerque, arquiteto

Revisão

Cyro Corrêa Lyra, arquiteto

Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

Geraldo Filizola, engenheiro civil

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro



ICOMOS
COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO
DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

Presidente	CROCI Giorgio	(ITALIA)
Secretário Geral	VAN BALEN Koenraad	(BELGICA)
Tesoureiro	SCHMUCKLE-MOLLARD Christiane	(FRANÇA)
Grupo Dirigente	HIDAKA Kenichiro KELLEY Stephen ARUN Gorun SCHAFFER Yacoov SCHMIDT Wolf WIJERATNE Pali YEOMANS David	(JAPÃO) (E U A) (TURQUIA) (ISRAEL) (ALEMANHA) (SRI LANKA) (INGLATERRA)
Membros Eleitores	BALDERSTONE Susan BERTHE Mamadou ELIZBARASHVILI Irine GAVRILOVIC Predrag FONTAINE Lyne HAUSER HERUC Svebor KANTOVA Olga MACCHI Giorgio MILTADOU Androniki MOUTON Benjamin PENTINMIKKO Juhani PUCCIONI Silvia SALMOND Jeremy SCHROETER SEGARRA Maria SOFRONIE Ramiro SINDING-LARSEN Amund WENZEL Fritz WIRTZ Patrick	(AUSTRALIA) (SENEGAL) (GEORGIA) (MACEDONIA) (CANADA) (AUSTRIA) (HOLANDA) (REP. TCHECA) (ITALIA) (GRECIA) (FRANÇA) (FINLANDIA) (BRAZIL) (N.-ZELANDIA) (ALEMANHA) (MEXICO) (ROMANIA) (NORUEGA) (ALEMANHA) (LUXEMBOURGO)
Membros Associados	AGO Fabrizio BINDA Luigia ARBABIAN Homayoun CHARKIOLAKIS Nikos GREEN Melvyn HALLEUX Pierre LOOK David MODENA Claudio MORTON Brian POPOVA Shejanka RENDA Vito ROCA Pere SOLAR Giora YUZUGULLU Ozal	(ITALIA) (ITALIA) (IRAN) (GRECIA) (E U A) (BELGICA) (E U A) (ITALIA) (CANADA) (ITALIA) (ESPANHA) (ISRAEL) (TURQUIA)
Membros Honorarios	SILVA Roland	(SRI LANKA)



RECOMENDAÇÕES PARA A ANÁLISE, CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO
ESTRUTURAL DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

ÍNDICE

FINALIDADE DO DOCUMENTO	pg. 6
Parte I – PRINCÍPIOS	pg. 7
1 <i>Critério Geral</i>	<i>pg. 7</i>
2 <i>Pesquisa e Diagnóstico</i>	<i>pg. 8</i>
3 <i>Medidas corretivas e controle</i>	<i>pg. 9</i>
Parte II – DIRETRIZES	pg. 12
1 <i>Critério Geral</i>	<i>pg. 12</i>
2 <i>Aquisição de Dados: Informação e Investigação</i>	<i>pg. 13</i>
2.1 <i>Generalidades</i>	<i>pg. 13</i>
2.2 <i>Investigações históricas, estruturais e arquitetônicas</i>	<i>pg. 14</i>
2.3 <i>Levantamento da estrutura</i>	<i>pg. 15</i>
2.4 <i>Pesquisa de campo e ensaios em laboratório</i>	<i>pg. 16</i>
2.5 <i>Monitoramento a longo prazo</i>	<i>pg. 16</i>
3 <i>Comportamento estrutural</i>	<i>pg. 17</i>
3.1 <i>Aspectos gerais</i>	<i>pg. 17</i>
3.2 <i>O esquema estrutural e danos</i>	<i>pg. 17</i>



ICOMOS
COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO
DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

3.3	<i>As características do material e os processos de deterioração</i>	<i>pg. 18</i>
3.4	<i>As ações na estrutura e nos materiais</i>	<i>pg. 18</i>
4	<i>Diagnóstico e avaliação de segurança</i>	<i>pg. 21</i>
4.1	<i>Aspectos gerais</i>	<i>pg. 21</i>
4.2	<i>Identificação das causas (diagnóstico)</i>	<i>pg. 22</i>
4.3	<i>Avaliação de segurança</i>	<i>pg. 23</i>
4.3.1	<i>O problema da avaliação de segurança</i>	<i>pg. 23</i>
4.3.2	<i>(I) Pesquisa histórica</i>	<i>pg. 24</i>
4.3.3	<i>(II) Abordagem qualitativa</i>	<i>pg. 25</i>
4.3.4	<i>(III) Abordagem analítica</i>	<i>pg. 25</i>
4.3.5	<i>(IV) Abordagem experimental</i>	<i>pg. 26</i>
4.4	<i>Decisões e memorial justificativo</i>	<i>pg. 26</i>
5	<i>Danos estruturais, deterioração de materiais e medidas corretivas</i>	<i>pg. 28</i>
5.1	<i>Aspectos gerais</i>	<i>pg. 28</i>
5.2	<i>Construções de alvenaria</i>	<i>pg. 29</i>
5.2.1	<i>Aspectos Gerais</i>	<i>pg. 29</i>
5.2.2	<i>Paredes, colunas e pilares</i>	<i>pg. 30</i>
5.2.3	<i>Arcos e abóbadas</i>	<i>pg. 33</i>
5.2.4	<i>Torres</i>	<i>pg. 34</i>
5.3	<i>Madeira</i>	<i>pg. 34</i>
5.4	<i>Ferro e aço</i>	<i>pg. 35</i>
5.5	<i>Concreto armado</i>	<i>pg. 36</i>
	Parte III – GLOSSÁRIO	pg. 37



FINALIDADE DO DOCUMENTO

As estruturas do patrimônio arquitetônico, pela própria natureza (material e construtiva), apresentam desafios diferentes quanto ao diagnóstico e à restauração que limitam a aplicação de códigos e normas de obras modernas e de padrões de construção atuais. Recomendações não são somente desejadas como necessárias de modo a estabelecer procedimentos relevantes no aspecto científico racional e no contexto cultural.

As recomendações apresentadas neste documento são constituídas de três partes: Princípios, onde os conceitos básicos de conservação são apresentados; Diretrizes, onde as regras e a metodologia que um projetista deve seguir são discutidas; Glossário, onde o significado dos termos mais frequentemente usado é elucidados.

Estas recomendações foram desenvolvidas para serem úteis a todos aqueles envolvidos em problemas de conservação e restauração, mas não podem de forma alguma substituir o conhecimento adquirido em livros culturais e científicos.



PARTE I

PRINCÍPIOS

1. CRITÉRIOS GERAIS

- 1.1 Conservação, reforço e restauração do patrimônio arquitetônico requerem uma abordagem multidisciplinar.
- 1.2 O valor e a autenticidade do patrimônio arquitetônico não podem ser baseados em critérios fixos porque o respeito devido a todas as culturas requer que seu patrimônio físico seja considerado dentro do contexto cultural ao qual pertence.
- 1.3 O valor do patrimônio arquitetônico não é somente em sua aparência, mas também na integridade de todos seus componentes como um produto único da tecnologia de construção específica de seu tempo. Particularmente a remoção das estruturas internas mantendo somente as fachadas não se enquadra nos critérios de conservação.
- 1.4 Quando qualquer mudança de uso ou função é proposta, todos os requisitos de conservação e as condições de segurança têm que ser cuidadosamente considerados.
- 1.5 A restauração estrutural em patrimônio arquitetônico não é um fim por si mesmo mas um meio para preservação do edifício como um todo.
- 1.6 A peculiaridade das estruturas do patrimônio, com sua complexidade histórica, requer a organização de estudos e propostas em etapas, semelhantes àquelas usadas em medicina. Anamnese, diagnóstico, terapia e acompanhamento, correspondem respectivamente à busca de dados e informações significativas, identificação das causas de danos e degradações, escolha de medidas de reparo e controle da eficiência das intervenções. Para obter adequação de custos e mínimo impacto no patrimônio arquitetônico usando os recursos disponíveis de uma maneira racional, é normalmente necessário que o estudo repita estes passos em um processo iterativo.
- 1.7 Nenhuma ação deve ser realizada sem primeiramente averiguar os possíveis benefícios e danos ao patrimônio arquitetônico, exceto em casos onde medidas urgentes de salvaguarda são necessárias para evitar o colapso iminente das estruturas (i. e. depois de danos sísmicos); estas medidas urgentes, contudo, devem, quando possível, evitar modificar a estrutura de maneira irreversível.



2. PESQUISA E DIAGNÓSTICO

- 2.1 Geralmente uma equipe multidisciplinar, a ser determinada de acordo com o tipo e a grandeza do problema, deve trabalhar em conjunto desde o início do estudo - como na vistoria inicial do local e na preparação do programa de investigação.
- 2.2 Os dados e as informações devem primeiro ser interpretados de maneira aproximada, para estabelecer um plano de atividades adequado, proporcional aos problemas reais das estruturas.
- 2.3 A total compreensão das características estruturais dos materiais é necessária na prática da conservação. É essencial a informação sobre a estrutura no seu estado original e inicial, sobre as técnicas usadas na construção, sobre as alterações posteriores e seus efeitos, sobre os fenômenos que tenham ocorrido, e, finalmente, sobre o seu estado atual.
- 2.4 Em locais arqueológicos podem surgir problemas específicos porque as estruturas têm que ser estabilizadas durante a escavação quando o conhecimento ainda não é completo. As respostas estruturais a uma edificação “redescoberta” podem ser completamente diferentes daquelas a uma edificação “exposta”. Soluções estruturais urgentes, no local, necessárias para estabilizar a estrutura enquanto esta estiver sendo escavada, não devem comprometer a concepção do edifício como um todo, quanto a forma e uso.
- 2.5 O diagnóstico é baseado em abordagens históricas, qualitativas e quantitativas. A abordagem qualitativa deve basear-se principalmente na observação direta do dano estrutural e da deterioração do material, assim como na pesquisa histórica e arqueológica. A abordagem quantitativa deve basear-se principalmente em ensaios de materiais e estruturais, monitoramento e análises estruturais.
- 2.6 Antes de tomar uma decisão sobre uma intervenção estrutural é indispensável determinar primeiro as causas dos danos e da deterioração, em seguida avaliar o nível de segurança da estrutura.
- 2.7 A avaliação da segurança, o último passo do diagnóstico, onde a necessidade de medidas de reparo é determinada, deve conciliar a análise qualitativa com a quantitativa: observação direta, pesquisa histórica, análise estrutural e, se for o caso, experiências e ensaios.



ICOMOS
COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO
DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

- 2.8 Frequentemente, a aplicação dos mesmos níveis de segurança aplicados em projetos de edifícios novos, implicam em medidas excessivas, se não impossíveis. Nestes casos análises específicas podem justificar diferentes abordagens à segurança.
- 2.9 Todos os aspectos relacionados à informação adquirida; ao diagnóstico, incluindo a avaliação de segurança e a decisão de intervir devem ser descritas em um ‘Memorial Justificativo’ (‘Relatório Explicativo’).

3. MEDIDAS CORRETIVAS E CONTROLES

- 3.1 A terapia deve se dirigir às causas dos problemas e não aos sintomas
- 3.2 A melhor terapia é a manutenção preventiva
- 3.3 A avaliação da segurança e a compreensão do significado da estrutura deve ser a base para medidas de conservação e reforço.
- 3.4 Nenhuma ação deve executada sem se demonstrar que ela é indispensável.
- 3.5 Cada intervenção deve ser proporcional aos objetivos de segurança estabelecidos, mantendo assim a intervenção ao mínimo necessário para garantir segurança e durabilidade com o menor dano aos valores patrimoniais.
- 3.6 O projeto de intervenção deve ser baseado em uma clara compreensão da natureza das ações que foram a causa dos danos e da deterioração bem como das ações futuras que serão levadas em consideração para a análise estrutural; uma vez que o projeto depende destas.
- 3.7 A escolha entre técnicas ‘tradicionais’ e ‘inovadoras’ deve ser pensada considerando cada caso e a preferência deve ser dada àquelas que são menos invasivas e mais compatíveis com os valores patrimoniais, levando em conta requisitos de segurança e durabilidade.
- 3.8 Às vezes, a dificuldade de avaliar os verdadeiros níveis de segurança e os possíveis benefícios de intervenções podem sugerir ‘um método de observação’, i. e. uma abordagem cumulativa, começando de um nível mínimo de intervenção, com a possível adoção subsequente de uma série de medidas suplementares ou corretivas.
- 3.9 Sempre que possível, as medidas adotadas devem ser ‘reversíveis’ para que possam ser removidas e substituídas por outras mais adequadas quando um maior



ICOMOS
COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO
DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

conhecimento for adquirido. Quando não forem completamente reversíveis, as intervenções não devem limitar intervenções futuras.

- 3.10 As características dos materiais empregados em trabalhos de restauração (particularmente materiais novos) e sua compatibilidade com os materiais existentes devem ser totalmente conhecidas. O conhecimento deve incluir o comportamento de longo prazo, para que efeitos colaterais indesejados sejam evitados.
- 3.11 As qualidades peculiares da estrutura e seu entorno, no seu estado original ou primitivo, não devem ser destruídas.
- 3.12 Cada intervenção deve, tanto quanto possível, respeitar a concepção, as técnicas e os valores históricos da estrutura no seu estado original ou primitivo, deixando evidências que possam ser reconhecidas no futuro.
- 3.13 A intervenção deve ser resultado de um plano integrado abrangente que dá o peso devido aos diferentes aspectos da arquitetura, estrutura, instalações e funcionalidade.
- 3.14 A remoção ou alteração de qualquer material histórico ou das características arquitetônicas peculiares deve ser evitada sempre que possível.
- 3.15 Estruturas deterioradas devem ser reparadas em vez de substituídas sempre que possível.
- 3.16 Imperfeições e alterações, quando já fazem parte da história da estrutura, devem ser mantidas desde que não comprometam os requisitos de segurança.
- 3.17 Desmontagem e remontagem devem ser empreendidas somente como medida opcional exigida pela própria natureza dos materiais e da estrutura, quando a conservação por outros meios for impossível, ou danosa.
- 3.18 Sistemas de segurança provisórios usados durante a intervenção devem ser justificados e não criar nenhum dano aos valores patrimoniais.
- 3.19 Qualquer proposta para intervenção deve ser acompanhada por um programa de controle a ser efetuado, tanto quanto possível, enquanto o trabalho estiver sendo executado.
- 3.20 Medidas que são impossíveis de controlar durante execução não devem ser permitidas.
- 3.21 Controles e monitoramento durante e depois da intervenção devem ser efetuados a fim de se verificar a eficácia dos resultados.



ICOMOS
COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO
DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

- 3.22 Todas atividades de controle e monitoramento devem ser documentadas e guardadas como parte da história da estrutura.



PARTE II

DIRETRIZES

1. CRITÉRIOS GERAIS

A combinação de conhecimento científico e cultural e de experiência é indispensável para a abordagem correta do estudo de todo o patrimônio arquitetônico. Não existindo esse reconhecimento, essas diretrizes podem levar a uma falsa suposição de que qualquer problema pode ser resolvido apenas com a aplicação destas. Somente quando a ciência e a cultura são combinadas, as diretrizes podem ajudar para uma melhor conservação, reforço e restauração de edifícios, mantendo em mente que o propósito tanto da pesquisa como da intervenção é de salvaguardar o valor cultural e histórico da edificação como um todo e que a engenharia estrutural é parte do suporte científico necessário para obter este resultado. A conservação do patrimônio arquitetônico geralmente requer uma abordagem multidisciplinar envolvendo uma variedade de profissionais e organizações. Estas diretrizes foram preparadas para ajudar este trabalho e facilitar a comunicação entre aqueles envolvidos.

Qualquer estudo ou planejamento para a conservação estrutural demanda tanto dados qualitativos, baseados na observação direta da deterioração do material e de danos estruturais, pesquisa histórica, etc., quanto dados quantitativos baseados em testes específicos e modelos matemáticos usados na engenharia moderna. Esta combinação de abordagens torna muito difícil estabelecer regras e códigos. Enquanto a falta de diretrizes claras pode facilmente resultar em ambigüidades e decisões arbitrárias, normas, que não são preparadas explicitamente para estruturas históricas, são muitas vezes aplicadas inadequadamente. Este é o caso, por exemplo, com normas sísmicas e geotécnicas, cuja aplicação pode levar a medidas drásticas e na maioria das vezes desnecessárias que não levam em conta o verdadeiro comportamento estrutural.

Os aspectos subjetivos envolvidos no estudo e na avaliação da segurança de um edifício histórico, as incertezas nos dados utilizados e as dificuldades em fazer uma avaliação



precisa dos fenômenos podem levar a conclusões de confiabilidade incerta. É importante, portanto, apresentar claramente todos estes aspectos, em particular demonstrar o cuidado tomado no desenvolvimento do estudo e a confiabilidade dos resultados em um “*Memorial Justificativo*” (“Relatório Explicativo”). Isto facilitará o julgamento final sobre a segurança da estrutura e sobre as decisões a serem tomadas.

A avaliação de um edifício normalmente requer uma abordagem holística, procedendo do geral ao particular, i. e. de uma avaliação do comportamento global da estrutura para uma avaliação de membros individuais e das propriedades materiais.

2. AQUISIÇÃO DE DADOS: INFORMAÇÃO E INVESTIGAÇÃO

2.1 Generalidades

A investigação de uma estrutura requer uma abordagem interdisciplinar. Por exemplo, o enfoque da pesquisa histórica pode às vezes ser dirigido por questões de significado estrutural, enquanto o historiador pode levantar questões que requerem informação estrutural. Portanto é importante que uma equipe de pesquisadores seja formada, incluindo uma série de conhecimento apropriado às características do edifício, e dirigida por alguém com experiência adequada.

Para se ter um conhecimento da estrutura é necessário obter informações sobre a sua concepção, as técnicas usadas na sua construção, os processos e os fenômenos que ocorreram, e finalmente o seu estado presente. Este conhecimento pode geralmente ser alcançado pelos passos seguintes:

- Pesquisa histórica cobrindo a vida inteira da estrutura;
- Definição, descrição e compreensão do seu significado histórico e cultural, e dos materiais de construção e técnicas originais;
- Descrição da estrutura no seu estado atual incluindo a identificação dos danos, da deterioração e dos possíveis fenômenos progressivos, usando testes apropriados;



- Identificação das forças envolvidas, do comportamento estrutural e de tipos de materiais;
- Um relato de todas as intervenções anteriores.

Um “pré-levantamento” do local e do edifício deve orientar estes estudos.

Uma vez que estes estudos podem ser feitos em diversos níveis de profundidade, é importante estabelecer um plano de custos das atividades, proporcional aos problemas da estrutura e se necessário implementá-lo em diferentes estágios.

2.2 Investigações Históricas, Estruturais E Arquitetônicas

O objetivo da pesquisa histórica é o de compreender a concepção e o significado do edifício, as técnicas e a perícia usadas na sua construção, as modificações tanto na estrutura como no ambiente ao seu redor e finalmente os eventos que possam ter causado danos. Atenção especial deve ser dada aos métodos usados para registrar os documentos coletados. Validação e interpretação meticulosa são essenciais para produzir informações confiáveis sobre a história estrutural do edifício.

Uma vez que toda a documentação estiver coletada, as fontes devem ser classificadas de acordo com a sua confiabilidade na sua tentativa de recriar a história da construção. As suposições feitas na interpretação do material histórico devem ser deixadas claras. Atenção especial deve ser dada para quaisquer danos, colapsos, reconstruções, adições, modificações, trabalhos de restauração, modificações estruturais e qualquer mudança no uso da estrutura que tenha levado à sua condição atual. Deve ser considerado que os documentos usados neste processo normalmente foram elaborados com propósitos diferentes daqueles da engenharia estrutural e podem portanto incluir informações técnicas que são incorretas ou podem omitir ou camuflar fatores chave ou acontecimentos que são importantes do ponto de vista estrutural.



2.3 Levantamento Da Estrutura

A observação direta da estrutura é uma fase essencial do estudo, geralmente feita por uma equipe qualificada a fim de fornecer uma compreensão inicial da estrutura e de dar uma direção apropriada às investigações subseqüentes.

Entre os objetivos principais estão:

- I- Identificar deterioração e danos,
- II- Determinar se os fenômenos estão estabilizados ou não,
- III- Decidir se há riscos imediatos e medidas urgentes a serem tomadas,
- IV- Descobrir se o meio ambiente é danoso ao edifício.

O estudo de falhas estruturais começa pelo mapeamento de danos visíveis e é uma tarefa bastante delicada na qual a interpretação do que foi encontrado deve ser usada para direcionar o processo de levantamento. Durante este processo, o especialista já deve estar desenvolvendo uma idéia de possíveis esquemas estruturais de modo que aspectos críticos da estrutura possam ser examinados em maiores detalhes.

Levantamentos geométricos ou desenhos devem mapear diferentes tipos de materiais, notando sua deterioração e suas irregularidades e danos estruturais, prestando atenção especial aos padrões de fissura e às evidências de esmagamento. Irregularidades geométricas podem ser o resultado de deformações prévias, podem indicar a ligação entre diferentes etapas de construção ou alterações nas estruturas.

É importante descobrir como o meio ambiente pode estar danificando uma edificação, já que isto pode ser agravado pelo descuido durante o período original de construção (falta de drenagem, condensação, umidade ascendente devido à ação capilar, etc.), pelo uso de materiais não adequados e pela falta de manutenção subseqüente. A observação de áreas onde estão concentrados os danos, em particular “zonas de esmagamento” (alta compressão) e “zonas de fissuração ou de deslocamentos” (altas trações), incluindo a análise de suas direções e, juntamente com uma investigação das condições do solo podem indicar as causas de tais danos. Isto pode ser complementado com informações obtidas por ensaios específicos e geralmente envolve um processo interativo, onde os resultados dos testes sugerem a necessidade de maiores investigações.



2.4 Pesquisa De Campo E Ensaio De Laboratório

A programação de ensaios deve ser baseada em uma visão clara dos fenômenos cuja compreensão possa ser relevante. Testes geralmente têm o objetivo de identificar as características mecânicas (resistência, deformabilidade, etc.), físicas (porosidade, etc.) e químicas (composição, etc.) dos materiais, as tensões e deformações da estrutura, a presença de descontinuidades e ou trincas no interior da estrutura, etc. Como regra, a programação de ensaios deve ser dividida em estágios, começando com a aquisição de dados básicos e continuando com exames e testes mais extensos baseados em uma avaliação dos dados iniciais. Ensaio não-destrutivo são preferíveis àqueles que envolvem alterações na estrutura; se estes forem insuficientes, deve ser feita uma análise “custo-benefício” das alterações relacionadas à perdas culturais que possam ocorrer para aprofundar o conhecimento, o que leva à redução de intervenções estruturais.

Os ensaios devem ser sempre conduzidos por pessoas habilitadas capazes de avaliar corretamente sua confiabilidade e as implicações dos resultados devem ser cuidadosamente avaliadas. Se possível, diferentes métodos devem ser usados e os resultados comparados. Talvez também seja necessário efetuar ensaios em amostras selecionadas, retiradas da estrutura.

2.5 Monitoramento A Longo Prazo

Observação estrutural durante um período de tempo pode ser necessária não somente para adquirir informação útil quando existir suspeita de fenômeno progressivo, mas também durante os diferentes estágios de intervenção estrutural. Neste caso, os efeitos são monitorados a cada estágio (abordagem de observação) e dados adquiridos serão usados como base para qualquer decisão futura. Sistemas de monitoramento geralmente objetivam registrar modificações em deformações, fissuras, temperaturas, etc.

Monitoramento dinâmico é usado para registrar acelerações, tais como as que ocorrem em áreas sísmicas.

Monitoramento pode também funcionar como um alarme. A maneira mais simples e barata para monitorar mudanças na abertura de trincas é colocando um “selo”



(testemunha) sobre elas. Alguns casos exigem o uso de sistemas de monitoramento computadorizado composto de vários aparelhos ligados a um computador, que registra todos os dados em tempo real. Como regra geral, o uso de um sistema de monitoramento deve estar sujeito a uma análise “custo-benefício” e somente os dados que são estritamente necessários para revelar fenômenos progressivos devem ser coletados.

3. COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

3.1 Aspectos Gerais

O comportamento de qualquer estrutura é influenciado por três fatores principais: a forma e as ligações da estrutura, os materiais de construção e as ações; estes fatores são aqui examinados em detalhe.

3.2 O Esquema Estrutural E Os Danos

O comportamento estrutural depende das características dos materiais usados, das dimensões da estrutura, das ligações entre diferentes elementos, das condições do solo, etc. O comportamento real de um edifício é geralmente tão complexo que somos obrigados a identificá-lo através de um “esquema estrutural” simplificado; isto é uma idealização do edifício que mostra de uma maneira mais ou menos precisa sua função em resistir as várias ações. O esquema estrutural mostra a maneira em que o edifício transforma ações em tensões e garante sua estabilidade.

Um edifício pode ser representado por diferentes esquemas com diferentes complexidades e diferentes graus de aproximação à realidade. O esquema estrutural original pode mudar devido a danos (fissuras, etc.), a reforços ou outras modificações do edifício. O esquema usado para os cálculos tem que levar em conta alterações e deteriorações, tais como trincas, descontinuidades, esmagamentos, inclinações, etc., quando o seu efeito pode influenciar significativamente o comportamento estrutural. Estas alterações podem ser provocadas tanto por fenômenos naturais quanto por intervenções humanas. O último pode incluir:



ICOMOS
COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO
DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

- a redução da capacidade portante devido à execução de aberturas, nichos, etc.;
- a criação de forças não equilibradas devido à eliminação de arcos, vigas, paredes, etc.;
- o aumento de peso como resultado do aumento de sobrecargas à estrutura;
- a redução da capacidade resistente do solo devido a escavações, galerias, edifícios vizinhos, etc.

3.3 As Características Do Material E Os Processos De Deterioração

As propriedades do material (em particular a resistência), que são os parâmetros básicos para qualquer cálculo, podem ser reduzidas por processos de deterioração por causa da ação química, física ou biológica. A velocidade de deterioração depende das propriedades dos materiais (tais como a porosidade) e a maneira pela qual a estrutura é protegida (a projeção do telhado, etc.) bem como sua manutenção. Embora a deterioração possa se manifestar na superfície, e assim ser imediatamente aparente de uma inspeção superficial (eflorescência, aumento de porosidade, etc.), há também processos de deterioração que somente podem ser detectados por meio de testes mais sofisticados (ataque de cupim no madeiramento, etc.).

3.4 As Ações Na Estrutura E Nos Materiais

“Ações” são definidas como qualquer agente (forças, deformações, etc.) que produz tensões e esforços na estrutura e qualquer fenômeno (químico, biológico, etc.) que afeta os materiais, geralmente reduzindo sua resistência. As ações originais, que ocorrem desde o início da construção até a conclusão do edifício (cargas passivas, por exemplo), podem ser modificadas durante sua vida e são geralmente estas mudanças que produzem danos e deterioração. As ações têm muitas naturezas diferentes com diferentes efeitos na estrutura e nos materiais. Na maioria das vezes, mais de uma ação (ou, talvez modificação inesperada das ações originais) terá afetado a estrutura e estas ações devem claramente serem identificadas antes de decidir as medidas de reparo.

As ações podem ser classificadas:

- I- Ações mecânicas: Estas, que são estáticas ou dinâmicas, como descritas abaixo, podem ser a causa de diferentes tipos de dano (trincas, deformações, etc.).



ICOMOS
COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO
DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

I.1- Ações estáticas: Estas podem ser de dois tipos:

I.1.1- Ações diretas (forças aplicadas): Estas consistem em cargas aplicadas tais como cargas passivas (peso do edifício, etc.) e cargas ativas (mobiliário, pessoas, etc.). Mudanças e principalmente acréscimos nos carregamentos são fontes de aumento de tensões e assim de danos à estrutura. Em alguns casos o decréscimo nas condições de carga pode ser também fonte de danos à estrutura.

I.1.2- Ações indiretas (deformações impostas): Estas consistem em deformações impostas à estrutura, tais como assentamentos de solo, ou, produzidas no interior dos materiais, tais como movimentos térmicos, fluência em madeiramento, contração nas argamassas, etc. Estas ações, que podem variar continuamente ou ciclicamente, produzem esforços somente no caso das deformações e tensões não estarem livres para se desenvolver. A mais importante e geralmente mais perigosa de todas as ações indiretas são os assentamentos de solo (produzidas por mudanças no nível de água do solo, escavações, etc.) e pode criar grandes fendas, inclinações, etc.

Um número de ações indiretas são de natureza cíclica, incluindo mudanças de temperatura e alguns assentamentos de solo devido a variações sazonais em níveis de água no subsolo. Embora os efeitos produzidos possam também ser cíclicos, é possível que a deformação progressiva ou a deterioração seja causada por efeitos cíclicos onde cada ciclo produz uma mudança pequena mas permanente no interior da estrutura.

O gradiente de temperatura entre as superfícies externas e o corpo interno pode ser a causa de esforços diferenciais no material e portanto de tensões e micro-fendas que aceleram ainda mais a deterioração.

Ações indiretas podem também ser produzidas pela redução progressiva da rigidez dos elementos de uma estrutura hiperestática (enfraquecimento, processos de deterioração, etc.), que produz uma redistribuição de tensões.

I.2 Ações dinâmicas: Estas são produzidas quando acelerações são transmitidas a uma estrutura, devido a tremores de terra, ventos, furacões, máquinas vibratórias, etc.



ICOMOS
COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO
DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

A ação dinâmica mais significativa é geralmente causada por tremores de terra. A intensidade das forças produzidas está relacionada com a intensidade da aceleração e também às frequências naturais da estrutura e de sua capacidade de dissipar energia. O efeito de um tremor de terra também é relacionado a história de tremores anteriores que podem ter progressivamente enfraquecido a estrutura.

II - Ações físicas, químicas e biológicas: Estas ações são de uma natureza completamente diferente das previamente descritas. Elas podem produzir diferentes tipos de deterioração e conseqüentemente mudar as propriedades dos materiais e portanto a sua resistência.

As propriedades dos materiais podem mudar com o tempo devido a processos naturais característicos de cada material, tal como o endurecimento lento de argamassa de cal e a deterioração interna lenta. Estas ações podem ser influenciadas e aceleradas pela presença de água (chuva, umidade, água do solo, ciclos de molhagem e secagem, crescimento orgânico, etc.), variações de temperatura (expansão e contração, ação de congelamento) e condições micro-climáticas (poluição, deposição superficial, mudanças na velocidade do vento devido às estruturas vizinhas, etc.). O fogo pode ser considerado uma extrema mudança de temperatura.

Uma ação bastante comum é a oxidação de metais, que pode ser visível na superfície ou pode estar ocorrendo no reforço de metal interno e, portanto somente aparente por meio de efeitos secundários, tais como fissuração e deslocamento do material.

Mudanças químicas podem ocorrer espontaneamente por causa das características inerentes do material ou serem produzidas como resultado de agentes externos, tais como a deposição de poluentes ou a migração de água ou outros agentes através do material.

Agentes biológicos são geralmente ativos em áreas de difícil inspeção e é necessário estar ciente disto e tomar medidas apropriadas.



Identificar o mecanismo pelo qual a mudança está ocorrendo deve ser parte do processo de diagnóstico.

4. DIAGNÓSTICO E AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA

4.1 Aspectos Gerais

O diagnóstico e a avaliação da segurança da estrutura são dois estágios consecutivos e relacionados, os quais determinam a necessidade efetiva e a extensão de medidas de tratamento. Se estes estágios são realizados incorretamente, as decisões resultantes serão arbitrárias e freqüentemente excessivas: o mal julgamento resultará em medidas de conservação pesadas ou níveis inadequados de segurança.

A avaliação da segurança de um edifício deve se basear em métodos tanto qualitativos (na forma de documentação, observação, etc.) quanto quantitativos (na forma experimental, cálculos matemáticos, etc.) que levam em conta tanto os fenômenos envolvidos, quanto o comportamento estrutural.

Qualquer avaliação de segurança é seriamente afetada por dois tipos de problema:

- ⊃ A incerteza atribuída aos dados (ações, resistência, deformações, etc.), leis, modelos, suposições, etc. usados na pesquisa;
- ⊃ A dificuldade de representar os fenômenos reais de forma precisa.

Portanto, parece racional adotar diferentes abordagens, cada qual podendo fornecer uma contribuição separada, mas que se combinam para produzir o melhor “veredicto” possível, baseado no conhecimento objetivo e nas habilidades individuais disponíveis.

Ao fazer uma avaliação de segurança, é também necessário incluir algumas indicações, mesmo que somente qualitativas, da confiabilidade dos dados obtidos e o grau de cautela implícito nas suposições feitas e nas medidas adotadas.

As normas modernas e a prática profissional adotam uma abordagem conservadora envolvendo a aplicação de fatores de segurança que levam em consideração as várias incertezas. Isto é, apropriada para novas estruturas onde a segurança pode ser aumentada



com modestos acréscimos no tamanho dos elementos e no custo. Contudo, esta abordagem não é apropriada em estruturas históricas onde exigências para aumentar reservas de segurança podem levar a perda de tecido histórico ou caráter históricas e podem aumentar o custo. Em estruturas históricas, uma abordagem mais flexível e abrangente deve ser adotada para relacionar as medidas corretivas às exigências de segurança atuais e manter o princípio de mínima intervenção.

O veredicto da segurança de uma estrutura é baseado na avaliação dos resultados obtidos dos três procedimentos de diagnósticos que serão discutidos a seguir, levando em conta que a abordagem qualitativa tem um papel tão importante quanto a abordagem quantitativa. Ressalta-se que os fatores de segurança estabelecidos para edifícios novos levam em conta várias incertezas relacionadas à construção. Em edifícios existentes estas incertezas podem ser reduzidas porque o verdadeiro comportamento da estrutura pode ser observado e monitorado. Portanto, se os dados são mais confiáveis, a redução dos fatores teóricos de segurança não necessariamente correspondem a uma redução da segurança real (conteúdo, veja também 4.3.1 d 4.3.4 III).

4.2 Identificação Das Causas (Diagnóstico)

O diagnóstico identifica as causas de danos e deterioração com base nos dados adquiridos, obedecendo três aspectos:

- ¬ Análise histórica (documentos, etc.)
- ¬ Análise qualitativa (levantamento, investigação, etc.)
- ¬ Análise quantitativa (ensaios, modelos matemáticos, etc.)

O diagnóstico é geralmente uma fase difícil, uma vez que os dados disponíveis freqüentemente se referem a efeitos enquanto o que deve ser determinado é a causa – ou, como geralmente é o caso, as várias causas concomitantes. Por esse motivo que a intuição e a experiência são componentes essenciais no processo de diagnóstico. Um diagnóstico correto é indispensável para uma avaliação adequada da segurança e para decisões racionais sobre as medidas de tratamento a serem adotadas.



4.3 Avaliação De Segurança

4.3.1 Os Problemas da avaliação de segurança

A avaliação de segurança é o próximo passo para completar a fase de diagnóstico.

Enquanto o objetivo do diagnóstico é identificar as causas de danos e de deterioração, a avaliação de segurança deve determinar se os níveis de segurança são aceitáveis ao analisar a condição atual da estrutura e dos materiais. A avaliação da segurança é, portanto, um passo essencial no processo de restauração, pois é nesta etapa decidida a necessidade de medidas corretivas e a sua extensão.

Contudo, a avaliação da segurança é também uma tarefa difícil porque métodos de análise estrutural usados como base para projetos de construção novas podem não ser precisos nem confiáveis para as estruturas históricas e podem resultar em decisões inadequadas. Isto se deve a vários fatores, tais como a dificuldade em compreender apropriadamente a complexidade de um edifício antigo ou monumento, as incertezas quanto às características dos materiais, o desconhecimento da influência de fenômenos anteriores (por exemplo assentamentos de solo), o conhecimento deficiente de alterações e reparos efetuados no passado, etc.

Portanto, uma abordagem quantitativa baseada em modelos matemáticos não pode ser o único procedimento a ser seguido, uma abordagem qualitativa (como no diagnóstico), baseada em pesquisa histórica e na observação da estrutura, deve ser igualmente seguida. Uma quarta abordagem baseada em ensaios específicos pode ser útil em algumas situações.

Cada uma destas abordagens, relacionadas abaixo, pode fornecer informações para a avaliação da segurança, mas é a análise combinada de todas as informações obtidas que pode levar ao “melhor julgamento”. Ao formar este julgamento aspectos tanto objetivos quanto subjetivos devem ser levados em consideração, tendo sido pesados com base na confiabilidade dos dados e nas suposições feitas. Tudo isto deve fazer parte do “Memorial Justificativo” (Relatório Explicativo) já discutido.



Deve ficar claro, portanto, do ponto de vista legal, que o arquiteto ou engenheiro encarregado da avaliação da segurança de um edifício histórico não deve ser obrigado a basear suas decisões apenas nos resultados dos cálculos, porque a análise estrutural pode ser inadequada para certos problemas específicos.

Procedimentos semelhantes têm que ser seguidos para avaliar os níveis de segurança após o desenvolvimento de alguns projetos de intervenções (veja parágrafo 5) ou de reforço de modo a avaliar os benefícios e assegurar que sua adoção é apropriada (nem insuficiente, nem excessiva).

4.3.2 (I) Pesquisa histórica

O conhecimento do que ocorreu no passado pode ajudar a prever comportamento futuro e é uma base útil para estimar o nível de segurança fornecido pelo estado atual da estrutura. A história é o laboratório experimental mais completo, em tamanho real. Ela demonstra como o tipo de estrutura, os materiais de construção, ligações, articulações, adições e alterações humanas têm interagido com eventos naturais, tais como sobrecargas, tremores de terra, desmoronamentos, variações de temperaturas, poluição atmosférica, etc., talvez alterando o comportamento original da estrutura causando rachaduras, fissuras, esmagamentos, inclinação, deterioração, colapso, etc. A tarefa estrutural é a de descartar a informação supérflua e interpretar corretamente os dados relevantes para descrever o comportamento estático e dinâmico da estrutura.

Um comportamento satisfatório mostrado no passado é um fator importante para prever a sobrevivência do edifício no futuro. No entanto, é preciso estar consciente de que, em alguns casos, a estabilidade do passado não é um guia confiável para a segurança futura. Isto é particularmente verdadeiro onde a estrutura está trabalhando no limite de sua carga e comportamentos frágeis estão envolvidos (como por exemplo alta compressão nos pilares), quando existem mudanças significativas na estrutura ou quando ações repetidas são possíveis (como por exemplo tremores de terra que progressivamente enfraquecem a estrutura).



4.3.3 (II) Abordagem qualitativa

Pode geralmente ser feita uma comparação entre a situação atual da estrutura e outras estruturas semelhantes cujo comportamento já tenha sido compreendido. A experiência obtida ao analisar e comparar o comportamento de diferentes estruturas pode aprimorar as extrapolações e pode oferecer uma base confiável para uma avaliação da segurança. Contudo, esta abordagem, conhecida em termos filosóficos como um procedimento indutivo, não é inteiramente confiável, porque depende mais de um julgamento pessoal do que em procedimentos estritamente científicos. No entanto, ela pode ser aceita como a abordagem mais racional quando existem incertezas inerentes aos problemas envolvidos; sendo outras abordagens só aparentemente mais rigorosas e confiáveis.

Através da observação do comportamento de diferentes tipos estruturais de edifícios em estágios de dano e deterioração variados, causados por diferentes ações (tremores de terra, adensamento de solo, etc.), e tendo adquirido experiência sobre sua solidez e durabilidade, é possível inferir este conhecimento para prever o comportamento da estrutura em exame. Obviamente, a confiabilidade de qualquer avaliação dependerá do número de estruturas observadas e, portanto, da experiência e do julgamento dos técnicos envolvidos, assim como na sua perspicácia. A investigação apropriada e o monitoramento de fenômenos progressivos podem aumentar a confiabilidade desta avaliação.

4.3.4 (III) Abordagem analítica

Esta abordagem é baseada nos métodos modernos de análise estrutural que, na base de certas hipóteses (teoria da elasticidade, teoria da plasticidade, modelos de quadros, etc.), chega a conclusão aplicando a dedução estritamente lógica baseada em cálculos matemáticos. Em termos filosóficos, ela pertence a um procedimento dedutivo.

No entanto, as incertezas que podem afetar a representação simplificada do comportamento de materiais e a representação imperfeita do comportamento estrutural, juntamente com o fato de que as teorias e simplificações adotadas não são sempre totalmente confiáveis, pode levar a resultados enganosos que podem ser bastante diferentes da situação real. A essência do problema é portanto a identificação de modelos significativos que adequadamente representem tanto a estrutura quanto os



fenômenos associados com toda a sua complexidade e tornando possível aplicar as teorias disponíveis.

Os modelos matemáticos são as ferramentas mais comuns usadas em análise estrutural. Os modelos que descrevem a estrutura original, se calibrados apropriadamente, permitem a comparação do dano teórico produzido por diferentes tipos de ações com o dano realmente levantado, fornecendo uma ferramenta útil para identificar a verdadeira causa do dano. Modelos matemáticos da estrutura danificada, e da estrutura reforçada ajudarão a avaliar os níveis de segurança atuais e a avaliar os benefícios das medidas propostas.

A análise estrutural é uma ferramenta indispensável. Mesmo quando o resultado de cálculos e análises não são precisos, ele pode indicar tendências de tensões, possíveis áreas críticas, o fluxo das tensões e assim por diante. Contudo, os modelos matemáticos por si só não satisfazem a exigência legal para uma análise apropriada da estrutura. A compreensão das questões-chaves e a fixação correta de limites para o uso de técnicas matemáticas dependem do conhecimento científico do especialista. Qualquer modelo matemático deve levar em consideração os três aspectos descritos no parágrafo 3: o esquema estrutural, as características dos materiais e as ações às quais a estrutura está submetida.

4.3.5 (IV) Abordagem experimental

Ensaio específicos podem permitir a avaliação da margem de segurança, mesmo se forem aplicáveis apenas a elementos estruturais simples ou a materiais (tais como carregamento de piso, de viga, etc.) e não ao edifício como um todo. A análise dos resultados contribuem para a avaliação das margens de segurança.

4.4 As Decisões E O Memorial Justificativo (Relatório Explicativo)

O julgamento sobre a segurança de uma estrutura é baseado nos resultados das três (ou quatro) abordagens descritas acima (a quarta abordagem tem aplicação limitada).



ICOMOS
COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO
DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

Quando um método de análise indica níveis de segurança inadequados, deve-se verificar o método para certificar-se do uso de insuficientemente precisos ou valores excessivamente conservadores. Isto pode levar a conclusão de que mais investigação é necessária antes que seja feito um diagnóstico. Já que julgamentos qualitativos podem ter um papel tão importante quanto dados quantitativos, a aplicação da segurança e as decisões conseqüentes sobre a intervenção devem ser colocadas no ‘Memorial Justificativo’ (Relatório Explicativo), já referido, onde todas as considerações que levam à avaliação e às decisões finais são claramente explicadas. O veredicto deve levar em conta tanto o grau de exatidão quanto a cautela existente em cada decisão e raciocínio logicamente consistente.

Fatores temporais devem ser considerados no ‘Memorial Justificativo’, porque a decisão para tomar medidas imediatas ou a decisão para aceitar a situação atual, são dois extremos em uma escala de escolhas. Reforçar a estrutura com base no conhecimento atual ou estender a pesquisa a fim de obter dados mais completos e confiáveis, na esperança de reduzir a intervenção, são geralmente duas alternativas. Contudo, um prazo final deve ser fixado para implementar as decisões, levando em conta que a segurança é de natureza probabilística com a possibilidade do fracasso crescer quanto mais tempo a ação corretiva demorar.

Os fatores que determinam a fixação de um prazo final dependerão essencialmente de três tipos de fenômenos:

- Processos contínuos que eventualmente reduzirão níveis de segurança para abaixo de limites aceitáveis, levando a realização de medidas adequadas antes que isto ocorra (como por exemplo processo de deterioração, adensamento lento do solo, etc.);

- Fenômenos de natureza cíclica (variação de temperatura, teor de umidade, etc.) que produzem deterioração crescente;

- Fenômenos que podem ocorrer subitamente, tais como tremores de terra, furacões, etc. A probabilidade destes fenômenos ocorre a qualquer nível, aumenta com a passagem do tempo, assim o grau de segurança a ser fornecido teoricamente está ligado a expectativa de vida da estrutura (por exemplo, é sabido que se quiserem proteger um



edifício contra tremores de terra por cinco séculos se torna necessário tomar maiores ações que aquelas tomadas para proteger o mesmo edifício por um século).

5. DANOS ESTRUTURAIS, DETERIORAÇÃO DE MATERIAIS E MEDIDAS CORRETIVAS

5.1 Aspectos Gerais

Esta seção considera procedimentos associados aos processos de decisão envolvidos na investigação da estrutura e na seleção de medidas corretivas a serem aplicadas. Nos parágrafos que seguem alguns exemplos dos danos mais frequentes e critérios de reparo para os principais elementos da estrutura são mencionados sem pretender fornecer um retrato exaustivo das muitas soluções possíveis publicadas em outros lugares.

Os danos estruturais ocorrem quando as tensões produzidas por uma ou mais ações (veja 3.3.4, c) excedem a resistência dos materiais em zonas significativas, porque as ações aumentaram ou porque a resistência diminuiu (veja 3.3.4 b). Mudanças significativas na estrutura, incluindo demolição parcial (veja 3.3.4, a), podem também ser fonte de dano.

A manifestação dos danos está relacionada aos tipos de ação e aos materiais de construção. Materiais frágeis falharão com deformações baixas enquanto materiais dúcteis exibirão considerável deformação antes de romper.

O aparecimento de danos, e em particular de fendas, não é necessariamente uma indicação de risco de falha em uma estrutura porque as fendas podem aliviar tensões que não são essenciais para o equilíbrio (como por exemplo certo tipo de fendas ou rachaduras produzidos por adensamento dos solos) e podem, através de mudanças no sistema estrutural, permitir uma redistribuição benéfica de tensões. Ao contrário medidas imediatas são necessárias quando o dano produz alterações irreversíveis em edifícios históricos ou quando níveis de segurança são comprometidos.



Os danos também podem ocorrer em elementos não-estruturais, paredes de vedação ou como resultado de tensões desenvolvidas dentro desses elementos devido a deformações ou mudanças dimensionais no interior da estrutura.

Às vezes uma estrutura não consiste de um único material; por exemplo, metálico ou concreto podem ser preenchidas com alvenaria de tijolos que podem ter uma importante função de enrijecimento. Paredes de alvenaria podem ser reforçadas com estruturas de metal ou de madeira ou podem incorporar às aberturas molduras que agem diferentemente do resto da alvenaria e assim afetar o comportamento como um todo. É importante considerar o comportamento relativo destes diferentes materiais sob carregamento, tanto em um período mais curto quanto em um período mais longo, e suas diferentes características de degradação.

A deterioração dos materiais é causada por ações químicas, físicas e biológicas e podem ser aceleradas quando estas ações são modificadas de maneira desfavorável (por exemplo poluição, etc.). As principais conseqüências são a deterioração das superfícies, as perdas de material e, do ponto de vista mecânico, uma redução de resistência. A preservação das características dos materiais é, portanto uma importante tarefa na conservação de edifícios históricos. A manutenção é o melhor modo de conseguir esta meta. Isto é particularmente importante porque enquanto “prevenir” a deterioração é geralmente possível, “reparar” é na maioria das vezes mais difícil e incerto.

5.2 Construções De Alvenaria

5.2.1 Generalidades

O termo alvenaria aqui se refere a pedra, tijolo e construção de terra crua (i. e. adobe, taipa de pilão, moledos, etc.). As estruturas de alvenaria e de adobe, são geralmente feitas de materiais que têm resistência a tração muito baixa, podem apresentar rachaduras internas ou separação entre elementos. Contudo, estes sinais não são necessariamente uma indicação de perigo, uma vez que as estruturas de alvenaria são destinadas a trabalhar somente (ou principalmente) a compressão.



ICOMOS
COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO
DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

Operações preliminares de diagnóstico devem identificar as características constitutivas da alvenaria que, como material composto: pedras (pedra calcárea, arenito, etc.), tijolos (seco ao sol, cozido, etc.), argamassa (cimento, cal, etc.). É também necessário saber como os elementos são unidos (juntas secas, juntas argamassadas, etc.) e a maneira que os elementos são geometricamente relacionados uns com os outros.

Diferentes tipos de ensaios podem ser usados para se verificar a composição das paredes (testes endoscópicos, etc.)

As estruturas em alvenaria geralmente dependem do efeito dos pisos ou dos telhados que suportam para distribuir as cargas laterais e assim assegurar a estabilidade da estrutura como um todo. A disposição de tal estrutura e sua efetiva ligação com a alvenaria precisa ser analisada.

Nos locais onde edifícios foram alterados, diferenças no comportamento das alvenarias dos diversos períodos podem produzir sinais de danos.

5.2.2 Paredes, colunas e pilares

As cargas verticais são a principal causa de dano ou colapso da alvenaria (esmagamento, dobramento, falha por fragilidade, etc.). Estas situações são particularmente perigosas porque geralmente ocorrem com pequenas deformações e poucos sinais visíveis. As forças laterais e seus efeitos são relevantes em áreas sísmicas, em construções altas, e onde existe o empuxo de arcos ou abóbadas.

Particular atenção deve ser dada a grandes paredes cuja construção pode abranger diferentes tipos de material. Tais paredes incluem paredes de cavidade, paredes de alvenaria cheias de cascalho e paredes de tijolos aparentes que têm um núcleo de baixa qualidade. Não somente o interior da parede pode ser menos capaz de suportar peso ou carga, mas, o movimento do material do núcleo pode produzir novas tensões. Neste tipo de alvenaria uma separação das camadas externas do núcleo interno é possível e deve ser considerado o fato de que o material de revestimento e o de enchimento podem estar agindo juntos ou separados. Este caso é geralmente perigoso porque as faces podem se tornar instáveis. É, portanto importante avaliar o percurso das cargas dentro da parede.



ICOMOS
COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO
DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

Além do mais a perturbação do núcleo pode resultar em esforços laterais nos revestimentos que pode ser um fenômeno progressivo.

Para compreender as causas dos danos (diagnóstico), é necessário primeiro avaliar os níveis e a distribuição das tensões, mesmo que de modo aproximado. Como eles são geralmente muito baixos e, mesmo que hajam alguns erros na avaliação, podem não afetar significativamente a margem de segurança. Uma inspeção visual (por exemplo levando em conta o padrão de fissuras) pode fornecer uma indicação do percurso das cargas dentro de uma estrutura.

Quando as tensões em áreas significativas estiverem muito próximas da capacidade de resistência da alvenaria, é necessário elaborar análises estruturais mais cuidadosas ou realizar ensaios específicos na alvenaria (testes macacos tóricos, teste ultra-sônico, etc.) para obter uma avaliação mais exata da resistência.

Tensões de compressão próxima à capacidade resistente dos materiais podem causar fendas verticais como os primeiros sinais de danos e eventualmente podem levar a grandes deformações laterais, etc. A extensão pela qual estes efeitos se tornam visíveis depende das características do material e em particular sua fragilidade. A extensão pela qual estes efeitos se tornam visíveis depende das características do material e em particular sua fragilidade. Estes efeitos podem desenvolver-se vagarosamente (mesmo através de séculos) ou rapidamente, mas tensões próximas à capacidade última de resistência resultarão em colapso mesmo que as cargas se mantenham constantes.

Cargas laterais existentes no plano da estrutura podem causar fendas diagonais ou deslizamentos. Cargas fora de plano ou excêntricas podem causar separação das camadas em uma parede com multicamadas ou a rotação de uma parede inteira na sua base. No último caso, fendas horizontais na base serão vistas antes de ocorrer a rotação.

A intervenção pode ser dividida em:

- I - Reposicionamento da alvenaria existente.
- II- Consolidação da parede existente com injeção de argamassa.



ICOMOS
COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO
DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

- III- Reforçar a parede com reforço vertical, longitudinal ou transversal.
- IV- Remoção e reposição do material deteriorado;
- V- Desmontagem e reconstrução, parcial ou total.

Enquanto as intervenções para consolidar a alvenaria corrigindo problemas de fendas e de deterioração excessivas são geralmente feitas por meio da injeção de argamassas fluidas apropriadas (grouting), a escolha das argamassas (cal, cimento, resinas, produtos especiais, etc.) depende das características da alvenaria. Particular atenção deve ser dada à compatibilidade entre materiais originais e novos.

O uso de argamassas contendo cimento deve ser evitado na restauração de edifícios históricos. Em paredes construídas com argamassas antigas contendo gesso, a reação entre o gesso e os minerais de cimento, resulta na formação de sais levando mais cedo ou mais tarde a sua destruição. Em outros casos podem haver problemas de lixiviação de sais solúveis da argamassa resultando em eflorescências na superfície da alvenaria (particularmente perigoso quando existem rebocos históricos ou afrescos) ou pode ocorrer mudanças no percurso da umidade pela parede.

À parte da consolidação do material propriamente dito (por injeção quando possível ou por rejuntamento), as medidas mais eficientes para conter os efeitos de cargas verticais e compressões internas em paredes de núcleo caótico são o uso de ancoragens feitas de materiais apropriados. Nas superfícies que não têm revestimento para protegê-las, existem diversos produtos diferentes disponíveis no mercado para proteção e consolidação. Contudo, estes raramente são totalmente eficazes e particular atenção deve ser dada a possíveis efeitos secundários.

Finalmente deve ser ressaltado que a introdução de outros materiais na alvenaria pode afetar localmente sua rigidez e o significado desta alteração deve ser levada em consideração.

O uso de concreto armado para fortalecer edifícios de alvenaria como uma regra deve ser evitado.



5.2.3 Arcos e abóbadas

Os arcos e as abóbadas são estruturas que dependem de empuxos em seus apoios para reduzir ou eliminar momentos fletores, permitindo assim o uso de materiais com baixa resistência ou a construção sem argamassa (alvenaria de pedra seca, etc.). A sua capacidade de carga é excelente e é o movimento dos apoios, introduzindo momentos de fletores e aumento de tração, que geralmente leva à abertura de juntas e o eventual colapso.

A formação de fissuras estreitas é bastante normal no comportamento de algumas estruturas abobadadas. Em outras, o comportamento inadequado está na maioria das vezes associado a uma precária execução (pobre união das partes, baixa qualidade de material, etc.), a geometria imprópria para a distribuição de carga, ou resistência e rigidez inadequadas dos componentes que recebem os empuxos (tirantes, juntas).

Quando o material de construção tem resistência muito baixa (como em estruturas de pedras irregulares com muita argamassa), é possível ocorrer uma separação de partes das abóbadas, possivelmente levando a um colapso progressivo, naquelas zonas onde a compressão é mais baixa ou onde há tensões de tração.

A devida importância deve ser dada a relação entre a distribuição de cargas e a geometria da estrutura quando os carregamentos (especialmente as cargas permanentes pesadas) são removidos ou adicionados às estruturas de alvenaria abobadadas.

As principais medidas de reparo derivam da consideração dos pontos acima, i. e:

- Substituição dos tirantes existentes e em alguns casos adição de novos (geralmente ao nível dos apoios nas abóbadas, ou ao longo de planos paralelos nas cúpulas);
- Construção de escoras ou contrafortes;
- Correção da distribuição das cargas (em alguns casos cargas devem ser adicionadas);
- No caso mais crítico, a reconstrução de partes da alvenaria, regeneração de juntas de argamassa e consolidação da alvenaria.



5.2.4 Torres

Edificações altas como torres, torres sineiras, minaretes, etc., são caracterizados por altas tensões de compressão e apresentam problemas semelhantes àqueles dos pilares e colunas. Estas estruturas podem estar enfraquecidas por ligações imperfeitas entre paredes, por alterações tais como a abertura ou fechamento de vãos, etc.

Quando corretamente posicionados tirantes horizontais e correntes, e às vezes diafragmas, podem melhorar a capacidade de resistência para cargas de peso próprio. Estas estruturas são facilmente danificadas por tremores de terra.

5.3 Madeira

A madeira tem sido usada em uma grande variedade de formas estruturais. É usada como o material estrutural em estruturas auto-portantes, naquelas em gaiola, em estruturas mistas de madeira e alvenaria, e, para formar os elementos principais de estruturas de alvenaria auto-portantes. O comportamento estrutural da madeira é afetado pela espécie botânica, características de crescimento, mudanças ocorridas nos processos entre o corte e o uso, e, a degradação causada pela sua utilização. As operações preliminares devem identificar as espécies, que são diferentemente susceptíveis a ataques biológicos, e a avaliação da capacidade resistente dos elementos individuais. Isto pode geralmente ser realizado através de um exame visual da estrutura (o número e a distribuição de nós e outras características de crescimento).

A durabilidade pode também ser afetada pelos métodos de corte, secagem e conversão, que podem ter sido bastante diferentes e executados em épocas diversas.

Fendas longitudinais paralelas às fibras devido à retração por secagem não são perigosas quando suas dimensões são reduzidas. Os ataques de fungos e insetos são a principal causa de danos. Estes estão ligados a um alto teor de umidade e temperatura.

O contato com a alvenaria é na maioria das vezes uma fonte de umidade. Isto pode ocorrer onde a alvenaria sustenta o madeiramento ou onde a madeira foi usada para reforçar a alvenaria. Contudo, a pouca manutenção dos edifícios ou as mudanças



radicais nas condições internas são as causas mais comuns da deterioração do madeiramento.

Já que a deterioração e o ataque de insetos podem não ser visíveis na superfície, métodos, tais como a micro-perfuração, estão disponíveis para o exame do interior da madeira. O teor da umidade interna também deve ser considerado como uma indicação da vulnerabilidade ao ataque.

Produtos químicos podem proteger a madeira contra o ataque biológico. Por exemplo, em pisos ou telhados as pontas ou extremidades das vigas inseridas em paredes de alvenaria são susceptíveis à deterioração como resultado da umidade e devem ser protegidas.

Quando são introduzidos materiais de reforço ou consolidantes, sua compatibilidade com a estrutura de madeira deve ser verificada. Por exemplo, ligações de aço são susceptíveis à corrosão em associação a algumas espécies de madeira, devendo ser usados aços inoxidáveis. As intervenções não devem impedir a respiração da madeira.

Desmontar e remontar estruturas de madeira são operações delicadas por causa do risco de danos. Há também a possível perda de valores patrimoniais e perda de materiais associados. Como muitas estruturas de madeira foram originalmente pré-fabricados, a desmontagem parcial ou completa pode facilitar um reparo efetivo.

A madeira é na maioria das vezes usada para formar estruturas porticadas ou entesouradas onde os principais problemas são geralmente relacionados às falhas locais nos nós. As medidas de reparo mais comuns consistem em reforçar os nós ou adicionar elementos diagonais suplementares, quando for necessário, para melhorar a estabilidade contra as forças laterais.

5.4 Ferro E Aço

É necessário distinguir o ferro fundido, o ferro forjado e as estruturas de aço. O primeiro é menos resistente a esforços de tração e pode conter tensões internas resultantes do processo de fundição. O ferro e o aço usadas na construção são ligas de metal e cuja



susceptibilidade à corrosão depende da sua composição. Note que a corrosão é sempre acompanhada por um aumento volumétrico do material que pode resultar em aumento de tensões nos materiais associados; por exemplo, a ruptura de pedra ou concreto devido à corrosão das barras de ferro ou conectores inseridos no seu interior.

Os aspectos mais vulneráveis das estruturas de aço são suas ligações onde as tensões são geralmente mais altas, especialmente nos furos. Pontes ou outras estruturas sujeitas a cargas repetidas estão sujeitas à falhas por fadiga. Portanto em ligações rebitadas e aparafusadas é importante verificar fissuras começando nos furos. A análise de fratura permite a avaliação da longevidade da estrutura.

A proteção contra a corrosão do ferro e do aço requer primeiro a eliminação da ferrugem da superfície (jatos de areia, etc.) e então a pintura da superfície com um produto apropriado. Estruturas de ferro e aço muito danificadas e deformadas geralmente não podem ser reparadas. O reforço de estruturas fracas pode ser obtido adicionando novos elementos, dando especial atenção à soldagem.

5.5 Concreto Armado

O concreto armado e protendido são materiais básicos de muitos edifícios modernos, agora reconhecidos como sendo de valor histórico. Contudo, no tempo da sua construção uma total compreensão do desempenho destes materiais ainda estava em desenvolvimento, e assim eles podem apresentar problemas específicos de durabilidade (misturas pobres em cimento, recobrimento inadequado da armadura, etc.). Os aspectos mais delicados geralmente dizem respeito à carbonatação do concreto (que endurece mas também se torna mais poroso, reduzindo sua capacidade de proteger o aço) e à corrosão do aço. O concreto exposto a cloretos (em áreas marítimas ou áreas de salinas) geralmente se deteriora, ocasionando uma severa corrosão do aço.

Para consolidar um elemento de concreto armado afetado por estes fenômenos requer geralmente a eliminação do concreto deteriorado (jato d'água, etc.), a limpeza da armadura e a adição de novo reforço. Se necessário, partes da estrutura devem então ser reconstruídas, geralmente usando concretos especiais.



PARTE III

GLOSSÁRIO

Abordagem qualitativa – A avaliação baseada em inspeção e observação do comportamento estrutural e do quadro de danos.

Abordagem quantitativa – A avaliação baseada em métodos analíticos ou científicos tais como testes, cálculos, e modelagem matemática. Veja Pesquisa histórica e Abordagem qualitativa.

Ação n. – Qualquer agente (forças, deformações, etc.) que direta ou indiretamente produz tensões e/ou deformações em uma estrutura edificada e qualquer fenômeno (químico, biológico, etc.) que afeta os materiais dos quais a estrutura do edifício é composta. As diferentes categorias das ações e suas definições são dadas nas ‘Diretrizes’.

Adobe n. – Adobe são tijolos feitos de barro simplesmente secos ao sol. Alguns materiais orgânicos como palha ou excremento animal podem ser usados para melhorar a durabilidade ou reduzir a retração.

Alvenaria composta – Alvenaria feita de camada de diferentes constituições. (A mais comum é a alvenaria de três camadas constituídas de duas faces externas e um núcleo interno).

Alvenaria de tijolo n. – Alvenaria de tijolos é uma estrutura ou um material composto feito de fiadas superpostas de tijolo assentados com argamassa.

Análise custo-benefício – Custos e benefícios se referem a aspectos gerais, e não a aspectos financeiros. Os custos podem ser medidos também na perda potencial de



ICOMOS
COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO
DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

matéria devido a uma terapia invasiva, e os benefícios podem ser aqueles ganhos com a terapia e com o conhecimento que será útil no futuro.

Análise estrutural – Cálculos e análise de computador usando modelos matemáticos.

Anamnese n. – O relato da história de um edifício incluindo os danos passados, intervenções, modificações, etc. A pesquisa para adquirir esta informação antecede a inspeção. Este é o primeiro passo antes do diagnóstico. Veja Controle, Diagnóstico e Terapia.

Argamassas – A argamassa é uma mistura de um ou mais ligantes, agregados inertes e água. Podem ser incluídos aditivos em certas proporções para dar à mistura a consistência apropriada e condições de trabalhabilidade no estado fresco e propriedades físico-mecânicas adequadas quando endurecida.

Avaliação de segurança – A avaliação das margens de segurança de uma estrutura com respeito a danos significativos, colapso parcial ou total. Veja Pesquisa histórica, Abordagem qualitativa, Abordagem quantitativa. O oposto de segurança é risco.

Conservação n. – Operações que mantêm o edifício como ele é hoje, mesmo que intervenções limitadas sejam aceitas para melhorar os níveis de segurança.

Controle n. – Um padrão de comparação para verificar os resultados de uma experiência. Verificação e avaliação da eficiência de uma terapia através de testes, monitoramento e exames. Veja Anamnese, Diagnóstico e Terapia.

Dano n. – A alteração e a piora do comportamento estrutural produzido por ações mecânicas e/ou pela redução resistência.

Redução da capacidade mecânica de suporte relacionado com a ruptura de um sistema estrutural. Veja Deterioração e Estrutura.



ICOMOS
COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO
DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

Deterioração n. – A alteração e a piora das características dos materiais produzidas por ações químicas ou biológicas. A deterioração química relacionada com a ruptura dos materiais que constituem um sistema estrutural. Perda de qualidade, desgaste, tecido arruinado. Veja Dano.

Diagnóstico n. – O ato ou processo para identificação ou determinação da natureza e da causa dos danos e deterioração, através da observação, investigação (incluindo modelos matemáticos) pesquisa histórica, e opinião resultante de tais atividades. Veja Anamnese, Controle e Terapia.

Edifícios n. – Algo que é construído. Quando usado no contexto destas “Recomendações”, o termo engloba igrejas, templos, pontes, represas e quaisquer obras de construção. Também referido como Patrimônio Arquitetônico.

Elementos estruturais n. – As partes estruturais e materiais que compõe o edifício (quadros, paredes, pisos, telhado, etc.).

Ensaio de materiais – Testes de laboratórios ou de campo de materiais das construções (físicos, químicos, porosidade, envelhecimento precoce, etc.).

Ensaio estrutural – Teste de estruturas em laboratório ou em campo (testes de conjunto ou de componentes, provas de carga de pisos, mesas-vibratórias, etc.).

Esquema estrutural – Uma representação aproximada ou modelos da estrutura, diferente, mas próxima à realidade.

Estrutura n. – A parte do edifício que dota de capacidade de carga, às vezes coincidente com o próprio edifício.

Holística adj. – Enfatizando a importância do conjunto e a interdependência de suas partes.



ICOMOS
COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO
DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

Inspeção n. – A parte visual de uma investigação que exclui ensaios de material, análise estrutural, ensaios estruturais, e outras técnicas investigativas mais sofisticadas.

Veja Ensaios de materiais, Análise estrutural e Ensaios estruturais

Intervenção n. – A intrusão física em um edifício durante o diagnóstico, ou sua terapia.

Investigação n. – Uma avaliação sistemática e detalhada de um edifício que pode incluir inspeção, ensaios de material, análise estrutural, e ensaios estruturais. Veja Diagnóstico, Inspeção, Ensaios de materiais, Análise estrutural e Ensaios estruturais.

Levantamento Geométrico – Croquis e desenhos de levantamento em escala (plantas, elevações, cortes, etc.) onde a geometria do edifício é identificada.

Manutenção – Um conjunto de atividades com a finalidade de conservação de um imóvel.

Medidor de fissuras – Um dispositivo colocado através de uma fenda em uma estrutura de alvenaria para identificar movimento.

Memorial Justificativo (Relatório Explicativo) – Um relatório que especificamente define os aspectos subjetivos envolvidos em uma avaliação de segurança, tal como incertezas nos dados admitidos e as dificuldades de uma avaliação precisa dos fenômenos que podem levar à conclusões de confiabilidade incerta.

Método de Observação – Uma abordagem incremental para intervir ou reforçar, começando com um nível mínimo de intervenção, e a possível adoção subsequente de outras medidas corretivas.

Patrimônio arquitetônico n. – Edifícios e conjuntos de edifícios (cidades, etc.) de valor histórico. Veja Edifícios.



ICOMOS
COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO
DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

Pedras Naturais – Pedras naturais foram formadas por processos geológicos e geralmente são constituídas por misturas de minerais. As pedras naturais podem ser agrupadas de acordo com sua origem em magmáticas, metamórficas e sedimentares (arenito, calcáreo, etc.). As pedras naturais diferem segundo a origem, se sua composição não foi alterada pelo homem.

Pesquisa histórica – A avaliação baseada em investigações históricas e experiências anteriores. Veja Abordagem qualitativa e Abordagem quantitativa.

Reabilitação – O processo pelo qual se adequa o edifício para um novo uso ou função, sem alterar as partes que são significativas ao seu valor histórico.

Reforço – Intervenções para aumentar a capacidade de carga de um estrutura.

Reparo – O resultado de reparo ou restauração de uma junta deteriorada. Pode ser homogênea a junta existente ou feita de materiais diferentes (e. g. cimento polimérico).

Restauração – O processo de recuperar a forma de um edifício com a aparência de determinado período do tempo através da remoção de partes adicionadas ou pela reconstrução de partes anteriormente eliminadas.

Terapia – A escolha de medidas corretivas (reforço, regeneração, substituição, etc.) como resultado do diagnóstico. Veja Anamnese, Controle e Diagnóstico.

Tijolo n. – O tijolo é uma unidade de alvenaria geralmente feita de barro cozido em forno ou simplesmente seca ao sol.

Tijolos Cozidos – Um tijolo cozido é material cerâmico obtido através de preparação, moldagem (ou extrusão) de material cru (barro) e subsequente secagem e cozimento a temperaturas apropriadas.



ICOMOS
COMITÊ CIENTÍFICO INTERNACIONAL PARA ANÁLISE E RESTAURAÇÃO
DE ESTRUTURAS DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

Tipologia Estrutural – Os tipos de estruturas interpretados quanto ao seu comportamento estrutural e à sua capacidade de suportar cargas.

Valor Patrimonial – Valor arquitetônico, cultural, e/ou histórico atribuído a um edifício ou sítio. O valor patrimonial pode ter definições e importância diversas variando de cultura a cultura.