

# Patologias Estruturais Causadas por Efeitos de Sismo, Explosão e Exposição ao Fogo

*Leonam dos Santos Valente<sup>1</sup>*

## Resumo

Nos últimos anos tem sido registrada uma quantidade considerável dos efeitos de sismo e explosões. Embora os estudos nessas áreas ainda sejam pouco difundidos no Brasil, para algumas estruturas especiais, como estruturas nucleares já são exigidas as verificações para os efeitos de sismo.

O Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) mantém um controle estatístico dos efeitos sísmicos ocorridos no Brasil e a partir de seus dados percebe-se que embora o Brasil esteja totalmente situado sobre uma placa tectônica, os efeitos sísmicos não devem ser negligenciados em estruturas de utilização singular.

Para os efeitos de explosão as análises estatísticas são realizadas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), que registrou uma média de 75 acidentes por mês entre os anos de 2006 a 2010, e o Instituto Sprinkler Brasil (ISB) registrou a ocorrência de 1095 casos de incêndios estruturais (exceto residenciais) no primeiro semestre de 2013.

Para o efeito de sismo deve-se utilizar a NBR 15421 (2006), já para os efeitos de explosão faz-se necessária a utilização de normas estrangeiras como UFC (2008).

Os danos causados a estrutura pelos efeitos descritos são na sua maioria de efeitos físicos, onde a estrutura entra em colapso pelo acréscimo excessivo de carga, salvo a estrutura exposta ao fogo que pode entrar em colapso devido aos efeitos físicos de dilatação e retração brusca do aço e perda da resistência do concreto, e ao efeito químico da calcinação superficial do material.

Este artigo tem como objetivo informar sobre as estatísticas dos eventos relacionados ao sismo, explosão e exposição ao fogo para estruturas de concreto armado no Brasil, comentar sobre os possíveis métodos de cálculos que podem ser usados de forma preventiva, indicar os possíveis danos causados às estruturas pela exposição desses efeitos e sugerir soluções de reforço mais adequados em todas as patologias.

**Palavras-chave:** Sismo, Explosão, Fogo, Patologias.

## 1 Introdução

O presente artigo tem como objetivo identificar, classificar, exemplificar e sugerir soluções para possíveis patologias estruturais causadas por efeitos como sismo, explosão e exposição a fogo.

Embora essas solicitações não sejam consideradas usualmente nos dimensionamentos estruturais brasileiros, podem gerar grandes prejuízos e pôr em risco a vida de muitas pessoas.

As estruturas expostas a algumas dessas solicitações podem entrar em colapso, caso não tenham rigidez suficiente. As estruturas seriamente comprometidas necessitam passar por reformas e/ou reforços complexos.

As estruturas especiais que envolvem saúde, segurança e necessidades básicas, como são o caso das estruturas nucleares, hospitalares, barragens e estoques de produtos químicos inflamáveis deveriam considerar no seu dimensionamento os cálculos de sismo e explosão como medida de segurança preventiva; já a prevenção para exposição ao fogo deve ser realizada periodicamente por meio de vistorias e inspeções.

Este artigo foi dividido em quatro partes. Na **Estatística dos Eventos** relacionam-se as probabilidades de ocorrência dos efeitos de sismo, explosão e exposição ao fogo das estruturas no Brasil, **Sobre os Efeitos a Serem Analisados** descrevem-se sucintamente os efeitos de sismo, explosão e

exposição ao fogo, recomendações e os critérios de projeto a serem adotados. **Nas Patologias Causadas por Sismo, Explosão e Exposição ao Fogo** são dados exemplos sobre ocorrências reais, algumas patologias provocadas pelas solicitações em estudo. Nas **Soluções das Patologias**, embora as possibilidades de reforço sejam diversas, esse item sugere algumas medidas restaurativas para as estruturas danificadas.

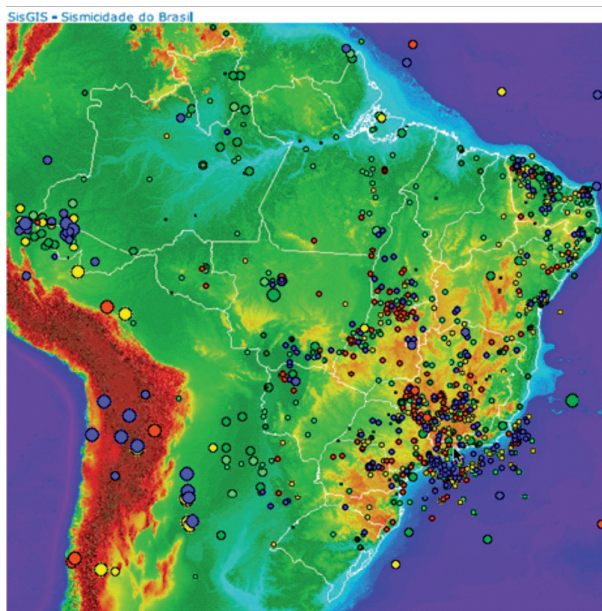
## 2 Estatística dos Eventos

As patologias analisadas foram divididas de acordo com os seus efeitos geradores a seguir relacionados.

### 2.1 Sismo

Os efeitos sísmicos estão associados a um fenômeno natural provocado pela movimentação das placas tectônicas, ou fissuração e deslocamento de rochas nas camadas mais profundas do solo.

De acordo com **IAG (2014)** foram registrados diversos abalos sísmicos ocorridos de 1922 até 2013 (Figura 2.1).



**Figura 2.1** – Eventos sísmicos ocorridos no Brasil e suas redondezas; os tamanhos dos círculos estão associados à magnitude, sendo as cores indicativas de período de tempo (IAG, 2014).

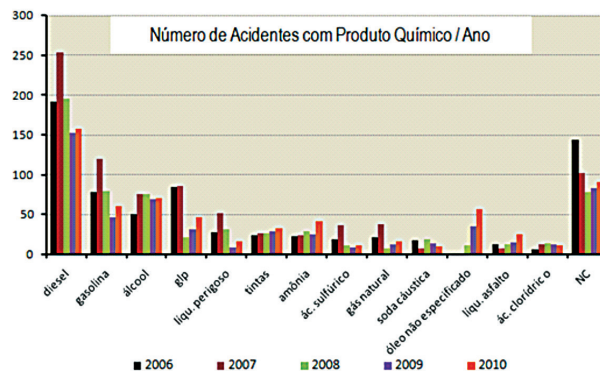
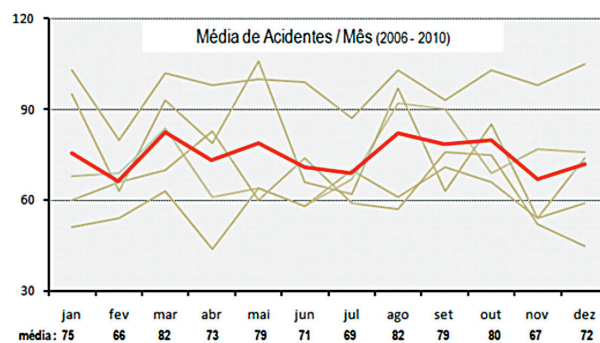
A **NBR 15421 (2006)** define as “zonas sísmicas” quantificando as acelerações máximas, à nível da rocha, indicadas no mapa sísmico apresentado no texto da Norma.

### 2.2 Explosão

Os acidentes que envolvem produtos químicos perigosos geram explosões capazes de produzir patologias estruturais graves.

O efeito de explosão sobre a estrutura pode ser calculado por meio do **UFC (2008)**, sendo representado como uma “onda de choque”, que se desloca pelo ar e tem grande velocidade de efeito dinâmico.

A seguir são apresentados os dados divulgados pelo **Ministério do Meio Ambiente (2014)** que relacionam acidentes explosivos provocados por produtos químicos perigosos.



**Figura 2.2** – Média dos acidentes explosivos mensais entre os anos de 2006 a 2010 e quantidade de acidentes entre os mesmos anos para diversos tipos de materiais explosivos.

### 2.3 Exposição ao Fogo

De acordo com o **ISB (2014)** no primeiro semestre de 2013 foram monitorados os chamados “incêndios estruturais” ocorridos em instalações industriais e comerciais, galpões, escolas, hospitais, hotéis, entre outros (não foram computados os incêndios residenciais). Esse monitoramento gerou o gráfico da Figura 2.3.

Observando-se os gráficos da Figura 2.1, Figura 2.2 e Figura 2.3, conclui-se que devido à quantidade de ocorrências dos eventos estudados, faz-se necessário estabelecer critérios/parâmetros mais rigorosos para avaliação e prevenção das estruturas brasileiras.

### 3 Sobre os Efeitos Analisados

As patologias podem ser divididas em três categorias: físicas (geradas por efeitos físicos de cargas, variações de temperatura, recalques, etc); químicas (aquelas que geram reações químicas capazes de modificar o material existente, como: calcinação, clorificação, carbonatação, etc.); biológicas (causadas por agentes biológicos como bactérias, fungos e plantas).

Classificando-se os danos provocados pelos efeitos estudados, pode-se dizer que as patologias provocadas por sismo e explosão são do tipo físico (causando trincas e fissuras), enquanto a exposição ao fogo pode provocar danos do tipo físico (perda de resistência do aço, movimento devido à dilatação estrutural, movimento de retração brusca após o incêndio) e problemas do tipo químico (modificam as características do concreto).

Ressalta-se que o efeito de explosão, na maior parte das vezes, gera fogo, logo, as patologias provocadas por explosão também estão associadas aos efeitos de exposição ao fogo.

### 3.1 Sismo

Sismo ou terremoto são os movimentos das camadas do solo decorrentes da liberação súbita de energia na crosta terrestre, que se propagam em todas as direções.

Para uma verificação estrutural utilizando-se modelos matemáticos, o efeito de sismo pode ser representado por meio de um espectro de respostas (gráfico aceleração vs. Freqüência ou período) que podem ser obtidos diretamente de normas ou gerados a partir de um conjunto de acelerogramas, de sismos locais. Tanto o espectro como o acelerograma representam a ação sísmica e devem ser aplicados na base da estrutura.



Figura 3.1 – Consequências das solicitações sísmicas em uma residência localizada em Poço Branco, RN (Dantas, 2013).

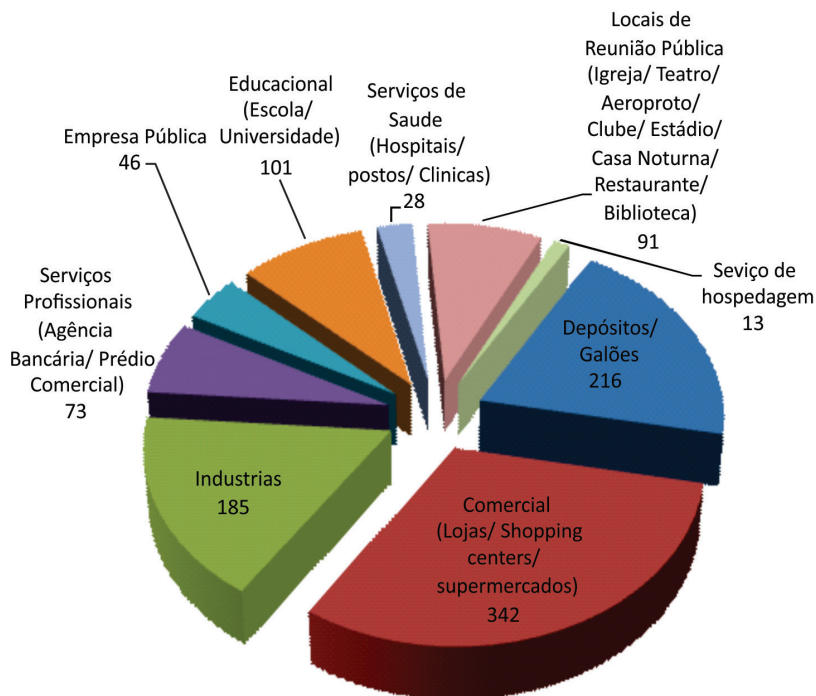


Figura 2.3 – Ocorrência de 1.095 casos de incêndios estruturais (exceto residenciais) notificados no primeiro semestre de 2013, por ocupação (ISB, 2014).

De acordo com **Dantas (2013)**, o Rio Grande do Norte é o estado que apresenta maior ocorrência de atividades sísmicas das regiões brasileiras. Embora essas atividades sísmicas causem solicitações de pequenas intensidades, podem gerar diversas patologias, como indicado na Figura 3.1.

A seguir foram listadas algumas recomendações e cuidados no lançamento estrutural para minimizar os efeitos danosos à estrutura devido ao sismo.

### 3.1.1 Simplicidade da estrutura

A ausência de simetria no sistema resistente à solicitação lateral pode levar a estrutura a ter efeitos de torção e instabilidade.

### 3.1.2 Uniformidade e simetria da estrutura

As descontinuidades de rigidez no sistema sismo resistente, e a distribuição de massa da estrutura de forma não homogênea, podem gerar mecanismos de colapso em circunstâncias extremas.

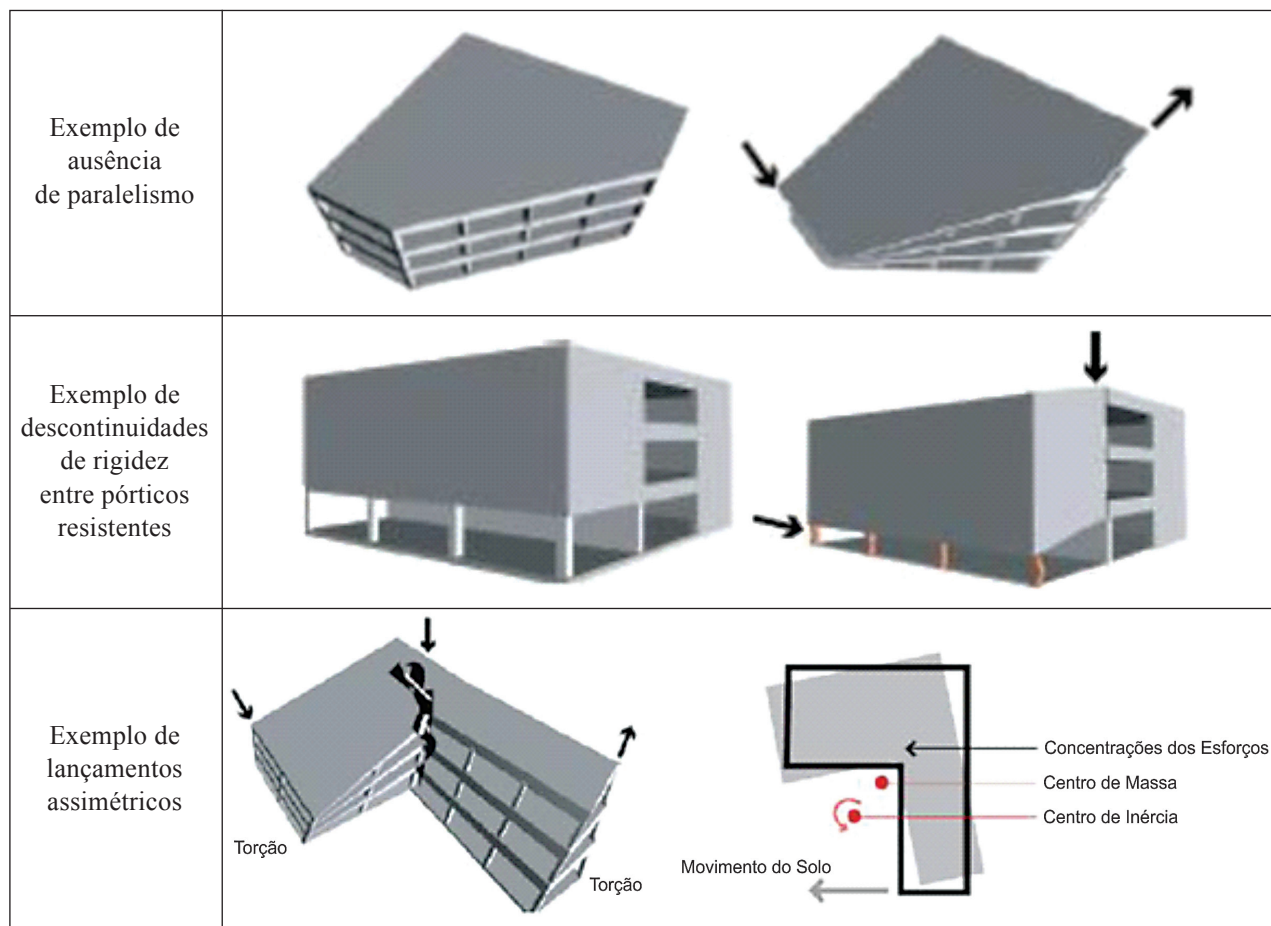
### 3.1.3 Rigidez e resistência à torção

Devem ser evitados lançamentos e sistemas de travamento assimétricos. As estruturas sísmicas separadas permitem que ambos se deformem com grandezas diferentes. A Figura 3.2 mostra algumas situações que devem ser evitadas.

Os lançamentos de paredes estruturais (de preferência externas), núcleos rígidos, aumento da rigidez nos cantos reentrantes, enrijecimento dos pórticos resistentes às ações laterais, são algumas medidas que podem ser adotadas quando do projeto para evitar possíveis patologias causadas por sismo.

### 3.2 Explosão

De acordo com UFC (2008) o efeito de explosão sobre uma estrutura é definido a partir do deslocamento de ar, representado por uma curva de pressão vs. tempo atuante em cada uma das superfícies externas da estrutura a ser analisada. A Figura 3.3, retirada dessa norma, mostra de forma esquemática



**Figura 3.2** – Exemplos de lançamentos e o que deve ser evitado para estruturas submetidas a ações sísmicas (EUROCODE: 8, 2011).

o comportamento da “onda de choque”. A Figura 3.4 mostra as formas das curvas de pressão vs. tempo, obtidas experimentalmente para a parede frontal (a) e para as paredes laterais de fundo e laje de cobertura (b), e as curvas sugeridas por meio de cálculo para a representação do efeito dinâmico da ação da “onda de choque” gerada pela ação da explosão.

O gráfico pressão vs. tempo indica um deslocamento negativo em relação ao eixo da linha de tempo. Esse deslocamento representa a reação plástica da estrutura tentando atingir a estabilidade do sistema; isso significa que após a passagem do efeito da “onda de choque”, a estrutura tenta retomar sua posição inicial, provocando um efeito contrário à direção do impacto da onda.

Esse efeito deve ser considerado em estruturas

que têm armaduras assimétricas nas suas paredes estruturais.

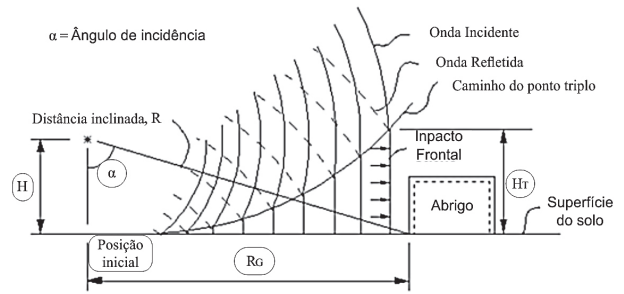


Figura 3.3 – Detalhe esquemático do deslocamento da “onda de choque” incidindo sobre uma estrutura qualquer (UFC, 2008).

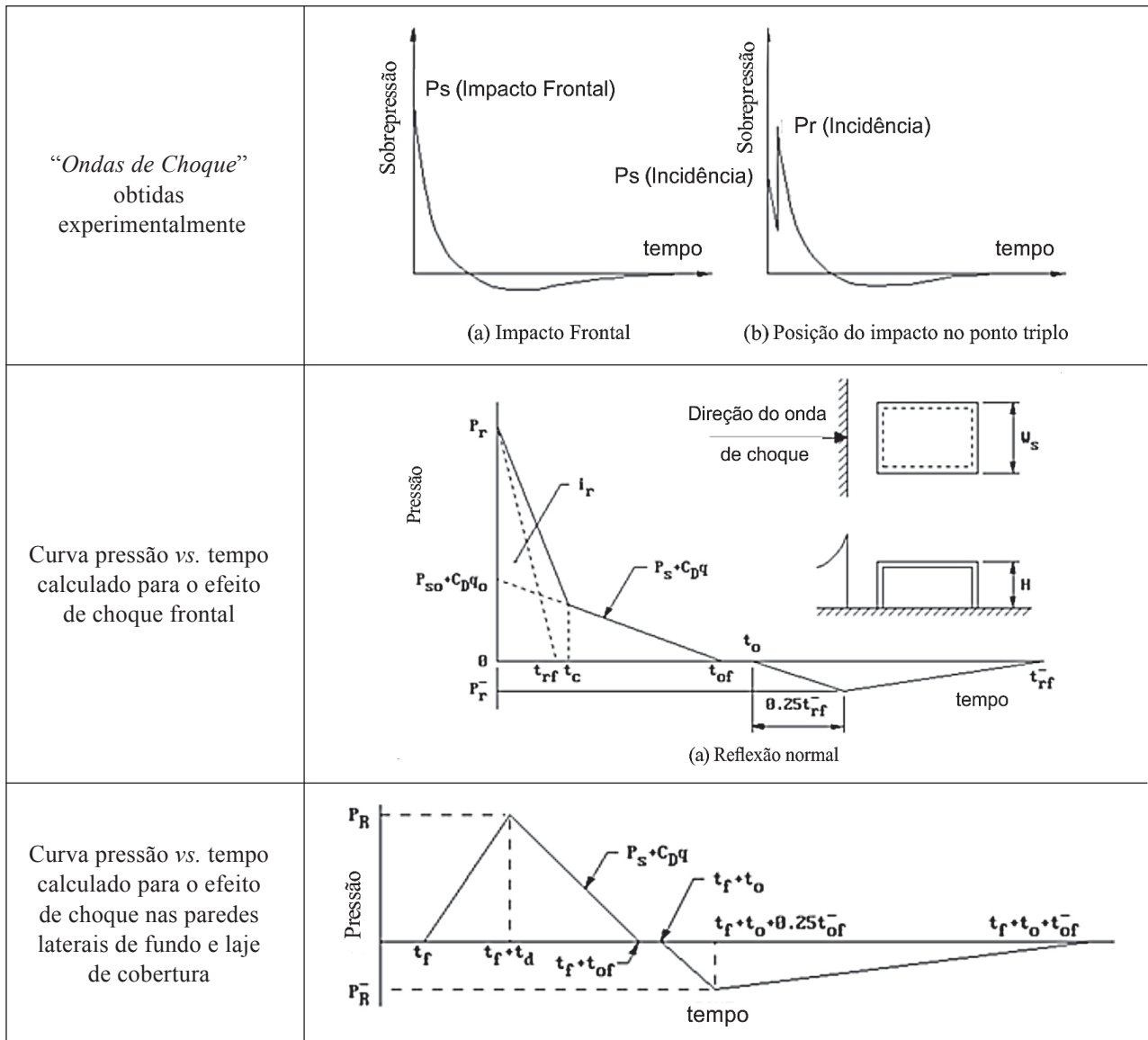


Figura 3.4 – Curvas pressão vs. tempo sugeridos pela UFC (2008).

### 3.3 Exposição ao fogo

Os principais danos estruturais do concreto, quando submetidos à exposição ao fogo são: calcinação superficial do concreto, movimentos de dilatação estrutural durante a ocorrência do incêndio, movimentos de retração estrutural após ocorrência do incêndio e dilatação dos aços, podendo ocorrer combinados entre si.

A **calcinação** do concreto é a transformação do calcário ( $\text{CaCO}_3$ ) existente na sua composição química em óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ), pela exposição direta ao fogo. A calcinação modifica a resistência do concreto, deixando a armadura interna suscetível a ataques corrosivos e expostos ao fogo.

O efeito de calcinação pode ser observado pela mudança na cor superficial da peça de concreto armado, que pode variar em função da temperatura: rosa ( $300^\circ\text{C}$ ), roxo ( $550^\circ\text{C}$ ), vermelho ( $600^\circ\text{C}$ ), cinza esbranquiçado ( $650^\circ\text{C}$ ), amarelo alaranjado ( $950^\circ\text{C}$ ) e amarelo claro ( $1000^\circ\text{C}$ ).

Os seguintes efeitos podem ser considerados no concreto armado devido à variação brusca de temperatura: **movimento devido à dilatação estrutural** – a estrutura pode se sobrecarregar com acréscimo de tensões de tração internas provocado por um aumento de temperatura, havendo desde plastificação até ruptura do nó (caso esses não estejam bem armados e detalhados).

**Movimento de retração brusca após o incêndio** – a estrutura pode se sobrecarregar, devido ao acréscimo de tensões de compressão internas provocado pela diminuição de temperatura.

Outro tipo de patologia devido à exposição ao fogo em estruturas, que na maioria das vezes ocorre

em estrutura de pouca espessura, como lajes e paredes finas, é a **dilatação diferencial do aço**. O aço dilata-se dentro da estrutura fazendo com que haja perda de aderência e expulsão da superfície de cobrimento do concreto (deslocamento).

Caso haja o deslocamento de concreto e o aço fique exposto diretamente ao fogo, pode haver **perda de resistência** do aço o que levaria a um possível colapso da estrutura.

Nas vigas, as patologias ocorridas são geralmente por trincas de retração provocadas pelo fato das peças de concreto armado apresentarem, quando submetidas à ação de incêndio e após a fase final de esfriamento, uma redução de tamanho, decorrente da desidratação do concreto.

Os mesmos efeitos das lajes e vigas podem ocorrer com os pilares, sendo que estes rompem por flambagem.

## 4 Patologias Causadas por Sismo, Explosão e Exposição ao Fogo

A seguir são indicadas as possíveis patologias causadas à estrutura submetidas aos efeitos de sismo, explosão e exposição ao fogo.

### 4.1 Sismo

**Dantas (2013)** coletou alguns exemplos interessantes de patologia causada por sismo em estruturas de concreto armado. As Figuras 4.1 à 4.5 mostram os efeitos destrutivos de um abalo sísmico.

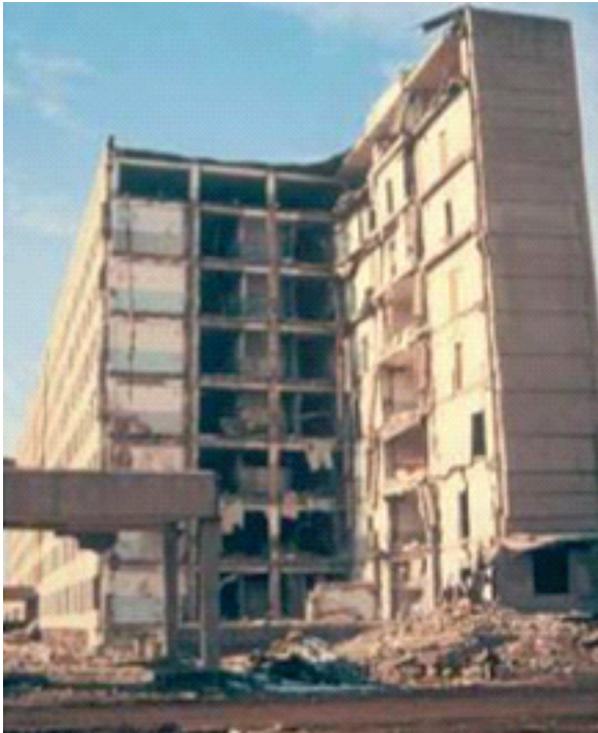
As construções sem paredes estruturais, simetrias e núcleos rígidos são suscetíveis a abalos sísmicos



**Figura 4.1** – Exemplo de patologia gerada em colunas curtas (Dantas, 2013).

devido a sua flexibilidade. Os pilares podem romper em uma única direção (fissura inclinada) ou em duas direções (fissura em forma de “X”).

Elementos pré-fabricados em lajes e vigas não são recomendados para suportar solicitações sísmicas.



**Figura 4.2** – Falha no comportamento de diafragma das lajes (Dantas, 2013).



**Figura 4.3** – Colapso devido à rigidez inadequada dos nós de pórtico (Dantas, 2013).



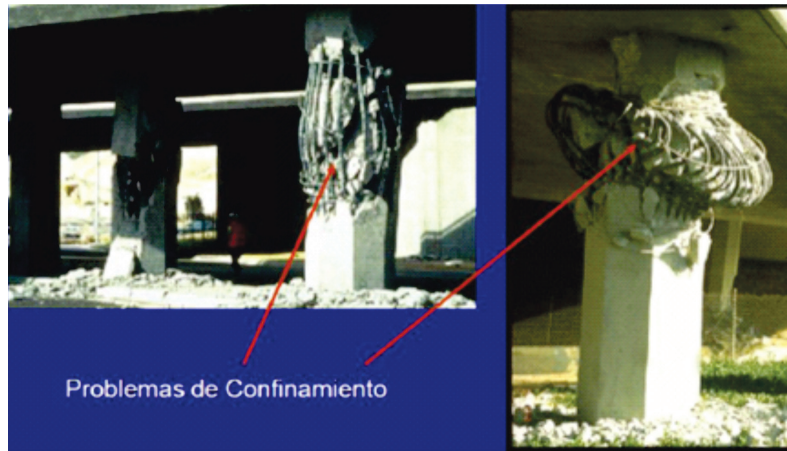
**Figura 4.4** – Patologia gerada pelas solicitações horizontais; fissura em diagonal simples e em cruz (Dantas, 2013).

## 4.2 Explosão

Os danos provocados por explosão podem ser diversos, desde o colapso completo da estrutura até apenas algumas janelas trincadas, dependendo da

distância do ponto de explosão e da quantidade de carga explosiva acionada.

Nas Figuras 4.6 e 4.7 são mostradas patologias causadas pelo efeito de explosão.



*Figura 4.5 – Patologia gerada pela falta de confinamento de pilares. Estruturas flexíveis (Dantas, 2013).*



*Figura 4.6 – Patologia causada pela explosão de bolsão de GLP abaixo do prédio da Caixa Econômica do projeto Minha Casa, Minha Vida (Diário Catarinense, 2012).*

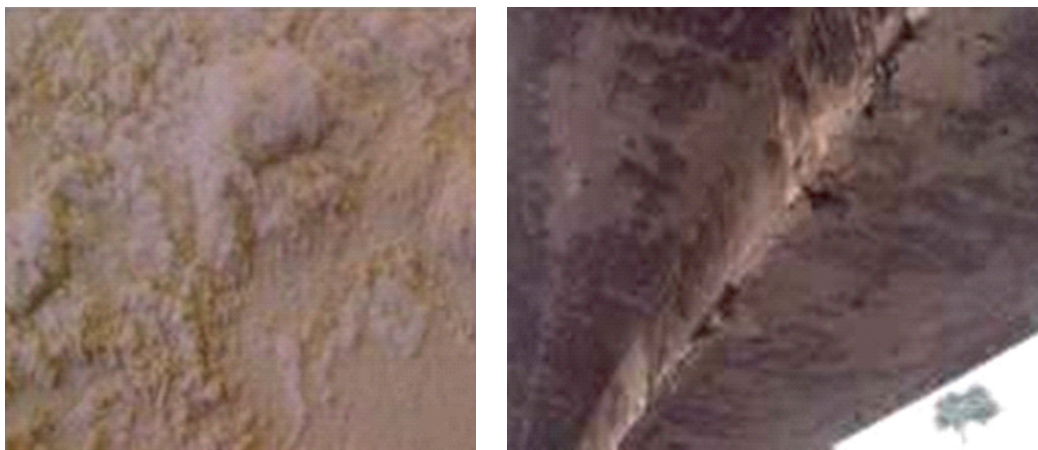


*Figura 4.7 – Patologia causada pela explosão de restaurante em Brasília: As figuras mostram a destruição das alvenarias de vedação que separavam o restaurante de uma farmácia, os danos causados nas lojas vizinhas e nas casas de moradoras de apartamento da quadra. (G1, 2013).*



### 4.3 Exposição ao fogo

As Figuras 4.8 a 4.11 mostram patologias de estruturas expostas ao fogo.



*Figura 4.8 – Calcinação superficial do concreto (Incêndio sob a ponte de Tatuapé, 1995).*



*Figura 4.9 – Dilatação superficial do aço com deslocamento de camadas de concreto (Incêndio sob a ponte de Tatuapé, 1995).*



*Figura 4.10 – Deslocamento do revestimento e calcinação das paredes e laje; paredes rosa (300° C), teto amarelo alaranjado (950° C).*



*Figura 4.11 – Movimento devido à dilatação estrutural, rompimento de viga e nó de pórtico.*

## 5 Soluções das Patologias

Caso as medidas preventivas não tenham sido suficientes para evitar problemas estruturais causados pelos efeitos de sismo, explosão ou exposição ao fogo é necessária, primeiramente, medir os danos causados à estrutura por meio de inspeção preliminar: exame visual para avaliação de problemas como verificar a presença de pigmentação e manchas, aparecimento de fissuras e variação volumétrica das estruturas.

Segunda etapa, verificar se há necessidade de realizar mais exames como: exames de percussão (som cavo), verificação do PH, verificação de porosidade.

Terceira etapa, verificar se houve modificação das tensões admissíveis do concreto. Para isso, podem-se utilizar exames indiretos que avaliam a dureza da estrutura como: esclerometria, retirada de corpos rígidos, exame de cravação de pino, ultrassom, etc.

Sabendo-se que a finalidade dos exames é compreender qual foi o real prejuízo para a estrutura e qual a necessidade de reforço, e estabelecer, a partir daí, o melhor método para garantir a recomposição e durabilidade da estrutura que foi comprometida.

Os métodos de reforço são inúmeros, e para um mesmo tipo de dano, pode haver vários métodos a serem aplicados. Neste item, são indicados os métodos comumente utilizados.

### 5.1 Sismo

As patologias de efeitos físicos causadas por sismos podem ser resolvidas das formas a seguir descritos.

Problemas de trincas e fissuras em paredes: para melhorar o comportamento global das estruturas podem-se reforçar as paredes de alvenaria com estruturas de concreto armado, transformando-as em paredes estruturais e utilizando-se conectores e grampos para garantir sua aderência. As paredes mais indicadas para esse procedimento são as externas.



**Figura 5.1** – Reforço de parede com aplicação de armadura e conectores (Moita, 2013).

Também é indicada a utilização de tirantes nas partes superiores, aumentando-se a rigidez estrutural.

Para paredes de alvenaria com grandes fissuras, pode-se utilizar grampos para evitar que haja deslocamento.



**Figura 5.2** – Aplicação de grampos em paredes de alvenaria (Moita, 2013).

Problemas de trincas, fissuras e rompimento de pilares (problemas mais comuns): os pilares podem ser recompostos com produtos químicos de alta resistência tipo epóxi, ou por encamisamento. Também se pode utilizar compósitos de fibras de carbono.



**Figura 5.3** – Encamisamento de pilar.

Pórticos fissurados: os nós viga-pilar podem ter uma perda significativa de rigidez devido à insuficiente resistência ao corte e à inadequada ancoragem da armadura no próprio nó. Recomenda-se a recomposição como a utilização de produtos químicos de alta-resistência, tipo epóxi, ou utilização de compósitos de fibras de carbono.



**Figura 5.4** – Aplicação de epóxi e utilização de compósitos de fibras de carbono para reforços (Varum. et al, 2005).

Lajes diafragmas: recomposição das lajes utilizando-se telas para aumentar a resistência.

Fissuras diagonais: caso tenham ocorrido em parede não estrutural, utilizar uma recomposição simples ou substituição dos elementos de vedação. Caso o dano tenha ocorrido em parede estrutural, é indicado reforçar a estrutura com produtos químicos de alta-resistência, tipo epóxi, ou recomposição do concreto utilizando-se telas metálicas grampeadas para garantir a integridade da estrutura.

## 5.2 Explosão

Embora não haja as recomendações especificadas para o lançamento estrutural como no item 3.1,

para sismo, é recomendado que o projeto contenha os cálculos indicados no UFC (2008) dependendo da finalidade da edificação. Por exemplo: estruturas nucleares, hospitais, armazéns de produtos explosivos, etc. Sabendo que a estrutura deve resistir a uma “onda de choque”, pode ser necessária a elaboração de uma estrutura cujas paredes frontais, laterais e de fundo sejam estruturais.

Para se evitar problemas de explosão internos a estruturas, o indicado é a manutenção periódica por meio de vistorias.

Os efeitos patológicos causados pela “onda de choque” produzido por uma explosão são muito parecidos com os efeitos sísmicos e, por se tratar de problemas de caráter físico, as soluções para os danos causados à estrutura podem ser dadas de acordo com o item 5.1.

## 5.3 Exposição ao fogo

As regiões calcinadas devem ser removidas e substituídas, além de se verificar as características mecânicas do concreto, do aço e do aço de protensão nas áreas envolvidas e próximas, por meio de técnicas descritas sucintamente no item 5, garantindo-se a integridade das peças estruturais e do projeto por completo.

Lajes: nos pontos necessários, onde houve grandes deformações e perda de resistência da armadura original, aplica-se nova armadura de reforço, utilizando-se, normalmente, telas de aço soldadas, fixadas com uso de pinos e equipamentos especial, como descrito anteriormente.



**Figura 5.5** – Aplicação de produto antioxidante para proteção das armaduras expostas, antes da aplicação do concreto projetado.

Dependendo do grau de deformação, é necessário executar um reforço estrutural também nas armaduras negativas. Nesses casos, deve-se efetuar a remoção de

todos os revestimentos dos pisos, até que seja atingida a camada de concreto e garantida a eliminação de todo concreto com baixa resistência devido à calcinação até a chegada da camada mais homogênea e resistente do concreto.

Eventualmente são utilizados macacos hidráulicos para elevar as lajes deformadas, com o intuito de aproximá-las de seus níveis iniciais.

Vigas: se não houver perda de resistência do concreto e da armadura para a recomposição dessas vigas, faz-se necessária a retirada do concreto superficial fissurado e sua substituição por concreto projetado. Caso tenha havido dano nas armaduras, recomenda-se a substituição das barras afetadas cortando-as e soldando novas barras, pode-se optar pela utilização de chapas metálicas.

Pilares: além da retirada do material calcinado, deve-se proceder como descrito no item 5.1.

Todo o reforço estrutural deve ser executado por profissionais especializados em cálculo estrutural com base em um projeto de reforço.

## 6 Conclusões

Neste artigo foram introduzidas as estatísticas de ocorrência de eventos sísmicos, de explosão e exposição ao fogo para estruturas de concreto armado no Brasil.

Foram analisadas possíveis patologias para estruturas submetidas a sismo, explosão e exposição ao fogo e algumas técnicas de recuperação, mais comumente utilizadas.

Os conhecimentos das manifestações patológicas apresentadas contribuem para a definição das técnicas de recuperação mais apropriadas a serem adotadas, em cada caso descrito, garantindo-se o desempenho dos elementos estruturais danificados e preservando-se dessa forma a segurança dos usuários da edificação.

## 7 Referências

ASCE 7 – **Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures**. American Society of Civil Engineers, 2005.

Ministério do Meio Ambiente, <<http://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/emergencias-ambientais/estatisticas-de-acidentes/>>, 14 de maio de 2014.

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas – IAG, Universidade de São Paulo – USP,

<<http://moho.iag.usp.br/sismologia/boletim.php>>, 16 de maio de 2014.

Instituto Sprinkler Brasil – ISB, <<http://www.sprinklerbrasil.org.br/estatisticas/2013/>>, maio de 2014.

Dantas, R. O. O. **Subsídios para o projeto de estruturas sismo resistentes**, Natal, Rio Grande do Sul, 2013.

Moita, B. M. S. **Reforço e Reabilitação Sísmica de Construções da Baixa Pompalina**, IPS – Instituto Politécnico de Setubal, Fevereiro de 2013.

Varum, H, Costa, A. G, Pinto, A. **Reforço Sísmico do Patrimônio Edificado em Betão Armado**, FEUP – 14 Outubro de 2005.

EUROCODE 8, **Seismic Design of Building Worked Examples**. European Committee of standardization, Lisbon 2011.

Unified Facilities Criteria (UFC), **Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions**. 5 December 2008.

Diário Catarinense, <<http://diariocatarinense.clicrbs.com.br/sc/noticia/2012/>>, Palhoça, Última atualização 19/04/2012.

G1 Globo, <<http://g1.globo.com/>>, Última atualização 15/12/2013.

NBR 15421 – **Projeto de estruturas resistentes a sismos** – Procedimento, 2006

Souza, V. C. de; Ripper, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**, São Paulo, Pini, 1998.

Ferreira, C. G. **Ação do Incêndio nas Estruturas de Concreto Armado – Consequências e Recuperação**, IBRACON (Instituto Brasileiro do Concreto).

Rosso, T. – **Comportamento ao Fogo do Concreto**, IBRACON (Instituto Brasileiro do Concreto), 1975.

Clough, R.W. e Penzien, P. **Dynamics of Structures**. McGraw-Hill, 1975.

Chopra, A. K. **Dynamics of Structures**. Prentice Hall, 1995.

Regulatory Guide 1.61, Damping Values For Seismic Design of Nuclear Power. U.S. Nuclear Regulatory Commission, October 2006.

Regulatory Guide 1.91, Foundations of Explosions Postulated to Occur on Transportation Routes Near Nuclear Power Plants – February 1978.

Regulatory Guide 1.122, Development of Floor Design Response Spectra for Seismic Design of Floor-Supported Equipment or Components – February 1978.

Regulatory Guide 4461, Tornado Climatology of the Contiguous United States. U.S. Nuclear Regulatory Commission, March 2007.