

## ANÁLISE SÍSMICA NAS EDIFICAÇÕES

Área temática: Gestão Ambiental e Sustentabilidade

**Ana Lúcia Torres Seroa da Motta**

[anaseroa@gmail.com](mailto:anaseroa@gmail.com)

**Rafael Souza**

[rafcs@oi.com.br](mailto:rafcs@oi.com.br)

**Luciene Vaz**

[lucienesemedovaz@gmail.com](mailto:lucienesemedovaz@gmail.com)

***Resumo:** O texto apresenta, através de um estudo bibliográfico, o fato de abalos sísmicos poderem ser caracterizado pelas condições geológicas da região ou pela ação do homem. A localização geológica aderente do Brasil admitiu que não fosse assíduo o acontecimento sísmico em terras brasileiras, porém, já houve alguns abalos sísmicos e não obstante de serem de baixas intensidades, muitas estruturas foram danificadas, comprometendo o uso e acarretando prejuízos econômicos e sociais. Para avaliar as condições sismológicas é primordial a informação dos conceitos geológicos e para o dimensionamento das estruturas de concreto armado sísmo-resistentes é definido o domínio da consideração técnicas e das normas pertinentes: Norma NBR 15421 (ABNT, 2006), SENCICO-2003 (Peru), Eurocode 8 (Europa) e a AASHTO-2007 (Estado Unidos).*

***Palavras-chave:** Construção Civil, Abalos Sísmicos, Norma NBR (ABNT, 2006).*

## INTRODUÇÃO

O aumento de capital externo para aquisição no Brasil, os programas do governo federal para antecipar o crescimento nacional e as necessidades de melhorias sociais como a execução de obras de infraestrutura e de habitações tem aquecido o mercado da engenharia civil em todo o campo nacional e em todas as esferas profissionais.

Na engenharia civil, com o aquecimento do mercado, a demanda por engenheiros civis tem em todas as áreas, entretanto, é compreensível que há escassez de engenheiros com noção de princípios que permitirão maior resistência às construções submetidas à ação da natureza, como é o fato do dimensionamento das estruturas para combater os carregamentos dinâmicos causados por abalos sísmicos.

Conforme Santos e Lima (2006), os abalos sísmicos que ocorrem no Brasil são de baixas magnitudes pelo fato do país estar localizado no centro de uma placa tectônica e os deslocamentos nas extremidades da mesma.

Todavia, esses acidentes não podem ser desconsiderados, pois é relevante o levantamento de ocorrência de abalos sísmicos em países vizinhos que ocasionaram catástrofes que ceifaram a vida de diversas pessoas e situações de calamidade pública, que foram sentidos pela população no Brasil, como foi o caso do ocorrido no Chile em 2010 (GLOBO, 2011).

Segundo Pimentel (2010), à distância do epicentro do terremoto ocorrido no Chile em 2010 aconteceu a aproximadamente 91 quilômetros ao norte da cidade de Concepción e a 320 quilômetros ao sul da capital chilena, Santiago.

Durante a década de 60, ocorreu no Chile o pior terremoto; teve magnitude maior do que o ocorrido no Haiti em 2010, entretanto, com menor consequência devido à maior distância do epicentro.

No Brasil, ocorreram eventos sísmicos nos estados do Rio Grande do Norte, no qual foi mensurado por sismógrafo em Brasília-DF, e em Minas Gerais, no município de Itacarambi, e os casos com maior intensidade ocorreram nos estados de Mato Grosso, litoral do Espírito Santo e Amazonas (MARTINEZ, 2007).

A aprovação da Norma NBR 15421 (ABNT, 2006) e seu aproveitamento nas edificações de concreto armado demonstram abertamente que existem regiões no Brasil com grandes possibilidades de ocorrências de abalos sísmicos, porém, pouco se tem divulgado este material no âmbito acadêmico e no âmbito profissional, desenvolvendo assim um setor com profissionais despreparados para aplicar a norma vigente nas edificações e o desconhecimento das normas dos demais países que se prepararam para a eventual situação.

Em conformidade com Lima e Santos (2008), com o aumento da quantidade de novas construções com características mais altas e esbeltas, para otimizar custos e aumentar a área útil privativa, provavelmente sem as devidas considerações e o devido dimensionamento, ocorrerão prejuízos irreversíveis para a sociedade e “pegará” de surpresa o meio profissional, que faz “vista grossa” para tal consideração.

A aplicação da norma vigente deve ser considerada como preventiva, aplicando-a com o intuito de melhorar as condições perante uma catástrofe natural e evitar o reflexo negativo do Brasil perante as economias globais durante determinado tempo (SANTOS e LIMA, 2006).

O aumento de tecnologias voltadas para a prevenção de abalos sísmicos nas estruturas de concreto armado e a utilização de procedimentos práticos para as análises ainda é pouco divulgado no Brasil devido à frequência de utilização, sendo que não existem iniciativas estatais e nem privadas para incentivar o progresso dos conhecimentos voltados para esta área do setor da engenharia civil.

## **OBJETIVO**

O objetivo deste artigo consiste em analisar, apresentar e discutir, de um modo geral, os acidentes que ocorreram no Brasil e no mundo, mostrando a importância de se aplicarem medidas preventivas nos projetos executivos de estruturas que minimizem consideravelmente os impactos ocasionados pelos abalos sísmicos e exibir alguns dos métodos, procedimentos e normalização utilizados por outros países para execução de estruturas protegidas contra a dissipação da energia gerada pelos sismos.

Para a aplicação, será utilizada a Norma NBR 15421 (ABNT, 2006) que se menciona a procedimentos para dimensionamento de estruturas resistentes a sismos, simultaneamente com outras normas similares vigentes e conceitos técnicos de construções resistentes aos sismos em projetos estruturais.

## **JUSTIFICATIVA**

Tendo em vista as mudanças climáticas envolvendo o Brasil e todo o mundo, motivada justamente pela aplicação de salvaguardas na área da construção civil, o tema se insere no contexto da atual.

A legislação sobre abalos sísmicos no Brasil é de pouca importância por se tratar de uma localização onde esses efeitos ocorrem em uma escala muito baixa e com pouca frequência e, por esse motivo, pouco ou quase nada foi escrito a respeito.

## **METODOLOGIA**

A metodologia utilizada neste trabalho consiste em mostrar a necessidade das técnicas para elaboração de projetos de edificações de concreto armado, com o objetivo de resistir às ações sísmicas, baseando-se na Norma Brasileira NBR 15421 (ABNT, 2006) aprovada em 2006 e a utilização de softwares para a análise estrutural.

De acordo com o tema é acercar-se os principais conceitos em relação aos abalos sísmicos e o desaparecimento da energia causada pelos abalos.

A compreensão deste referiu os abalos resultantes da ação do homem no meio ambiente. Algumas atividades como escavações subterrâneas, exploração de minérios, injeção de fluidos no subsolo a altas pressões, extração de água, execuções de fundações profundas, explosões subterrâneas geram abalos induzidos. Cada ação acima produz sismos de intensidades diferentes, que agi de formas específicas que não serão explicados em detalhes.

Neste, não demonstraremos o monitoramento das estruturas com o uso de diversos métodos, como a medição de novas trincas e utilização de equipamentos específicos que medem as vibrações geradas pelos abalos sísmicos.

O trabalho não trata de informações sobre a segurança de estruturas especiais como pontes, obras hidráulicas (barragens), peças pré-moldadas, entre outras, onde há outros fatores que se devem levar em conta na elaboração do projeto, juntamente com a análise sobre a resistência a abalos sísmicos. E para cada caso há ainda Normas Brasileiras específicas para a elaboração dos mesmos.

Os projetos relativos a estruturas que utilizem outros tipos de materiais como as metálicas e de madeira também não serão mencionadas.

As técnicas de avaliação e reforço de estruturas já existentes, construídas antes do surgimento da tecnologia para resistir aos abalos sísmicos, como construções localizadas em zonas sísmicas, assim como o reparo e a reabilitação de estruturas que tenham sofrido danos causados pelas ações sísmicas não são abordados aqui.

O trabalho foi dividido em 6 capítulos: trata sobre os principais conceitos, formulações e princípios encontrados nas literaturas clássicas, bem como, nas normas brasileiras e internacionais.

O primeiro item do capítulo 2 se refere aos conceitos técnicos geológicos, no qual é apresentados o conceito de movimentação das placas tectônicas e o evento de formação das forças sísmica que ocasionam os terremotos; o zoneamento das regiões sísmicas brasileiras; a ocupação do solo e classificação do terreno quanto à sismicidade.

No segundo item do capítulo 2, são demonstradas as escalas de medição.

No terceiro item do capítulo 2, são apresentados os Abalos Sísmicos Naturais e Induzidos.

O quarto item do capítulo 2 se refere à previsão e Monitoramento dos Sismos.

No quinto item do capítulo 2, são apresentadas as principais ocorrências de abalos sísmicos no mundo e no Brasil

No sexto item do capítulo 2, haverá os conceitos Técnicos em Relação às Estruturas e às forças sísmicas

No capítulo 3, é desenvolvida a conclusão do trabalho.

## **CONCEITOS**

As Teorias Tectônicas Global, que esclarecem a oscilação das placas tectônicas, são baseadas na Teoria da Deriva Continental e da expansão do fundo oceânico. Através da ressalva de evidências como a coincidência entre as formas dos continentes a Teoria da Deriva Continental indica que no passado os continentes estavam unidos e ao longo dos anos foram se distanciando, se movimentando. A expansão dos fundos oceânicos acontece através da Cadeia Meso-Oceânica. Trata-se de uma fenda de mais de 84.000Km ao longo da Terra, por onde o magma quente sobe e encontra a água que possui baixa temperatura, formando novas crostas oceânicas. Através da Teoria Tectônica Global é possível compreender a história geológica da terra, entender alguns fenômenos, como os terremotos e obter uma prévia de como será o futuro do planeta (TASSINARI, 2000).

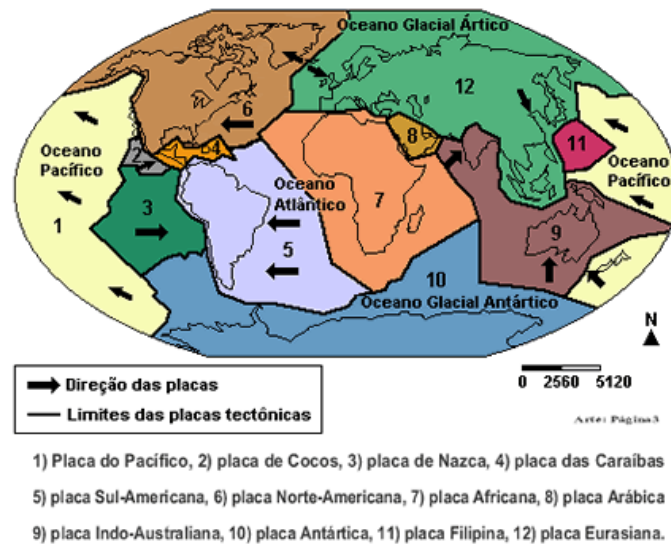
A origem dos sismos pode ser tectônica, quando eles são relacionados às placas tectônicas; vulcânica, quando relacionados a erupções vulcânicas; secundários quando há acomodação de terra, como deslizamentos e afundamento do solo e, induzidos, quando envolvem a ação do homem (IGA, S/D).

## **AS PLACAS TECTÔNICAS E AS FORÇAS SÍSMICAS**

O terremoto pode ser caracterizado como uma forte e rápida oscilação da superfície terrestre provocada pela liberação da energia acumulada durante a movimentação das placas tectônicas ou placas litosféricas, principalmente nas suas bordas (ASSUMPCÃO, 2000).

As placas são grandes porções de solo e rochas que se movimentam lentamente em várias direções sobre a camada da Terra chamada astenosfera, constituída de um fluido viscoso (TRINDADE, S/D). A terra possui algumas placas principais de maior tamanho e placas de tamanhos menores.



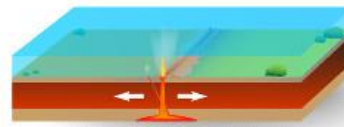


### Foto 1 – Estragos feitos pelo furacão Katrina USA

Fonte: Luiz Carlos Parejo

O tamanho da área de ruptura é a diferença principal entre terremotos de grande magnitude e terremotos de pequenas magnitudes (ASSUMPCÃO, 2000).

Os movimentos das placas ocorrem devido ao acúmulo e dissipação de calor gerado pelo magma e são divididos em três tipos. Os movimentos transformantes são caracterizados pelo movimento lateral entre as placas, podendo ser esquerdo ou direito, como exemplo a falha de Santo André, formada pelas placas do Pacífico e Norte-americana, na América do Norte. Os movimentos destrutivos ou convergentes ocorrem quando as placas se movimentam uma contra a outra, como as placas Indiana e Euroasiática, onde há a formação da cadeia montanhosa do Himalaia. Os movimentos construtivos ou divergentes ocorrem quando as placas se afastam e esse espaço deixado pelo afastamento é preenchido pelo material originado da camada imediatamente abaixo das placas, formada de rocha semiderretida, como exemplo o encontro da placa Norte-americana com a placa Euroasiática. A partir desses movimentos são originados os sismos. (TASSINARI, 2000 e PEREIRA, 2008).



ZONA DE DIVERGÊNCIA



CONVERGÊNCIA (OBDUÇÃO)



CONVERGÊNCIA (SUBDUÇÃO)

## Foto 2 – Diferentes movimentações das placas tectônicas

Fonte: Wikimedia Commons.

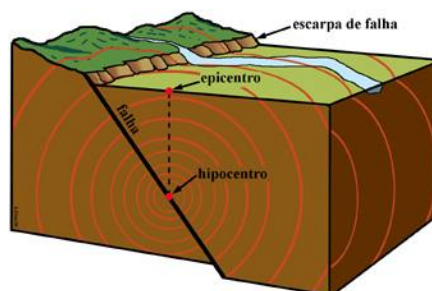
A maioria das atividades sísmicas acontece nos limites das placas, pois quando se encontram há um acúmulo de tensões nas bordas. Quando essas tensões chegam ao limite, superando a resistência das rochas, elas se rompem formando uma falha geológica, que pode ter tamanhos variados, de centímetros até quilômetros, gerando o terremoto de grandes intensidades (TRINDADE, S/D).

Esses sismos são classificados como terremotos interplacas, como exemplo, o Cinturão de Fogo do Pacífico situado na Placa do Pacífico, que concentra muitas ocorrências de terremotos e erupções vulcânicas e a região Oeste da América do Sul, onde a placa Sul Americana e a placa de Nazca se chocam constantemente. Há também terremotos intraplacas que são menos frequentes e de menor intensidade, ocorrendo nas porções mais centrais das placas, como exemplo o Brasil, que está localizado na Placa Sul-americana (BRANCO, 2009).

Há também os sismos intraplacas, ou seja, tremores que ocorrem no interior das placas tectônicas, que geralmente são de menor magnitude e a ruptura não atinge a superfície, como exemplo os tremores que ocorrem no Brasil. Eles são resultado das tensões sofridas nas bordas das placas ou sismos induzidos (ASSUMPCÃO, 2000).



De acordo Trindade (S/D), foco ou hipocentro é o local onde ocorre o rompimento da litosfera e a liberação das tensões acumuladas durante a movimentação das placas, localizadas sempre a quilômetros de profundidade da superfície da crosta e epicentro é o local sobre a superfície da placa localizada diretamente acima do foco.

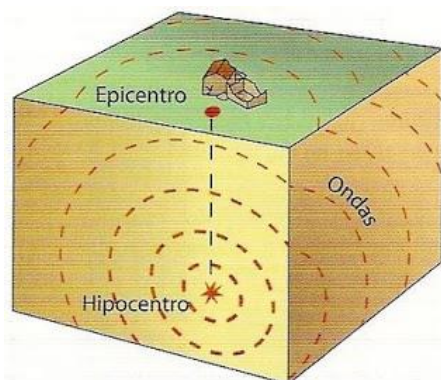


**Foto 3 – Localização do Hipocentro e Epicentro**

Fonte: Esequl.net

As ondas sísmicas geradas pelos terremotos podem ser classificadas como ondas de corpo ou volume e ondas superficiais. As ondas de corpo ou volume percorrem o interior da Terra, podendo ser ondas primárias (ondas P) e ondas secundárias (ondas S), a velocidade destas ondas varia de acordo com o meio em que se propagam (ASSUMPCÃO, 2000).

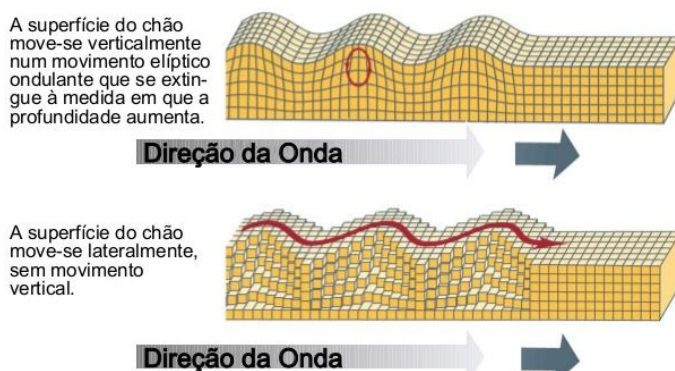
As ondas primárias vibram na mesma direção em que se propagam, longitudinalmente, comprimindo ou dilatando o meio por onde se movem. Deslocam-se com grande velocidade, sendo as ondas que são captadas nas estações sismografias ou centros de observação. As ondas secundárias ou cisalhantes, que são cerca de 60% mais lentas que as primárias, se propagam transversalmente ao solo e apenas em meios sólidos.



**Foto 4 – Propagação das ondas de corpo e ondas de superfície**

Fonte: [geoarmando.blogspot.com](http://geoarmando.blogspot.com)

As ondas superficiais ocorrem a partir do epicentro e são de grande intensidade e duração, ocasionando os piores danos. Elas sofrem interferência das ondas de corpo provocando reverberações. São divididas em ondas de Rayleigh, que são uma mistura das ondas primárias e secundárias, se movimentam verticalmente; e em ondas Love, que provocam cisalhamento horizontal à placa e são resultantes da sobreposição de ondas secundárias com vibrações horizontais, sendo mais rápidas que as ondas Rayleigh, com grande potencial destrutivo (ASSUMPÇÃO, 2000).



**Foto 5– Exemplo de movimentação das ondas superficiais**

Fonte: [pt.slideshare.net](http://pt.slideshare.net)

## ESCALA DE MEDIÇÃO

Segundo IGA (S/D), para avaliar os abalos sísmicos são consideradas as magnitudes, que é a energia permitida pelo terremoto e a intensidade que ajuíza os danos resultantes dos tremores a partir da percepção das pessoas, como ruídos, queda de objetos, prejuízos em edificações e na paisagem em geral.

Para a medição da magnitude existem várias escalas, a mais utilizada é a escala Richter, que foi criada em 1935, pelos sismólogos americanos Charles F. Richter e Beno Gutenberg. Como foi concebida, não possui limite inferior e superior definido, é uma escala logarítmica de base 10, baseada na amplitude das vibrações, que compara os terremotos entre si. Para cada grau da escala a amplitude dos tremores é de dez vezes, isto é, quando um terremoto apresenta magnitude 6 nesta escala, ele tem vibrações dez vezes menores que um tremor de magnitude 7. Ela é baseada nos registros das estações sismográficas (IGA, 2011 e TRINDADE, S/D).

**Tabela 1. – Escala Richter**

Energia liberada em Escala Richter	Consequências do terremoto
Inferior a 3,5 graus	Abalo que pode ser registrado, mas difícil de ser percebido, nesse caso não causa danos.
3,5 a 5,4 graus	Tremor que pode ser percebido, mas que dificilmente causa destruição.
Inferior a 6,0 graus	Terremoto com capacidade de produzir prejuízos com pequena intensidade em edificações com estrutura de elevado índice de qualidade, nas construções de má qualidade o abalo promove grandes danos.
6,1 a 6,9 graus	Essa intensidade possui uma quantidade de energia capaz de gerar destruição e danos em uma área de 100 quilômetros ao redor.
7 a 7,9 graus	Energia liberada com potencial elevado que pode tirar os prédios das fundações, além de causar fendas na superfície, danificar os sistemas de esgoto e água que se encontram no subsolo e que podem ser quebrados.
8 a 8,5 graus	Tremor de grande proporção que deriva grande destruição nas edificações em geral, além de desintegrar pontes, praticamente nenhuma construção é capaz de suportar a energia liberada.
9 graus a 12 graus	Destruição total(hipoteticamente) Poderia partir a Terra ao meio.

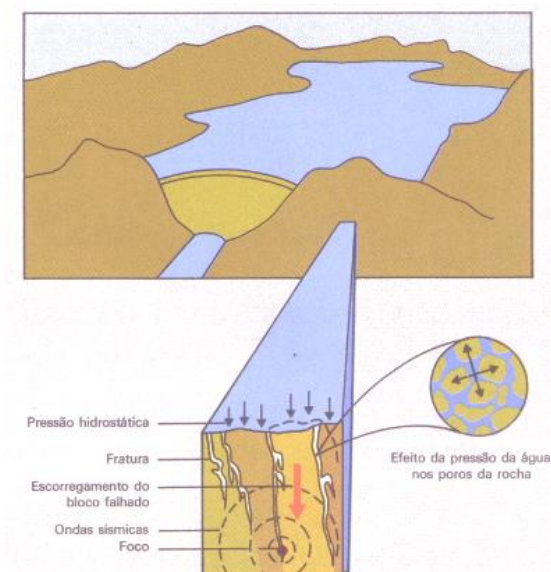
Fonte: Pereira (2008)

## ABALOS SÍSMICOS NATURAIS E INDUZIDOS

Os tremores podem ter causas naturais, como descrito anteriormente, pela movimentação das placas tectônicas, e podem ser induzidos pela ação do homem como, por exemplo, explosões, exploração de minérios, extração de águas subterrâneas, petróleo ou gás e a construção de barragens (BRANCO, 2009).

Geralmente a sismicidade induzida possui pequenas magnitudes, com exceção da construção de barragens e alguns testes nucleares, como o realizado pela URSS em 1961, onde foi detonada uma bomba nuclear de 50 megatonelas gerando um tremor de 7 graus na escala Richter (EBAH, S/D).

O tipo de sismo induzido mais comum é o produzido pela construção de barragens, pois a carga gerada pelo enchimento de água no reservatório altera as condições estáticas naturais das rochas, como há uma variação do nível da água no reservatório, ocorre uma oscilação na pressão que a água exerce, podendo expandir ou criar novas rachaduras nas rochas. Há também um aumento da pressão nas partículas do solo pela infiltração da água, que também se altera de acordo com a oscilação do nível do reservatório. A combinação desses eventos, somados com as forças naturais já existentes induz o sismo. Pequenos abalos podem ser registrados antes e depois do tremor principal (OBSIS, 2011a e LAYTON, 2009).



### **Foto 6 – Exemplo de formação de sismo induzido pela construção de barragens**

Fonte: Obsis (2011a)

A grande dificuldade encontrada é a definição das tensões numa determinada região, não se sabe se na região escolhida para construção do reservatório já existem tensões que serão potencializadas pelo novo reservatório (ASSUMPCÃO, 2000).

Há registros de oito tremores no mundo todo, causados pela construção de reservatórios com magnitudes maiores que 5,0 graus na escala Richter. O mais forte ocorreu na Índia em 1967, com a represa Koyna, com magnitude de 6,5 graus na escala Richter, causando 200 mortes e vários danos às construções. (GUSPTA, 1992 apud OBSIS, 2011a).

Em conformidade com Layton (2009), o terremoto ocorrido em 2008 na província de Sichuan, China, pode ter sido desencadeado pela represa de Zipingpu, que possui capacidade de armazenamento superior a um bilhão de metros cúbicos de água. A figura a seguir mostra os danos causados pelo tremor.

### **MONITORAMENTO E PREVISÃO DOS SISMOS**

Apesar do grande conhecimento da formação dos sismos ainda não existe um método para se prever a ocorrência de terremotos. Avaliando as etapas da formação dos terremotos, seriam possíveis duas maneiras para previsão: realizar medições diretas das tensões da crosta e observar os fenômenos que indicam a iminência de ruptura. A primeira maneira ainda é difícil de ser realizada, pois não há tecnologia para vencer grandes profundidades e para ter as precisões necessárias (ASSUMPCÃO, 2000).

Tal qual Dias (2000), existem alguns métodos para realizar a previsão de terremotos, como a análise do histórico de tremores precursoros ao sismo principal; a avaliação de variações da topografia, pois após alguns sismos há a recuperação topográfica, e hoje várias regiões são monitoradas para detectar essas variações; a observação das lacunas sísmicas, que são áreas ao longo das falhas geológicas que nos últimos anos não sofreram grandes tremores e o monitoramento das modificações na velocidade das ondas primárias e nas ondas secundárias, pois dias antes do terremoto principal foi observada uma diminuição da velocidade dessas ondas, que voltaram ao normal após o tremor.



Há algumas ações bem-sucedidas na previsão de sismos como em 4 de fevereiro de 1975, quando os chineses, baseados no histórico de tremores nos dias antecessores, realizaram a previsão do terremoto de magnitude 7,3. Com isso foi possível planejar a evacuação de mais de 1 milhão de pessoas, porém em 1976 ocorreu um terremoto em T'Hanskan, que não houve aviso de tremores antecessores.

Hoje, com novas tecnologias é possível mostrar em tempo real o monitoramento de sismo no mundo todo (<http://www.painelglobal.com.br/>), são utilizados vários tipos de sismógrafos e equipamentos de GPS para observar os deslocamentos causados pelos tremores. No Brasil há uma rede de monitoramento realizada pelo Observatório Sismológico da Universidade de Brasília, onde são utilizados sismógrafos digitais de alta sensibilidade com alta faixa dinâmica, podendo captar tremores bem pequenos e muito grandes. Os dados são coletados e gravados em discos rígidos com grande capacidade de armazenamento de dados e mais rapidez no acesso às informações colhidas (OBSIS, S/Db).

## **ABALOS SÍSMICOS NO MUNDO E NO BRASIL**

Assim como um sismo de grande magnitude advir, bastam alguns segundos para quase toda a população do planeta ficar sabendo e se abalar com a catástrofe por ele provocada, a atenção do mundo inteiro se volta para tal, todavia em épocas anteriores, as informações eram poucas e retidas nos locais dos acontecimentos.

A China é uma das civilizações mais antigas, país mais populoso do planeta é também o país que mais sofreu perdas de vidas humanas com sismos, foram eles que criaram o primeiro sismógrafo e o primeiro a catalogar terremotos (OBSIS, 2011c).

Em concordância com Serra (2003), as ocorrências sísmicas sempre representaram para a humanidade causa de grandes perdas vidas e prejuízos financeiros, despertando também curiosidade, portanto, não é estranho que esses acontecimentos e os seus efeitos, fossem detalhados com muita comoção.

Além disso, o desenvolvimento da instrumentação sísmica, era registrada apenas a data e hora da ocorrência e alguns efeitos nos locais da ocorrência. Com o aprimoramento dos instrumentos de medida dos movimentos sísmicos, a partir da década de 40 do século 20, os



instrumentos que inicialmente eram limitados aos movimentos superficiais foram evoluindo e se espalhando por todas as regiões com atividade sísmica. Com essa melhora as informações coletadas passaram a ser um conjunto de registros homogêneos, contendo para cada atividade sísmica ocorrida, pelo menos, a informação sobre a data, a localização do epicentro, uma estimativa da magnitude e/ou da intensidade macrosísmica epicentral constituindo um catálogo sísmico mais completo, facilitando a caracterização estatística da sismicidade.

Como divulgado pelo UOL (2011), quanto à magnitude, pode-se colocar uma classificação da seguinte forma considerando os terremotos da era instrumental:

1. Magnitude 9.5 - Chile, 1960
2. Magnitude 9.2 – Alaska, 1964
3. Magnitude 9.1 - Sumatra (Indonésia), 2004
4. Magnitude 9.0 - Japão, 2011
5. Magnitude 9.0 - Rússia, 1952
6. Magnitude 8.8 - Chile, 2010
7. Magnitude 8.8 - Equador, 1906
8. Magnitude 8.7 - Alaska (EUA), 1965
9. Magnitude 8.7 - Sumatra (Indonésia), 2005
10. Magnitude 8.6 - Tibete (China), 1950

Consoante Corrêa (2010), por um grande período, achava-se que o Brasil estivesse isento dos terremotos por estar situado em uma zona passiva, ou seja, não se encontrar sobre as bordas de uma placa-tectônica, local mais propício para a ocorrência de terremotos. Com o avanço da tecnologia sabemos que os terremotos ocorrem também em regiões denominadas passivas, como é o caso brasileiro, situadas no interior da Placa Sul-Americana. Porém, os tremores sísmicos são mais suaves, menos intensos e dificilmente de grande magnitude nessas regiões.

A ocorrência dos terremotos no Brasil é originada do movimento dos blocos em zonas de falhas devido ao desgaste da placa tectônica ou são reflexos de terremotos que apresentam seu epicentro em outros países da América Latina. Os abalos sísmicos ocorridos no Brasil são

distintos dos terremotos que ocorrem em outros locais do mundo, em especial os que se encontram na zona denominada “cinturão de fogo”, como por exemplo, o Japão, o Chile, o Peru e outros países, onde ocorre o encontro de duas ou mais placas tectônicas, e as falhas existentes entre estas placas são, normalmente, os locais mais propícios para ocorrer os terremotos de grande magnitude. Embora as atividades sísmicas, no Brasil, sejam raras e bem menos intensas, não deixam de ser significativas e não devem ser desprezadas, pois em nosso país já houve vários tremores com magnitude acima de 5,0 na Escala Richter, indicando que o risco sísmico não pode ser simplesmente ignorado (CORRÊA, 2010).

“A grande parte dos sismos brasileiros e de pequena magnitude (4.5). Comumente, eles ocorrem à baixa profundidade (30 km) e, por isso, são sentidos até poucos quilômetros do epicentro. Este é, quase sempre, o padrão de sismicidade esperado para regiões de interior de placas. No entanto, a história tem mostrado que, mesmo nestas ”regiões tranquilas”, podem acontecer grandes terremotos. O leste dos Estados Unidos, com nível de atividade sísmica equivalente à do Brasil, foi surpreendido, no século passado, pela ocorrência de super-terremotos com magnitudes em torno de 8.0. É preciso investigar regiões intra-placas com maior detalhe em nível global. Pouco se sabe, ainda, sobre o estado de esforços nestas áreas. Considerando que nelas, são mais longos os períodos de recorrência de grandes terremotos, as regiões intra-placas se tornam, também, áreas potencialmente perigosas para sismos catastróficos” (PEREIRA, 2008, pg. 23/24)

Conforme UNB (2011), vários relatos históricos de sismos sentidos em diferentes pontos do Brasil, como o do Ceará (5.2 na escala Richter) e a atividade de João Câmara, RN (5.1 na escala Richter) prova que os sismos podem trazer danos materiais, ocasionar transtornos à população e chegar, em alguns casos, a levar pânico incontrollável às pessoas.

Os tremores de intensidade mais alta como o de Mato Grosso (6.6 na escala Richter), litoral do Espírito Santo (6.3 na escala Richter) e Amazonas (5.5 na escala Richter) ocorreram em áreas desabitadas. Não é possível prever os tremores nem a sua localização, mas é possível afirmar que se ocorrer um sismo com as intensidades acima em uma cidade com grande densidade demográfica terá um grande número de vítimas fatais.

De acordo com artigo divulgado por Martinez (2007), o vilarejo rural de Carafbas, em Itacarambi, Minas Gerais, entrou para a história do Brasil no dia 9 de dezembro de 2007. Um terremoto provocou o desabamento de uma parede matando a menina Jesiane Oliveira da Silva, de cinco anos.

O tremor de Itacarambi teve intensidade de 4,9 graus na escala Richter e, além de óbito, deixou cinco feridos e várias casas destruídas (MARTINEZ, 2007).

## **PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS DE ABALOS SÍSMICOS NO MUNDO E NO BRASIL**

Para a elaboração de projeto de estruturas em concreto armado, é relevante considerar as normas que regem as diretrizes de dimensionamentos e as suas considerações referentes aos estados limites últimos e de serviço, devendo ainda considerar os princípios de carregamentos e de combinações de cargas.

De acordo com Lima e Santos (2008), a análise das estruturas submetidas a efeitos sísmicos devem ser elaboradas por meio da análise dinâmica e considerar a norma brasileira pertinente ao assunto de sismicidade nas estruturas, Norma NBR 15421 (ABNT, 2006).

É importante, ainda, o conhecimento de algumas normas internacionais pertinentes à sismicidade nas estruturas para conhecimento das diferenças e de informações que podem agregar conhecimento nos dimensionamentos das estruturas.

De acordo com Lima e Santos (2008) no Brasil era indisponível a normalização anti-sismo para a estrutura das edificações. A primeira a ser oficializada foi a NBR 15421 – Norma Brasileira de Estruturas Resistentes a Sismos. No entanto, além desta norma, outras estão sendo desenvolvidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A NBR 15421 (ABNT, 2006) define os princípios para avaliação da estabilidade das estruturas das edificações resistentes as ações sísmicas.

De acordo com a referida Norma, o território brasileiro é classificado em cinco categorias sísmicas, sendo que para cada categoria sísmica é definido o requisito de análise. Em função das categorias sísmicas, são definidos os requisitos dos sistemas estruturais adequados e as irregularidades aceitáveis.

Quanto aos procedimentos de análise sísmica, a NBR 15421 (ABNT, 2006) orienta que pode ser utilizado o processo simplificado, método das forças horizontais equivalentes, para as categorias classificadas em B e C, no entanto, todas as categorias sísmicas podem ser analisadas utilizando processos mais rigorosos como a análise por espectro de resposta e histórico de acelerações no tempo.

“A Norma determina os requisitos mínimos para a resistência sísmica dos componentes não estruturais dos prédios em função da categoria sísmica e do fator de importância”.

## CONCLUSÃO

Foi observado que a ocorrência de abalos sísmicos no Brasil e no mundo é um evento que é, historicamente, antigo e pode ser acompanhado de consequências graves para a sociedade, tais como perdas materiais e humanas. No entanto, com o passar dos anos os países que mais sofreram essas consequências se desenvolveram tecnicamente por meio de elaboração de normas técnicas, de sistemas introduzidos nas estruturas e de aparelhos de medição que auxiliam na minimização dos impactos produzidos pelos abalos sísmicos naturais e induzidos sobre as cidades.

No Brasil, até pouco tempo atrás, o assunto abalo sísmico era pouco estudado, porém com a elaboração da Norma NBR 15421 (ABNT, 2006), fica constatado que o Brasil também apresenta características físicas que possibilitam a ocorrência de abalo sísmico nas estruturas, sendo que as regiões norte e nordeste apresentam maior suscetibilidade a este fenômeno, conforme pode ser verificado nos estudos de caso com as respectivas cidades citadas.

Conforme os estudos de caso apresentados, é considerável que as características da região sísmica classificada de acordo com a Norma NBR 15421 (ABNT, 2006), influencia consideravelmente nas atuações dos esforços na estrutura analisada. Portanto, as considerações de projeto de estrutura de concreto armado devem ser analisadas individualmente para cada região sísmica, não podendo ser utilizado o mesmo projeto estrutural e o dimensionamento para regiões distintas. Há que se lembrar que as condições geológicas e geotécnicas também devem ser analisadas criteriosamente.

Apesar de já existir no Brasil a norma técnica específica para análise e desenvolvimento de projetos estruturais resistentes aos sismos, ainda há muito que se aperfeiçoar tecnicamente, no que diz respeito ao acompanhamento e monitoramento das ocorrências sísmicas e no desenvolvimento de novos elementos estruturais construtivos que complementem os projetos estruturais elaborados, melhorando as condições técnicas exequíveis visando à minimização dos impactos dos abalos sísmicos nas estruturas de concreto armado portanto criada pelas mesmas bases da sustentabilidade: econômicas, sociais e ambientais. O equilíbrio entre essas três áreas assegura a qualidade de vida na cidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APOLO 11 - 1. **Mapa dos Principais Lineamentos e Falhas Brasileiros** com Indícios de Movimentação Quartenária: 1ª Aproximação. Disponível em: . Acesso em: 03 maio 2011.

APOLO 11 - 1. **Terremotos Mais Destrutivos da História**. Disponível em: . Acesso em: 03 maio 2011.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **Solo – Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT – Método de ensaio**. NBR 6484, Rio de Janeiro, 2001.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos - Procedimento**. NBR 15421, Rio de Janeiro, 2006.

ASSUMPTÃO, Marcelo; DIAS NETO, Coriolano M.. **Sismicidade e Estrutura da Terra**. Capítulo 3. In: Investigado a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p. 44-62.

AZEVEDO, Jorge Manuel Santos. **Critérios de utilização de programas de cálculo automático integral na análise e no dimensionamento sísmico de estruturas de 129 edifícios**. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Portugal, 2003.

BRANCO, Percio De Moraes. **CPRM - Serviço Geológico Do Brasil** - Ministério De Minas E Energia - Secretaria De Minas E Metalurgia. Os Terremotos. 2009. Disponível em: . Acesso em: 12 abr. 2011.

GLOBO. **Mortos por causa de terremoto no Chile já são mais de 300**, diz governo. Disponível em: . Acesso em 25 de abr. 2011.

IGA - INSTITUTO GEOFÍSICO E ASTRONÓMICO - USP UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (Org.). **Apostila de laboratório de Sismologia** - parte 1: Introdução a Geofísica I. 2009. Disponível em: < [http://www.iag.usp.br/~eder/Aula\\_de\\_Lab\\_B210.pdf](http://www.iag.usp.br/~eder/Aula_de_Lab_B210.pdf)>. Acesso em: 12 abr. 2011.

IGA - INSTITUTO GEOFÍSICO E ASTRONÓMICO - USP UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (Org.). **Apostila de laboratório de Sismologia** - parte 2: Introdução a Geofísica I. Disponível em: . Acesso em: 12 abr. 2011.



LIMA, Silvio de S. e SANTOS, Sérgio H. C. **Análise dinâmica das estruturas**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2008.

MARTINEZ, Manuela. **Terremoto: Tremor causa primeira morte no país**. Disponível em: . Acesso em: 04 maio 2011.

PEREIRA, Rodrigo Américo; FERREIRA, Waldonório Graça; BEZERRA, Allan Domingos Silva. **Abalos Sísmicos no Brasil e No Mundo**. Vitoria: CREA-ES, 2008. Disponível em: . Acesso em: 01 maio 2011.

PIMENTEL, Alonso R. **O terremoto do Chile**. 2010. Disponível em: . Acesso em 01 de abr. 2011.

SANTOS, Sérgio H. C. e LIMA, Silvio de S. **Estimativa do impacto no projeto de edificações da proposta de norma brasileira de sismo**. Anais do 48º Congresso Brasileiro do Concreto - IBRACON, Rio de Janeiro, Brasil, 2006.

TASSINARI, Colombo C.G... **Tectônica Global**. Capítulo 6. In: Investigado a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p. 98-112.

TRINDADE, Ricardo I. F.; MOLINA, Prof. Dr. Eder C.. **Geofísica: A Terra vista pelo buraco da fechadura**. IGA - Instituto Geofísico e Astronomico - USP - Universidade de São Paulo. Disponível em: . Acesso em: 01 maio 2011.