

Um olhar crítico sobre o procedimento simplificado das forças horizontais da NBR 15421:2023

EDUARDO M. V. PEREIRA - PROF. - <https://orcid.org/0000-0003-0436-9676> (eduardo.marquesvp@gmail.com) | UFJF
RODRIGO B. ANDRADE - DOUT. - <https://orcid.org/0000-0003-3448-5205> (rodrigo31ba@gmail.com) | UNICAMP
PETRUS G. B. DA NÓBREGA - PROF. - <https://orcid.org/0000-0002-8597-0158> (petrus.nobrega@ufrn.br) | UFRN

RESUMO

ESTE ARTIGO DISCUTE O PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO DAS AÇÕES HORIZONTAIS PRESENTE NA ABNT NBR 15421. O PROCEDIMENTO É COMPARADO COM O MÉTODO DAS FORÇAS HORIZONTAIS EQUIVALENTES EM TERMOS DE FORÇAS TOTAIS GERADAS NA BASE PARA DIFERENTES PERÍODOS DE VIBRAÇÃO, FATORES DE IMPORTÂNCIA E CLASSES DO TERRENO. ADEMAIS, OS FUNDAMENTOS DO PROCEDIMENTO E A SUA APLICABILIDADE NO CONTEXTO BRASILEIRO SÃO DISCUTIDOS E COMPARADOS COM OS PRESCRITOS PELA NORMA NORTE-AMERICANA ASCE 7-22. FOI POSSÍVEL CONCLUIR QUE A SUA APLICABILIDADE NÃO É DE TODO CONSISTENTE COM O QUE PRECONIZA A NORMA QUE SERVIU DE BASE PARA A ABNT NBR 15421, DE MANEIRA QUE ESTUDOS FUTUROS DEVEM ESTABELECEER PROCEDIMENTOS MAIS BEM EMBASADOS, DADA A DISCREPÂNCIA ENTRE O PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO E O MÉTODO DAS FORÇAS EQUIVALENTES, TAMBÉM DEMONSTRADA NESTE ARTIGO.

PALAVRAS-CHAVE: SISMO, DINÂMICA, PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país considerado de baixa atividade sísmica, onde terremotos são infrequentes e geralmente de baixa magnitude. Ainda assim, isso não significa que esses sismos não podem danificar ou mesmo fazer colapsar edificações, de sorte que isso deve ser avaliado no projeto estrutural. Para isso, o país conta com a ABNT NBR 15421, cuja revisão foi recentemente publicada, em maio de 2023 (a partir daqui denominada como NBR 15421:2023), para prescrever os critérios de análise e dimensionamento para ações sísmicas.

As normas técnicas internacionais acerca das estruturas sismorresistentes costumam

ser análogas. São preconizados mapas com acelerações a serem utilizadas para estimar as ações solicitantes devidas a sismos. Essas acelerações geralmente estão associadas a um período de retorno (PR). As acelerações também têm um solo de referência, classificado de acordo com o número médio de golpes de SPT nos primeiros 30 metros ou com

a velocidade de propagação de ondas de cisalhamento $\bar{v}_{s,30}$ nesse intervalo.

Por exemplo, a NBR 15421:2023 apresenta um mapa com diferentes zonas sísmicas de aceleração máxima do solo, com um PR de 475 anos (Figura 1) para um terreno rocha, em que $\bar{v}_{s,30}$ está entre 1500 m/s e 760 m/s. Essas acelerações são utilizadas para estimar as ações sísmicas por diferentes métodos que, por sua vez, podem ser estáticos (processos aproximados e normalmente conservadores) ou dinâmicos. Após a determinação das ações, os esforços internos seguem as regras usuais de combinação daquelas.

Os critérios no tratamento das ações sísmicas variam de complexidade em função da grandeza dessa aceleração. Em regiões de menor atividade sísmica, as normas costumam dispensar a necessidade de

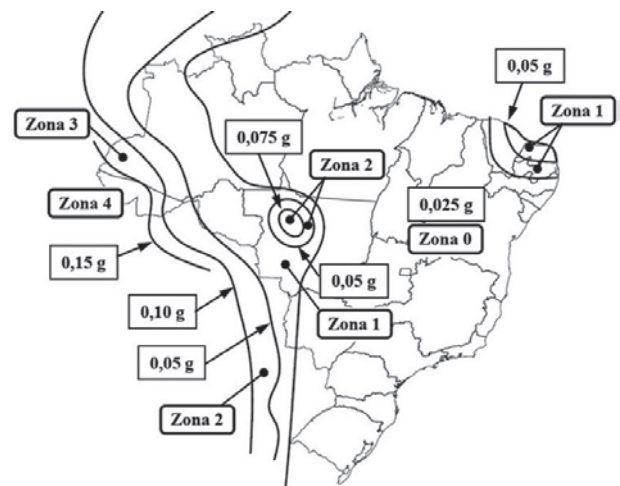


FIGURA 1

MAPA DE ACELERAÇÃO SÍSMICA DA NBR 15421:2023

qualquer verificação sísmica ou preconizar metodologias simplificadas. Este artigo tem como objetivo discutir o procedimento simplificado atual da NBR 15421:2023, comparando-o com o da norma americana ASCE 7-22 (ASCE, 2021), indicando certas características desfavoráveis na versão brasileira, de forma a mostrar caminhos onde esta pode ser aprimorada no futuro.

2. O PROCEDIMENTO SIMPLIFICADO

O procedimento simplificado da NBR 15421:2023 para a aplicação de carregamentos horizontais é empregado em regiões de pequena aceleração de projeto (zona 1 da norma, Figura 1). Nessas regiões, um carregamento lateral estático proporcional a 1% do peso efetivo é aplicado em cada pavimento, correspondendo assim a 0,01W de força lateral total, onde W é o peso

efetivo da edificação. Na zona 0, a zona de menor sismicidade da NBR 15421:2023, nenhuma ação lateral é necessária.

Apenas na zona 2 ou superior (onde a aceleração de projeto a_g é maior que 0,05g) é exigida a aplicação de ações sísmicas pelo método das forças equivalentes ou por processos mais rigorosos. Esses últimos levam em conta não apenas a aceleração de projeto esperada, mas também as características que a prática de engenharia reconhece como as mais importantes para solicitações sísmicas: o tipo de solo, a importância da edificação, o período de vibração e o sistema estrutural adotado. Por outro lado, o procedimento simplificado é praticamente independente dessas características citadas, e de forma mais importante, da própria aceleração de projeto esperada para a localidade.

Na ASCE 7-22, para zonas de menor sismicidade (categoria sísmica A) é exigido um carregamento lateral proporcional a 1% do peso, isto é, 0,01 W, de forma idêntica à zona 1 brasileira. Observa-se, porém, que para os EUA não há critério que absolutamente dispense esta força lateral (ela sempre será aplicada). Desta forma, embora seja plenamente aceitável que procedimentos simplificados de projeto desconsiderem certos efeitos, é de forma geral esperado que esses estejam a favor da segurança (ou, pelo menos, que não estejam contra a segurança), bem como que ofereçam uma transição relativamente suave para outras metodologias quando aplicadas.

3. ANÁLISE DOS PROCEDIMENTOS

3.1 Descontinuidade dos carregamentos horizontais

Uma das principais críticas ao procedimento simplificado da NBR 15421:2023 está na forte descontinuidade do carregamento horizontal aplicado, conforme a zona sísmica e a sua aceleração característica de projeto (a_g) associada, quando comparado com o método das forças laterais equivalentes, doravante denominado MFHE. Nesta seção, discute-se a presença e a consequência dessa descontinuidade para a magnitude das forças laterais totais na base.

Conforme a NBR 15421:2023, e adotando-se o MFHE, a força horizontal total na base H é dada em função do peso efetivo W e do coeficiente de resposta sísmica C_s (que atua como um coeficiente de fração do peso):

$$[1] \quad H = C_s \cdot W$$

O coeficiente C_s pode ser calculado como:

$$[2] \quad C_s = \frac{2,5 (a_{gs0}/g)}{(R/I)}$$

Onde a_{gs0} é a aceleração corrigida para o efeito do tipo de solo, g é a aceleração da gravidade, R é o coeficiente de modificação de resposta (que leva em conta o sistema estrutural) e I é o fator de importância de utilização. Observa-se que C_s varia linearmente em função de a_{gs0} e que ele ainda é limitado por um valor máximo (definido

em norma), função do período de vibração da estrutura T.

Por exemplo, para uma região na zona 2 com $a_g = 0,07g$, para um terreno tipo C (o que leva a um $a_{gs0} = 1,2 \cdot a_g = 0,084g$), para para $R = 3$ e $I = 1,5$, supondo uma estrutura com período de vibração baixo ($T = 0,2$) tem-se:

$$[3] \quad C_s = \frac{2,5 \cdot (0,084)}{3/1,5} = 0,11$$

Com o valor C_s não necessitando ser superior a 0,22 devido ao período da estrutura. Nesse caso, tem-se uma estrutura que receberá 11% de seu peso efetivo como força lateral total.

Na Figura 2, apresenta-se o carregamento sísmico lateral em termos do coeficiente de fração C_s , preconizado pela norma em função da aceleração a_g , dados pela linha preta em “degraus”. As linhas tracejadas azul, amarela e verde (cada cor associada a uma classe do terreno) representam qual seria o valor do carregamento se o MFHE fosse utilizado para qualquer zona de aceleração. Nas Zonas 0 e 1 (caracterizadas pelo limite $a_g = 0,025g$), o procedimento simplificado é o vigente, de forma que os carregamentos laterais totais equivalem a valores nulos na zona 0 e 1% do peso total, isto é, 0,01W na Zona 1 (ver traçado preto na Figura 2). A partir da Zona 2 ($a_g > 0,05g$), o carregamento horizontal (conforme o MFHE) aumenta abruptamente e se torna crescente conforme a aceleração de projeto, dependendo também de fatores como solo e importância da edificação.

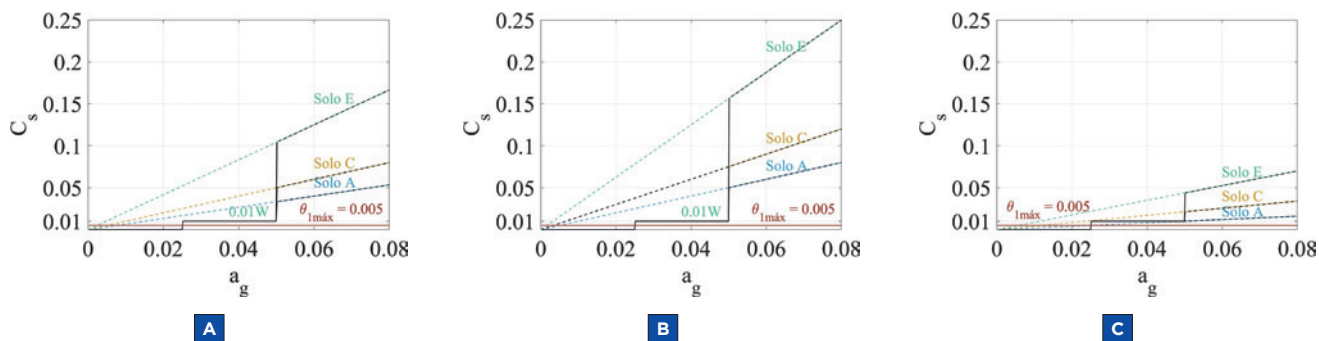


FIGURA 2

COMPARAÇÃO ENTRE AS FRAÇÕES DO PESO EFETIVO W, PARA DIFERENTES ACELERAÇÕES DE PROJETO a_g . LINHA CHEIA: UTILIZAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO E DO MFHE. LINHAS TRACEJADAS: CÁLCULO UTILIZANDO-SE O MFHE PARA AS ZONAS 0 E 1. (A) $I = 1$, $T = 0,2s$; (B) $I = 1,5$, $T = 0,2s$; (C) $I = 1$, $T = 1s$

Adicionalmente, o efeito do carregamento sísmico como porcentagem do peso efetivo é comparado com o efeito máximo de desaprumo exigido pela NBR 6118:2014. O carregamento devido ao desaprumo também é usualmente aplicado como uma força lateral estática. O maior ângulo de desaprumo aplicável conforme o item 11.3.3.4.1 da NBR 6118:2014 é $\theta_{m\acute{a}x} = 1/200 = 0,005$, que está indicado na Figura 2. Assim, esse tipo de comparação é conveniente para situar os carregamentos horizontais aplicados usualmente em edifícios baixos na prática atual de projetos brasileiros.

Inicialmente (Figura 2a) foi considerado um edifício em pórticos de concreto armado, cujo coeficiente de modificação de resposta $R = 3$, fator de importância $I = 1$ (relativo a casos usuais), e período de vibração $T = 0,2s$ (associado a edifícios baixos). Nessa figura, torna-se perceptível a descontinuidade no carregamento lateral aplicado devido ao procedimento simplificado e ao MFHE, especialmente para os solos menos rígidos.

Tal situação é indesejável por alguns fatores. O primeiro deles é que esse comportamento pode estar contra a segurança em relação ao MFHE. Na zona 0, por exemplo (onde $a_g \leq 0,025g$), nenhum carregamento sísmico é aplicado, ainda que carregamentos laterais previstos pelo MFHE possam facilmente alcançar a ordem de grandeza do carregamento de desaprumo. Já na zona 1, ainda que o carregamento lateral pelo procedimento simplificado seja o dobro do atribuído ao desaprumo máximo, valores esperados pelo MFHE podem ser várias vezes maiores.

O segundo aspecto indesejado atribuído a essa descontinuidade está na sua falta de interação com parâmetros importantes como o solo, o período de vibração e a importância da edificação. No segundo caso (Figura 2b), utilizou-se um fator de importância $I = 1,5$ associado a instituições de emergência ou segurança. Nesse caso, observa-se uma discrepância ainda maior para todas as classes do terreno, incluindo forças laterais 10 vezes maiores que 1% do peso para a zona 1 e para a classe de terreno E.

Por fim, o terceiro efeito indesejado na forte descontinuidade está na incongruência entre as diferentes regiões do país e

como elas são requisitadas para o dimensionamento sismorresistente. Tem-se uma situação onde uma mudança geográfica pequena pode provocar demasiada diferença no carregamento lateral.

Devem ser apontadas, por fim, algumas observações importantes. No terceiro caso analisado (Figura 2c), adotou-se $T = 1s$, característico de edifícios com maior altura. Nesse caso, o procedimento simplificado (aplicação de $0,01W$) posiciona-se a favor da segurança para a classe do terreno A em relação à tendência linear do MFHE (não por acaso, no uso do MFHE na zona 2 ou acima, esse não pode resultar menor que $0,01W$ de força lateral total). Assim, para essa situação, o fator $0,01W$ para a zona 1 é bastante efetivo em sobrepor o efeito do carregamento esperado pelo MFHE, sem maiores descontinuidades, e ainda aplicado de forma muito mais simples ao projeto. Por outro lado, mais uma vez o procedimento simplificado resulta menor para classes do terreno associadas a solos menos rígidos (terrenos tipo “C” ou “E”).

3.2 Limites de aplicação do procedimento simplificado

Tendo em vista que o procedimento simplificado produz um resultado de ações frequentemente inferior ao MFHE, é importante discutir se a sua aplicação no contexto brasileiro encontra justificativa na sua origem. A norma brasileira é fortemente baseada na ASCE-7, norma norte-americana de ações e procedimentos de cálculo, portanto é relevante discutir como essa última lida com o procedimento simplificado.

A ASCE 7-22 classifica as estruturas de acordo com uma Categoria de Dimensionamento Sísmico (CDS), para que os procedimentos de cálculo variem em complexidade. Por exemplo, é mencionado que as estruturas da CDS “A” só precisam atender aos requisitos básicos do item 1.4 da norma, sendo apresentado no item 1.4.2 o procedimento simplificado preconizado pela ASCE 7. Para que uma estrutura seja da CDS “A”, as acelerações espectrais de projeto esperadas no local nos períodos de vibração de $0,2s$ (S_{DS}) e $1,0s$ (S_{D1}), que já consideram a classe de terreno local, devem ser menores que $0,167g$ e $0,067g$, respectivamente.

As acelerações S_{DS} e S_{D1} são obtidas multiplicando as acelerações do mapa de

ameaça sísmica, denominadas de “Máximo Terremoto Considerado” (*Maximum Considered Earthquake*, MCE), por $2/3$ — note-se que, a despeito da terminologia, o MCE é análogo ao mapa da NBR 15421 (Figura 1). Nesse ponto, é essencial esclarecer alguns aspectos acerca do MCE: (1) o PR das acelerações; (2) a componente horizontal de aceleração; e (3) o fator de $2/3$.

As acelerações MCE da ASCE 7-22 não estão relacionadas a um PR específico, mas são aquelas que fornecem uma probabilidade de colapso de 1% em 50 anos para as estruturas projetadas. Apesar disso, são acelerações da ordem de cerca de 80% a 100% do que seria, caso tivessem 2.475 anos de PR.

O segundo aspecto tem sua origem no fato de que as acelerações sísmicas apresentam, de fato, três componentes translacionais. Na norma norte-americana, a referência é a maior das componentes horizontais. A norma brasileira, apesar de não explicitar isso, mas com base no trabalho que originou o seu mapa (Alves, 2020), tem como referência a média geométrica das duas componentes de acelerações horizontais. A ASCE 7-22 menciona que a média geométrica deve ser amplificada por fatores de 1,2 a 1,3 para representar a maior das componentes.

O terceiro aspecto tem como base a suposta existência de uma margem de segurança de 50% no dimensionamento. Isto é, uma estrutura projetada para $2/3$ MCE tem conservadorismo suficiente para resistir ao MCE. Apesar da norma não mencionar a existência dessa margem de segurança, ela é mencionada diversas vezes em publicações relacionadas (Leyendecker *et al.*, 2000; Stewart *et al.*, 2020).

Uma vez determinadas as acelerações S_{DS} e S_{D1} , a estrutura é enquadrada em uma CDS. Na seção C11.6, a ASCE-7 apresenta, de maneira qualitativa, o desempenho esperado de estruturas em cada uma das CDS. Uma estrutura de CDS “A” é aquela que, após ser submetida ao MCE, não apresentaria nenhum dano real. No item C11.7, a norma comenta que as acelerações do MCE normalmente estão abaixo daquelas associadas a danos graves para a CDS “A”.

Diante do exposto, é possível afirmar que o desempenho esperado em uma CDS “A” está condicionado às acelerações MCE, aquelas que têm cerca de 2.475 anos de PR.

Além disso, a classificação leva em conta o tipo de solo em que a edificação está localizada, uma diferente componente espectral e um multiplicador de 2/3. Qualquer tentativa de adaptar esse procedimento a outro contexto deve se atentar a esses aspectos.

Na Figura 3 são apresentados os espectros de resposta para o PR de 2.475 anos da Zona 1 (no Nordeste) e classe do terreno A a E, retirados de Alves (2020), junto com o espectro convertido para a máxima componente horizontal (superior) e esse multiplicado por 2/3 (inferior). Os fatores de amplificação de Seyhan e Stewart (2014), que serviram de base para os fatores da ASCE 7, foram utilizados para converter as acelerações para cada classe do terreno. Para classes A e E, os valores de $\bar{v}_{s,30}$ adotados foram de 1500m/s e 150m/s, respectivamente; para as outras classes, o valor médio entre os limites foi adotado.

A título de exemplificação, a verificação da aplicabilidade do procedimento simplificado de acordo com a ASCE 7-22 é demonstrada a seguir para um terreno classe B na Zona 1 no Nordeste (Figura 3a). De acordo com Alves (2020) (Anexo A,

p. 147), as acelerações espectrais S_s e S_1 na Zona 1 para terreno classe B e período de retorno de 2475 anos são 0,147g e 0,028g, respectivamente. Primeiramente, as acelerações são convertidas para a mesma componente espectral de referência da ASCE 7 utilizando os multiplicadores apresentados em seu item 21.1:

$$[4] \quad S_s = 0,147 \cdot 1,20 = 0,176g$$

$$[5] \quad S_1 = 0,028 \cdot 1,25 = 0,035g$$

Posteriormente, o multiplicador de 2/3 é aplicado para chegar nas acelerações de projeto:

$$[6] \quad S_{DS} = \frac{2}{3} \cdot 0,176g = 0,117g$$

$$[7] \quad S_{D1} = \frac{2}{3} \cdot 0,035g = 0,023g$$

Os valores de S_{DS} e S_{D1} são inferiores a 0,167g e 0,067g, respectivamente, portanto o procedimento simplificado poderia ser aplicado.

Caso fosse considerado uma outra classe de terreno, por exemplo a classe D, as

acelerações 0,176g e 0,035g deveriam ser multiplicadas por fatores que consideram o tipo de solo local. No caso do presente estudo, as acelerações devem ser convertidas primeiro para o mesmo solo de referência dos fatores, $\bar{v}_{s,30} = 760m/s$ (Seyhan e Stewart, 2014), e depois para o solo que se deseja (considerado $\bar{v}_{s,30} = 275m/s$, valor médio entre os limites de uma classe D). Com base no equacionamento de Seyhan e Stewart (2014), o cálculo é:

$$[8] \quad S_{MS} = \frac{0,176g}{0,76} \cdot 1,28 = 0,296g$$

$$[9] \quad S_{M1} = \frac{0,035g}{0,67} \cdot 2,28 = 0,119g$$

Por fim, aplicando-se o multiplicador 2/3, tem-se S_{DS} e S_{D1} iguais a 0,20g e 0,08g, respectivamente. Com base nos resultados, é possível perceber que o procedimento simplificado não poderia ser aplicado.

A partir da Figura 3, é possível perceber que para a classe do terreno A (Figura 3a) os espectros estão abaixo dos limites dados pelos marcadores vermelhos, portanto o procedimento simplificado

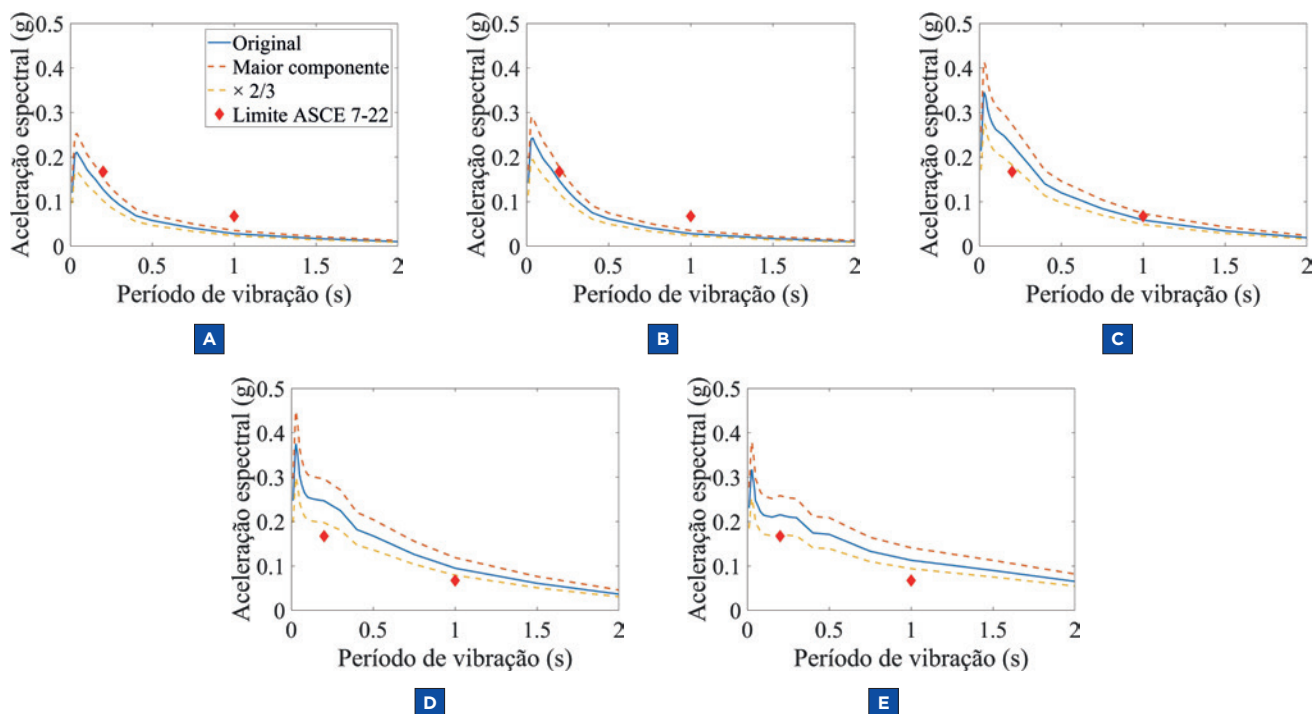


FIGURA 3

ESPECTROS DE RESPOSTA E OS LIMITES DE ACELERAÇÃO PARA CDS “A” DA ASCE 7-22 (MARCADORES COR VERMELHA DE ORDENADAS 0,167g e 0,067g) E DIFERENTES TERRENOS: A) CLASSE A; B) CLASSE B; C) CLASSE C; D) CLASSE D; E) CLASSE E. A MESMA LEGENDA APLICA-SE A TODAS AS FIGURAS

poderia ser utilizado, conforme demonstrado no primeiro exemplo apresentado. Para a classe B (Figura 3b) é possível perceber que a aceleração está abaixo do limite superior para 0,2s, de maneira que o procedimento simplificado não pode ser utilizado, a menos que o multiplicador de 2/3 seja considerado. Para classes C, D e E (Figura 3c, 3d e 3e), nota-se que ambas as acelerações estão abaixo até do limite inferior, não sendo possível utilizar o procedimento simplificado.

3.3 O papel do procedimento simplificado no caso brasileiro

Nesta seção, discute-se o próximo tópico na comparação do critério mínimo nos EUA e no Brasil. Na ASCE 7, o carregamento mínimo é o 0,01W. No Brasil, o carregamento mínimo é, na prática, o desaprumo, o vento, e nenhum carregamento sísmico (na zona 0). Por outro lado, no Brasil, a primeira nova exigência sísmica corresponde ao carregamento de 0,01W (na zona 1). Sendo assim, é válida a pergunta: Qual o papel do carregamento de 0,01W na ASCE 7 e no Brasil? Eles têm o mesmo objetivo de servir de carregamento sísmico de projeto?

Para ajudar a iluminar as perguntas, observa-se como a força lateral de 0,01W vem sendo aplicada na ASCE 7. Seu uso teve início na versão de 1998, seção 9.5.2.5.1, descrita como $F_x = 0,01w_x$, onde w_x é o peso próprio gravitacional, equipamentos operacionais, e 25% do peso variável do pavimento em áreas de estocagem (de forma muito similar a NBR 15421), e aparecendo em seção dedicada ao carregamento sísmico da categoria A.

Na edição de 2002, seção 9.5.3, o critério de $0,01w_x$ ainda estava associado ao capítulo de carregamento sísmico. Aqui, a norma nomeia o somatório de w_x como “peso sísmico efetivo da estrutura” W (peso próprio, 25% de carga variável nas áreas de estocagem e algumas definições como equipamentos permanentes). Já na edição de 2005, seção 11.7.2, o termo $0,01w_x$ aparece no capítulo de ações sísmicas, mas w_x passa a ser definido apenas como uma porção do peso próprio (sem os termos adicionais como os 25% do peso variável). Em 2010, seção 1.4.3, o termo $0,01w_x$ (como parcela apenas do peso próprio no pavimento) aparece no capítulo 1.4 (integridade estrutural geral). Nos comentários da versão de 2016 (seção C1.4) é mencionado explicitamente que tal seção busca providenciar um sistema de contraventamento independente de carregamentos de vento e sismo.

Percebe-se que na norma americana, o uso do termo 0,01W foi se divorciando de critérios sísmicos, para receber um caráter genérico de integridade estrutural e estabilidade contra forças gravitacionais e laterais genéricas. Enquanto isso, no Brasil ele ainda é a primeira forma simplificada de análise global devido ao sismo. É evidente que o critério de estabilidade lateral é bem atendido pela presença do vento e desaprumo na realidade brasileira. Mas, sendo assim, seria conveniente que o 0,01W seja tão independente dos fatores importantes de carregamento sísmico (solo, importância da edificação, período de vibração e aceleração esperada do solo)? Ademais, de forma discrepante em relação ao MFHE, exclua parâmetros importantes de

limites de aplicações (como solo e período de vibração)?

Se o critério simplificado no Brasil pode ser criticado nesses aspectos, seria o caso de melhorá-lo para o contexto brasileiro, em vez de admitir que esse valor fixo de porcentagem do peso seja igualmente efetivo para os eventos sísmicos excepcionais nas zonas de menor aceleração. Afinal, nossas considerações de desaprumo, vento, detalhamento estrutural e práticas construtivas são diferentes das dos EUA. Assim, é importante uma maior investigação do quanto o critério sísmico simplificado é eficiente, e se este pode ser melhorado de maneira simples.

4. CONCLUSÕES

No presente trabalho, discutiu-se o procedimento simplificado de aplicação das forças horizontais sísmicas da norma NBR 15421, à luz da ASCE 7. Observou-se a forte descontinuidade desse procedimento em relação ao método das forças horizontais equivalentes. Além disso, demonstrou-se certa inconsistência entre os parâmetros que limitam o uso da força simplificada no caso americano em relação à Zona 1 brasileira, no Nordeste. Por fim, apresentou-se brevemente o desenvolvimento do critério 0,01W no contexto americano, hoje praticamente independente de carregamentos sísmicos. Em seguida, buscou-se argumentar sobre a necessidade da revisão do papel do procedimento simplificado no contexto brasileiro. Este artigo não objetiva invalidar o procedimento simplificado, mas propor que ele seja mais bem avaliado. Procedimentos normativos devem ser os mais simples possíveis, mas não mais simples que isso. ☺

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALVES, F. V. Estudo de sismicidade do Brasil para revisão da ABNT NBR 15421. 2020. 175 f. Dissertação (Mestrado em Projeto de Estruturas) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Programa de Projeto de Estruturas, Rio de Janeiro, 2020.
- [2] AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. ASCE/SEI 7-22: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures: Virginia: ASCE, 2022
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15421: Projeto de estruturas resistentes a sismo – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- [5] LEYENDECKER, E. V. et al. Development of maximum considered earthquake ground motion maps. Earthquake Spectra, vol. 16, no. 1, pp. 21-40, 2000.
- [6] SEYHAN, E; STEWART, J. P. Semi-empirical nonlinear site amplification from NGA-West2 data and simulations. Earthquake Spectra, v. 30, n. 3, p. 1241-1256, 2014.
- [7] STEWART, J. P. et al. Risk-targeted alternatives to Deterministic ground motion caps in U.S. seismic provisions. Earthquake Spectra, vol. 36, no. 2, pp. 904-923, 2020.