



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA
XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Panorama de pesquisas e normativas de vibrações causadas por tráfego viário e seus impactos em edificações históricas

Gevú, N. V.¹; Niemeyer, M. L. A.²; Varela, W. D.³

¹ PROARQ/FAU, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, nayaragevu@gmail.com

² PROARQ/FAU, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, lygianiemeyer@gmail.com

³ PROARQ/FAU, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, wendell@fau.ufrj.br

Resumo

O tráfego de veículos é considerado uma das fontes de vibração que mais geram impactos em edificações em meios urbanos. Esses impactos são transmitidos às edificações através do solo e podem gerar tanto danos estruturais nas edificações, como incomodidade aos seus usuários. Edificações consideradas patrimônio possuem grande valor histórico, artístico e cultural e testemunham a evolução urbana e arquitetônica das cidades. No Brasil, ainda não existe uma normativa que reja tal atividade e seus efeitos em edificações históricas e há carência de estudos científicos a respeito do tema. Em âmbito nacional são utilizados valores de referência de PVP (Pico de Velocidade de Partícula) recomendados em normas internacionais. O PVP (mm/s) é considerado a melhor resposta para avaliar a ocorrência de danos induzidos por vibração. O presente artigo apresenta uma revisão do estado da arte de pesquisas sobre o tema realizadas a partir da primeira metade do século XX e um panorama normativo internacional nos últimos 50 anos. De acordo com as normas apresentadas podemos constatar que as variações dos limites de pico de velocidade de partícula para edificações históricas são enormes, ficando entre 0,15 e 50,0 mm/s. Avaliações de faixas de frequência, tipo de excitação e tipo de edificação serão apresentadas para a categorização dos limites normativos.

Palavras-chave: normativas, vibrações, tráfego viário, edificações históricas.

PACS: 43.15.+s, 4.40.-r, 43.40.Hb

Abstract

The road traffic is considered one of the sources of vibration that most impacts buildings in urban space. These impacts are transmitted to buildings through the ground and can generate both structural buildings damage and human discomfort. Heritage buildings have great historical, artistic and cultural value and evidences the urban and architectural evolution of the cities. In Brazil, there is still no regulation that governs such activity and these impacts on historic buildings, and there are few studies focused on this theme. Nationwide reference values of PVP (Peak Particle Velocity) are used, recommended in international standards. The PVP (mm/s) is considered the best answer to evaluate the occurrence of vibration-induced damage. The current paper presents the state of art on the topic carried out from the first half of the 20th century and an international normative panorama in the last 50 years. According to the rules presented we can see that are huge the PVP variation limits for historic buildings, between 0,15 and 50,0 mm/s. For the categorization of normative limits will be presented evaluations of frequency bands, type of excitation and building.

Keywords: standards, vibrations, road traffic, historical buildings.



1. INTRODUÇÃO

O tráfego viário é considerado uma das fontes de vibração que mais geram impactos em edificações em meios urbanos. Além da poluição sonora e do ar, o tráfego de veículos é responsável também por impactos vibratórios que são transmitidos às edificações através do solo. A vibração rodoviária, principalmente decorrente do tráfego de veículos pesados, pode gerar tanto danos estruturais nas edificações, como incomodidade aos seus usuários [1].

Edificações consideradas patrimônio possuem grande valor histórico, artístico e cultural e testemunham a evolução urbana e arquitetônica das cidades. Além do campo de vibrações, em geral, não ser plenamente contemplado pelas áreas de Arquitetura e Planejamento Urbano em trabalhos científicos no Brasil, não são encontradas legislações específicas relacionadas aos níveis de vibração e seus efeitos em edificações históricas. Entretanto, existem diversos estudos internacionais que visam determinar o grau de incômodo de vibrações sobre o ser humano e sobre as construções.

O PVP (Pico de Velocidade de Partícula), recomendado em normas internacionais, é considerado a melhor resposta para avaliar a ocorrência de danos induzidos por vibração. Muitos fatores devem ser considerados para a avaliação do nível de vibração. Avaliações de faixas de frequência, tipo de excitação e tipo de edificação serão apresentadas para a categorização dos limites normativos.

O presente artigo apresenta uma revisão do estado da arte de pesquisas sobre o tema realizadas a partir da primeira metade do século XX e um panorama normativo internacional nos últimos 50 anos.

2. ESTADO DA ARTE

Na primeira metade do século XX estudos em relação aos efeitos das vibrações em edifícios já eram motivo de atenção. Em Hyde e Lintern [2], foram apresentadas preocupações a respeito do notável aumento do transporte mecânico e dos mecanismos de alta velocidade e os possíveis danos produzidos por essas vibrações, que

podem afetar as estradas e as estruturas. Os autores citaram estudos anteriores sobre o tema. Entre os quais, um realizado para analisar o tráfego da Ferrovia Central de Londres em 1901, além dos primeiros experimentos realizados para investigar a natureza das perturbações criadas em estradas e estruturas pelo tráfego no Laboratório Nacional de Física, desde 1912 [2]. De acordo com Hunaidi e Tremblay [3], no Canadá o primeiro estudo conhecido foi realizado pelo Conselho Nacional de Pesquisa no final dos anos 1940, para investigar vibrações em Winnipeg.

Segundo Bata (1971), o problema do efeito das vibrações geradas pelo tráfego em edifícios tem sido estudado de forma sistemática desde 1964, pela equipe da Cátedra de Mecânica Estrutural da Universidade Técnica de Praga, na República Checa. E em seu trabalho intitulado “Efeitos de vibrações em edifícios causadas pelo tráfego” o autor realizou um grande número de medições de vibrações geradas pelo tráfego nas estradas, fundações e edifícios [4].

Em 1973, Nelson e Viranuvut [5], realizaram medições de vibrações no entorno da imagem de Buda em Wat Po, Bangkok, Tailândia. Os autores acreditavam que as rachaduras encontradas na imagem foram causadas por vibrações induzidas pelo tráfego pesado nas ruas próximas. Foi constatado que as vibrações produzidas pelo tráfego não eram de magnitude suficiente para causar danos estruturais. No entanto, foi mostrado que o impacto das vibrações em períodos anteriores poderia ter sido muito maior devido ao mau estado da estrada até o momento da análise. Concluiu-se que os danos estruturais foram provocados pela deterioração da antiga estrutura de fundação, ou recalques causados pelo enfraquecimento da estrutura do solo devido às vibrações induzidas pelo tráfego.

Na Suécia, o Instituto Sueco de Estradas e Tráfego (VTI), em 1974, investigou fatores que condicionam a magnitude das vibrações causadas pelo tráfego rodoviário. Foi constatado que o tipo de estrada, o tipo de veículo, as características da superfície da estrada, a velocidade do veículo, o tipo de subsolo, a distância da fonte de vibração e a

edificação são decisivos para a magnitude das vibrações [6].

Em 1978, nos Estados Unidos, o Departamento de Transportes apresentou uma metodologia para avaliar o potencial de impacto ambiental resultante das vibrações induzidas pelo tráfego rodoviário. Neste trabalho foram discutidas estratégias de redução, medição e análise de vibração induzida pelo tráfego [7].

Uma pesquisa mais específica a respeito da influência do tipo de solo [8] foi desenvolvida por Taniguchi e Okada (1981). Foram realizados testes de campo e análises matemáticas de elementos finitos na redução das vibrações do terreno através do adensamento do solo pela aplicação de cal (injetado em furos cilíndricos no solo).

Holmberg et al. (1984) através de uma publicação desenvolvida pelo Conselho Sueco de Pesquisa em Construção, relataram fatos elementares sobre as fontes de vibrações relacionadas ao tráfego e às atividades de construção. O estudo [9] descreveu diferentes fontes de vibrações, meios de transmissão, respostas humanas, critérios de danos e métodos para diminuir os níveis de vibrações e seus custos associados.

O relatório de Watts (1990) resumiu estudos dos efeitos das vibrações nas pessoas, edifícios e equipamentos e incluiu resultados de outras investigações. Também apresentou métodos possíveis para reduzir o incômodo decorrente da vibração de tráfego [10].

No Canadá, Al-Hunaidi e Rainer (1991) desenvolveram um estudo a respeito de medidas corretivas para vibrações induzidas pelo tráfego em áreas residenciais. Os autores dividiram seus estudos em duas partes, a parte 1 [11] investigou experimentalmente os fatores que influenciam a intensidade das vibrações nessas áreas e sua importância relativa. A parte 2 [12] relatou os resultados da parte analítica do estudo. Hazanato et al., no mesmo ano, apresentaram um modelo numérico para analisar as vibrações. Tratou-se de uma análise tridimensional dessas vibrações induzidas pelo tráfego no solo, com base em um método de elemento finito elástico dinâmico. O estudo concluiu que as vibrações

do solo podem ser reduzidas utilizando os materiais e os pavimentos adequados [13].

Devido a um número considerável de reclamações provenientes das vibrações induzidas pelo tráfego rodoviário, os autores Al-Hunaidi e Tremblay em 1997 [3] fizeram análises detalhadas a respeito desse fenômeno. Os níveis de vibração foram avaliados em função do incômodo humano e do potencial de danos à construção, referenciando em padrões existentes. Vibrações podem ser provenientes de fontes naturais, como ventos, movimentos de terra. Karantoni e Bouckovalas, também em 1997, analisaram os danos induzidos por um terremoto em uma cidade na Grécia. Os estudos [14] concluíram que os danos induzidos em edifícios de concreto armado foram bastante leves em contraste com os danos severos causados em edifícios construídos por sistemas construtivos tradicionais de adobe, pedra ou alvenaria de tijolo cerâmico.

Clemente e Rinaldis (1998) realizaram uma investigação experimental para analisar as vibrações induzidas pelo trânsito no porão de um edifício histórico e a eficácia da intervenção. A propagação das ondas no solo ao redor do edifício na presença do pavimento antivibração foi comparada com a propagação das ondas na ausência desse pavimento. O estudo mostrou a importância de se levar em consideração a contribuição de outras estruturas para o comportamento dinâmico do sistema [15].

Al-Hunaidi (2000) desenvolveu um trabalho sobre as vibrações induzidas pelo tráfego em edificações de tipologia residencial. Neste trabalho [16] o autor descreveu a natureza das causas das vibrações e discutiu possíveis medidas preventivas e corretivas. Kim e Lee, no mesmo ano, desenvolveram um estudo envolvendo várias fontes de vibração, a fim de caracterizar as formas de propagação da energia vibratória em cada tipo de solo [17].

Em trabalho de Hao et al. (2001), foram realizadas medições de vibração; apresentadas suas características (condições do local, distância do eixo da via); analisadas as respostas de modelos hipotéticos de estruturas de concreto armado, sujeitos a movimentos de



terreno medidos em campo, e, por fim, os resultados foram comparados com os níveis de vibração permitidos [18]. Outro modelo numérico foi desenvolvido por Lombaert e Degrand (2001) para vibrações induzidas pelo tráfego rodoviário. Nesse artigo [19] o modelo de previsão numérica tridimensional levou em consideração a interação solo-estrutura, e foi realizada sua validação de acordo com a resposta medida dos eixos do veículo e do solo durante a passagem de um caminhão por um desnível artificial, em velocidades entre 30 e 70 km/h.

Em 2003, Xu et al. [20] investigaram a possibilidade de usar uma plataforma de controle de microvibração para isolar um lote de equipamentos de alta tecnologia no piso de um edifício, exposto ao movimento do solo induzido pelo tráfego nas proximidades.

No que se refere a redução dos efeitos da vibração, Adam e Estorff (2005) investigaram numericamente a eficácia de valas abertas e preenchidas com uma mistura de solo-bentonita que se presume ser mais macio do que o solo natural na redução das vibrações do edifício devido ao tráfego de trens. Os resultados apontaram que usando uma barreira de trincheira, um nível de redução de até 80% das vibrações do edifício [21].

Em 2006, Santos e Valério [22] apresentaram casos práticos em estruturas consideradas sensíveis, tais como edifícios habitacionais ou edifícios classificados como patrimônio. Essa monitorização esteve relacionada a abertura de túneis, obras de construção civil, entre outros fatores. Hajek et al., também em 2006, descreveram as fontes de vibração induzidas pelo tráfego, identificaram as possíveis causas que podem resultar em preocupações com a vibração; descreveram os procedimentos para estimar os níveis de vibração causados pelo tráfego rodoviário; forneceram diretrizes e critérios recomendados para a avaliação dos impactos da vibração em áreas residenciais e recomendações para a mitigação da vibração induzida pelo tráfego [23].

No cenário do controle de vibrações, em 2007, Moutinho [24] realizou um estudo a respeito dos

sistemas de controle e sua implementação em modelos laboratoriais e em estruturas reais.

Ju (2009) investigou as características de vibrações de edifícios induzidas por caminhões através de análises de elementos finitos. O estudo indicou que a irregularidade da pavimentação é a principal causa das vibrações dos caminhões e se as frequências naturais do caminhão se aproximam das frequências naturais do prédio, ocorre ressonância, aumentando as vibrações do prédio [25].

Moutinho, Cunha e Caetano (2010) descreveram novas metodologias de análise de vibrações em pavimentos de edifícios. O objetivo foi sistematizar os conhecimentos existentes nesta área, possibilitando um sistema de avaliação de vibrações em pavimentos, que poderiam ser integrados nos códigos europeus [26]. As vibrações podem ser provocadas pelo funcionamento de equipamentos. Em 2010, Silva [27] analisa os efeitos decorrentes do funcionamento de equipamentos eletromecânicos e sua transmissão em um edifício existente.

Battista et al., em 2011, apresentaram um modelo mecânico estrutural para abordar o problema de interação dinâmica veículo-estrutura e estimar fatores de amplificação dinâmica para uma plataforma de estrutura ortotrópica, como lajes *steel deck* [28]. Ainda no ano de 2011, Resende [29] apresentou um estudo a respeito do risco de danos por vibração mecânica nos monumentos setecentistas do Caminho Tronco de Ouro Preto. O fluxo intenso, a desordem do trânsito de veículos na cidade e a preocupação com a conservação de bens históricos foram os norteadores da pesquisa.

Outro modelo numérico para análise e previsão das vibrações no solo devido ao tráfego rodoviário foi desenvolvido em 2012 por Mhanna et al. [30]. Esse modelo foi representado por um veículo e foi usado para a determinação da carga devido ao tráfego rodoviário. As análises numéricas mostraram que tanto a amplitude quanto a frequência das vibrações induzidas pelo tráfego foram afetadas principalmente pela velocidade do veículo, o

desnível da estrada e o sistema de suspensão do veículo.

Além de causar danos às edificações, a vibração induzida pelo tráfego rodoviário e ferroviário pode causar incomodidade aos usuários. Brito, Soares e Nazari (2013) avaliaram essas condições. Os resultados encontrados indicaram que os limites de integridade estrutural foram atendidos, mas não os limites para incomodidade [31]. Margarido [32] desenvolveu metodologias para avaliar os níveis de vibração em função da percepção e da incomodidade dos usuários. Um estudo desenvolvido por Monti et al. [33] em 2013 foi realizado para analisar os efeitos das vibrações em edifícios antigos/históricos. Neste trabalho foi apresentado o monitoramento dinâmico do Coliseu. Cano, ainda em 2013, desenvolveu um modelo numérico feito para análise sísmica de edifícios com sistemas de isolamento de base [34].

A análise do decaimento da energia vibratória com o aumento da distância foi desenvolvida por Brito [35] em 2014 através da avaliação do impacto gerado pelas principais fontes de vibração no meio urbano (tráfego rodoviário, tráfego ferroviário, processo de cravação de estacas e a operação de um rompedor de concreto movido a ar comprimido).

Brito, Kamimura e Santos [36] avaliaram a influência da vibração gerada pelo tráfego ferroviário no meio urbano. O trabalho, publicado em 2015, se desenvolveu com base em medições de pico de velocidade de partícula (PVP) e análises a respeito dos critérios internacionais existentes para tal situação. Os autores apontaram a necessidade de aprofundamento da pesquisa para atender à realidade brasileira. Souza et al. (2015) apresentaram um comparativo entre dados obtidos em ambiente de mineração e dados obtidos em perímetro urbano, coletados através de monitoramento sismográfico [37]. Em relação a mitigação dos efeitos da vibração, foi desenvolvido por Varela, Battista e Carvalho [38], também no ano de 2015, um estudo numérico de um sistema para atenuação das vibrações induzidas por tráfego em edifícios. Foram construídos modelos numéricos

tridimensionais de elementos finitos com o objetivo de estimar suas características dinâmicas, bem como o tempo de respostas a vibrações induzidas pelo tráfego de veículos pesados. As respostas obtidas com os modelos foram utilizadas para apresentar soluções alternativas para o problema.

Em 2016, Miranda, Rocha e Niemeyer [39] avaliaram as normas brasileiras e internacionais a respeito do impacto que o tráfego rodoviário pode gerar sobre sítios históricos. O objetivo foi contribuir com a revisão da Portaria 12/86 do IPHAN para o Centro Histórico de Vassouras, RJ. No mesmo ano, Carreira [40] apresentou análises de estruturas em concreto armado. Foram realizados ensaios de vibração forçada em edifícios desta categoria e a partir dos resultados foram desenvolvidos modelos de elementos finitos para análises paramétricas.

Antunes et al. (2016) com o propósito de fornecer um embasamento sobre a temática do ruído induzido por vibrações, apresentaram os métodos existentes para avaliação das vibrações em edifícios [41]. A nível nacional, ainda em 2016, Almeida e Dornelas [42], a fim de compreender o tecido urbano onde está inserido o Sítio Histórico de Santa Leopoldina, no interior do estado do Espírito Santo, e o tráfego viário da área de análise, investigaram as possíveis origens dos danos e os processos de fissuração existentes.

Em trabalho posterior, no ano seguinte, Dornelas [43] investigou a deterioração por fissuração de edifícios históricos construídos em alvenaria de tijolo cerâmico e sua correlação com os impactos das vibrações provenientes do tráfego viário nesse mesmo sítio, em Santa Leopoldina. Ainda no que diz respeito a edifícios históricos, Gevú (2017) realizou uma análise do impacto da vibração rodoviária sobre edifício moderno tombado, localizado nas proximidades de uma via expressa de fluxo intenso na cidade do Rio de Janeiro [44].

Brandão et al. (2018) realizaram um ensaio de vibração ambiental, para então fazer uma caracterização modal através de método dos elementos finitos. Os resultados obtidos permitiram analisar o comportamento dinâmico



da estrutura [45]. Luzzi, Silva e Tarabay [46], mensuraram o nível de vibração proveniente do tráfego ferroviário e verificaram a possibilidade de ocorrência de danos em edificações adjacentes. O artigo desenvolvido por Ribeiro et al. em 2018 [47] faz uma revisão a respeito das pesquisas referentes ao comportamento dinâmico de sistemas de piso em estruturas de aço induzidos por carregamentos oriundos de atividades humanas.

Considerando o contexto e análises em edificações históricas encontramos pesquisas na área em: Nelson e Viranuvut [5], Karantoni e Bouckovalas [14], Clemente e Rinaldis [15], Santos e Valério [22], Resende [29], Monti et al. [33], Miranda, Rocha e Niemeyer [39], Almeida e Dornelas [42], Dornelas [43] e Gevú [44]. Através desses estudos foi possível identificar que os principais fatores envolvidos na análise da vibração e seus impactos em edifícios históricos são: o tipo de pavimento, o tipo de solo, o tipo construtivo das edificações e sua distância da fonte vibratória.

As medidas preventivas e corretivas que se destacaram foram o adensamento do solo (através da aplicação de cal), a escolha de materiais e pavimentos adequados e a inclusão de barreiras preenchidas no solo

3. QUADRO NORMATIVO BRASILEIRO E INTERNACIONAL

No Brasil, ainda não existe uma norma específica para avaliação de danos causados às edificações por vibração gerada por tráfego rodoviário. No âmbito das normativas brasileiras encontramos apenas normas referentes a riscos inerentes a atividades mineradoras e uso de explosivos.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas apresenta a NBR 9653:2018 - Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas. Essa norma especifica a metodologia para reduzir os riscos inerentes ao desmonte de rocha com uso de explosivos em indústria de mineração e construção em geral, estabelecendo parâmetros a um grau compatível com a tecnologia disponível, para a segurança das populações vizinhas, referindo-se a danos

estruturais e procedimentos recomendados quanto à resposta humana [48].

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo desenvolveu a norma técnica D7.013:2015 [49] - Avaliação e monitoramento das operações de desmonte de rocha com uso de explosivo na mineração: Procedimento e a Decisão de Diretoria DD 215:2007 [50].

Na D7.013 [49] são fixadas as condições mínimas exigíveis para o controle dessas operações, estabelecidos limites para avaliação do incômodo gerado, mas não é aplicável para avaliações referentes a danos estruturais decorrentes dessas atividades.

A Decisão de Diretoria DD 215 [50] dispõe sobre a sistemática para a avaliação de incômodo causado por vibrações contínuas. Ela estabelece os limites de velocidade de vibração de partículas (pico), considerando os tipos de áreas e o período do dia, variando de 0,3 mm/s, em áreas de hospitais, por exemplo, a 0,5 em área predominantemente industrial.

Na esfera internacional encontramos normas desenvolvidas pela Organização Internacional de Normalização (ISO - International Organization for Standardization) além de normas das comunidades europeias e demais países. A ISO 4866:2010 - Vibração mecânica e choque - Vibração de edifícios - Diretrizes para a medição de vibração e avaliação de seus efeitos em edifícios [51], a ISO 2631-1:2007 - Vibração mecânica e choque - Avaliação da exposição humana à vibração de corpo inteiro - Parte 1: Requisitos gerais [52] e a parte 2, ISO 2631-2:2003 - Vibração mecânica e choque - Avaliação da exposição humana à vibração de corpo inteiro - Parte 2: Vibração em edifícios [53].

A norma ISO 4866:2010 [51] estabelece princípios para a realização de medição de vibração e processamento de dados no que diz respeito à avaliação de efeitos de vibração em estruturas. A norma adota, para efeito de avaliação da extensão dos danos às construções, classificação semelhante à escala de intensidade da sismologia.

A parte 1 da ISO 2631 [52], tem critérios gerais e define métodos para a medição de corpo inteiro relacionados aos efeitos da vibração. Além dos danos estruturais, a vibração rodoviária pode provocar também incomodidade aos usuários das edificações. Segundo a norma ISO 2631-2:2003 [53] a vibração poderá ser intolerável para os usuários de uma edificação devido à sensação física de movimento, que acaba prejudicando algumas atividades, como a conversação e o sono. A referida norma na versão de 2003 não estabelece os limites de incomodidade para os ocupantes de uma edificação, portanto serão utilizados dados da versão de 1993. O ruído gerado pelas vibrações é um dos fatores que contribuem para o efeito da incomodidade [35]. A ISO 2631-2:2003 define e dá valores numéricos a limites de exposição a vibrações transmitidas ao corpo humano, por superfícies sólidas, na amplitude de frequência de 1 a 80 Hz.

A referência internacional para avaliação dos efeitos da vibração nos edifícios é a norma alemã DIN 4150-3:1999 - Vibração em edifícios, efeito em estruturas [54], que define valores de Pico de Vibração da Partícula (PVP) em função da tipologia estrutural do edifício e das condições de conservação, a fim de que não ocorra danos estruturais. Essa norma é aceita em toda União Europeia e serviu também como base e referência para várias normativas próprias de países europeus [55].

Para a categoria 3 (estruturas que, devido à sua sensibilidade particular à vibração, não podem ser classificadas nas categorias 1 e 2 e são de grande valor intrínseco; por exemplo, edifícios tombados sob ordem de preservação), são considerados os valores de PVP (mm/s) apresentados na Tabela 1:

Tabela 1: DIN 4150-3:1999 (Categoria 3)

PVP (mm/s)			
Geral	1 - 10 Hz	10 - 50 Hz	50 - 100 Hz
8,0	3,0	3,0 - 8,0	8,0 - 10,0

Para o valor geral, se considera a vibração no plano horizontal do andar mais alto; para os demais, se considera o valor da vibração na fundação; e para frequências acima de 100 Hz,

os valores dados podem ser usados como valores mínimos.

Existem também algumas normas britânicas que apresentam o assunto, são elas: BS 6472-1:2008 - Guia para avaliação da exposição humana à vibração em edifícios - Parte 1: Fontes de vibração além de explosões [56]; BS 5228-2:2009 - Código de prática para controle de ruído e vibração em locais abertos e de construção - Parte 2: Vibração [57]; BS 5228-4:1993 - Código de prática para controle de ruído e vibração aplicável a operações com estacas [58]; BS 7385-1:1990 - Avaliação e medição de vibração em edifícios - Parte 1: Guia para medição de vibrações e avaliação de seus efeitos em edifícios [59]; BS 7385-2:1993 - Avaliação e medição de vibração em edifícios - Parte 2: Guia para os níveis de danos da vibração do solo [60].

A parte 1 da BS 6472 [61] fornece orientação sobre a previsão da resposta humana a vibração em edifícios na faixa de frequência de 0,5 Hz a 80 Hz. Essa norma não fornece orientação sobre danos estruturais ou ferimentos aos ocupantes em edifícios sujeitos a vibrações. A norma apresenta valores limites para avaliação das vibrações em relação às reclamações que elas podem gerar dos ocupantes dos edifícios. Os valores a seguir podem ser utilizados para vibração horizontal e vertical, desde que sejam ponderados corretamente.

O escopo da parte 2 da BS 5228 [62] fornece recomendações para métodos básicos de controle de vibração relacionado à construção e locais abertos onde há atividades que geram níveis consideráveis de vibração. O contexto legislativo para controle de vibração é descrito e são fornecidas orientações sobre métodos de medição de vibração e avaliação dos seus efeitos no meio ambiente. São apresentados limites de vibração transitória, acima dos quais podem ocorrer danos cosméticos e também orientações sobre os efeitos dos níveis de vibração relacionados a percepção humana e perturbação. Já a parte 4 da BS 5228 [58] fornece recomendações para medidas de controle de ruído e vibração que podem ser adotadas para garantir boas práticas e permitir que as atividades com estacas sejam realizadas



de forma econômica e com o mínimo de perturbação possível para a comunidade.

A norma BS 7385-1 [59] apresenta princípios básicos para a realização de medições e processamento de dados, no que diz respeito à avaliação de efeitos de vibração em edifícios. A parte 2 [60] dá orientação sobre os níveis de vibração acima da qual as estruturas de construção poderiam ter danos. Ela identifica os fatores que influenciam a resposta da vibração de edifícios e descreve o procedimento básico para a realização de medições.

A norma Sueca SS 4604866:1991 – Vibração mecânica e choque - Níveis de orientação para vibração induzida por explosões em edifícios [61], como forma de controle das vibrações nos edifícios, estipula o valor da componente vertical do vetor de velocidade de vibração da partícula. Esses valores levam em consideração o tipo de construção, a distância entre a fonte e a captação e o tipo de ambiente de trabalho.

A Norma Suíça SN 640312a:1992 – Vibrações - efeitos de vibração em edifícios [62] abrange os efeitos nos edifícios, acrescentando critérios de avaliação dos danos materiais, considerando o tipo de estrutura e o tipo de fonte de vibração. Esta norma se aplica a terremotos causados por explosões, máquinas e equipamentos de construção, tráfego rodoviário e ferroviário. Na Tabela 2 temos os valores de PVP para a Categoria 4 (Edifícios delicados):

Tabela 2: SN 640312a:1992 (Categoria 4)

PVP (mm/s)		
10 - 60 Hz	60 - 90 Hz	30 - 90 Hz
8,0	8,0 – 12,0	--

A norma italiana UNI 9916:2004 - Critérios para medir e avaliar os efeitos das vibrações em edifícios [63] fornece um guia para a escolha de métodos apropriados de medição e tratamento de dados e avaliação de fenômenos vibratórios para permitir a avaliação dos efeitos de vibrações em edifícios, com referência à sua resposta estrutural e integridade arquitetônica. A norma não estabelece valores-limites, mas segue como referência os limites da DIN 4150-3 [54].

Na França, segundo Bacci et al. [55], existem algumas recomendações. Uma datada de 1974, sugerida pela AFTES (Associação Francesa de Obras Subterrâneas), e a Circular, proposta pelo Ministério do Ambiente, datada de 1993 [64, 65]. A recomendação de 1974 [64] subdivide os edifícios em três classes (tipo A - edifício de baixa qualidade mecânica; tipo B - construções de média qualidade mecânica e tipo C - construções de alta qualidade mecânica) relacionando-as ao tipo de terreno [55]. Para a classe A temos os valores de PVP de acordo com os tipos de solo (velocidade da onda), como observamos na Tabela 3 a seguir:

Tabela 3: AFTES:1974 (Classe A)

PVP (mm/s)		
1500 m/s	3000 m/s	4500 m/s
2,5	5,0	7,5

A Circular [65], em 1986, antes de sua ampliação, subdivide também as construções em três classes: resistentes, sensíveis e muito sensíveis. Além disso, define os limites máximos de velocidade de acordo com três faixas de frequência [55]. A Tabela 4 apresenta os valores de PVP para edifícios muito sensíveis.

Tabela 4: Circular:1986 (Edifícios muito sensíveis)

PVP (mm/s)		
4 - 8 Hz	8 - 30 Hz	30 - 100 Hz
4,0	6,0	9,0

Em Portugal, temos a NP 2074:2015 - Avaliação da influência de vibrações impulsivas em estruturas [66], que estabelece o valor limite para a velocidade da vibração de pico através de três fatores: o tipo de construção, o tipo de solo e a periodicidade do evento. Os valores recomendados para construções que requerem cuidados especiais (monumentos históricos, museus, prédios muito altos) são apresentados a seguir (Tabela 5):

Tabela 5: NP 2074:2015 (Momentos históricos)

PVP (mm/s)		
< 10 Hz	10 - 40 Hz	> 40 Hz
3,0	5,0	10,0

O Relatório de Investigações norte-americano RI 8507:1980 - Resposta da Estrutura e Danos Produzidos por Vibração do Solo de Explosão de Mina de Superfície [67] analisa os efeitos da detonação na geração de vibrações, vibração do solo e propagação de jato de ar e instrumentação sísmica. São apresentados alguns níveis seguros de vibração decorrentes da atividade de detonação para estruturas de tipologias residenciais. Para casas mais antigas, vedações interiores em gesso ou madeira temos os valores a seguir (Tabela 6):

Tabela 6: RI 8507:1980 (Casas mais antigas)

PVP (mm/s)	
< 40 Hz	> 40 Hz
12,7	50,0

Os estudos do Instituto Central de Pesquisa de Mineração (CMRI) em 1991 na Índia definiu o limite de vibração para vibrações nas fundações nos arredores de áreas com minas em diferentes níveis de frequência. Esse estudo [68] foi realizado através do monitoramento da resposta estrutural de diversas construções [55]. Os valores para o PVP também levam em consideração a categoria da edificação e o tipo de estrutura. No contexto de edificações históricas encontramos a categoria C: estruturas de importância histórica; estruturas muito sensíveis; com mais de 50 anos de idade; estruturas em baixo estado de conservação e sem reparações (Tabela 7).

Tabela 7: CMRI:1991 (Estruturas de importância histórica)

PVP (mm/s)	
< 24 Hz	> 24 Hz
2,0	5,0

Na Austrália, temos a norma AS 2187-2:2006 - Explosivos - Armazenamento e uso - Parte 2: Uso de explosivos [69]. Essa norma estabelece requisitos e precauções para o uso de explosivos em terrenos. De acordo com Bacci et al. [55], a versão de 1983 da referida norma adota critérios referentes ao pico de velocidade de vibração da partícula, medido no terreno próximo à fundação da estrutura. Para construções históricas e monumentos de especial valor ou significado temos como referência o valor de PVP 2,0mm/s.

Na China existe um código nacional específico para os efeitos das vibrações em edificações históricas, a GB/T 50452:2008 - Especificações Técnicas para Proteção de Edifícios históricos contra vibrações artificiais [70]. Esse documento apresenta os limites de velocidade para edifícios históricos, que variam de acordo com o tipo de solo e seu nível de preservação (nacional, estadual e municipal) e importância cultural.

A seguir é apresentada uma tabela resumo com os valores de PVP (mm/s) tratados nas referidas normas para edificações históricas e consideradas patrimônio e edificações sensíveis (Tabela 8).

Tabela 8: Tabela resumo (Edificações históricas)

Ano	País	Norma	Edificações históricas / patrimônio	PVP (mm/s)	
				mínimo	máximo
1974	França	AFTES	edifício de baixa qualidade mecânica	2,5	7,5
1980	EUA	RI 8507	casas mais antigas	12,7	50,0
1991	Suécia	SS 4604866	casas antigas; fundações de baixa qualidade	50,0	
	Índia	CMRI	estruturas de importância histórica; estruturas muito sensíveis	2,0	5,0
1992	Suíça	SN 640312 a	edifícios delicados	8,0	12,0
1993	França	Circular	edifícios muito sensíveis	4,0	9,0
1999	Alemanha	DIN 4150-3	edifícios valor intrínseco e edifícios tombados	3,0	10,0
2004	Itália	UNI 9916	edifícios valor intrínseco e edifícios tombados	3,0	10,0
2006	Austrália	AS 2187-2	construções históricas e monumentos	2,0	
2008	China	GB/T 50452	edifícios históricos	0,15	0,75
2015	Portugal	NP 2074	monumentos históricos	3,0	10,0



4. RESULTADOS

De acordo com as normas citadas no presente trabalho podemos constatar que as variações de limites para o PVP são enormes, ficando entre 0,15 e 50,0 mm/s. As normas sueca e americana são as menos restritivas, chegando ao valor de 50,0 mm/s, e a que apresenta valores mais restritivos é a norma chinesa, com 0,15 mm/s. Esse valor de caráter mais restritivo deve-se, entre outros fatores, ao fato de a China ter um número significativo de propriedades inscritas na Lista do Patrimônio Mundial da UNESCO e a preocupação em conciliar o processo de crescimento urbano com a preservação dos centros históricos [33]. Por ser considerada referência internacional, alguns países adotam os limites indicados pela norma alemã DIN 4150-3 (entre 3,0 e 10,0 mm/s).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Edificações de valor patrimonial quando implantadas em centros urbanos estão submetidas a ruídos e vibrações excessivas, e que comprometem, não somente a estrutura e preservação desse patrimônio, como também a plena utilização desses espaços, afetados pelos altos níveis de incomodidade. Por se tratar de patrimônio histórico, existem limitações de intervenções para adequação desses edifícios. Relembrando que, no Brasil, não existem normas que incorporem a questão dos efeitos causados por vibração de tráfego em estruturas e edificações. Esperamos que esse estudo possa contribuir para a avaliação e gestão de tais atividades.

6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- [1] BRITO, Luiz Antonio; SOARES, Álvaro Monoel de Souza; NAZARI, Bianca. Vibração: fonte de incômodo à população e de danos às edificações no meio urbano. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 129–141, 2013. doi: 10.1590/s1678-86212013000100009.
- [2] HYDE, J. H.; LINTERN, H. R. The vibrations of roads and structures. In: *Minutes of the Proceedings of the ICE*. [s.l.]: ICE, 1929. p. 187–199.
- [3] AL-HUNDAIDI, M. O.; TREMBLAY, Martin. Traffic-induced building vibrations in Montréal. *Canadian Journal of Civil Engineering*, [S. l.], v. 24, p. 736–753, 1997. doi: 10.1039/B910216G.
- [4] BATA, Miloslav. Effects on buildings of vibrations caused by traffic. *Building Science*, [S. l.], v. 6, n. 4, p. 221–246, 1971.
- [5] NELSON, John D.; VIRANUVUT, Suvit. Traffic induced vibrations at Wat Po, Bangkok. *Geotechnical Engineering*, [S. l.], v. 4, p. 15–30, 1973.
- [6] THOLÉN, Olle. Markvibrationer orsakade av vägtrafik. Stockholm.
- [7] RUDDER, F. F. Engineering guidelines for the analysis of traffic-induced vibrations. [s.l.: s.n.].
- [8] TANIGUCHI, Eiichi; OKADA, Susumu. Reduction of Ground Vibrations by Improving Soft Ground. *Soil and Foundations*, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 99–113, 1981.
- [9] HOLMBERG, R. et al. Vibrations generated by traffic and building construction activities. Stockholm.
- [10] WATTS, G. R. Traffic induced vibrations in buildings. *Transport and Road Research Laboratory*. Crowthorne. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [11] AL-HUNDAIDI, M. O.; RAINER, J. H. Remedial Measures for Traffic-Induced Vibrations at a Residential Site. Part 1: Field Tests. *Canadian Acoustics*, Canadian, v. 19, n. 1, p. 3–13, 1991. a.
- [12] AL-HUNDAIDI, M. O.; RAINER, J. H. Remedial Measures for Traffic-Induced Vibrations at a Residential Site. Part 2: FEM Simulations. *Canadian Acoustics*, Canadian, v. 19, n. 2, p. 11–20, 1991. b.
- [13] HAZANATO, T.; UGAI, K.; MORI, M.; SAGAGUCHI, R. Three-dimensional analysis of traffic-induced ground vibrations. *Journal of Geotechnical Engineering*, [S. l.], v. 117, n. 8, p. 1133–1151, 1991.
- [14] KARANTONI, Fillitsa V.; BOUCKOVALAS, George. Description and Analysis of Building Damage, Due to Pyrgos, Greece Earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 141–150, 1997.
- [15] CLEMENTE, Paolo; RINALDIS, Dario. Protection of a monumental building against traffic-induced vibrations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, [S. l.], v. 17, n. 5, p. 289–296, 1998.
- [16] AL-HUNDAIDI, M. O. Traffic vibrations in buildings. *Construction Technology Update*, [S. l.], v. 39, 2000.
- [17] KIM, Dong-Soo; LEE, Jin-Sun. Propagation and attenuation characteristics of various ground vibrations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, [S. l.], v. 19, p. 115–126, 2000. doi: 10.1016/S0267-7261(00)00002-6.
- [18] HAO, H.; ANG, TC; SHEN, J. Building vibration to traffic induced ground motion. *Building and*

Environment, [S. l.], v. 36, n. 3, p. 321–336, 2001.

[19] LOMBAERT, G.; DEGRANDE, G. Experimental validation of a numerical prediction model for free field traffic induced vibrations by in situ experiments. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, [S. l.], v. 21, n. 6, p. 485–497, 2001.

[20] XU, Y. L.; YANG, Z. C.; CHEN, J.; LIU, H. J.; CHEN, J. Microvibration control platform for high technology facilities subject to traffic-induced ground motion. *Engineering Structures*, [S. l.], v. 25, n. 8, p. 1069–1082, 2003. doi: 10.1016/S0141-0296(03)00049-X.

[21] ADAM, M.; VON ESTORFF, O. Reduction of train-induced building vibrations by using open and filled trenches. *Computers and Structures*, [S. l.], v. 83, n. 1, p. 11–24, 2005. doi: 10.1016/j.compstruc.2004.08.010.

[22] SANTOS, Luís Conde; VALÉRIO, Paulo. Monitorização de Vibrações em Edifícios e Monumentos. In: 2a Conferência Nacional de Avaliação de Impactes 2006, Oeiras.

[23] HAJEK, Jerry J.; BLANEY, Chris T.; HEIN, David K. Mitigation of highway traffic-induced vibration. In: *Proceedings of Annual Conference of the Transportation Association of Canada 2006*, Charlottetown. p. 1–13.

[24] MOUTINHO, Carlos Manuel Ramos. Controlo de vibrações em estruturas de engenharia civil. 2007. Universidade do Porto, [S. l.], 2007.

[25] JU, Shen-Haw. Finite element investigation of traffic induced vibrations. *Journal of Sound and Vibration*, [S. l.], v. 321, n. 3–5, p. 837–853, 2009.

[26] MOUTINHO, C.; CUNHA, A.; CAETANO, E. Novas metodologias para análise de vibrações em pavimentos de edifícios. In: 8o Congresso Nacional de Mecânica Experimental 2010, Guimarães.

[27] SILVA, Tiago Macedo de Oliveira. Avaliação da transmissão de vibração num edifício existente. 2010. Universidade Técnica de Lisboa, [S. l.], 2010.

[28] BATTISTA, Ronaldo C.; PFEIL, Michèle S.; CARVALHO, Eliane M. L. Vehicle-structure interaction effect on the fatigue life of steel orthotropic decks. In: *Proceedings of the 8th International Conference on Structural Dynamics 2011*, Leuven. p. 1–8.

[29] RESENDE, Luiz Mauro De. Análise do risco de danos por vibração mecânica nos monumentos setecentistas do Caminho Tronco de Ouro Preto. 2011. Universidade Federal de Ouro Preto, [S. l.], 2011.

[30] MHANNA, Mohannad; SADEK, Marwan; SHAHROUR, Isam. Numerical modeling of traffic-induced ground vibration. *Computers and Geotechnics*, [S. l.], v. 39, p. 116–123, 2012. doi: 10.1016/j.compgeo.2011.07.005.

[31] BRITO, Luiz Antonio; SOARES, Álvaro Monoel de Souza; NAZARI, Bianca. Vibração: fonte de incômodo à população e de danos às edificações no meio urbano.

Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 129–141, 2013. doi: 10.1590/s1678-86212013000100009.

[32] MARGARIDO, Diogo dos Remédios. Metodologias para a Avaliação do Níveis de Vibração em Estruturas do Ponto de Vista do Conforto Humano. 2013. Universidade do Porto, [S. l.], 2013.

[33] MONTI, Giorgio; FUMAGALLI, Fabio; MARANO, Giuseppe Carlo; QUARANTA, Giuseppe; REA, Rossella; NAZZARO, Barbara. Effects of ambient vibrations on heritage buildings: overview and wireless dynamic monitoring application. In: *The 3rd International Workshop, Dynamic Interaction between Soil, Monuments and Build Environment*, 12-13 December 2013, Roma.

[34] CANO, Nelson Adrés Ortiz. Avaliação de sistemas de isolamento para o controle de vibrações de edifícios submetidos a excitações de base. 2013. Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2013. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

[35] BRITO, Luiz Antonio. Avaliação das principais fontes de vibração no meio urbano. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 233–249, 2014. doi: 10.1590/s1678-86212014000400016.

[36] BRITO, Luiz Antonio Perrone Ferreira De; KAMIMURA, Quésia; SANTOS, Ademir Pereira Dos. Influência da vibração gerada pelo tráfego ferroviário no meio urbano. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, v. 5, p. 31–39, 2015. doi: 10.20396/parc.v5i2.8634536.

[37] SOUZA, Luis Eduardo De; DORNELES, Felipe Tavares; EDUARDO, Luís; ZAGO, Oliveira; ARNT, Luciana. Avaliação de impacto relacionado com ruído e vibração em perímetro urbano. *Revista Monografias Ambientais*, Santa Maria, v. 14, p. 33–43, 2015.

[38] VARELA, Wendell D.; BATTISTA, Ronaldo C.; CARVALHO, Eliane M. L. Attenuation of ambient vibrations induced in urban buildings. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings*, [S. l.], 2015. doi: 10.1680/stbu.14.00078.

[39] MIRANDA, Keilla; ROCHA, Isabel; NIEMEYER, Maria Lygia Alves De. Impacto da Vibração gerada pelo Tráfego Rodoviário sobre Sítios Históricos: Subsídios para a Portaria 12/86 do IPHAN, Vassouras/RJ. In: 4o Colóquio Ibero-Americano Paisagem Cultural, Patrimônio e Projeto 2016, Belo Horizonte.

[40] CARREIRA, Ana Sofia da Silva. Transmissão de vibração e ruído de baixa frequência em edifícios de betão armado. 2016. Universidade de Lisboa, [S. l.], 2016.

[41] ANTUNES, Sónia; PATRÍCIO, Jorge; AZEVEDO, Fernando Schiappa De; VALÉRIO, Paulo. Vibrações em edifícios: aspetos a ter em consideração na avaliação do ruído induzido por vibrações. In: *Euroregio 2016*, Porto.

[42] ALMEIDA, Renata Hermann De; DORNELAS, Angélica Maria Fonseca. O impacto do tráfego viário em sítios históricos urbanos: Avaliação em Santa Leopoldina - ES. In: *SBE16 Brazil & Portugal 2016*, [s.l.: s.n.] p. 1231–1240.



- [43] DORNELAS, Angélica Maria Fonseca. Degradação por vibração em alvenaria de tijolo mecânico: o impacto do tráfego viário no Sítio Histórico de Santa Leopoldina, ES. 2017. Universidade Federal do Espírito Santo, [S. l.], 2017. doi: 10.1037/0022-3514.51.6.1173.
- [44] GEVÚ, Nayara Vasconcelos. Projeto de intervenção para o Pavilhão Arthur Neiva/Fiocruz: estudo da vibração e do ruído rodoviário como fator de dano em bem moderno tombado. 2017. Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2017.
- [45] BRANDÃO, F.; MESQUITA, E.; DIÓGENES, A.; ANTUNES, P.; VARUM, H. Caracterização dinâmica de uma edificação histórica do século XIX. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, [S. l.], v. 11, n. 7, p. 52–75, 2018. doi: 10.1590/s1983-41952018000100004.
- [46] LUZZI, Leandro Alves Caldeira; SILVA, Jozemar Moreira; TARABAY, Murilo Almeida Kamond. Predisposição de danos em edificações causados por tráfego ferroviário. e-Xacta, [S. l.], 2018.
- [47] RIBEIRO, Priscilla Isabel dos Santos; GOMES, André Vasconcelos Soares; FERREIRA, Walnório Graça; CALENZANI, Adenilcia Fernanda Grobério. Uma revisão sobre vibrações em sistemas de piso em aço induzidas por carregamentos oriundos de atividades humanas. Revista Sul-americana de Engenharia Estrutural, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 21–38, 2018. doi: 10.5335/rsae.v15i1.7123.
- [48] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9653 - Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas. Brasil, 2018.
- [49] CETESB. D7.013 - Avaliação e monitoramento das operações de desmonte de rocha com uso de explosivo na mineração: Procedimento. Brasil, 2015.
- [50] CETESB. DD 215. Brasil, 2007.
- [51] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 4866 - Mechanical vibration and shock - Vibration of fixed structures - Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures. Switzerland, 2010.
- [52] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 2631-1 - Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements. 1997.
- [53] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 2631-2 - Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz). Switzerland, 2003.
- [54] DEUTSCHE NORM. DIN 4150-3 - Structural Vibration. Part 3: Effects of vibration on structures. Germany, 1999.
- [55] BACCI, Denise de La Corte; LANDIM, Paulo Milton Barbosa; ESTON, Sérgio Médi De; IRAMINA, Wilson Siguemasa. Principais normas e recomendações existentes para o controle de vibrações provocadas pelo uso de explosivos em áreas urbanas - Parte I. Rem: Revista Escola de Minas, [S. l.], v. 56, n. 1, p. 51–57, 2003. b.
- [56] BRITISH STANDARD. BS 6472-1 - Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings - Part 1: Vibration sources other than blasting. England, 2008.
- [57] BRITISH STANDARD. BS 5228-2 - Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites - Part 2: Vibration. England, 2009.
- [58] BRITISH STANDARD. BS 5228-4 - Code of practice for noise and vibration control applicable to piling operations. England, 1993b.
- [59] BRITISH STANDARD. BS 7385-1 - Evaluation and measurement for vibration in buildings - Part 1: Guide for measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings. England, 1990.
- [60] BRITISH STANDARD. BS 7385-2:1993 - Evaluation and measurement for vibration in buildings — Part 2: Guide to damage levels from groundborne vibration. England, 1993a. p. 13.
- [61] SVENSK STANDARD. SS 4604866 - Vibration och stot - Riktvarde för sprängningsinducerade vibrationer i byggnader. Sverige, 1991.
- [62] SWISS STANDARD. SN 640312a - Vibrations - Vibration effects in buildings. Schweiz, 1992.
- [63] NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE. UNI 9916 - Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici. Italia, 2004.
- [64] ASSOCIATION FRANÇAISE DES TRAVAUX EN SOUTERRAIN. AFTES. France, 1974.
- [65] MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT. Circular. France, 1993.
- [66] CT 28. NP 2074 - Avaliação da influência de vibrações impulsivas em estruturas. Portugal, 2015.
- [67] USBM. RI 8507 - Structure Response and Damage Produced By Ground Vibration From Surface Mine Blasting. United States Bureau of Mines, [S. l.], 1980.
- [68] CENTRAL MINING RESEARCH INSTITUTE. Report of investigations 8507 - Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration From Surface Mine Blasting. Pittsburg, 1991.
- [69] COUNCIL OF STANDARDS AUSTRALIA. AS 2187-2 - Explosives — Storage and use - Part 2: Use of explosives. Australia, 2006.
- [70] CHINA BUILDING INDUSTRY. GB/T - 50452 - Technical specifications for protection of historic buildings against man-made vibration. China, 2008.