



IBAPE NACIONAL
Instituto Brasileiro de Avaliações
e Perícias de Engenharia



IBAPE BAHIA
Instituto Brasileiro de
Avaliações e Perícias de
Engenharia da Bahia

Verificação da Influência de Vibrações Provenientes do Tráfego de Veículos e Equipamentos Pesados em Manifestações Patológicas de Edificações

**Eduardo Almeida Veneroso; Eduardo
Tadeu Possas Vaz de Mello; Efigênia
Guariento Palhares Ferreira; Wallace
Rezende Costa**



O conteúdo dos trabalhos técnicos apresentados no COBREAP é de inteira responsabilidade de seus autores.

**VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE VIBRAÇÕES PROVENIENTES DO
TRÁFEGO DE VEÍCULOS E EQUIPAMENTOS PESADOS EM
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DE EDIFICAÇÕES**

RESUMO

As reclamações de moradores próximos às vias que apresentam tráfego de veículos e/ou equipamentos pesados estão se tornando cada vez mais frequentes no país. Apesar das vistorias técnicas realizadas nas edificações indicarem que a causa dos problemas são basicamente falhas e deficiências construtivas, somado a uma manutenção deficiente e precária, fica a dúvida se o alegado tráfego poderia de alguma maneira influenciar nesses problemas. Para evitar esse tipo de questionamento, o mais recomendável seria a realização de vistorias cautelares, que poderiam compor os rotogramas de obras de grande porte. Entretanto, muitas vezes a falta de planejamento ou o tempo escasso inviabilizam a execução desse tipo de vistoria. A bibliografia nacional, relacionada à influência de vibrações em edificações, é extremamente limitada e há poucos estudos. Diante desse cenário, apresenta-se este trabalho, cujo objetivo é contribuir para a análise da influência de vibrações em edificações, provenientes do tráfego de veículos e equipamentos pesados. Foram realizados monitoramentos e análise de vibrações provocadas pelo tráfego de veículos e equipamentos em 15 pontos de vias de um distrito do interior do estado de Minas Gerais, que possuíam três tipos de pavimentação. Os resultados permitiram concluir que são vários os fatores de influência.

Palavras-chave: *Manifestações patológicas; Monitoramento; Veículos pesados; Vibrações.*

1 Introdução

As “vibrações” são ondas mecânicas que se propagam em meio específico, conduzindo energia. Recebem o nome de “vibrações sísmicas”, ou “sísmica”, quando propagadas no terreno (solo ou rocha). Em geral as ondas podem ser representadas por dois parâmetros principais definidos por *amplitude de propagação* (em mm) e *frequência de oscilação* (em Hz), vide imagem abaixo:

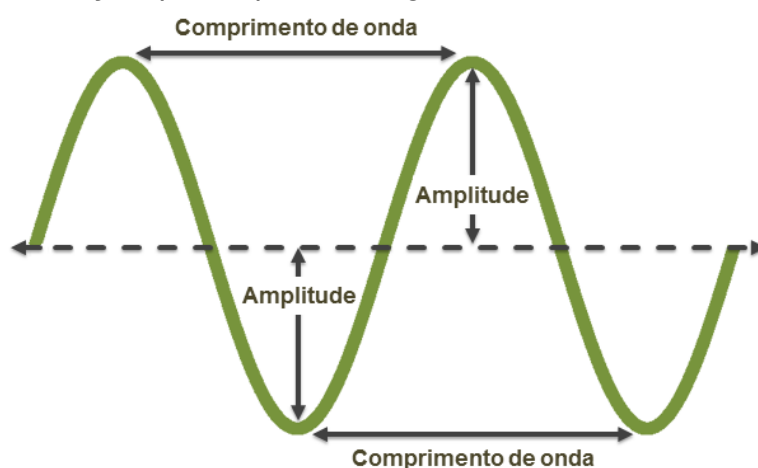


Figura 1 - Parâmetros principais constituintes da onda sísmica.
Fonte: (CECAV, 2016).

O parâmetro *amplitude* está associado à quantidade de energia gerada pela fonte emissora, a qual se propaga no meio sob a forma de ondas. O parâmetro *frequência* está associado ao número de ondas em um determinado período de tempo.

Caso a onda se propagasse em um cenário fictício de terreno homogêneo e isotrópico, a interferência do meio na atenuação da onda sísmica ao longo da propagação pelo terreno seria nula e a energia sísmica liberada sofreria atenuação somente pelo efeito do espalhamento esférico da onda. À medida que a onda sísmica se propaga, a expansão da área "esférica" de propagação resulta na atenuação natural de amplitude da onda, ainda que a energia permaneça constante. Este é um dos motivos pelo qual, ao se afastar do local da atividade emissora, o nível de vibração sísmica se reduz.

Em casos reais, além do efeito de atenuação sísmica decorrente do espalhamento esférico, a propagação da onda é influenciada pela composição não homogênea e anisotrópica do terreno. Os aspectos geomorfológicos, topográficos e estratigráficos da área de abrangência da propagação da onda sísmica influenciam diretamente na atenuação da vibração.

Sendo assim, a composição geológica e as discontinuidades existentes no terreno têm grande potencial de interferência no grau de atenuação, pois tendem a propiciar a dispersão da vibração (CECAV, 2016).

Há diversas fontes de vibração que podem resultar em incomodidade ao ser humano; danos estruturais em edificações; ou prejudicar o funcionamento de equipamentos sensíveis; sendo necessário estudar os seus efeitos e determinar parâmetros aceitáveis para essas vibrações.

Os esforços dinâmicos suportados pelas estruturas de uma edificação dependem das características da vibração emitidas pelos agentes externos, como amplitude, frequência, tempo de exposição e periodicidade da vibração. O critério de segurança para as estruturas deve ser capaz de levar em conta também a sensibilidade diferenciada de cada estrutura, além dos distintos aspectos das vibrações proveniente das diferentes atividades existentes no entorno.

Já a resposta humana aos efeitos de vibrações é uma mistura de fatores fisiológicos e psicológicos que mudam de pessoa para pessoa sendo, portanto, subjetiva. Raina (2004) defende que o corpo humano difere das estruturas, bem como na frequência natural, e, de maneira peculiar, cada pessoa pode responder à vibração e à sobre pressão diferentemente, por meio de diferentes posturas, ao sofrer influência como elemento de um ambiente psicossocial. Além disso, as faixas de sensibilidade humana são muito inferiores aos níveis de vibração suportados pelas estruturas, isto é, as pessoas sentem, desconfortavelmente, vibrações que não causam danos às estruturas.

Para Nojiri (2001), não existe um consenso sobre valores admissíveis de vibrações em função da resposta humana. E, em geral, a legislação brasileira e as normas internacionais não determinam de forma clara o que seria desconforto ambiental e dano estrutural em diferentes níveis.

Diante das informações apresentadas, constatou-se a necessidade de se realizar um estudo comparativo entre publicações que discutem os limites aceitos para determinadas vibrações. Este trabalho, apresenta ainda, uma metodologia adotada para verificar se as manifestações patológicas ocorridas em edificações localizadas em um pequeno distrito do interior de Minas Gerais, reclamadas por moradores, estão

relacionadas à circulação de veículos e equipamentos pesados em vias próximas dessas edificações, em consequências de obras de grande porte que são realizadas nas proximidades desse distrito.

1.1 Classificação das vibrações quanto à sua duração e ao período de repetição

CECAV (2006) classifica a vibração emitida por uma dada atividade de acordo com o seu período de operação (longa, média ou curta duração); e com a sua magnitude, podendo ser subdividida em três grupos principais:

- **Vibração intermitente:** caracterizada pela sucessão de eventos vibratórios, de curta duração – caso da detonação de explosivos por meio de microrretardos, da atividade de cravação de estacas por impacto e da atividade de compactação dinâmica por batimento:

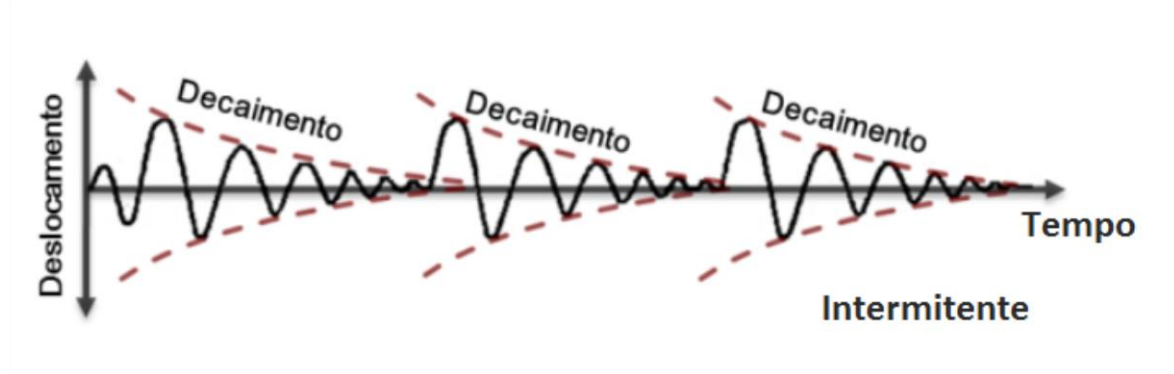


Figura 2 - Classificação das vibrações sísmicas – vibração intermitente.
Fonte: (CECAV, 2016).

- **Vibração transiente:** quando os níveis de vibração resultam de um impacto súbito, seguido de um tempo de repouso relativamente prolongado – por exemplo, as vibrações decorrentes de atividades como tráfego de veículos de carga em vias de acesso rodoviário, da passagem de um comboio ferroviário, bem como as decorrentes do carregamento ou descarregamento de material:

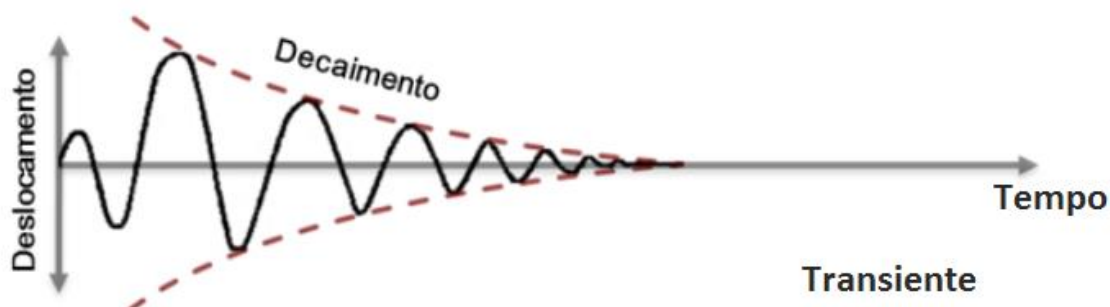


Figura 3 - Classificação das vibrações sísmicas – vibração transiente.
Fonte: (CECAV, 2016).

- **Vibração contínua:** quando um nível de vibração aproximadamente constante é mantido por um período de tempo significativo (são os casos, por

exemplo, das vibrações originadas pelo funcionamento de maquinários pesados em geral tais como as existentes nos processos de britagem):



Figura 4 - Classificação das vibrações sísmicas – vibração contínua.
Fonte: (CECAV, 2016).

Na classificação apresentada, o CECVAV (2016) afirma que a excitação estrutural decorrente de vibrações contínuas tende a ser mais prejudicial às estruturas que as vibrações de caráter transiente, uma vez que o período de tempo de exposição a que as estruturas ficam sujeitas à excitação vibracional é mais prolongado. Por esse motivo, os limites de segurança são mais restritivos para vibrações contínuas do que para vibrações transientes; e ambos são inferiores aos limites para vibrações intermitentes.

1.2 Parâmetros de medição

Nos locais situados no entorno da fonte de vibração, a energia transmitida ao terreno é pressentida na forma de uma vibração, que corresponde à passagem, através dos materiais, de ondas sísmicas cuja frente se desloca radialmente a partir do ponto de excitação. Estas ondas produzem um movimento de partículas nos materiais.

Os parâmetros de medição da vibração mais utilizados compreendem a velocidade, a aceleração e o deslocamento da partícula no terreno, juntamente com sua respectiva frequência.

As vibrações do terreno são medidas através da Velocidade de Vibração de Partícula de Pico (V_p) expressa em milímetro por segundo (mm/s). Esse número é o valor máximo instantâneo da velocidade de uma partícula em um ponto durante um determinado intervalo de tempo, considerado como sendo o maior valor dentre os valores de pico das componentes de velocidade de vibração de partícula para o mesmo intervalo de tempo. É este valor que se utiliza para avaliar o potencial de danos das vibrações. Por sua vez, o Pico da Componente de Velocidade de Vibração de Partícula é o máximo valor de qualquer uma das três componentes ortogonais de velocidade de vibração de partícula medida durante um dado intervalo de tempo.

Enquanto uma perturbação ocasionada por uma fonte de vibrações se propaga a partir desta com uma dada velocidade de onda, as partículas do terreno oscilam com uma velocidade de partícula variável. Em qualquer ponto ao longo do percurso, o movimento pode ser definido em termos de três componentes mutuamente perpendiculares (geralmente transversal, vertical e longitudinal ou radial). Para garantir que a velocidade de vibração de partícula de pico seja medida corretamente, as três componentes devem ser medidas simultaneamente.

A velocidade de vibração de partícula de pico consiste no parâmetro recomendado pela legislação nacional e internacional, e por normas técnicas em todo o mundo, concernente à avaliação da potencialidade de danos em estruturas. Corresponde ao maior nível de vibração, em mm/s, identificado ao longo de todo o período de uma medição.

1.3 Principais normas e estudos existentes

No Brasil não são encontradas normas técnicas que estabeleçam os limites para eventos relacionados a vibrações provocadas por equipamentos e ou veículos.

A única norma brasileira relacionada às vibrações e aos danos em edificações é a ABNT NBR-9653:2018 - *Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas*.

Existem diversas normas técnicas internacionais que dispõe sobre o controle, os transtornos e danos devido às vibrações. Dentre elas, será apresentada nesse trabalho a norma Alemã DIN 4150-3 – *Effects of vibration on structures*, amplamente aceita e utilizada em vários países, entre eles o Brasil.

1.3.1 ABNT NBR-9653/2018

A ABNT NBR-9653:2018 estabelece os procedimentos para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações próximas a áreas urbanas; e fixa a metodologia para reduzir os riscos inerentes ao desmonte de rocha com uso de explosivos em minerações, 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 ao conforto ambiental.

Entretanto, a referida norma abrange apenas as vibrações provocadas por detonações, que são diferentes das provocadas pelo tráfego de veículos, caso do presente estudo.

A norma determina que os riscos de ocorrência de danos induzidos por vibrações de terreno devem ser avaliados levando-se em consideração a magnitude e a frequência de vibração de partícula.

Os limites para a velocidade de vibração de partícula de pico acima dos quais podem ocorrer danos induzidos por vibrações do terreno são apresentados numericamente na TAB. 1 e graficamente na FIG. 1.

Tabela 1 - Limites de velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência.

Faixa de Frequência	Limite de Velocidade de vibração de partícula de pico
4 Hz a 15 Hz	Iniciando em 15 mm/s aumenta linearmente até 20 mm/s
15 Hz a 40 Hz	Acima de 20 mm/s aumenta linearmente até 50 mm/s
Acima de 40 Hz	50 mm/s
NOTA - Para valores de frequência abaixo de 4 Hz deve ser utilizado como limite o critério de deslocamento de partícula de pico de no máximo 0,6 mm (de zero a pico)	

Fonte: ABNT – NBR 9653/2018.

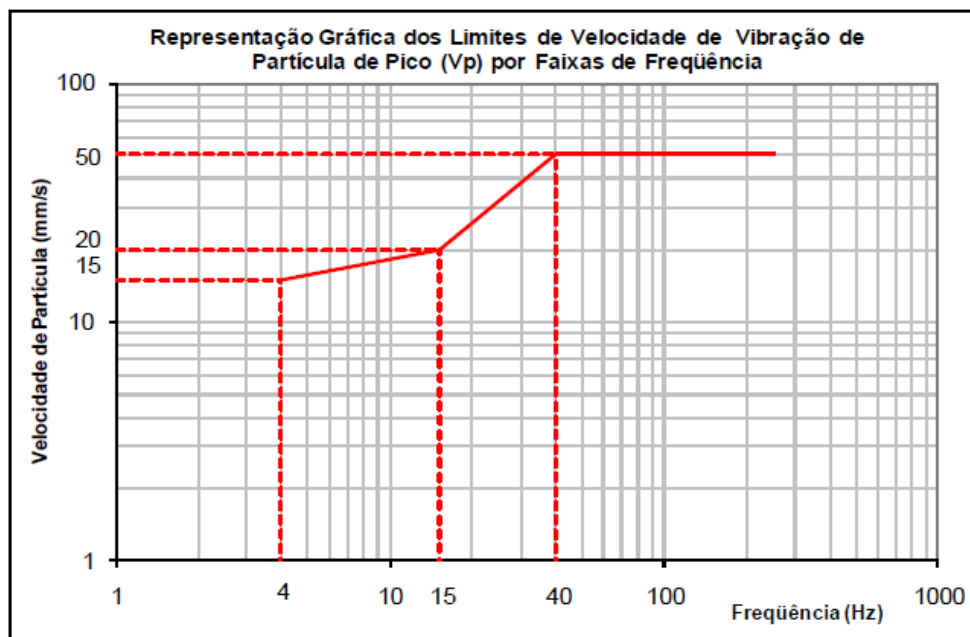


Figura 5 - Representação Gráfica dos Limites de velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência.

Fonte: ABNT – NBR 9653/2018.

1.3.2 Norma Alemã DIN 4150-3

A norma alemã DIN 4150-3 fornece valores limites de referência para vibrações e defende que, caso não sejam ultrapassados, não são verificados efeitos adversos na funcionalidade das estruturas.

Ela fornece os valores limites de velocidade de vibração de partículas, em mm/s, considerando o tipo de estrutura civil e o intervalo de frequência, em Hz; e classifica as edificações em três tipos:

- Edificações bem estruturadas (Prédios, Indústrias, etc.);
- Edificações normais;
- Edificações sensíveis.

As frequências analisadas na norma DIN 4150-3 estão situadas em três intervalos: valores menores que 10Hz; valores entre 10-50 Hz; e valores entre 50-100 Hz. Para frequências acima de 100Hz, a norma afirma que a estrutura suporta níveis altos de vibração.

As figuras abaixo são tabelas extraídas da norma DIN 4150-3, com limites de vibração transiente:

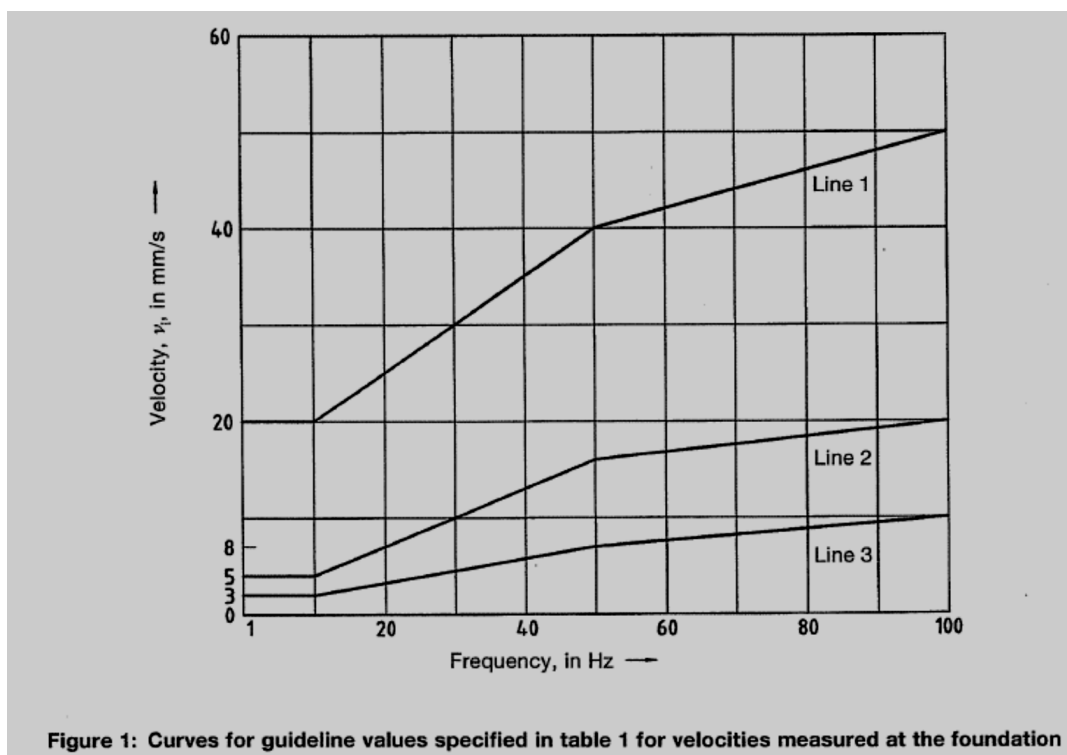
Table 1: Guideline values for vibration velocity to be used when evaluating the effects of short-term vibration on structures

Line	Type of structure	Guideline values for velocity, v_i , in mm/s			
		Vibration at the foundation at a frequency of			Vibration at horizontal plane of highest floor at all frequencies
		1 Hz to 10 Hz	10 Hz to 50 Hz	50 Hz to 100 Hz*)	
1	Buildings used for commercial purposes, industrial buildings, and buildings of similar design	20	20 to 40	40 to 50	40
2	Dwellings and buildings of similar design and/or occupancy	5	5 to 15	15 to 20	15
3	Structures that, because of their particular sensitivity to vibration, cannot be classified under lines 1 and 2 and are of great intrinsic value (e.g. listed buildings under preservation order)	3	3 to 8	8 to 10	8

*) At frequencies above 100 Hz, the values given in this column may be used as minimum values.

Figura 6 - Limites de vibração transiente (de curta duração) em edificações.

Fonte: DIN 4150-3.

**Figura 7 - Representação gráfica dos Limites de vibração transiente (de curta duração) em edificações.**

Fonte: DIN 4150-3.

Destaca-se que a norma DIN 4150-3 também foi utilizada como referência para os limites adotados pela Norma Portuguesa NP-2074 e pela Norma Italiana UNI 9916.

Os limites de vibração estabelecidos por ela apresentam critérios diferenciados para vibrações transientes e contínuas, e considera variações quanto à fragilidade estrutural de edificações.

1.3.3 Norma Alemã DIN 4150-2

A Norma DIN 4150-2 – *Human exposure to vibration in buildings* – fornece os valores limites de velocidade de vibração de partículas em mm/s em relação a incômodos e transtornos; sendo considerados basicamente a localização da edificação e o período do dia: diurno e noturno. Também são consideradas quatro tipos de áreas:

Tabela 2 – Valores de critérios de avaliação para seres humanos expostos a vibração em edificações.

LOCALIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO	KBFmax LIMITE INFERIOR*	
	Diurno	Noturno
Área predominantemente industrial	0,4	0,3
Área predominantemente comercial	0,3	0,2
Áreas que não são predominantemente comerciais ou residenciais	0,2	0,15
Área predominantemente residencial	0,15	0,1
Áreas especialmente protegidas como hospitais	0,1	0,1

*Valores de KBFmax inferiores aos apresentados atendem a norma DIN 4150 – 2.

Quando o valor de KBFmax calculado for superior ao apresentado, deve-se adotar outro critério de avaliação, conforme estabelecido na norma DIN 4150– 2, utilizando o parâmetro denominado “Avaliação de Severidade de Vibração”(KBFT_r)

Fonte: Norma DIN 4150-02 (adaptado)

1.3.4 Estudo CECAP – 2016

O documento intitulado “Sismografia Aplicada à Proteção do Patrimônio Espeleológico - Orientações Básicas à Realização de Estudos Ambientais” foi apresentado pelo CECAP (Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas) com o objetivo de estabelecer diretrizes e apresentar orientações técnicas minimamente necessárias ao controle das emissões de vibração de atividades operacionais com vistas a subsidiar os termos de referência para a elaboração dos estudos no processo de licenciamento ambiental de empreendimentos capazes de afetar o patrimônio espeleológico ou a sua área de influência (CECAP, 2016).

O estudo apresentado pelo CECAP se baseou nos limites de vibração estabelecidos pela norma DIN 4150-3 e propôs o parâmetro de **3,0 mm/s** como critério de segurança preliminar a cavernas de relevância máxima sujeitas a atividades emissoras de vibração transiente (curta duração); e o nível de **2,5 mm/s** como critério de segurança preliminar a cavernas de relevância máxima sujeitas a atividades emissoras de vibração contínua (longa duração).

1.3.5 Decisão CETESB nº 215/2007/E, de 07 de novembro de 2007

A decisão da Diretoria da CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo) nº 215/2007/E, de 07 de novembro de 2007, dispõe sobre a sistemática para a avaliação de incômodo causado por vibrações geradas em atividades poluidoras e os seus limites. O Artigo 1º estabelece os critérios para as ações de controle ambiental das atividades poluidoras que emitam vibrações contínuas:

I - Os limites de velocidade de vibração de partículas (pico), considerando os tipos de áreas e período do dia, estão descritos na tabela a seguir:

Tabela 3 - Limites de Velocidade de Vibração de Partícula – pico (mm/s), conforme tipos de áreas habitacionais e horários.

Limites de Velocidade de Vibração de Partícula – Pico (mm/s)		
Tipos de áreas	Diurno	Noturno
	(7:00 às 20:00)	(20:00 às 7:00)
Áreas de hospitais, casas de saúde, creches e escolas	0,3	0,3
Área predominantemente residencial	0,3	0,3
Área mista, com vocação comercial e administrativa	0,4	0,3
Área predominantemente industrial	0,5	0,5

Obs.:

1. Estes valores não se aplicam às avaliações de vibração de partícula gerada pela atividade de desmonte de rocha mediante utilização de explosivos (fogo primário).
2. Os limites são valores de referência para avaliação do incômodo. Caso os valores medidos, após a adoção de medidas de controle, forem superiores a estes, mas o incômodo cessar, não há necessidade da continuidade das ações de controle.

Fonte: CETESB, 2007.

II - os valores de vibração apresentados deverão ser aplicados utilizando, quando existente, o zoneamento urbano do município ou, quando inexistente, observando a real ocupação do solo e os tipos de áreas descritos na tabela

III – as avaliações de vibrações devem ser realizadas conforme descrito no Anexo 1 desta Decisão.

Artigo 2º: Esta Decisão de Diretoria entra em vigor na data de sua publicação

1.3.6 Estudo sobre incomodidade e danos em conjunto

Dos estudos existentes sobre os impactos das vibrações induzidas pela atividade humana ao meio ambiente, destaca-se o realizado por WHIFFIN A C e DR LEONARD, *A survey of traffic-induced vibrations, Report LR 418, Design Division, Transport and Road Research Laboratory, UK, 1971*, que é amplamente utilizado no Brasil, principalmente para a Elaboração de EIA-RIMA.

Na conclusão desse estudo americano é apresentada uma tabela com os limites de velocidade de partícula, em (mm/s), dividido em seis intervalos; e a Reação Humana e os Efeitos sobre as construções/edificações, nesses intervalos. A seguir são apresentadas as tabelas original (tabela 4) e a adaptada (tabela 5) desse estudo, que também é utilizada neste trabalho:

Tabela 4 - Effects of Vibration on People and Buildings according to TRRL.

PPV^a (mm/s)	Human Reaction	Effect on Buildings^c
0 – 0.15	Imperceptible	Unlikely to cause damage of any type
0.15 – 0.3 ^b	Threshold of perception	Unlikely to cause damage of any type
2.0	Vibrations perceptible	Recommended upper level to which ruins and ancient monuments should be subjected
2.5	Continuous exposure to vibrations begins to annoy ^d	Virtually no risk of “architectural” damage to normal buildings
5	Vibrations annoying to people in buildings	Threshold for risk of “architectural” damage in houses with plastered walls and ceilings
10 - 15	Continuous vibrations unpleasant and unacceptable	Would cause “architectural” and possibly minor structural damage.

^a Peak Particle Velocity in the vertical direction. For human reaction, the value applies at the point at which the person is situated. For buildings, the value refers to the ground motion (but without an allowance for the amplifying effect of structural components). It is assumed that the frequency of vibration is in the range of 5 to 20 Hz.

^b This level applies to a continuous sinusoidal vibration. However, truck induced vibration is of shorter duration (about 2 to 3 seconds) and thus higher levels appear to be applicable.

^c The criteria for buildings recognize that the building damage will result from a fatigue failure over a long period of time (not from a one-time event).

^d Vibration levels causing annoyance may be lower for occurrences during night time and for occurrences that are very frequent.

Fonte: WHIFFIN A C e DR LEONARD, 1971.

Tabela 5 - Níveis Recomendáveis de Vibrações.

Velocidade de Partícula – Pico (mm/s)	Reação Humana	Efeitos sobre as Construções/ Edificações
0 - 0,15	Imperceptível pela população. Não incomoda	Não causam danos de nenhum tipo
0,15 a 0,30	Limiar de percepção. Possibilidade de incômodo	Não causam danos de nenhum tipo
2	Vibração perceptível	Vibrações máximas recomendadas para ruínas e monumentos antigos
2,5	Vibrações contínuas. Produzem incômodos na população	Virtualmente, não há risco de dano arquitetural às construções normais
5	Vibrações incomodativas.	Limiar, no qual existe risco de danos às construções
10 – 15	Vibrações desagradáveis.	Causam danos arquiteturais às residências

Observações:

- Os valores de velocidade referem-se ao componente vertical da vibração.
- A medição para avaliação da resposta humana é feita no ponto onde está se localiza.
 - Para edificações, o valor refere-se à medição realizada no solo.
- Consideram-se, na aplicação destes parâmetros, os movimentos vibratórios com frequência acima de 3 Hz.
- As recomendações de níveis de vibração realçadas em amarelo são adotadas por agências de controle ambiental para avaliações de vibração induzidas à vizinhança.

Fonte: WHIFFIN A C e DR LEONARD, 1971 (adaptada).

2 Metodologia

Foi escolhido um determinado município de Minas Gerais que possui vias com tráfego significativo de veículos e equipamentos pesados; além de três tipos de pavimento: asfalto, bloquete e paralelepípedo.

Nessas vias foram instalados acelerômetros/sismógrafos para o monitoramento das vibrações, considerando-se distâncias variáveis do eixo da via, entre 0,20 a 11,0 metros.

Durante o monitoramento também foram realizados registros fotográficos dos veículos e dos equipamentos que circulavam nas vias, para auxiliar a sua caracterização.

2.1 Equipamentos e software

Os instrumentos utilizados nas medições foram três sismógrafos de engenharia, modelo *Micromate*, do fabricante canadense *INSTANTEL INC.*, que possuíam certificados de calibração dentro da validade.

Durante os períodos de monitoramento das vibrações, os sismógrafos foram regulados para dispararem a partir de velocidades de vibração de partícula acima de 0,25 mm/s ou 0,30 mm/s, dependendo da intensidade do trânsito local. O tempo mínimo de permanência dos sismógrafos em cada um dos pontos de monitoramento ao longo do dia foi de 6 horas.

Para a análise e apresentação dos sismogramas foram utilizados os *softwares* *BLASTWARE 10* e *THOR*, também do fabricante *INSTANTEL INC.* A análise dos dados levou em consideração os resultados de vibração do terreno, correlacionando-os com as distâncias aos pontos mais próximos com ocorrência de fontes geradoras das vibrações, que eram a pista de rolamento das estradas, os acessos e as ruas.



Figura 8 - Imagens mostrando os equipamentos utilizados para a medição das vibrações nos 15 (quinze) pontos de monitoramento (geofones).
Fonte: Elaborada pelos autores.

2.2 Fixação dos instrumentos

Para o monitoramento das vibrações de máquinas e equipamentos, os geofones foram nivelados e orientados na direção das fontes de vibrações e afixados diretamente sobre o terreno ou sobre o pavimento, de acordo com as condições do local, mas sempre de modo a representar as vibrações que atingissem a fundação dos imóveis mais próximos. Quando o terreno ou o pavimento era composto de solo, foram utilizados cravos de fixação. Já quando o terreno ou pavimento era composto de concreto ou asfalto, foi utilizado gesso.



Figura 9 - Imagens mostrando o posicionamento e a fixação dos instrumentos para o monitoramento.
Fonte: Elaborada pelos autores.

2.3 Fontes móveis de vibração

Durante o período de monitoramento foram medidas as vibrações relativas ao tráfego de veículos e equipamentos pesados representativos dos mesmos tipos e porte daqueles em atuação nas obras que eram realizadas na proximidade do distrito.

Com exceção das 2 pranchas (escavadeira e rolo compactador), na maioria dos pontos a velocidade de tráfego dos veículos e equipamentos foi a máxima

permitida para o local. Assim, para a alça do distrito foi de 20 km/h e para o restante dos pontos foi de 30 km/h a 40 km/h. Na estrada de acesso à comunidade vizinha, o caminhão basculante chegou a 50 km/h, enquanto os demais equipamentos trafegaram até a 40 km/h. Na comunidade vizinha, devido às condições ruins do pavimento e à declividade da via, a velocidade não passou de 20 km/h. As pranchas foram limitadas a 10 km/h na cidade e a 30 km/h na estrada.

Procurou-se representar todos os tipos de pavimento presentes ao longo do trajeto. Para alguns tipos, foram feitas medições próximas aos quebra-molas, o que, notadamente, pode ser causa de valores de vibração mais elevadas, devido à desaceleração brusca e ao baque originado na parte descendente do quebra-molas.

Apenas em dois pontos de monitoramento, localizados na comunidade vizinha, a Escavadeira hidráulica e o Rolo Compactador trafegaram fora da prancha, se movimentando diretamente sobre o pavimento. Destacamos que nesse caso se configura uma situação eventual e não pode ser classificada como tráfego de veículos.

Em alguns dias o caminhão basculante circulou durante um período com a caçamba vazia e em outro com a caçamba completamente cheia, permitindo avaliar se essa característica tem influência na magnitude da vibração gerada.

Além das vibrações dos equipamentos e veículos a serviço da empresa que estava realizando obras no local, foram medidas as vibrações de todos os outros veículos e equipamentos que transitaram pelas vias no momento do monitoramento, classificados como *trânsito local*.

Tabela 6 - Características e imagens das principais fontes móveis monitoradas durante o estudo.

EQUIPAMENTO E/OU VEÍCULO DE CARGA FONTE MÓVEL	IMAGEM
MOTONIVELADORA (NEW HOLLAND MODELO 140B DE 15 T)	
CAMINHÃO BASCULANTE (MERCEDES-BENZ AXOR 2831 COM CAÇAMBA DE 12.500 KG)	

**PÁ-CARREGADEIRA (NEW HOLLAND 12C
DE 10 T)**



**RETROESCAVADEIRA SOBRE PNEUS (JCB
MODELO 3C DE 6,5 T)**



**CONJUNTO CAMINHÃO VOLVO 420 COM
PRANCHA + RETROESCAVADEIRA
HIDRÁULICA KOMATSU PC 200 – PESO
BRUTO TOTAL DO CONJUNTO 76 T;**



**CONJUNTO CAMINHÃO SCANIA R420 COM
PRANCHA + ROLO COMPACTADOR
DYNAPAC CA250 – PESO BRUTO TOTAL
DO CONJUNTO 66 T**



ESCAVADEIRA HIDRÁULICA KOMATSU PC 200 – 21 T	
ROLO COMPACTADOR DYNAPAC CA250 – 13,3 T	

Fonte: Elaborada pelos autores.

2.4 Características dos pontos de monitoramento e das fontes de vibração

2.4.1 Posicionamento dos Instrumentos

Os equipamentos utilizados nas medidas das vibrações referentes ao tráfego de veículos e equipamentos pesados foram distribuídos em 15 (quinze) pontos distintos, sendo 12 (doze) deles na área central do distrito e os outros 03 (três) nas estradas de acesso às comunidades vizinhas.



Figura 10 - Imagens mostrando (02) dois dos 15 (quinze) pontos de monitoramento realizados durante o estudo.

Fonte: Elaborada pelos autores.

3 Resultados

As vibrações geradas pelas fontes móveis que trabalhavam para a empresa que realizava obras no local foram coletadas ao longo de 6 dias, em 15 pontos.

Foram realizadas tabelas que apresentam o horário em que a vibração de cada fonte móvel foi registrada, ou o horário em que a fonte de vibração passou pelo ponto, para os casos em que não tenham sido registradas vibrações. Para esse último caso, é apresentado na tabela que o valor de vibração é inferior ao valor mínimo programado para disparo do instrumento de medição (*trigger*).

Também foi apresentado o valor da Velocidade de Vibração de Partícula de Pico (V_p) e a sua frequência registrada no momento da passagem do veículo/equipamento. **Esse é o valor utilizado para controle, conforme já explicado.**

Para os veículos classificados como trânsito local ou para qualquer veículo que gerasse vibrações capazes de serem registradas pelos sismógrafos, além do valor máximo de vibração e do horário captado, também foram feitos registro fotográficos dessas fontes móveis.

3.1 Análise dos resultados das medições de vibração por ponto de monitoramento

A tabela a seguir apresenta os valores máximos de Velocidade de Vibração de Partícula de Pico (V_p) medidos em cada ponto de monitoramento, para cada um dos tipos de fontes móveis trafegando naqueles locais. Esses valores são também correlacionados com o tipo de pavimento existente no local e a distância do ponto de monitoramento à via de tráfego. Os valores em destaque são para os maiores V_p s medidos para cada ponto:

Tabela 7 - Valores máximos de Velocidade de Vibração de Partícula de Pico (Vp) por ponto de monitoramento.

QUANT.	PONTO	PAVIMENTO	DISTANCIA DA VIA EM (M)	TIPO DE EQUIPAMENTO	VP (MM/S)	FREQUENCIA (HZ)	IMAGENS DO LOCAL E DOS VEICULOS/EQUIPAMENTOS COM MAIORES VIBRACOES	
1	MH-01	CHAO BATIDO	2,00	MOTONIVELADORA	<0,25			
				CAMINHAO CACAMBA CHEIO	<0,25			
				PA CARREGADEIRA	<0,25			
				RETROESCAVADEIRA	<0,25			
				PRANCHA COM ROLO COMPACTADOR	<0,25			
				PRANCHA COM ESCAVADEIRA HIDRAULICA	0,310	15		
				CAMINHAO CARROCERIA	0,530	13,8		
2	MH-02	CHAO BATIDO	1,5	MOTONIVELADORA	0,426	3,4		
				CAMINHAO CACAMBA VAZIO	0,370	8,8		
				PA CARREGADEIRA	0,465	3,9		
				RETROESCAVADEIRA	0,441	7,5		
				PRANCHA COM ROLO COMPACTADOR	0,828	14,00		
				PRANCHA COM ESCAVADEIRA HIDRAULICA	0,843	9,1		
				CAMINHAO CACAMBA	1.695	13,0		
3	MH-03	CHAO BATIDO	1,0	MOTONIVELADORA	0,290	16,0		
				CAMINHAO CACAMBA VAZIO	0,880	19,0		
				PA CARREGADEIRA	0,500	14,6		
				RETROESCAVADEIRA	0,300	8,5		
				PRANCHA COM ROLO COMPACTADOR	0,770	15,5		
				PRANCHA COM ESCAVADEIRA HIDRAULICA	0,480	14,6		
				CAMINHAO PIPA	0,960	17,1		
4	MH-04	CHAO BATIDO	3,0	MOTONIVELADORA	<0,30			
				CAMINHAO CACAMBA VAZIO	<0,30			
				PA CARREGADEIRA	<0,30			
				RETROESCAVADEIRA	<0,30			
				PRANCHA COM ROLO COMPACTADOR	0,331	9,3		
				PRANCHA COM ESCAVADEIRA HIDRAULICA	0,481	7,1		
				PRANCHA COM PERFURATRIZ	0,402	28,0		
5	MH-05	CHAO BATIDO	0,2	MOTONIVELADORA	<0,30			
				CAMINHAO CACAMBA CHEIO	1.080	17,7		
				PA CARREGADEIRA	0,300	6,4		
				RETROESCAVADEIRA	0,520	7,6		
				PRANCHA COM ESCAVADEIRA HIDRAULICA	0,700	9,3		
				CAMINHAO GADO	1.001	12,5		

6	MH-06	ASFALTO	2,00	MOTONIVELADORA	<0,25			
				CAMINHAO CACAMBA VAZIO	0,740	18,3		
				PA CARREGADEIRA	<0,25			
				RETROESCAVADEIRA	<0,25			
				PRANCHA COM ESCAVADEIRA HIDRAULICA	0,36	16,0		
				MICRO ONIBUS	1,12	17,1		
7	MH-07	ASFALTO	2,50	MOTONIVELADORA	<0,25			
				CAMINHAO CACAMBA VAZIO	0,275	12,00		
				PA CARREGADEIRA	<0,25			
				RETROESCAVADEIRA	<0,25			
				PRANCHA COM ESCAVADEIRA HIDRAULICA	<0,25			
				LOCAL	<0,25			
8	MH-08	ASFALTO	2,00	MOTONIVELADORA	<0,25			
				PA CARREGADEIRA	<0,25			
				RETROESCAVADEIRA	<0,25			
				ROLO COMPACTADOR	1,25	20,5		
				ESCAVADEIRA HIDRAULICA	1,79	51,2		
				LOCAL	<0,25			
9	MH-09	CALCAMENTO DE PEDRA	1,00	MOTONIVELADORA	<0,25			
				PA CARREGADEIRA	<0,25			
				RETROESCAVADEIRA	<0,25			
				ROLO COMPACTADOR	1.553	34,1		
				ESCAVADEIRA HIDRAULICA	2.120	46,5		
				CAMINHAO CARROCERIA	0,41	39,4		
10	MH-10	BLOQUETE	1,5	MOTONIVELADORA	<0,25			
				CAMINHAO CACAMBA CHEIO	0,434	>100		
				PA CARREGADEIRA	<0,25			
				RETROESCAVADEIRA	<0,25			
				PRANCHA COM ESCAVADEIRA HIDRAULICA	<0,25			
				CAMINHAO CARROCERIA	0,500	10,2		

11 E 12	MH-12A-B	BLOQUETE	0,5	MOTONIVELADORA	<0,25			
				CAMINHAO CACAMBA CHEIO	0,63	17,7		
				PA CARREGADEIRA	0,26	16,0		
				RETROESCAVADEIRA	0,32	4,3		
				PRANCHA COM ESCAVADEIRA HIDRAULICA	<0,25			
				CAMINHAO CARROCERIA - GAS	1,47	42,7		
13	MH-14	ASFALTO	0,4	MOTONIVELADORA	<0,25			
				CAMINHAO CACAMBA CHEIO/VAZIO	<0,30			
				PA CARREGADEIRA	<0,30			
				RETROESCAVADEIRA	0,36	3,1		
				PRANCHA COM ESCAVADEIRA HIDRAULICA	0,51	16,5		
				ONIBUS	0,26	10,0		
14	MH-15	ASFALTO	1,2	MOTONIVELADORA	0,25	4,0		
				CAMINHAO CACAMBA CHEIO	0,42	2,6		
				PA CARREGADEIRA	<0,25			
				RETROESCAVADEIRA	0,55	2,6		
				PRANCHA COM ESCAVADEIRA HIDRAULICA	<0,25			
				CAMINHAO CARROCERIA	0,38	9,1		
15	MH-16	ASFALTO	1,0	MOTONIVELADORA	<0,30			
				CAMINHAO CACAMBA CHEIO	0,40	6,4		
				PA CARREGADEIRA	<0,30			
				RETROESCAVADEIRA	0,42	7,6		
				PRANCHA COM ROLO COMPACTADOR	0,63	14,2		
				PRANCHA COM ESCAVADEIRA HIDRAULICA	0,552	13,5		
				ONIBUS	0,552	11,4		

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.1.1 Análise dos resultados no ponto de monitoramento MH-01

Como exemplo sobre as conclusões obtidas, é apresentada a análise dos resultados no ponto MH-01. Nesse ponto, a fonte móvel de vibração que registrou o maior valor de velocidade de partícula, de 0,53 mm/s; e frequência de 13,8 Hz, foi um caminhão carroceria.

O conjunto prancha com escavadeira hidráulica registrou vibrações acima do limite para disparo do instrumento de medição, sendo o valor máximo igual a 0,31 mm/s, com frequência de 15 Hz.

Destaca-se que no local, apesar de ser um cruzamento de grande movimento, não existem quebra-molas próximos.

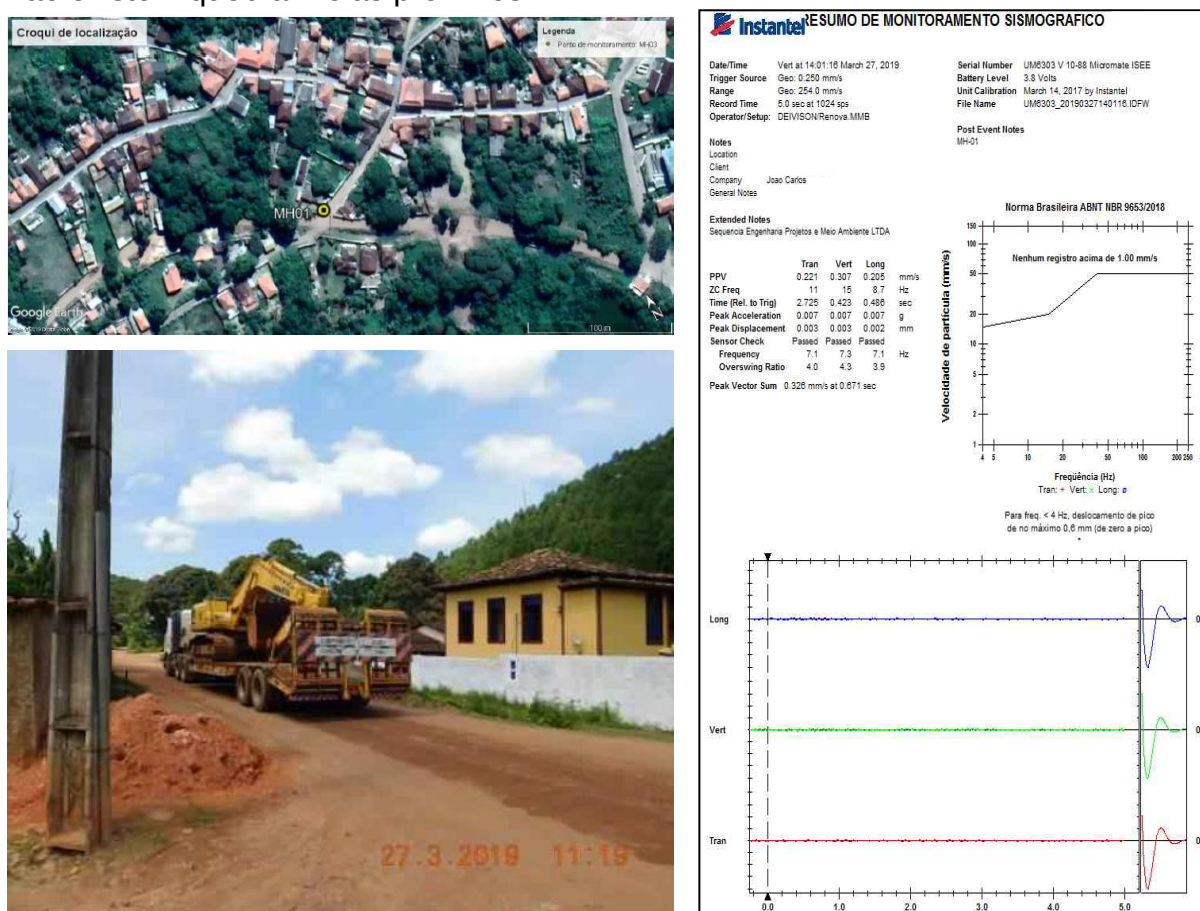


Figura 11 - Imagens mostrando em destaque um dos pontos de monitoramento e a medição da passagem de uma das fontes.

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.2 Análise dos resultados das medições de vibração por tipo de fonte móvel

A tabela abaixo apresenta os valores máximos de Velocidade de Vibração de Partícula de Pico (Vp) medidos para cada tipo de fonte móvel analisado ao longo da campanha de monitoramento. Esses valores são também correlacionados com o ponto de monitoramento e o tipo de pavimento existente no local.

Tabela 8 - Valores máximos de vibração por equipamento.

Tipo de equipamento	Ponto	Pavimento	Vp (mm/s)	Frequência (Hz)
Motoniveladora	MH-02	Chão batido	0,426	3,4
Caminhão caçamba cheio	MH-05	Chão batido	1,08	17,7
Caminhão caçamba vazio	MH-06	Asfalto	0,74	18,3
Pá carregadeira	MH-03	Chão batido	0,5	14,6
Retroescavadeira	MH-15	Asfalto	0,55	2,6
Prancha com rolo compactador	MH-02	Chão batido	0,828	14
Prancha com escavadeira hidráulica	MH-02	Chão batido	0,843	9,1
Rolo compactador	MH-09	Calçamento de pedra	1,553	34,1
Escavadeira hidráulica	MH-09	Calçamento de pedra	2,12	46,5
Trânsito local - caminhão caçamba	MH-02	Chão batido	1,695	13

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os dados da tabela 8 são apresentados no gráfico a seguir, que também contém os valores de referência, de 3,0 mm/s para a norma DIN 4150-3; e de 2,0 mm/s para o estudo de WHIFFIN A C e DR LEONARD (1971). Pelo gráfico, pode-se observar que apenas a escavadeira hidráulica apresentou valores de Vp maior que 2,0 mm/s, que é o parâmetro mais restritivo em relação a danos em edificações estabelecido por WHIFFIN A C e DR LEONARD (1971). Entretanto, destaca-se que não é usual o tráfego desse tipo de equipamento em contato com pedras (material abrasivo), situação que só ocorre durante a carga e descarga do equipamento e que não caracteriza o tráfego de equipamentos/veículos, que é o objeto desse trabalho.

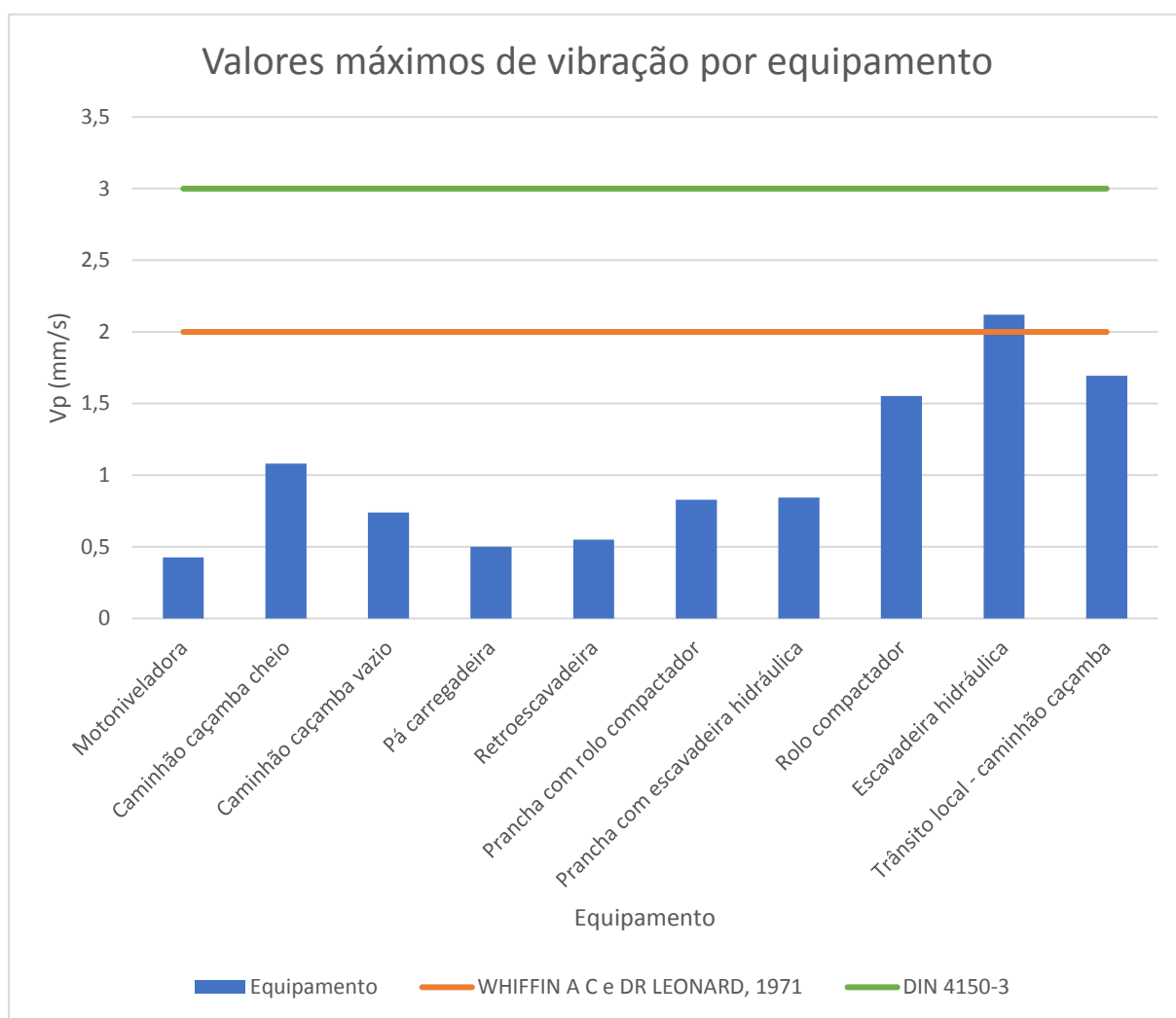


Figura 12 – Gráfico com os valores máximos de vibração por equipamento. Elaborado pelos autores.

O caminhão caçamba foi uma das fontes móveis que mais gerou registro ao longo de toda a campanha, tanto pelo número de dados que foram registrados, quanto pelo fato de ser o veículo, a serviço da empresa, que podia trafegar com a maior velocidade e sem necessidade de batedor. Foi coletado um número quase igual de dados para o caminhão caçamba cheio e vazio, em vários pontos de monitoramento, o que permitiu se concluir que, de modo geral, o caminhão caçamba cheio foi capaz de produzir um nível de vibração maior do que o caminhão caçamba vazio.

Para a prancha com rolo compactador, com exceção do ponto MH-01, nas poucas vezes em que o conjunto trafegou nos 5 dos pontos de monitoramento foram registradas vibrações com valores médios a altos. Isso demonstra que essa é uma fonte que tem grande potencial de geração de vibrações.

O rolo compactador trafegou fora da prancha apenas nos 2 pontos da comunidade vizinha e nessas ocasiões produziu alguns dos maiores valores de vibração registrados ao longo de toda a campanha. Isso confirmou o que já se esperava, que essa talvez seja uma das, senão a fonte móvel de maior potencial de geração de vibrações, somente perdendo para a escavadeira hidráulica.

A escavadeira hidráulica trafegou fora da prancha apenas nos 2 pontos da comunidade vizinha e nessas ocasiões produziu os maiores valores de vibração registrados ao longo de toda a campanha. Relaciona-se o fato ao peso do equipamento e à esteira metálica em contato direto com o terreno.

Foram registradas vibrações do chamado trânsito local em quase todos os pontos de monitoramento, com exceção dos pontos MH-07 e MH-08, onde ou o volume de tráfego de veículos pesados era muito pequeno (MH-08) ou as condições da pista não favorecem a geração de vibrações (MH-07). Dentre os 15 pontos de monitoramento, em alguns deles os valores de velocidade de vibração de partícula registrados para o trânsito local foram superiores aos valores registrados para todas as fontes móveis a serviço da empresa terceirizada. Quando isso não aconteceu, os valores máximos do trânsito local ficaram muito próximos ao valor máximo registrado para as fontes móveis a serviço da empresa. O maior valor de velocidade de vibração de partícula registrado para um veículo do trânsito local ocorreu para um caminhão caçamba no ponto MH-02, caminhão de gás, tendo sido igual a 1,695 mm/s com uma frequência de 13 Hz.

3.3 Análise dos resultados da atenuação das vibrações no ponto duplo MH-12A-B

Os pontos MH-12A e MH-12B foram escolhidos próximos para que se pudesse, ao se medir as vibrações simultaneamente em 2 pontos muito próximos, avaliar qual o fator de atenuação da vibração no terreno ao se distanciar da fonte de vibração em um ponto representativo da área central do distrito.

Dessa forma, foi escolhido o ponto MH-12B situado na Rua Alexandre Alves, a cerca de 11 m de distância, aproximadamente na perpendicular à sua esquina com a via principal Rua Benigno Idelfonso Correa, onde se situava o ponto MH-12A. A figura abaixo ilustra a localização desses dois pontos de monitoramento em relação a via:



Figura 13 - Vista do posicionamento do ponto MH-12B na via secundária a 11m do ponto MH-12A situado na esquina com a via principal onde trafegaram as fontes móveis cujas vibrações foram registradas.

Fonte: Elaborada pelos autores.

A tabela abaixo apresenta apenas os valores de velocidade de vibração de partícula que foram registrados simultaneamente nos pontos MH-12A e MH-12B e o percentual de atenuação verificado em cada um desses registros simultâneos.

Ocorreram registros simultâneos de vibrações nesses 2 pontos em 9 ocasiões. Observa-se que o percentual de atenuação variou de um mínimo de 10,3% para um máximo de 51,6%:

Tabela 9 - Valores de velocidade de vibração de partícula medidos simultaneamente nos pontos de monitoramento MH-12A e MH-12B e seu percentual de atenuação.

Registro	Tipo de equipamento	Vp (mm/s)	Frequência (Hz)	Vp (mm/s)	Frequência (Hz)	Atenuação (%)
1	Caminhão caçamba cheio	0,62	19,0	0,30	26,9	51,6
2	Caminhão caçamba cheio	0,39	17,7	0,24	25,6	37,4
3	Caminhão de gás	1,57	42,7	0,94	34,1	40,1
4	Caminhão caçamba cheio	1,54	16,5	0,27	19,7	82,5
5	Caminhão de gás	1,15	34,1	0,85	32,0	26,1
6	Caminhão de gás	0,5	56,9	0,38	51,2	24,0
7	Caminhonete	0,51	42,7	0,36	51,2	29,4
8	Kombi	0,46	51,2	0,41	51,2	10,9
9	Caminhão caçamba cheio	0,49	16,0	0,33	17,7	32,7

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.4 Análise global dos resultados das medições de vibração das fontes móveis

Analisando-se os dados das tabelas apresentadas, conclui-se que:

- As condições do ponto MH-02, constituído por chão batido, em condições ruins de conservação e que apresenta um quebra-mola; foram determinantes na intensidade máxima das vibrações registradas. Portanto, as condições da via é um fator determinante na intensidade das vibrações;
- A velocidade da fonte móvel influencia diretamente na intensidade da vibração medida, uma vez que os veículos que trafegaram com velocidades maiores apresentaram valores de vibração mais altos;
- O peso do equipamento/veículo também influencia na intensidade das vibrações, uma vez que as pranchas, muito mais pesadas, porém mais lentas, apresentaram valores de vibração maiores do que os dos demais equipamentos sobre pneus. Destaca-se também que o caminhão caçamba totalmente carregado apresentou valores de vibrações, em média, mais altos do que o mesmo caminhão com a caçamba vazia;
- O pavimento asfáltico sem irregularidades induz muito pouca vibração no tráfego dos veículos/equipamentos pesados. Esse tipo de pavimento somente apresentou níveis de vibração medianos, quando associado a alguma irregularidade no piso ou a algum quebra-molas posicionado em zona de maior velocidade. A maioria dos valores altos de vibrações está associada ao piso de chão batido e/ou com problemas de conservação;

- Para fontes móveis trafegando dentro do limite máximo de velocidade permitido para a via, o piso de bloquetes não se mostrou um indutor de valores de vibração elevados, mas permitiu o registro de vibrações de quase todas as fontes, mesmo que em intensidades baixas;
- Em várias ocasiões o trânsito local gerou níveis de vibração maiores ou muito próximos dos níveis mais altos registrados para as fontes móveis a serviço da empresa terceirizada.
- Os equipamentos trafegando diretamente sobre suas partes metálicas, no caso o rolo compactador e a escavadeira hidráulica, confirmaram o seu potencial de geradores de altos níveis de vibração, tendo sido os responsáveis pelos maiores valores de velocidade de vibração de partícula medidos ao longo de toda a campanha. A escavadeira hidráulica trafegando fora da prancha produziu o maior valor de velocidade de vibração de partícula de pico de toda a campanha de monitoramento, registrado no ponto MH-09 e igual a 2,12 mm/s com uma frequência de 46,5 Hz;
- Apenas como comparação com as normas de referência citadas, se for considerado o maior valor de velocidade de vibração registrado, de 2,12 mm/s, e compará-lo com os limites da norma alemã DIN 4150, cujo menor limite para vibrações consideradas contínuas é de 2,5 mm/s, tem-se que o maior valor registrado ao longo da campanha de monitoramento seria 15,2% menor do que o limite mais restritivo da norma DIN 4150.

4 Conclusões

Para realização deste estudo foram realizadas medições das vibrações geradas pelas fontes móveis trabalhando a serviço da empresa terceirizada e do trânsito local. Essas medições foram coletadas ao longo de 6 dias de monitoramento em 15 pontos distintos.

Os resultados dessas medições foram analisados levando-se em consideração os valores máximos de velocidade de vibração de partícula registrados em cada ponto. Esses valores foram correlacionados com as características dos pavimentos das vias de tráfego, as distâncias aos pontos de monitoramento, a existência de quebra-molas e irregularidades na via, a velocidade máxima de deslocamento das fontes móveis, etc.

Além disso, com a medição das vibrações em 2 pontos simultâneos e muito próximos, foi possível demonstrar a atenuação das vibrações à medida que o ponto de medição se distancia da via de tráfego. Foi determinado um coeficiente de amortecimento médio de cerca de 33% para uma distância de 11 m entre um ponto e outro.

A análise global dos resultados mostrou que os valores obtidos estão totalmente coerentes com as expectativas para as características das fontes móveis monitoradas e dos locais de monitoramento, o que valida os resultados das medições e as análises realizadas.

Por fim, o maior valor de vibração registrado ao longo de toda a campanha de monitoramento, de 2,12 mm/s para a escavadeira hidráulica trafegando fora da prancha, foi comparado ao limite de vibração mais restritivo existente na norma alemã

DIN 4150, para o que se concluiu que o valor encontrado para a escavadeira hidráulica está 15,2% abaixo do limite mais restritivo da norma.

Portanto, o critério de danos estruturais da norma DIN 4150-3 não foi superado em nenhum momento, mesmo nos casos excepcionais de um equipamento esteira e de um rolo compactador trafegando com materiais metálicos sobre pedras e asfalto, o que só ocorre de forma eventual durante o carregamento e descida desses equipamentos da prancha, não configurando uma situação de tráfego de veículos.

Finalmente, conclui-se que o tráfego de veículos e/ou equipamentos pesados geram vibrações que podem causar incômodos e transtornos aos moradores mais próximos, mas essas vibrações não são capazes de gerar, potencializar ou mesmo antecipar o aparecimento de anomalias e/ou manifestações patológicas nas edificações, mesmo as mais precárias. Entende-se que essa última opção só seria possível em situações extremamente severas de tráfego, somado a edificações muito precárias e que estejam posicionadas muito próximas às vias de tráfego.

5 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, – 2005 – NBR 9653: Guia para Avaliação dos Efeitos Provocados pelo Uso de Explosivos nas Minerações em Áreas Urbanas. Rio de Janeiro.

ATTEWELL, P. B.; SELBY, A. R.; O'DONNELL, L. Estimation of Ground Vibration Form Driving Piling Based on Statistical Analyses of Recorded Data. Geotechnical and Geological Engineering, v. 10, n. 1, p. 41-59, 1992.

ATTEWELL, P. B.; SELBY, A. R.; UROMEIHY, A. Appraisal of Ground Vibration Form Civil Engineering Construction International Journal of Mining and Geological Engineering, v. 7, p. 183-208, 1989.

BACCI, D. C., ESTON, S. M., IRAMINA, W. S., SOARES, L. E. C. – 2003 – Considerações Sobre o Monitoramento Sismográfico de Vibrações Provocadas por Detonações. Revista Areia & Brita, nº 21. São Paulo.

BACCI, D. L. C. et al. Principais Normas e Recomendações Existentes Para Controle de Vibrações Provocadas Pelo Uso de Explosivos em Áreas Urbanas: parte I. Revista Escola de Minas, v. 56, n. 1, p. 51-57, 2003

BRITO, L. A. P. F. de. Avaliação da Vibração Gerada pelo Tráfego Rodoviário e Ferroviário no Hospital Universitário de Taubaté. In: ENCONTRO NACIONAL DO CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., Búzios, 2011. Anais... Búzios, 2011.

BRITO, L. A. P. F. de. Vibração, Fonte de Incômodo a População e Danos às Edificações no Meio Urbano. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 129-141, jan./mar. 2013.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Decisão de Diretoria nº 215/2007/E. Diário Oficial do Estado de São Paulo - Caderno Executivo I, p. 38, 2008.

DIN-DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG – 1999 – DIN 4150-3: Structural Vibration – Part 3: Effects of Vibration on Structures. Berlim.

HUNAIDI, O. AND TREMBLAY, M. Traffic-induced building vibrations in Montréal. Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 24, No. 5, 1997, pp. 736–753.

HUNAIDI, O. Evaluation of human response to building vibration caused by transit buses. Journal of Low Frequency Noise and Vibration, Vol. 15, No. 1, 1996, pp. 25–42.

HUNAIDI, O., RAINER, J.H. AND PERNICA, G. Measurement and analysis of traffic- induced vibrations. Proceedings of 2nd International Symposium on Transport Noise and Vibration, St. Petersburg, Russia, 1994, pp. 103–108.

ICMBIO – 2016 - Sismografia Aplicada à Proteção do Patrimônio Espeleológico: Orientações Básicas à Realização de Estudos Ambientais. ICMBIO. Brasília.

WHIFFEN, A. C. 1971. *A survey of traffic-induced vibrations*. (Report LR419.) Crowthorne, Berkshire, England: United Kingdom Department of Environment, Road Research Laboratory.