



SENSOR DE MONITORAMENTO DE VIBRAÇÃO EM CONCRETO

QUINTAS, Jaqueline (1); CABETTE, Regina Elaine Santos (2)

(1) Centro Universitário Salesiano de São Paulo, jacqueline.engcivil1@gmail.com

(2) Centro Universitário Salesiano de São Paulo, regina.cabette@unisal.br

RESUMO

Para se realizar qualquer obra é preciso que haja um planejamento bem estruturado e detalhado. Uma das etapas mais importantes é a do reconhecimento do local onde será implantada a construção, um exemplo dessa fase é a obtenção da resistência do solo, um parâmetro muito importante para a fundação da estrutura; existem inúmeros dados como esse que devem ser verificados com precisão para que tudo ocorra perfeitamente. Às vezes, mesmo levando em conta numerosas informações específicas da região da edificação ainda, acontecem várias patologias e em situações graves, o colapso do mesmo. Isso se dá muitas vezes porque não é considerado um dos maiores causados de danos na estrutura, a vibração. Esse fenômeno físico pode ser produzido por qualquer tipo de abalo, por exemplo, pela passagem de carros, caminhões, trem, entre outras formas geração. Essa energia quando produzida em grande amplitude, pode gerar o fenômeno da ressonância. Pensando na proteção da sociedade e da estrutura, é que um sensor de monitoramento está sendo criado, essa tecnologia inovadora poderá através de um analisador de vibração consolidado com um acelerômetro e com um estudo prévio do solo, verificar essas ondas invisíveis, e posteriormente poderá conceder um laudo de perigo demonstrando a intensidade do fenômeno, e qual o risco que ele poderá causar para a construção.

Palavras-chave: Inovação, Vibração, Manutenção.

ABSTRACT

To realize any construction it's necessary a good and detailed planning. One of the main steps is recognize the local where will be the contruction. One example of this step is obtaining the ground resistance, one feature very important to foundation of structure. Exist a lot of information like that, and must be accurately analyzed so that everything goes perfectly. sometimes even knowing numerous information about the region pathologies happen and in serious situations, the collapse of the local. In the most of the cases, this happen because the people don't consider one of the biggest causes of damage: the vibration. This physical phenomenon can be produced by any kind of earthquake, for example, the passing of cars, trucks, trains, etc... This energy when produced at large amplitude can generate the resonance phenomenon. Thinking in the protection of society and of structure, was created a monitoring sensor. this innovative technology can through a vibration meter consolidate it with an accelerometer and with a previous soil study, verify these invisible waves and, subsequently issue a hazard report showing the intensity of the phenomenon and cause for construction

Keywords: Innovation, Vibration, Maintenance.

1 INTRODUÇÃO

O segundo produto mais utilizado hoje no mundo é o concreto, esse material é um elemento heterogêneo composto por cimento, água e agregados (pedra e areia). Esses componentes quando misturados com a

dosagem certa, formam uma liga que pode ser moldada, assumindo diversas formas e podendo ter diferentes aplicações.

O concreto tem como principal propriedade uma alta resistência à compressão e uma baixa resistência à tração, por isso que muitas vezes se usa outro elemento que seja resistente a tensões de tração, como o aço, na composição deste material para reforço.

Para se obter um concreto de ótima qualidade, com alta resistência, que seja durável, econômico e impermeável quando endurecido é preciso que na produção dele seja usado materiais de primeira linha para que o produto final seja excelente. Outros fatores importantes a serem levados em conta é, a dosagem do material, a manipulação do concreto até a forma, o adensamento dele e por último, o mais importante, a cura do concreto. (ALMEIDA, 2002)

Mesmo essa mistura tendo inúmeras vantagens e sendo muito resistente, atualmente existem várias construções feitas desse material que sofrem algum tipo de patologia. Um dos defeitos que mais acontecem atualmente nesses tipos de estruturas são as trincas e fissuras; inúmeros são os motivos que podem causar essas imperfeições como, a má qualidade da mistura, e da execução. (PREVE, 2017)

Através de muitas pesquisas na área de patologias em construções, hoje já se sabe que existe um fator que é invisível a olhos humanos, mas, é considerado por muitos uns dos grandes responsáveis por danos em estruturas. Esse efeito acontece a partir de um carregamento dinâmico, e é chamado de vibração ou onda sísmica; esse conceito é hoje frente de vários estudos na engenharia estrutural.

Essa fonte energética pode dar-se por um excesso de tensão aplicado no solo, como, em uma ferrovia com o peso do trem, em construções muito grandes, ou até mesmo em obras já acabadas e com grandes movimentações como viadutos e prédios. A produção dessa energia muitas vezes é negativa, pois é ela que nas maiorias das vezes causa patologias.

Mesmo o Brasil sendo localizado em uma área com pouca possibilidade de ocorrências de tremores naturais, hoje existem locais de grande concentração de ações sísmicas induzidas. Essas ações acontecem através de cargas dinâmicas produzidas pela energia de vibração.

Em geotecnia, a vibração é tida como um movimento oscilatório de um material sólido ou fluido, que foi retirado da sua posição de equilíbrio, em outras palavras, a vibração pode ser entendida como uma resposta elástica do solo, quando submetido a uma onda de tensão com origem direta ou indireta, que pode ser causada por efeito natural ou artificial. (BASTOS, 1998)

Os grandes centros urbanos estão mais propícios a esse fenômeno, já que acumula elevado tráfego de veículos, ocasionando ondas de vibração

que afeta as fundações das construções e transmitem-se pela estrutura, ocorrendo um efeito inverso, que é da estrutura para fundação. Esse fenômeno é principalmente indesejável que aconteça em estruturas antigas, pois muitas vezes essa energia não foi considerada no planejamento da obra, desde modo, a estrutura está constantemente exposta a essas vibrações. Portanto, quando essa hipótese acontece é preciso que haja uma manutenção da estrutura para que não ocasione o colapso dela.

Os tremores que ocasionam as vibrações podem ser produzidos por causas naturais como comentado acima, pela a movimentação de placas tectônicas, mas também podem ser induzidos pela ação do homem. Mesmo sendo raros esses acontecimentos e muitas vezes com pequenas magnitudes, eles podem causar grandes danos a sociedade.

A energia vibratória que ocasiona danos estruturais as construções são chamadas de vibração forçada esse conceito recebe este nome pois, é produzido por forças externas que são aplicadas em um sistema em equilíbrio. (SOARES, 2009)

Quando essas ondas sísmicas induzidas são produzidas, elas liberam energias que se distribuem pelo solo em ondas volumétricas. Essa propagação gerada ocasiona frequências vibratórias.

Toda estrutura vibra em uma frequência natural específica, caso essa energia seja similar a frequência produzida por uma força externa haverá uma vibração de grande amplitude e a produção de uma frequência de excitação, gerando incomodo aos usuários. Conseqüentemente, essa amplificação da vibração provoca uma ressonância na construção que posteriormente poderá levá-la ao colapso. (SARTORTI, 2011)

Embora esse fenômeno seja muito preocupante para a sociedade, pelos inúmeros casos de acidentes já comprovados, ainda hoje não existe nenhuma legitimação específica brasileira para amenizar esse problema. Portanto, é preciso de critérios internacionais para poder analisar este conceito.

A principal referência internacional a ser considerada para efeitos de vibração em estruturas é, a norma alemã DIN 4150-3 (1999) Vibration in buildings effect in structures. Ela separa por categorias três tipos de estruturas, e apresenta dados limites de frequência e de velocidades máximas de deslocamento.

Tabela 1 – Limites de Picos de velocidades da Partícula (PVP) em Relação ao Tipo de Construção

Tipos de Edificação	Frequencia (HZ)		
	<10	10-50	50-100
Categoria 1: Edificação de concreto armado e de madeira em boas condições.	20 mm/s	20-40 mm/s	40-50 mm/s
Categoria 2: Edificações de alvenaria em boas condições.	5 mm/s	5-15 mm/s	15-20 mm/s
Categoria 3: Edificações de alvenaria em más condições de conservação e edificação de patrimônio histórico	3 mm/s	3-8 mm/s	8-10 mm/s

Fonte: DIN 4150-3 (1999)

Além dos abalos gerados na estrutura outro ponto que deve ser levado em conta é o incomodo físico que é produzidos para as pessoas que ocupam a construção. Esse efeito é indesejavel pois afeta diretamente varios aspecto da vida humana, como o sono. Mesmo não existindo leis especifica nesse assunto no país, há no Decisão de Diretoria nº 215/2007/E (07/11/20007) da CETESB, uma tabela que estabelece limites de incomodidade.

Tabela 2 – Limites de Pico de Velocidade da Partícula (PVP) em Relação ao Incomodo Físico

Tipos de Áreas	Diurno PVP (mm/s)	NOTURNO PVP (mm/s)
Hospitais, casas de Saúde ou escolas	0,3	0,3
Residencial	0,3	0,3
Mista, Vocação comercial e Administrativa	0,4	0,3
Industrial	0,5	0,5

Fonte: BRITO (2011)

2 OBJETIVO

Com a situação atual do país, onde inúmeros viadutos, pontes e outros tipos de obra estão constantemente sofrendo vários tipos de patologias e sendo interditados, é notória a necessidade de algum método que seja capaz de solucionar problemas estruturais antes da condenação da edificação. Como já dito anteriormente ainda no Brasil existe um déficit enorme, quando o assunto é o efeito de vibração em estruturas, diferentes de outros país como, o Estados Unidos que disponibilizam de normas e

instrumentos totalmente voltados para essas atividades monitorando constantemente essas ações, para que sempre sejam feitas manutenções preventivas nas construções antes do colapso.

3 MÉTODO

Para minimizar os danos causados em estruturas pela vibração, é que foi pensado um método que seja capaz de avaliar as ondas sísmicas, para poder prever os efeitos causados por ela. A aquisição dos dados foi realizada com a ajuda de um coletor e analisador de vibração NK820, que utiliza um acelerômetro para a captura das informações. Esse equipamento é gerenciado pelo software SDAV que realiza registros de formas de onda e espectros de frequência, com formação de gráficos de tendência dos níveis (RMS e Valor de Pico) de vibração.

FIGURA 1 – Equipamento de Análise de Vibração



Fonte: Autor

A programação do analisador de vibração é a parte mais importante da captura dos dados, pois somente com a configuração correta é que será possível adquirir os valores para a avaliação.

O programa SDAV pode ser usado para adquirir a aceleração e ou, a velocidade da partícula, no caso deste projeto foi determinado somente a velocidade, que é o movimento vibratório que está associada à energia dissipada pela vibração (TEKNIKAO, 2016). Outros parâmetros muito importantes para se determinar na configuração é, as linhas de espectro que é responsável na resolução do sinal, a frequência máxima de aquisição que é a faixa de frequência que será capturada, as médias que é a quantidade de repetições que o programa vai realizar durante a análise, e por fim a passa alta que é o intervalo de tempo que o aparelho vai começar a adquirir as informações.

Os testes foram realizados no prédio da Universidade Salesiana de São Paulo (UNISAL), no campus São Joaquim na cidade de Lorena SP.

O prédio Padre Mario Bonatti é constituído de três pavimentos, e ocupa uma área total de 1100 metros quadrados, ele é destinado aos cursos de engenharia do UNISAL. O prédio se localiza no centro da cidade de Lorena, e está a menos de 500 metros da linha férrea.

FIGURA 2 – Ilustração do local Prédio P. Mario Bonatti e a linha férrea



Fonte: Google maps

As medições foram realizadas ao lado de fora do prédio (Fig-2, ponto amarelo), próximo a linha férrea. O local escolhido foi o ponto mais crítico onde a distância entre a estrutura do prédio e o trem é a mínima.

Para aquisição dos dados foi preciso que uma barra de aço fosse colocada no solo a 40 cm de profundidade, para que o acelerômetro fosse capaz de captar as informações, após esse processo foi realizado a configuração do equipamento.

FIGURA 3 – Ilustração da aquisição dos dados

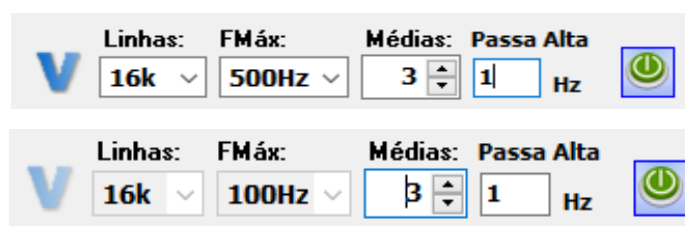


Fonte: Autor

Foi realizada dois tipos de configuração, o primeiro tipo utiliza a frequência máxima de 500hz (testes 1) para conseguir capturar altas velocidades, no segundo tipo foi utilizado a frequência de 100hz (teste 2).

O teste 1 foi realizado no período noturno, neste horário o prédio de estudo está com 100% de funcionamento. No térreo do prédio está localizado o laboratório das engenharias, onde se encontra vários equipamentos que possuem sua própria vibração, essas que podem ter contribuído na captura das informações. O segundo teste foi realizado no final de semana no período da manhã, quando o prédio não tem nenhuma atividade.

FIGURA 4 – Configurações usadas no programa SDAV

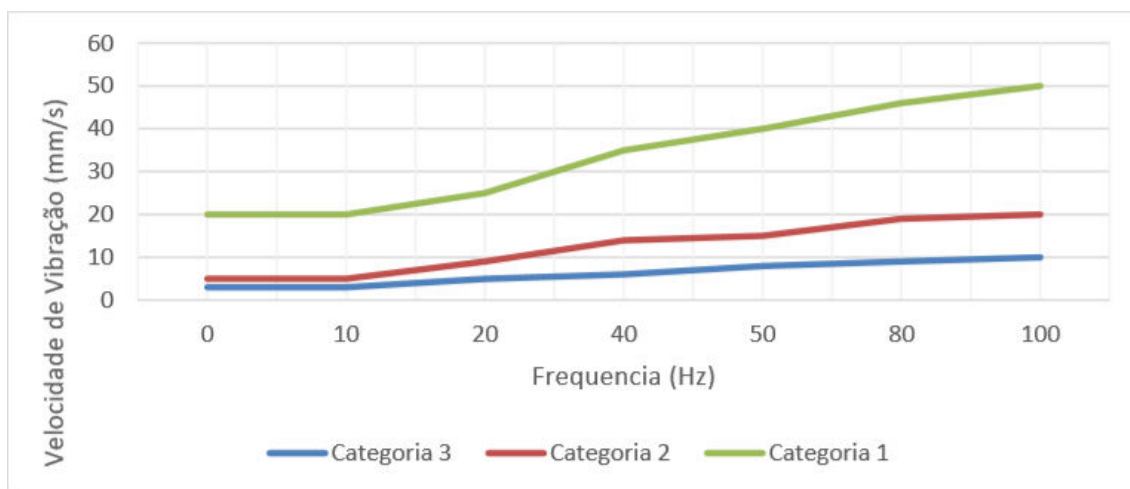


Fonte: Autor

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para conseguir analisar os dados que foram obtidos será considerado como base a norma alemã DIN 4150-3. Foi desenvolvido um gráfico com os valores da norma, para que através dele seja mais fácil compreender o resultado.

GRAFICO 1 – Limites de velocidade de partícula (PVP) em mm/s, de acordo com a norma DIN 4150



Fonte: Adaptado de DIN 4150-3

As tabelas a seguir demonstram os resultados obtidos utilizando as duas configurações. Foi obtido 5 principais picos de frequência e velocidade

de partículas (PVP) para cada uma das configurações devido ao tráfego ferroviário. Na primeira tabela foram medidos trens carregados, que seguia em direção a São Paulo, já a segunda tabela foi medida os trens vazios, quase sem nenhuma carga que seguia sentido do Rio de Janeiro.

Tabela 3 – Valores de Picos de Velocidades da Partícula (PVP) e Frequência obtidos com a Primeira Configuração (500Hz)

Frequência (Hz)	Velocidade de Partículas (mm/s)
1,53	257,12
1,19	211,57
2,56	127,16
2,14	122,49
3,45	88,56

Fonte: Autor

Através dos dados do quadro 3 é possível perceber que, os valores de vibração estão muito alto no prédio ultrapassando o limite descrito na norma alemã, mesmo que esses abalos sejam muito rápidos eles podem afetar diretamente a estrutura do prédio, como acontece na construção que foi estudada, pois em menos de 5 anos de uso o prédio está cheios de fissuras e trincas que, possivelmente está sendo gerada por esses abalos rápidos.

Tabela 4 – Valores de Picos de Velocidades da Partícula (PVP) e Frequência obtidos com a Segunda Configuração (100Hz)

Frequência Hz	Velocidade de Partículas mm/s
1,21	0,40
1,53	0,23
1,67	0,11
1,39	0,10
1,34	0,09

Fonte: Autor

O quadro acima demonstra os valores obtidos com a passagem do trem que seguia sentido Rio de Janeiro, esses testes foram realizados quando o laboratório não estava em uso, medindo somente a velocidade produzida pelo trem.

Tabela 5– Valores de Picos de Velocidades da Partícula (PVP) e Frequência obtidos com a Segunda Configuração Sem a passagem do trem

Frequência Hz	Velocidade de Partículas mm/s
5,54	0,07
6,37	0,07
6,29	0,06
10,00	0,05
9,84	0,05

Fonte: Autor

A tabela acima utiliza a configuração de 100Hz, e demonstra os valores obtidos dos testes realizados sem a passagem do trem e quando todos os equipamentos do laboratório de engenharia estão desligados. A velocidade obtida representa o mm/s atuante constantemente no prédio, vindo de outra fonte de vibração.

É notório que com a passagem do trem o nível de vibração aumenta significativamente, porém não ultrapassam o limite estabelecido pela norma. Entretanto, mesmo estando dentro dos limites estabelecidos, os dados ultrapassam o padrão de incomodo físico, como o local é usado como faculdade isso pode afetar diretamente as aulas. O pico de velocidade de partículas limite para a incomodidade em lugares como escola/faculdade é de 0,3 mm/s, já o valor obtido foi de 0,4 mm/s, gerando um nível de incomodo a todos que frequentam o prédio.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os testes realizados foi possível confirmar e demonstrar a existência da vibração induzida, um dos vilões invisíveis da construção civil. Esse efeito negativo deve ser analisado antes de construir, durante e depois que a obra estiver pronta, pois atualmente existe inúmeras construções que sofrem por algum tipo de dano, e não tem a devida investigação para que haja a manutenção dela, isso se dá muitas vezes pela falta de fiscalização que existe no Brasil.

Através dos resultados é possível perceber que o nível de vibração é variado e depende de inúmeros fatores que podem contribuir para o aumento da vibração na estrutura. Os principais fatores que devem ser levados em conta são, a localidade da obra, a distância do ponto de vibração e os tipos de geradores de vibração induzidas que podem estar contribuindo como, veículos, trem, equipamentos e outras construções.

No caso do prédio Padre Mário Bonatti além dos critérios descritos acima, ainda deve se levar em conta o sentido do trem, e a carga adicional de material que ele está transportando, pois esses parâmetros interferem diretamente na velocidade do trem que acaba contribuindo para a

produção da vibração. Cabe ressaltar que os dados adquiridos são próprios das condições físicas do local monitorado, e que se deve obter outros novos valores para que haja a comparação de vários outros casos, monitorando não somente a parte externa, mas também a parte interna.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P. C. (2002). *Concreto*. Notas de aula da disciplina de concreto armado, Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Estruturas, Campinas.
- ALMEIDA, S. F., NÓBREGA, P. G., & HANAI, J. B. (03-04 de 11 de 2005). Critérios de Vibração para Estrutura de Piso de Concreto Pré- Moldado. *1º Encontro nacional de Pesquisa projeto produção em concreto pré-moldado*.
- BASTOS, M. N. (1998). *A geotecnia na concepção, Projecto e execução de túneis em Maciços Rochosos*. Tese de mestrado , Universidade Técnica de Lisboa, Geotecnia, Portugal .
- BRITO, L. P., SOARES, A. d., & NAZARI, B. (2011). *Avaliação da vibração gerada pelo tráfego rodoviário e Ferroviário no Hospital Universitário de Taubaté*. XI Encac, Encontro latino americano de conforto no, Búzio.
- HUNAIDI, O. (2000). *Traffic Vibrations in Buildings* . National Research council of Canada.
- LOPES, H. M. (2001). *Estudo do fluxo de energia vibratória em vigas e placas*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Engenharia Mecânica, Porto.
- NÓBREGA, P. B., & NÓBREGA, S. (2016). *Perigo Sísmico no Brasil e a Responsabilidade da engenharia de estruturas*. UFRN, Do Rio Grande do Norte. HOLOS.
- PREVE, W. S., D'ESPINDULA, G. C., & Valdati, J. (2017). *Abalos Sísmicos moderados no Brasil: Um levantamento dos eventos registrados nos séculos XX e XXI e a difusão de medidas preventivas*. Simpósio Brasileiro de Geografia Física aplicada , Unicamp, Geociências , Campinas.
- SARTORTI, A. L., & KUSTER, L. D. (2011). *Análise Dinâmica de estruturas de concreto: Avaliação de Três sistemas construtivos de lajes*. Unasp, Engenharia Civil, São Paulo.
- SOARES, S. C. (2009). *Vibrações induzidas em edifícios Sensíveis devidas ao Tráfego Rodoviário* . Universidade do Porto , Faculdade de engenharia . Portugal : U. Porto.
- TEKNIKAO. (02 de 2016). *Manual de Operação* . Fonte: Teknikao: <http://www.teknikao.com.br/2.0/manuais/SDAV-GuiadoUsuario.pdf>