

ESTUDO DE VIBRAÇÕES EM MOTO DE VELOCIDADE - PROJETO FINAL DE VIBRAÇÕES 1S2018

Fábio Eid Morooka, 167072

Fernando Lucas Araújo Amaral, 167531

Gabriel Saloni Duarte, 168133

Abstract. The purpose of this project is study the vibration that exists in the race motorcycles and its consequences. To make this study, the system was modeled as a 5 degrees of freedom. Apart from that it was made some simulations of the free vibration and the forced vibration in the MatLab program. In this project it was proposed some types of vibrations and how is the system's behaviour. The vibration does not always have huge consequences.

Keywords: Vibration, Race Motorcycle, Matrix Laboratory (MatLab).

Resumo. O objetivo desse projeto é estudar as vibrações existentes em motos de corrida de velocidade e quais suas consequências. Para realizar o estudo, foi modelado o sistema como um sistema de 5 graus de liberdade. Além disso foram feitas simulações da vibração livre e da vibração forçada do sistema no MatLab. Ao longo do projeto foram propostos alguns tipos de vibração e como o sistema se comporta, no qual nem sempre são vibrações que geram grandes consequências para o piloto.

Palavras-chaves: Vibrações, Moto de velocidade, Matrix Laboratory (MatLab).

1. INTRODUÇÃO

O trabalho tem como objetivo usar os conhecimentos adquiridos na matéria de “Vibração de Sistemas Mecânicos” (EM607) para modelar um problema real e analisar o funcionamento de um sistema a fim de compreender melhor a vibração do sistema proposto. Neste trabalho será feita a análise da vibração de uma moto utilizada em competições esportivas de corrida. A princípio a análise do projeto consistiu em analisar em condições gerais os efeitos vibratórios gerados em pistas de competição, e se estendeu ao entendimento dos efeitos do motor na vibração da moto.

As competições de motovelocidade tem o mesmo objetivo: concluir o percurso com menor tempo possível, porém variam seus percursos e as especificações dos veículos das competições, algumas competições que existem são a corrida *Isle of Man Tourist Trophy*, no qual os competidores realizam um percurso na Ilha de Man, localizada entre a Grã-Bretanha e a Irlanda, em pistas com curvas, guia de calçada, postes, tampas de bueiro e imperfeições no asfalto. Outra competição é a Moto Grand Prix (Moto GP), campeonato mundial de motovelocidade no qual 24 pilotos de 12 equipes correm em 18 pistas espalhadas pelo mundo, e como as pistas são projetadas para tais competições essas possuem menos imperfeições.

2. MODELO PARA ANÁLISE

O sistema da Fig. 1 abaixo é o modelo proposto para o estudo de vibrações de uma motovelocidade.

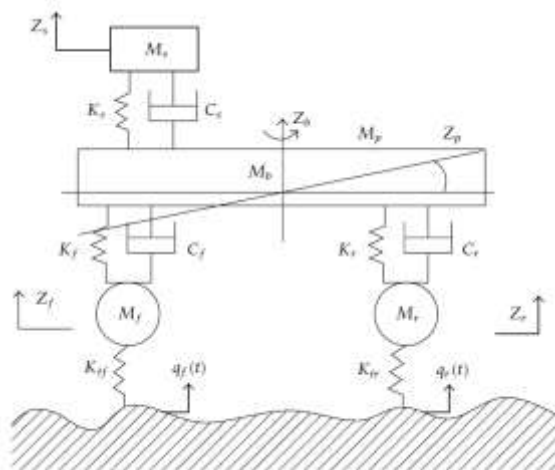


Figura 1. Modelo mecânico da moto, 5 graus de liberdade.

No sistema a variável M_s é a massa do assento e do motorista, M_f e M_r são a massa do suporte da suspensão frontal e traseira, respectivamente. M_b é a massa da estrutura do veículo e M_p é o momento inercial da moto. K_s e C_s são o coeficiente da mola e do amortecedor do assento, respectivamente. K_f e K_r são, respectivamente, o coeficiente da mola da suspensão frontal e traseira, enquanto C_f e C_r são, respectivamente, o coeficiente de amortecimento da suspensão frontal e traseira. K_{tf} e K_{tr} são o coeficiente da roda frontal e traseira. Em relação às distâncias, L_1 é distância entre o assento e o centro de massa da moto, L_2 e L_3 são as distâncias do centro de massa da moto até o eixo frontal e traseiro, respectivamente.

Outros parâmetros importantes para análise do sistema propostos são os 5 graus de liberdade: Z_s , Z_f , Z_r , Z_b e Z_p que são, respectivamente, o deslocamento linear do assento (e por consequência do piloto), o deslocamento linear da suspensão frontal e traseira, o deslocamento linear da moto e o deslocamento rotativo da moto. E por fim as forças de excitação frontal e traseira, respectivamente $q_f(t)$ e $q_r(t)$.

Com base no modelo proposto foi equacionado as matrizes de massa, coeficiente de amortecimento e rigidez a partir do diagrama de corpo livre do sistema (DCL). O resultado obtido está mostrado abaixo.

$$[M]\{\ddot{Z}\} + [C]\{\dot{Z}\} + [K]\{Z\} = [F]\{Q\} \quad (1)$$

As matrizes M , C e K são mostradas abaixo e representam, respectivamente, as matrizes de massa, coeficiente de amortecimento e rigidez do sistema. Enquanto a matriz F é a matriz composta pelas constantes de rigidez das molas sobre as quais forças estão atuando no sistema. E por fim, o vetor Q representa a amplitude das forças de excitação do sistema.

$$[M] = \begin{bmatrix} M_s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M_f & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & M_r \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} C_s & -C_s & C_s * L_1 & 0 & 0 \\ -C_s & C_s + C_f + C_r & -C_s * L_1 - C_f * L_2 + C_r * L_3 & -C_f & -C_r \\ C_s * L_1 & -C_s * L_1 - C_f * L_2 + C_r * L_3 & C_s * L_1^2 + C_f * L_2^2 + C_r * L_3^2 & C_f * L_2 & -C_r * L_3 \\ 0 & -C_f & C_f * L_1 & C_f & 0 \\ 0 & -C_r & -C_r * L_3 & 0 & C_r \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} K_s & -K_s & K_s * L_1 & 0 & 0 \\ -K_s & K_s + K_f + K_r & -K_s * L_1 - K_f * L_2 + K_r * L_3 & -K_f & K_r \\ K_s & -K_s * L_1 - K_f * L_2 + C_r * L_3 & K_s * L_1^2 + K_f * L_2^2 + K_r * L_3^2 & K_f * L_2 & -K_r * L_3 \\ 0 & -K_f & K_f * L_1 & K_f + K_{tf} & 0 \\ 0 & -K_r & -K_r * L_3 & 0 & K_r + K_{tr} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$[F] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ K_{tf} & 0 \\ 0 & K_{tr} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\{Z\} = \begin{Bmatrix} Z_s \\ Z_b \\ Z_p \\ Z_f \\ Z_r \end{Bmatrix} \quad (6)$$

$$\{Q\} = \begin{Bmatrix} q_f \\ q_r \end{Bmatrix} \quad (7)$$

3. DEFINIÇÕES DA MOTOCICLETA

Utilizando o modelo proposto para o estudo foi pesquisado sobre dimensionamento das motos em competições esportivas e foi encontrado algumas possíveis dimensões para serem consideradas no modelo. A Fig. 2 abaixo foi utilizada como referência para o dimensionamento.



Figura 2. Moto usada como referência para dimensionamento do projeto.

Com bases nas características e componentes da moto utilizada como referência, definiu-se os seguintes valores numéricos para o dimensionamento e análise da moto do projeto. Os valores são mostrados na Tab. 1 abaixo.

Tabela 1. Dimensões da moto adotada

Parâmetro	Valor Numérico
Ms (Kg)	75
Mf (Kg)	20
Mr (Kg)	20
Mp (Kg.m ²)	50
Mb (Kg)	120
Ks (N/m)	2300
Kf (N/m)	16000
Kr (N/m)	90000
Ktf (N/m)	25000
Ktr (N/m)	25000
Cs (N.s/m)	550
Cf (N.s/m)	1200
Cr (N.s/m)	800
L1 (m)	0,300
L2 (m)	0,650
L3 (m)	0,800

4. ANÁLISE DO SISTEMA EM VIBRAÇÃO LIVRE

Utilizando o modelo e as dimensões acima obteve-se as matrizes M, C, K, mostradas nas eq. 8, eq. 9 e eq. 10, respectivamente, além dos vetores nas eq. 11 e eq. 12, frequências naturais (ω) e razão de amortecimento (ζ), respectivamente.

$$[M] = \begin{bmatrix} 75 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 120 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 20 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 20 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} 550 & -550 & 165 & 0 & 0 \\ -550 & 2550 & -305 & -1200 & -800 \\ 165 & -305 & 1086,5 & 780 & -640 \\ 0 & -1200 & 360 & 1200 & 0 \\ 0 & -800 & -640 & 0 & 800 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 2300 & -2300 & 690 & 0 & 0 \\ -2300 & 108300 & 60910 & -16000 & -90000 \\ 2300 & 60910 & 64567 & 10400 & -72000 \\ 0 & -16000 & 10400 & 41000 & 0 \\ 0 & -90000 & -72000 & 0 & 115000 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$[\omega] = \begin{bmatrix} 0,845807 \\ 2,29721 \\ 2,8571 \\ 6,40134 \\ 13,6073 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$[\zeta] = \begin{bmatrix} 53,9 \\ 60,7 \\ 2,84 \\ 85,7 \\ 33,2 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Desta forma foram gerados no programa do matlab fornecido pelo Prof. Dr. Milton Dias Jr. as funções transferência que permitem observar como o deslocamento das rodas frontal e traseira afetam o piloto através do assento, conforme mostra a seguir as Fig. 3. e Fig. 4, respectivamente. Abaixo, ambos gráficos mostram no eixo horizontal as frequências enquanto o eixo vertical indica a receptância:

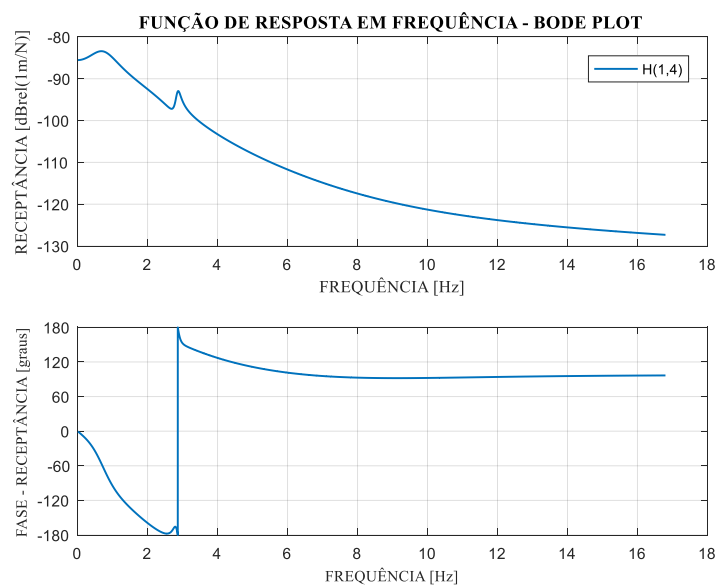


Figura 3. Função de transferência da base de acordo com a roda frontal.

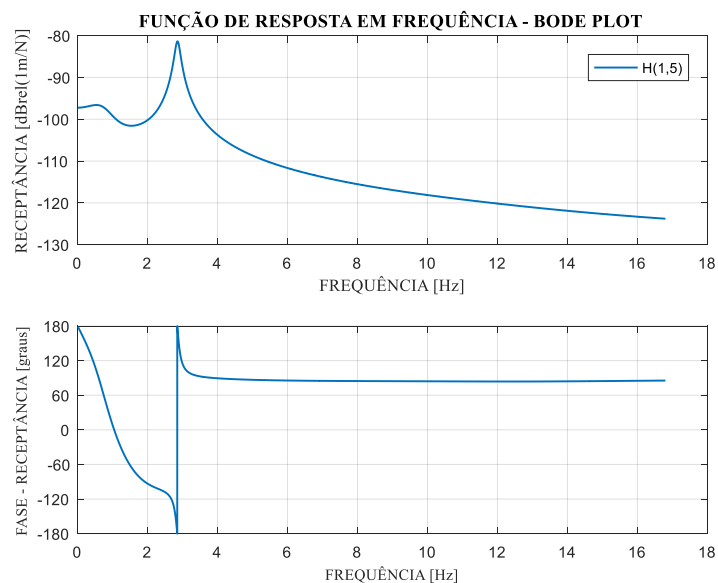


Figura 4. Função de transferência da base de acordo com a roda traseira.

Analisando as Fig 3. e Fig. 4. é possível observar que em ambos gráficos, próximo de uma das frequências naturais do sistema, em torno de 3Hz, ocorre um ponto de máximo. Da mesma forma é possível observar uma descontinuidade na fase na mesma frequência.

A interpretação física da receptância de uma função de resposta em frequência (*Frequency Response Function (FRF)*) para um sistema de múltiplos graus de liberdade é que o i -ésimo elemento da matriz de receptância FRF (denominada por $H(i,j)$) é a função resposta em frequência quando o sistema tem apenas uma força de entrada aplicada à coordenada 'j' tem a resposta é medida na coordenada 'i'.

5. DEFINIÇÃO DA FORÇA DE EXCITAÇÃO

Com o intuito de aproximar a pista à uma harmônica senoidal, foi definido a rugosidade padrão de pistas de corrida, que em boas condições está em torno de 1,4mm/m. Assim, foi definido também a frequência de oscilação da função, que tomando como base a velocidade média de 325 km/h das motos de velocidade (máxima de 356,5 km/h) e no comprimento da onda em torno de 1 mm, chega à frequência de 90000 Hz.

Assim, foram geradas duas funções senoidais que representam a excitação da pista, e com auxílio do programa desenvolvido no MatLab, essas forças foram aplicadas no sistema em $q_f(t)$ e $q_r(t)$. Dessa forma, foi possível observar os diferentes tipos de amplitudes de deslocamento que cada parte do sistema estava exposta por conta das pequenas imperfeições da pista.

No entanto, ao se analisar as curvas geradas, foi possível observar que não estavam condizentes com o estudo feito, pois na frequência aproximada de 23 Hz (uma frequência muito superior à máxima frequência natural do sistema) as amplitudes de deslocamento e de aceleração apresentavam comportamento não condizente com o sistema.

Com isso, chegou-se à conclusão de que se tratava de um problema de *aliasing*. Esse problema pode ocorrer quando é desenhada uma curva em programas de computação, neste caso de estudo, o MatLab. Devido ao fato de ter sido proposta uma força de excitação com uma alta frequência, o programa não conseguiu identificar corretamente ponto a ponto toda a curva, e sim somente alguns pontos, então foi gerado uma curva com base em apenas alguns pontos da força excitadora, gerando assim uma resposta “fantasma”, ou seja, uma resposta que não deveria ocorrer. A figura a seguir, Fig. 5, mostra um exemplo desta limitação computacional.

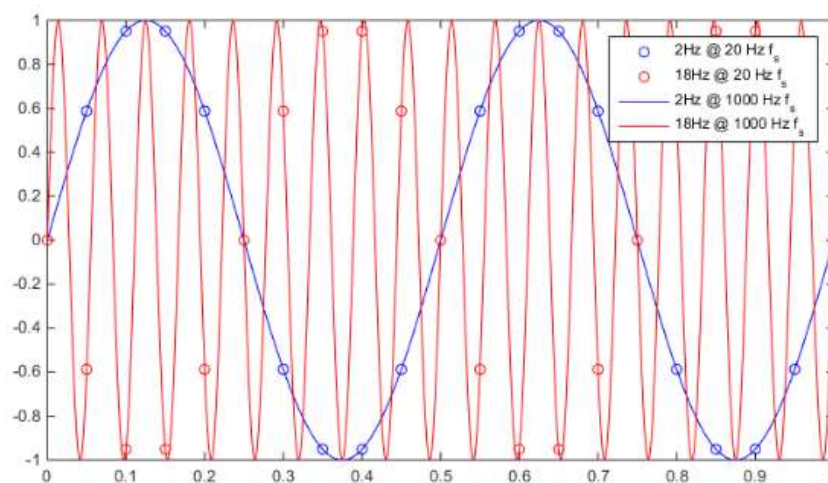


Figura 5. Exemplo de visualização de *aliasing* no Matlab.

Como pistas de alta velocidade não apresentam características que poderiam ser modeladas como forças degraus ou impulsivas e devido à dificuldade em simular imperfeições da pista em altas frequências por conta do *aliasing*, foi encontrado dificuldades em excitar o sistema em altas frequências com diferentes tipos de pistas. Então, foi proposto uma simulação de vibração no sistema que ocorre devido a força de desbalanceamento rotativo do motor.

Em máquinas rotativas, existe uma força dinâmica comum que é responsável pela geração de vibração, que é o desbalanceamento provocado por desequilíbrios de massa devido a causas inevitáveis de confecção da peça, como assimetrias, tolerâncias dimensionais, desvios de forma, imperfeições da matéria prima ou da montagem. Qualquer uma dessas causas ou uma combinação delas é responsável pela má distribuição de massa em torno do eixo de rotação do motor, gerando desbalanceamento.

Casa erro de massa que ocorre em um sistema rotativo, provoca um deslocamento do centro de gravidade da secção transversal que contém o erro, fazendo com que o eixo de rotação não coincida com o eixo do centro de gravidade, causando assim forças e/ou momentos de inércia que são responsáveis pela excitação do sistema e, consequentemente, geração de vibração indesejada.

A eq. 13 abaixo mostra como é calculada a força proveniente de um desbalanceamento rotativo.

$$F(t) = m_d * e * \omega^2 * \sin(\omega * t) \quad (13)$$

Onde m_d é a massa de desbalanceamento do motor medido em quilogramas, e é a excentricidade do motor, medido em metros, ω é a frequência do motor em radianos/segundos e t é o tempo medido em segundos. Para o sistema proposto, foi estudado e pesquisado como são medidos esses parâmetros e então para fins de estudo e análise, foi levantado os seguintes valores: considerou-se a massa de desbalanceamento aproximadamente 10% da massa do motor (64.5 kg), e a excentricidade do motor aproximadamente 10 mm. Para a frequência do motor, foi estimado uma frequência de aproximadamente 15 Hz, pois é a frequência natural mais alta do sistema, além de estar representando a frequência do motor em uma rotação extremamente baixa (em torno de 1000 RPM). A Tab. 2. abaixo mostra os parâmetros usados para simulação da força de desbalanceamento rotativo.

Tabela 2. Parâmetros do motor

Parâmetro	Valor Numérico
M_d (Kg)	6,45
e (m)	0,01
ω (rad/s)	85,45

6. ANÁLISE DA VIBRAÇÃO FORÇADA

Ao submeter o sistema à força provocada pelo desbalanceamento do motor, força esta que foi aplicada sobre o segundo grau de liberdade, foi analisado os efeitos causados sobre o assento e a base da moto, primeiro e segundo grau, respectivamente. Com as características de excentricidade e massa desbalanceada estabelecidas e considerando a frequência do motor igual à maior frequência natural não amortecida, já que interessa, num estudo sob a ótica de vibrações, fazer análises em frequências nas faixas das frequências naturais.

Com auxílio do programa desenvolvido no MatLab, foi simulado a vibração forçada devido a força do desbalanceamento rotativo. As simulações foram feitas em função do tempo e em função da frequência. Abaixo são mostrados os 3 gráficos gerados pelo programa.

A Fig. 6, mostra a amplitude do deslocamento do primeiro grau de liberdade em relação ao tempo. A Fig. 7 mostra a amplitude de deslocamento do segundo grau de liberdade em função do tempo. Por fim, a Fig. 8 mostra a amplitude de aceleração em função da frequência de todos os graus de liberdade.

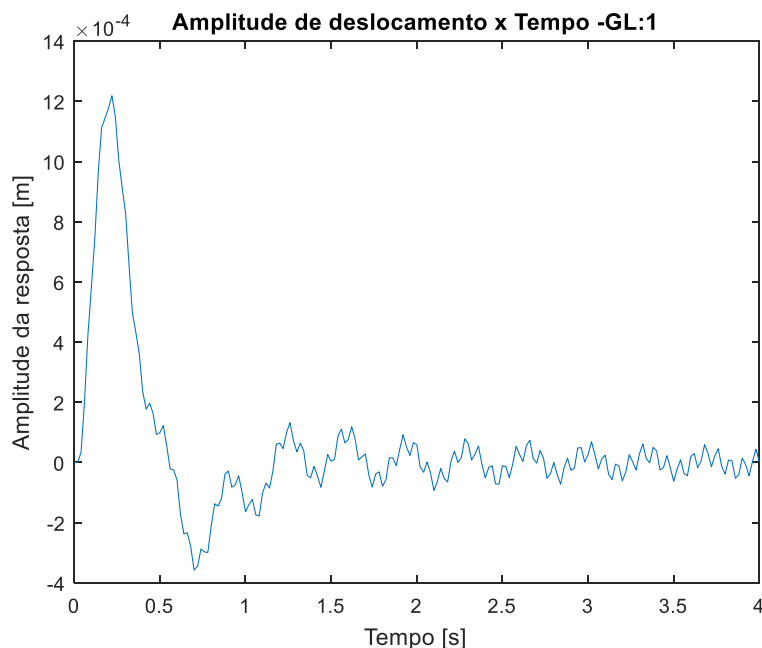


Figura 6. Amplitude de deslocamento do assento e piloto em função do tempo.

Analisando a Fig. 6 acima é possível observar que o conjunto do assento com o piloto não tem uma amplitude de deslocamento alta, pois seu ponto máximo em regime transiente é de aproximadamente 1,25mm. E, em regime permanente, não passa de 0,15mm o que mostra que a vibração provocada pela força de desbalanceamento do motor não tem grande influência sobre o piloto, a não ser por uma provável falta de conforto por ter o seu assento vibrando constantemente, mas não prejudicando sua saúde, ou mesmo seu desempenho.

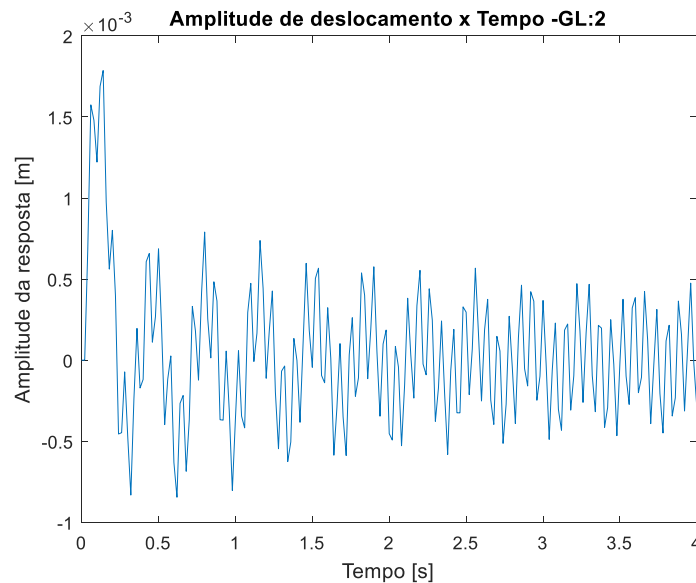


Figura 7. Amplitude de deslocamento do corpo da moto em função do tempo.

Analisando a Fig. 7 acima, é possível observar que o valor máximo da amplitude de deslocamento do corpo principal da moto é maior que o do assento, na ordem de 2mm, isso se deve ao fato da força de excitação estar justamente sendo aplicada nesse grau de liberdade e portanto tem maior intensidade, uma vez que ao longo do corpo sua força é reduzida.

Com estes resultados observa-se que o gráfico da Fig. 6 possui uma amplitude com uma ordem de grandeza menor que o segundo gráfico mostrado na Fig. 7. Isso se deve ao fato de que entre esses graus de liberdade há uma mola e um amortecedor.

Contudo, observa-se que o tempo transiente do primeiro gráfico é maior que no segundo, em torno de 1.25 segundos para o primeiro e apenas algo em torno de 0.30 segundos para o segundo.

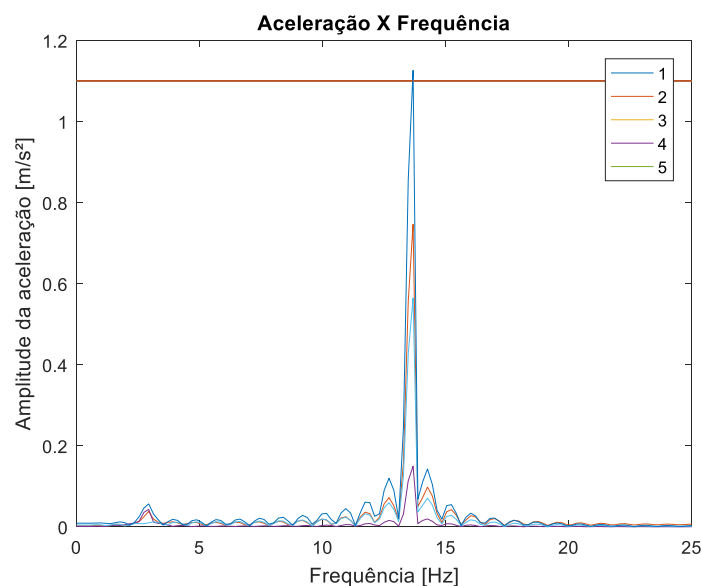


Figura 8. Amplitude da aceleração dos 5 graus de liberdade em função da frequência.

Ao analisar a Fig. 8 acima observa-se que, como dito anteriormente, o estudo de vibrações deve-se focar nos momentos em que a frequência da força excitadora assume valores próximos das frequências naturais dos sistemas, pois são nessas faixas onde ocorre as maiores amplitudes da resposta. Para valores acima das frequências naturais a amplitude da resposta se estabiliza.

A Fig. 8 mostra um pico considerável em torno de 13 Hz, destaca-se que a amplitude de aceleração em torno dessa frequência ultrapassou o limite de vibração estabelecido pela lei ($1,1\text{m/s}^2$), limites estabelecidos que serão melhor abordados ao decorrer deste trabalho.

Ainda analisando a Fig. 8 e as Fig. 3 e Fig. 4, é possível observar que próximo da frequência de 3 Hz (uma das frequências naturais), ocorre uma amplitude de aceleração na Fig. 8, da mesma forma que esta frequência apresenta um ponto de receptância maior nas Fig. 3 e Fig. 4.

7. MOTIVOS DA ANÁLISE

Este projeto tem como objetivo fazer análises vibratórias utilizando características de uma moto de velocidade e simulando situações onde a vibração do sistema pode afetar o desempenho do piloto ou mesmo da motocicleta. No entanto, tal análise deve também levar em consideração o risco em que o piloto está submetido em tais corridas de velocidade, buscando assim garantir que a motocicleta opere em condições seguras.

Em tais situações de corrida de velocidade, deve-se focar na vibração das motos, pois esta influencia a performance e segurança do piloto, já que vibrações indesejadas podem prejudicar o desempenho da moto e provocar falhas, ou até mesmo colocar o piloto em situações perigosas caso as vibrações sejam muito intensas e fatigantes, podendo assim resultar em acidentes.

As causas dos acidentes que ocorrem nessas competições normalmente são atreladas ao desempenho do piloto (desgaste físico, distração, perda de controle do veículo), no entanto outro fator que pode estar atrelado aos acidentes é a perda de contato das rodas a pista, principalmente a roda dianteira, que pode ser ocasionada devido a uma vibração mais intensa fazendo com que o contato se perca.

Outro ponto que deve ser analisado quando se trabalha com vibrações é a saúde do piloto, pois a exposição constante a vibrações pode gerar consequências à saúde do piloto a longo prazo. Desta forma, o próximo tópico aborda alguns limites de segurança imposto pela lei.

7.1. Limites de segurança

De acordo com o ministério do trabalho e de acordo com as normas que regulam as atividades e operações insalubres (norma regulamentadora N° 15), são considerados condições insalubres de trabalho condições em que quaisquer dos seguintes limites de exposição ocupacional diária a vibrações de corpo inteiro (VCI) são superados. Os limites são: valor da aceleração resultante de exposição normalizada (aren) de $1,1\text{ m/s}^2$ e valor da dose de vibração resultante (VDVR) de $21,0\text{ m/s}$.

Outro limite de segurança de acordo com o ministério do trabalho é: vibrações de mãos e braços (VMB) correspondente a um valor de aceleração resultante de exposição normalizada (aren) de 5 m/s^2 .

8. CONCLUSÕES

Este estudo foi feito com o objetivo de verificar como vibrações em motocicletas de corrida afetam o sistema, principalmente o piloto. Por se tratar de uma análise sobre uma pista de corrida e as características que esta pista implicam, não foi feito uma análise de uma lombada ou valeta (modelada como uma força impulsiva) nem mesmo de um buraco (uma força degrau) já que não são situações encontradas nesses ambientes. Desta forma foi-se feito uma análise de uma função senoidal com uma frequência muito alta e uma amplitude baixa, função que tem o intuito de representar as pequenas imperfeições presentes em pistas de corrida.

No entanto, ao trabalhar com frequências muito altas, na ordem de 90.000 Hz , foi encontrado o problema conhecido como *aliasing*, como descrito durante este documento. Assim, como devido à alta velocidade da motocicleta a pista poderia ser modelada como uma superfície plana e lisa, foi-se proposto um estudo da vibração ocasionada pelo desbalanceamento rotativo do motor.

Fazendo um estudo sobre o motor da moto *Ducati Desmosedici*, foi possível concluir que motos de competições de velocidade não possuem muitos problemas com relação a vibração de seu sistema, pois em relação a pista ela não possui nenhuma grande deformação que pode prejudicar pontualmente o sistema (uma força impulsiva ou degrau), e no caso de imperfeições que podem existir na pista, pode se considerar que em altas velocidades (aproximadamente 350 Km/h , analisando regime permanente representando a corrida como um todo), pode se considerar que a pista é praticamente perfeita e não apresenta tais falhas.

Em relação a vibração causada devido a força do desbalanceamento do motor, é possível concluir que tal força, gera em todo o sistema, uma vibração. Essa vibração, ocorre a todo momento na corrida, pois o motor está sempre ligado e constantemente sendo utilizado. Porém, através dos estudos foi possível observar que essa vibração, da mesma forma

que a vibração devido as imperfeições da pista não são relevantes para o piloto, pois também apresentam amplitudes de deslocamento muito baixas, que podem ser consideradas quase imperceptíveis para o piloto.

Portanto, através do estudo elaborado, pode se concluir que no geral motos de velocidade não apresentam problemas de vibração, seja por forças externas ao sistema como imperfeições da pista, ou mesmo devido a forças internas como o desbalanceamento rotativo. Em relação à saúde do piloto, por se tratar de um esporte, os pilotos estão sempre em condicionamento físico para evitar desgastes por algum problema que possam ter com a baixa vibração do sistema, além de não estarem expostos muito tempo a essa vibração.

9. REFERÊNCIAS

- DUCATI, 2016. “Ducati Desmosedici GP”. 3 Junho 2018, <http://www.ducati.com/racing/motogp/bike_old/index.do>
- DUCATI, 2016. “Desmosedici Stradale” 30 Junho, 2018, <http://desmosedicistradale.ducati.com/en_wv/>
- FONSECA, G.S., 2017. “10 Fatos Interessantes Sobre Moto de Corrida Para Amantes de Velocidade”. 25 maio 2018, <<https://doutormultas.com.br/moto-de-corrída/>>
- Guo, Li-Xin, Zhang, Li-Ping, 2010. “Vehicle Vibration Analysis in Changeable Speeds Solved by Pseudoexcitation Method”. 25 maio 2018, <<https://www.hindawi.com/journals/mpe/2010/802720/>>
- MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2014. “NR 15 – Atividades e Operações insalubres”. 25 maio 2018, <<http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR15/NR15-ANEXO8.pdf>>
- MOTOGP, 2018. “The 5 fastest speeds in MotoGP™ history”. 23 Junho 2018, <<http://www.motogp.com/en/news/2018/06/01/the-5-fastest-speeds-in-motogp-history/260767>>
- ÖHLINS, 2016. “Universal USD Gold”. 3 Junho 2018, <<https://www.ohlins.com/product/universal-usd/>>
- PRECISION MICRODRIVES™, 2018. “AB-027: Eccentric Mass Parameters For Vibration Motors”. 16 Junho 2018, <<https://www.precisionmicrodrives.com/content/ab-027-eccentric-mass-parameters-for-vibration-motors/>>
- PUC RIO, (2015?). “Análise Modal”. 30 Junho 2018, <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/11885/11885_5.PDF>
- Schio, R. A., 2017. “Medição de exposição a vibrações para VCI e VMB em usuários de motocicletas”. 23 Junho 2018, <http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.18%2Cn.30%282017%29/10-Ar03-Motocicleta-10out.pdf>
- Soeiro, N. S., 2008. “Curso de fundamentos de vibrações e balanceamento de rotores”. 30 junho 2018, <<http://files.engemático.webnode.com/200000017-7fc6780c07/Fundamentos%20de%20%20Vibração.pdf>>
- Tizzani, Aldo, 2017. “Desmosedici Stradale: novo motor Ducati tem 210 cavalos”. 30 Junho 2018, <<http://www.bestriders.com.br/desmosedici-stradale-novo-motor-ducatti-tem-210-cavalos/>>
- Truu, Marek, 2012. “Pavement Roughness Measurements”. 16 Junho 2018, <<http://www.teed.ee/en/services/testing-and-measurement/measurements/pavement-roughness-measurements/>>

10. ANEXOS

- ANEXO A - Artigo “Vehicle Vibration Analysis in Changeable Speeds Solved by Pseudoexcitation Method”
- ANEXO B - Programa desenvolvido pelo Prof. Dr. Milton Dias Jr.
- ANEXO C - Catálogo da Ducati Desmosedici GP - Official MotoGP Bike
- ANEXO D - NR15-ANEXO8
- ANEXO E - Rugosidade de pista
- ANEXO F - Curso de fundamentos de vibrações e desbalanceamento de rotores.
- ANEXO G - Análise Modal

11. APÊNDICES

- APÊNDICE A - Programa de simulação computacional desenvolvido pelos autores.