



Instituto Politécnico
de Castelo Branco
Escola Superior
de Tecnologia

Análise do risco de vibração de uma e-scooter (trotinete elétrica) no conforto de condução

Hélio Mendonça

Nº20180202

Orientadores

Armando Lopes Ramalho (Orientador)

Pedro Miguel Baptista Torres (Coorientador)

Trabalho de Projeto apresentado à Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Licenciado em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Armando Lopes Ramalho e do Professor Doutor Pedro Miguel Baptista Torres, do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Outubro 2023

Composição do júri

Presidente do júri / Orientador

Armando Lopes Ramalho

Professor Adjunto, EST-IPCB

Coorientador

Pedro Miguel Baptista Torres.

Professor Adjunto, EST-IPCB

Arguentes

Luís Miguel Pedroso de Moura Correia.

Professor Adjunto, EST-IPCB

Fernando Júlio Marques Miranda.

Professor Adjunto, EST-IPCB

Dedicatória

Dedico este trabalho a mim por ter lutado e trabalhado incansavelmente para alcançar os objetivos acadêmicos ao longo dessa jornada, aos meus familiares e amigos que foram meu apoio social, minha fonte de inspiração e muitas vezes, meu escape das pressões acadêmicas.

A minha irmã pela sua presença constante e incentivo em minha vida acadêmica, mais do que uma irmã, é minha amiga e confidente, e eu sou grato por ter você ao meu lado.

A minha namorada pela paciência e compreensão me sustentaram nos momentos mais desafiadores da minha jornada acadêmica e principalmente aos meus pais que foram minha base, meu apoio inabalável, encorajamento e sacrifício que vocês me proporcionaram, esta conquista é tanto de vocês quanto minha, e dedico-a a vocês com todo meu coração.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, familiares, amigos e a minha namorada pelo apoio que me deram durante a minha vida académica e também agradeço o orientador e o coorientador do projeto, por todo o apoio, a disponibilidade, dedicação ao longo do projeto.

Resumo

O presente trabalho consiste num estudo de análise do risco de vibração associado ao uso de uma trotinete elétrica em relação ao conforto de condução. O estudo baseou-se em medições experimentais de vibrações geradas durante a utilização de uma trotinete em pisos e trajetos distintos, seguindo as diretrizes estabelecidas na norma ISO-2631.

Neste estudo foram medidas as vibrações produzidas pela trotinete elétrica durante a condução em diferentes tipos de pisos e trajetos, realizou-se uma análise dos dados adquiridos para quantificar e qualificar o nível de vibração em cada cenário, comparar os valores de vibração obtidos em diferentes condições de uso, caracterizar o nível de conforto de condução em cada piso e trajetória com base nas medições realizadas.

Palavras-chave

ISO-2631, trotinete elétrica, aceleração, vibração e conforto na condução.

Abstract

This work consists of a study to analyse the risk of vibration associated with the use of an electric scooter in relation to driving comfort. The study was based on experimental measurements of the vibrations generated during use of the scooter on different floors and routes, following the guidelines set out in the ISO-2631 standard.

This study measured the vibrations produced by the electric scooter while driving on different types of floors and routes, analysed the data collected to quantify and qualify the level of vibration in each scenario, compared the vibration values obtained under different conditions of use, and characterised the level of driving comfort on each floor and route based on the measurements taken.

Keywords

ISO-2631, electric scooter, acceleration, vibration and riding comfort.

Índice geral

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS DO PROJETO	2
1.3 ESTRUTURA DO RELATÓRIO	2
2. ESTUDO DA NORMA ISO-2631	4
3. INSTRUMENTAÇÃO DA TROTINETE	8
3.1 ARDUÍNO	8
3.2 ACELERÓMETRO	10
3.3 ARMAZENAMENTO	11
3.4 BOTÃO	12
3.5 POWERBANK	12
3.6 SUPORTES	13
3.7 PROGRAMAÇÃO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	15
3.8 MONTAGEM FINAL DO SISTEMA	16
4. DEFINIÇÃO DOS TRAJETOS E CARACTERIZAÇÃO DOS PISOS	19
5. APRESENTAÇÃO E PROCESSAMENTO DOS RESULTADOS	22
5.1 TRAJETÓRIA A	22
5.2 TRAJETÓRIA B	22
5.3 TRAJETÓRIA C	23
6. CARACTERIZAÇÃO DO CONFORTO.	24
7. CONCLUSÃO	25
7.1 LIMITAÇÕES	25
7.2 PROPOSTAS PARA TRABALHO FUTURO	26
REFERÊNCIAS	27

Índice de figuras

FIGURA 1 - ISO-2631 EIXOS CENTRISCOS BÁSICOS DO CORPO HUMANO. [5]	5
FIGURA 2 - DIAGRAMAS DE BODE PARA FUNÇÕES DE TRANSFERÊNCIA HORIZONTAL E VERTICAL. [5]	6
FIGURA 3 — TROTINETE ELÉTRICA [6]	8
FIGURA 4 - ARDUÍNO MEGA WIFI R3 ATMEGA2560 [7]	9
FIGURA 5 — ACELERÔMETRO MPU-9250 [7]	10
FIGURA 6 — MÓDULO LEITOR DE MICRO SD CARD [10].	11
FIGURA 7 — BOTÃO [11].	12
FIGURA 8 — POWERBANK GOODIS [12]	13
FIGURA 9 — DESENHO DO SUPORTE POWERBANK ARDUINO, ACELERÔMETRO E BOTÃO	14
FIGURA 10 — SUPORTE POWERBANK ARDUINO E BOTÃO.	15
FIGURA 11 — SUPORTE DO ACELERÔMETRO.	15
FIGURA 12 — ESQUEMA DE CONEXÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO	15
FIGURA 13 — FIXAÇÃO DO ACELERÔMETRO, ARDUINO E LEITOR DE MICRO SD CARD	17
FIGURA 14 — FIXAÇÃO DO BOTÃO.	17
FIGURA 15 — MONTAGEM FINAL.	18
FIGURA 16 — TRAJETÓRIA A PERCORRIDA E O PISO.	19
FIGURA 17 — TRAJETÓRIA B PERCORRIDA E O PISO.	20
FIGURA 18 — TRAJETÓRIA C PERCORRIDA E O PISO.	21
FIGURA 19 — TROTINETE ELÉTRICA URBANGLIDE ECROSS PRO BOOST. [15]	26

Índice de símbolos

a_w → Aceleração linear ponderada em frequência

$(H_l(p))$ → Função de Transferência de um Filtro passa-baixo

$(H_h(p))$ → Função de Transferência de um Filtro passa-alto

$(H_t(p))$ → Transição aceleração-velocidade

$(H_s(p))$ → Aumento de escala

$H(p)$ → Função de transferência ou ganho de um filtro

$p = j2\pi f$ → Frequência angular imaginária

a_v → Valores totais de vibração

a_{wx} → Aceleração ponderada em frequência do eixo x

a_{wy} → Aceleração ponderada em frequência do eixo y

a_{wz} → Aceleração ponderada em frequência do eixo z

Lista de tabelas

TABELA 1 - SENTIDO SUBJETIVO DE CONFORTO HUMANO. [5].....	7
TABELA 2 — VALORES MÁXIMOS DE ACELERAÇÃO VERTICAL RMS NA TRAJETÓRIA A.	22
TABELA 3 — VALORES MÁXIMOS DE ACELERAÇÃO VERTICAL RMS NA TRAJETÓRIA B.	22
TABELA 4 — VALORES MÁXIMOS DE ACELERAÇÃO VERTICAL RMS NA TRAJETÓRIA C.....	23

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

RMS→ Root Mean Square (Raiz Média Quadrada)

CAD→ Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)

CAM→ Computer Aided Manufacturing (Manufatura Assistida por Computador)

CAE→ Computer-Aided Engineering (Engenharia Assistida por Computador)

PCB→ Printed Circuit Board (Placa de Circuito Impresso)

PLA→ Polylactic Acid (Ácido Poliláctico)

DMP→ Digital Motion Processor (Processador de Movimento Digital)

SPI→ Serial Peripheral Interface (Interface periférica de série)

SPDT→ Single pole double throw (Pólo simples, duplo acionamento)

GND→ Graduated neutral density (Densidade neutra graduada/ Terra)

SCL→ Serial Clock Line

SDA→ Serial Data Adapter

MISO→ Master In Slave Out

MOSI→ Master Out Slave In

SCK→ Serial Clock

CS→ Chip Select

PWM→ Pulse Width Modulation (Modulação por Largura de Pulsos)

