

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ANÁLISE DE VIBRAÇÕES TRANSMITIDAS A CARRINHOS DE  
BEBÊS EM PERCURSOS SOBRE CALÇADAS**

**LARA HILL MOREIRA DA ROCHA**

**ORIENTADOR: RICARDO OLIVEIRA DE SOUZA, Dr. (UnB)**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES**

**PUBLICAÇÃO:**

**BRASÍLIA / DF: MARÇO/ 2010**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ANÁLISE DE VIBRAÇÕES TRANSMITIDAS A CARRINHOS DE  
BEBÊS EM PERCURSOS SOBRE CALÇADAS**

**LARA HILL MOREIRA DA ROCHA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

**APROVADA POR:**

---

**RICARDO OLIVEIRA DE SOUZA, Dr. (UnB)**

(orientador)

---

**ADELAIDA PALLAVICINI FONSECA, Dra. (UnB)**

(examinador interno)

---

**SUELY DA PENHA SANCHES, Dra. (UFSCar)**

(examinadora externa)

## FICHA CATALOGRÁFICA

ROCHA, LARA HILL MOREIRA DA

Análise de vibrações transmitidas a carrinhos de bebês em percursos sobre calçadas / Lara Hill Moreira da Rocha – Brasília, 2010.

2010, 112p, 210x297mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes Urbanos, 2010).

Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – Faculdade de Tecnologia – Universidade de Brasília, 2010.

Área: Transportes

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Oliveira de Souza

1. Calçadas
2. Vibrações
3. Carrinhos de bebês e bonecos de teste

I. ENC/FT/UNB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROCHA, L.H.M. (2010). Análise de vibrações transmitidas a carrinhos de bebês em percursos sobre calçadas. Dissertação de Mestrado, Publicação T. DM-005A/2010, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Lara Hill Moreira da Rocha

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Análise de vibrações transmitidas a carrinhos de bebês em percursos sobre calçadas.

GRAU / ANO: Mestre / 2010

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos.

O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Lara Hill Moreira da Rocha

SQN 406, BL. M., APT. 108 - Asa Norte

70847-130 - Brasília/DF – Brasil

Aos meus pais Flávio e Olívia, a minha irmã Lívia e  
ao meu afilhado Levi.

A todos os meus amigos com muito carinho.  
Aos meus professores, que me deram conselhos e  
incentivos, essenciais para a minha realização  
profissional e humana.

## AGRADECIMENTOS

Este estudo foi resultado de um somatório de contribuições, todas bem vindas e úteis, as quais ajudaram a superar obstáculos que durante a realização mostrava-se difícil e, em alguns momentos, quase impossível. Diante disso, presto aqui minha homenagem aos incentivadores e colaboradores dessa dissertação.

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por tudo que me foi ofertado.

Aos meus pais, que foram os grandes incentivadores para a realização deste estudo. Que sempre me deram apoio em tudo o que precisei e pela paciência que tiveram, principalmente na fase final.

A minha irmã, Livia e ao meu afilhado Levi, pelo amor incondicional.

Aos meus familiares que sempre me deram amor e força, valorizando meus potenciais.

Aos meus amigos (as) de Brasília e Fortaleza, que mesmo a distância sempre estiveram presentes incentivando, aconselhando e apoiando com carinho e dedicação a realização deste sonho.

Aos meus colegas e professores do curso de mestrado em Transportes da Universidade de Brasília, pelo companheirismo, pela troca de conhecimento e por tudo o que passamos juntos.

Ao PPGT e CEFTRU, que tanto contribuíram para a conclusão deste estudo.

Ao professor Alan Ricardo da Silva, do Departamento de Estatística, pelo auxílio nas análises estatísticas desenvolvidas neste trabalho.

Ao meu orientador, o professor Ricardo Oliveira de Souza, que sempre me incentivou e esteve a disposição para me auxiliar na elaboração desta dissertação.

As mestrandas, Andreia Barbosa Gonçalves e Adrienne de Capdeville, pelos auxílios nos levantamentos de campo.

A Alba Solange de Carvalho, representante da empresa GALZERANO, pelo auxílio na aquisição dos carrinhos de bebês.

As professoras Adelaida Pallavicini Fonseca e Suely da Penha Sanches, por aceitarem o convite em participar da banca examinadora e pelas sugestões para aperfeiçoar o trabalho.

## RESUMO

### **ANÁLISE DE VIBRAÇÕES TRANSMITIDAS A CARRINHOS DE BEBÊS EM PERCURSOS SOBRE CALÇADAS**

Este trabalho apresenta um estudo de caso no qual são analisadas as vibrações transmitidas a carrinhos de bebês durante percursos sobre calçadas. Foram selecionados quatro tipos de pavimentos de calçadas e em cada caso, identificados trechos de 8 metros de extensão, que apresentassem respectivamente revestimento em estado de conservação bom, regular e ruim. Utilizando-se uma amostra constituída por três tipos de bonecos de teste e três tipos de carrinhos, para cada conjunto carrinho/boneco, percorreu-se os trechos selecionados à velocidade média de 3,20km/h. Durante o deslocamento em cada trecho, as acelerações percebidas pelos bonecos de teste foram coletadas mediante medidor portátil de vibração. A partir dessas informações, foram desenvolvidas análises estatísticas a fim de correlacionar variáveis independentes relacionadas às calçadas (tipo de pavimento e estado de conservação), aos bonecos de teste (idade, peso e altura) e aos carrinhos de bebês (tipo de carrinho, peso, cinto de segurança e presença de acessórios, por exemplo, amortecedores) com as acelerações medidas em campo. Mediante análise de regressão múltipla observou-se que o estado de conservação da calçada demonstrou ser a variável preponderante, seguida pelo tipo de carrinho, nas contribuições às acelerações medidas em campo. Outras variáveis, tais como posição do boneco, peso, altura e idade do boneco de teste, apresentaram contribuição às acelerações medidas apenas em casos isolados. Do ponto de vista do conforto/desconforto, constatou-se que o boneco de 6 meses, mais leve que os demais, é o mais susceptível ao desconforto provocado pelas altas acelerações e o carrinho de bebê que dispõe de amortecedores, reduz a susceptibilidade às acelerações mais elevadas. Considerando o risco à saúde provocado pelas vibrações o carrinho de bebê mais simples seria mais susceptível à ocorrência vibrações que pudessem produzir riscos potenciais à saúde e o boneco de 6 meses, mostrou-se o mais susceptível aos riscos à saúde comparado aos demais.

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF VIBRATIONS TRANSMITTED TO BABY STROLLERS DURING DISPLACEMENT ON SIDEWALKS**

This research presents a case study developed to analyse the vibrations transmitted to baby strollers during displacement over sidewalks. Four types of sidewalk pavements were selected, each one measuring 8 meters long and presenting respectively good, fair and bad surface condition. Considering a sample composed of three crash test dummies and three baby strollers, for each set of baby stroller/dummy, the sidewalk stretches previously chosen were travelled at an average speed of 3,20km/h. During these displacements, the accelerations perceived for each dummy were collected through a portable Human Vibration Monitor. Using these data, statistical analyses were developed to correlate independent variables to sidewalks (type of pavement and surface condition), to crash test dummies (age, weight and height) and to baby strollers (type, weight, safety belt and existence of springers) with accelerations measured in the field. Through multiple regression analysis, it was observed the surface condition proved the most important variable, followed by the type of baby stroller considering the contributions to the accelerations measured. Other variables such dummy position, weight, height and age only presented contribution to accelerations at isolated cases. Considering the discomfort caused by vibrations, it was found the 6 months old dummy, the lighter one, was the more susceptible to discomfort caused by higher accelerations. As for health risk, the simplest baby stroller would be more susceptible to be exposed to vibrations that could produce health potential risk and the 6 months old dummy proved more health susceptibility compared to the other dummies.

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>1.1 INTRODUÇÃO</b> .....  | 1  |
| 1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....  | 2  |
| 1.2 OBJETIVO .....   | 2  |
| 1.3 RELEVANCIA DO TRABALHO .....   | 3  |
| 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....   | 4  |
| <b>2. CALÇADAS</b> .....   | 6  |
| 2.1 DEFINIÇÃO.....   | 6  |
| 2.2 CARACTERÍSTICAS DE PROJETO .....   | 7  |
| 2.3 MATERIAIS CONSTRUTIVOS .....   | 14 |
| 2.4 VIDA EM SERVIÇO .....  | 21 |
| 2.5 DIAGNÓSTICO DAS CALÇADAS .....   | 25 |
| 2.6 PROCESSAMENTO DOS DADOS LEVANTADOS .....   | 26 |
| 2.7 GERENCIAMENTO DAS CALÇADAS .....   | 27 |
| 2.8 TÓPICOS CONCLUSIVOS .....  | 28 |
| <b>3. VIBRAÇÕES</b> .....  | 29 |
| 3.1 DEFINIÇÃO.....   | 29 |
| 3.2 ORIGEM DAS VIBRAÇÕES.....  | 29 |
| 3.3 EFEITO DA AÇÃO DAS VIBRAÇÕES SOBRE O ORGANISMO.....  | 30 |
| 3.4 QUANTIFICAÇÃO DAS VIBRAÇÕES.....   | 35 |
| 3.5 COLETOR DE DADOS DE VIBRAÇÕES.....   | 37 |
| 5.3.1 Acessórios de Configuração .....   | 39 |
| 3.6 ESTUDOS SOBRE A AVALIAÇÃO DA VIBRAÇÃO NOS USUÁRIOS DE CADEIRA DE RODAS EM DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS ..... | 40 |
| 3.7 TÓPICOS CONCLUSIVOS .....  | 42 |
| <b>4. CARRINHOS DE BEBÊS E BONECOS DE TESTE</b> .....  | 43 |
| 4.1 DEFINIÇÃO.....   | 43 |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.2 HISTÓRICO DO CARRINHO DE BEBÊ.....   | 43        |
| 4.3 ESTUDOS COM CARRINHOS DE BEBÊS .....   | 44        |
| 4.4 BONECOS DE TESTE .....   | 47        |
| 4.5 TÓPICOS CONCLUSIVOS .....  | 48        |
| <b>5. METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE VARIÁVEIS QUE AFETAM UM BEBÊ EM PERCURSOS SOBRE CALÇADAS.....</b>          | <b>50</b> |
| 5.1 INTRODUÇÃO.....  | 50        |
| 5.2 ESTRUTURA METODOLOGICA .....   | 52        |
| 5.3 ETAPAS DA METODOLOGIA.....   | 53        |
| 5.3.1 Contextualização e Caracterização dos Aspectos Físicos das Calçadas .....                              | 53        |
| 5.3.2 Identificação das Variáveis Relevantes na Avaliação .....  | 53        |
| 5.3.2.1 Recrutamento dos Carrinhos e Bonecos de Teste .....  | 53        |
| 5.3.2.2 Diagnóstico (identificação) dos Trechos de Teste.....  | 54        |
| 5.3.2.3 Aplicação dos Testes .....   | 54        |
| 5.3.2.4 Tabulação e Análise dos dados.....   | 56        |
| 5.4 TÓPICOS CONCLUSIVOS .....  | 56        |
| <b>6. ESTUDO DE CASO APLICANDO A METODOLOGIA NAS CALÇADAS DO PLANO PILOTO DO DISTRITO FEDERAL.....</b>       | <b>57</b> |
| 6.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS CALÇADAS DO PLANO PILOTO DO DISTRITO FEDERAL.....                  | 57        |
| 6.2 IDENTIFICAÇÃO DAS CALÇADAS.....  | 57        |
| 6.3 LEVANTAMENTO DOS DADOS .....   | 59        |
| <b>7. ANÁLISE DE DADOS.....</b>  | <b>60</b> |
| 7.1 INTRODUÇÃO.....  | 60        |
| 7.2 TABULAÇÃO DOS DADOS.....   | 60        |
| 7.3 PADRONIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS QUALITATIVAS .....  | 61        |
| 7.4 ANÁLISES DE VARIÂNCIA E HOMOGENEIDADE .....  | 61        |
| 7.5 ANÁLISES DE CORRELAÇÃO E REGRESSÃO MÚLTIPLA .....  | 64        |
| 7.5.1 Análise da influência das variáveis independentes nas vibrações percebidas pelos bonecos de teste..... | 65        |

|   |           |
|---|-----------|
| 7.5.2 Análise da influência das variáveis independentes nas vibrações percebidas pelos bonecos de teste considerando cada carrinho individualmente..... | 68        |
| <b>7.6 AVALIAÇÃO DO CONFORTO E DO RISCO À SAÚDE SEGUNDO A ISO 2631-1 ..</b>   | <b>70</b> |
| 7.6.1 Conforto.....   | 71        |
| 7.6.2 Risco à saúde .....   | 75        |
| <b>7.7 AVALIAÇÃO DO EFEITO DO TIPO DE CARRINHO NA MAGNITUDE DAS VIBRAÇÕES .....</b>   | <b>79</b> |
| <b>7.8 ANÁLISE DE PROBABILIDADE QUANTO A PERCEPÇÃO DE CONFORTO E O RISCO À SAÚDE .....</b>  | <b>82</b> |
| <b>8. CONCLUSÕES.....</b>   | <b>85</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....</b>   | <b>88</b> |
| <b>ANEXO A.....</b>   | <b>91</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1 – Modelo ideal de passeio. ....   | 8  |
| Figura 2.2 – Planta baixa e perspectiva rampa para pedestre. ....  | 11 |
| Figura 2.3 – Símbolo internacional de acesso - SIA. ....   | 13 |
| Figura 2.4 – Pavimento permeável. ....   | 15 |
| Figura 2.5 – Piso drenante. ....   | 21 |
| Figura 2.6 – Trincamento. ....   | 23 |
| Figura 2.7 – Estado de conservação das calçadas. ....  | 27 |
| Figura 3.1 – Vibrações e suas direções no corpo humano. ....   | 31 |
| Figura 3.2 – Gráfico zona de risco potencial à saúde. ....   | 34 |
| Figura 3.3 – Acessórios de configuração do aparelho HVM 100. ....  | 39 |
| Figura 3.4 – Detalhe da almofada. ....   | 40 |
| Figura 3.5 – Detalhe dos revestimentos avaliados. ....   | 41 |
| Figura 3.6 – Superfície de teste. ....   | 41 |
| Figura 3.7 – Acelerômetro instalado na cadeira de rodas. ....  | 42 |
| Figura 4.1 – Carrinho de bebê puxado por cães. ....  | 44 |
| Figura 4.2 – Ensaios com carrinhos de bebês. ....  | 45 |
| Figura 4.3 – Bonecos de teste. ....  | 47 |
| Figura 5.1 – Fluxograma metodológico. ....   | 52 |
| Figura 5.2 – Bonecos de teste utilizados no estudo. ....   | 54 |
| Figura 6.1 – Calçada com placa de concreto. ....   | 58 |
| Figura 6.2 – Calçada com pedra portuguesa. ....  | 58 |
| Figura 6.3 – Calçada com mistura asfáltica e pavimento com bloco intertravado de concreto. ....                | 59 |
| Figura 7.1 – Avaliação conforto pavimento blocos intertravados. ....   | 71 |
| Figura 7.2 – Avaliação conforto pavimento asfáltico. ....  | 72 |
| Figura 7.3 – Avaliação conforto pavimento pedra portuguesa. ....   | 72 |
| Figura 7.4 – Avaliação conforto pavimento placa de concreto estado de conservação bom. ....                    | 73 |
| Figura 7.5 – Avaliação conforto pavimento placa de concreto. ....  | 73 |
| Figura 7.6 – Avaliação do risco à saúde em pavimento em bloco intertravado. ....                               | 76 |
| Figura 7.7 – Avaliação do risco à saúde em pavimento asfáltico. ....   | 76 |
| Figura 7.8 – Avaliação do risco à saúde em pavimento de pedra portuguesa. ....                                 | 77 |
| Figura 7.9 – Avaliação do risco à saúde em pavimento com placas de concreto em bom estado de conservação. .... | 78 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 7. 10 – Avaliação do risco à saúde em pavimento com placas de concreto.....                                     | 78 |
| Figura 7. 11 – Taxa de variação das acelerações em pavimento com bloco intertravados .....                             | 79 |
| Figura 7. 12 – Taxa de variação das acelerações em pavimento asfáltico .....   | 80 |
| Figura 7. 13 – Taxa de variação das acelerações em pavimento de pedra portuguesa.....                                  | 80 |
| Figura 7. 14 – Taxa de variação das acelerações em pavimento com placas de concreto em bom estado de conservação ..... | 81 |
| Figura 7. 15 – Taxa de variação das acelerações em pavimento com placa de concreto .....                               | 82 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 2. 1 – Amostra bloco entrada.....   | 26 |
| Tabela 3. 1 – Efeitos da vibração no corpo humano .....  | 32 |
| Tabela 3. 2 – Acelerações x sintomas experimentados pelos usuários de transporte público..                               | 35 |
| Tabela 4. 1 –Alguns carrinhs de bebês no mercado brasileiro .....  | 46 |
| Tabela 4. 2 – Peso x altura de bebês e bonecos de teste.....   | 48 |
| Tabela 5. 1 – Amostra carrinho de bebê.....  | 53 |
| Tabela 5. 2 – Resumo das seções levantadas.....  | 55 |
| Tabela 7. 1 – Valores-p obtidos em testes com Análise de Variância ANOVA e Kruskal-Wallis.....                           | 63 |
| Tabela 7. 2 – Matriz de correlação .....   | 65 |
| Tabela 7. 3 – Influência das variáveis nas vibrações no carrinho 1 pavimento tipo asfalto.....                           | 66 |
| Tabela 7. 4 – Influência das variáveis nas vibrações no carrinho 3 pavimento tipo asfalto.....                           | 66 |
| Tabela 7. 5 – Inluência das variáveis nas vibrações no pavimento tipo blocos intertravados..                             | 66 |
| Tabela 7. 6 – Influência das variáveis nas vibrações em todos os carrinhos em pavimento de pedras portuguesas .....      | 67 |
| Tabela 7. 7 – Influência das variáveis nas vibrações em todos os carrinhos em pavimento com placas de concreto.....      | 67 |
| Tabela 7. 8 – Influência das variáveis nas vibrações para cada tipo de carrinho em pavimento tipo asfalto .....          | 68 |
| Tabela 7. 9 – Influência das variáveis nas vibrações em todos os carrinhos em pavimento tipo blocos intertravados.....   | 69 |
| Tabela 7. 10 – Influência das variáveis nas vibrações em todos os carrinhos em pavimento de pedras portuguesas .....     | 69 |
| Tabela 7. 11 – Influência das variáveis nas vibrações em todos os carrinhos em pavimento com placas de concreto.....     | 70 |
| Tabela 7. 12 – Carrinhos que apresentam acelerações superiores a $1,00\text{m/s}^2$ e inferior a $2,0\text{m/s}^2$ ..... | 74 |
| Tabela 7. 13 – Carrinhos que apresentam acelerações superiores a $2,00\text{m/s}^2$ .....                                | 74 |
| Tabela 7. 14 – Carrinhos que apresentam acelerações superiores a $1,9\text{m/s}^2$ e inferior a $3,50\text{m/s}^2$ ..... | 78 |
| Tabela 7. 15 – Maiores taxas de variação de aceleração entre carrinhos .....   | 82 |
| Tabela 7. 16 – Probabilidade de ocorrência de desconforto em pavimento com pedras portuguesas .....                      | 83 |
| Tabela 7. 17 – Probabilidade de ocorrência de risco à saúde em pavimento com pedras portuguesas .....                    | 84 |

## LISTA DE FIGURAS E ABREVIATURAS

|        |   |
|--------|---|
| ABCP   | Associação Brasileira de Cimento Portland             |
| ABNT   | Associação Brasileira de Normas Técnicas              |
| CEFTRU | Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente                    |
| EUA    | Estados Unidos da América                             |
| Hz     | Hertz   |
| ICP    | Índice de Condição do Pavimento                       |
| IBGE   | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística       |
| IRI    | Índice Internacional de Rugosidade                    |
| ISO    | International Standard Organization                   |
| MPa    | Mega Pascal   |
| PMS    | Prefeitura Municipal de Serra                         |
| RMS    | Root-Mean-Square                                      |
| SIA    | Símbolo Internacional de Acesso                       |



## 1. INTRODUÇÃO

A vibração é qualquer movimento que o corpo executa em torno de um ponto fixo. Esse movimento pode ser regular, do tipo senoidal ou irregular, quando não segue nenhum padrão determinado (GOLDMANN, 1960).

A vibração é definida pelas normas ISO 2631-1 (1997) e ISO 5349-1 (2001) segundo três variáveis: a frequência (Hz), a aceleração máxima sofrida pelo corpo ( $m/s^2$ ) e a direção do movimento, que é dada em três eixos espaciais:  $x$  (das costas para frente),  $y$  (da direita para esquerda) e  $z$  (dos pés à cabeça). A vibração pode afetar o corpo inteiro ou apenas partes do corpo, como as mãos e os braços.

Segundo GERGES (2005), o corpo humano é um sistema extremamente complexo e com múltiplos graus de liberdade. Com relação às vibrações e choques é necessário considerar, não apenas a resposta mecânica do sistema (corpo humano), mas também o efeito psicológico sobre o indivíduo. O efeito mecânico pode ser muito grave, podendo até mesmo ocorrer a perda de equilíbrio, falta de concentração e visão turva, chegando até a provocar danos permanentes em alguns órgãos.

As vibrações afetam as pessoas de muitas formas causando problemas vários de saúde, como diminuição da capacidade de concentração e da eficiência no trabalho e enjoo, no caso de vibrações de baixíssima frequência. Além disso, a percepção e tolerância à vibração dependem do local, do tipo de atividade, do tipo de superfície de apoio, do horário e da expectativa de conforto e privacidade das pessoas.

O funcionamento de veículos como o automotor, a bicicleta, a moto e o carrinho de bebê produzem vibrações que são transmitidas ao conjunto do organismo, mas de forma diferente, conforme as partes do corpo, as quais não são sensíveis às mesmas frequências. Cada parte do corpo pode tanto amortecer, como amplificar as vibrações.

Em calçadas, as vibrações são oriundas das deformações na superfície de deslocamento, tais como trincas, cunhas, desgaste e desnivelamento. Estas variam de acordo com o grau ou estado de conservação das calçadas assim como o tipo de material utilizado para construção da calçada.

As calçadas, que são as vias destinadas aos pedestres, constituem uma parcela importante do espaço público que se integra à infraestrutura viária da cidade. Por isso, a análise de sua qualidade deve atender às necessidades dos vários usuários, desde pessoas fisicamente aptas, até pessoas com dificuldades de locomoção, que usam cadeiras de rodas ou outras formas de assistência à mobilidade, como muletas, carrinhos de bebê etc.

Caminhando pelas calçadas do Plano Piloto de Brasília tornam-se explícitos os problemas que os usuários enfrentam para exercer o simples direito de ir e vir. Em muitos passeios são encontrados buracos, pisos escorregadios e trepidantes, entre outros, além dos obstáculos verticais.

Diante do exposto, este trabalho vem contribuir com o desenvolvimento de uma metodologia para analisar as variáveis que afetam aos usuários das calçadas. Como os usuários mais sensíveis às condições das calçadas são os bebês transportados em carrinhos, esta pesquisa focou-se neles. Para os testes de campo, utilizaram-se bonecos de teste (BT) levando em consideração as respostas mecânicas do sistema calçadas – carrinhos de bebê – bonecos de teste.

## **1.1 - DEFINIÇÃO DO PROBLEMA**

Diante da necessidade de oferecer condições seguras e eficientes para a circulação de bebês nas calçadas, este trabalho buscará responder o seguinte problema: Qual a relação entre o tipo de pavimento e o estado de conservação do passeio versus vibrações que afetam a um bebê dentro de um carrinho durante seu deslocamento?

## **1.2 - OBJETIVO**

O objetivo geral do presente estudo é analisar as vibrações transmitidas aos carrinhos de bebês durante percursos sobre calçadas localizadas no Plano Piloto de Brasília com o intuito de determinar as variáveis que tem maior efeito sobre o conforto dos bebês transportados em carrinhos. Os resultados obtidos poderão ser utilizados nos estudos de calçadas e na definição de políticas públicas que visem à melhoria de calçadas nas cidades. Este trabalho poderá oferecer informações resumidas sobre sistema de medição de vibração e suas características, oferecendo aos tomadores de decisões, subsídios

técnicos, sobre o acabamento adequado das calçadas, a partir de experiências feitas em passeios localizados no Plano Piloto do Distrito Federal.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Realizar análises estatísticas e outras avaliações para medir os riscos de saúde, procurando correlacionar às vibrações medidas como: (i) estado de conservação da calçada, (ii) tipo de material do revestimento da calçada, (iii) peso, idade e altura dos bonecos de teste, (iv) posição do boneco de teste no carrinho, (v) tipo de carrinho de bebê, (vi) peso do carrinho de bebê e (vii) acessórios do carrinho de bebê (amortecedor, cinto de segurança).
- Apresentar uma tabela resumo do comportamento das variáveis e sua incidência significativa nas vibrações transmitidas aos usuários

### **1.3 – RELEVÂNCIA DO TRABALHO**

Vale ressaltar que é grande a carência de trabalhos e pesquisas dirigidos para avaliação e quantificação do conforto/desconforto percebido por bebês ao serem transportados em carrinhos em calçadas que não possuam o acabamento ideal. Porém, este problema não é particular somente para o caso que está sendo estudado nesta pesquisa, ele é generalizado a todos os usuários de calçadas. Tanto na literatura internacional e nacional, os estudos nessa área são bem limitados. Portanto, observa-se a pouca importância dada aos pedestres quanto ao conforto das calçadas.

Essa falta de preocupação por parte do governo local com a qualidade das calçadas origina-se da facilidade e versatilidade que os pedestres têm para deslocar-se em qualquer tipo de superfície independente da existência ou não de calçadas. Postura que também é adotada pelos que planejam, operam e gerenciam os diversos serviços públicos da cidade, assim ficam espalhados pela cidade uma série de obstáculos urbanos, que são importantes para a qualidade de um determinado serviço, no entanto atrapalha a caminhada do pedestre.

Essa falta de harmonização da infraestrutura e mobiliário urbano com a arquitetura urbana e o planejamento dos espaços de deslocamento dos pedestres, assim como a falta de políticas que façam prevalecer o direito de ir e vir dos pedestres tem gerado todos esses problemas nos espaços destinados para eles. O problema agrava-se quando os

pedestres apresentam uma limitação física, são menores de idade, são idosos ou precisam transportar qualquer coisa em um carrinho manual.

É importante ressaltar que as ligações finais de uma viagem que realiza um cidadão, independente do meio de transporte que utilize, são iniciadas e acabadas a pé, portanto os acessos a todas as edificações, terminais e outras infraestruturas urbanas devem ser confortáveis e acessíveis para todos os pedestres considerando o universo deles (bebês, idosos, cadeirantes, etc.).

Nesse sentido, são importantes os estudos nesta linha, tendo como foco o conforto do pedestre versus qualidade da superfície das calçadas. A desmistificação de que as caminhadas em qualquer superfície não afetam o desempenho das atividades econômicas e sociais dos pedestres é necessário e urgente. Demonstrar cientificamente como o indivíduo é afetado, neste caso, os bebês, é o principal objetivo deste trabalho, assim como servir de base para outras pesquisas.

#### **1.4 – ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação está dividida em (8) oito capítulos, conforme detalhamento a seguir.

No capítulo 1 apresenta-se o tema, o problema, a justificativa, os objetivos e a organização da dissertação.

No capítulo 2 apresenta-se o tópico calçadas e suas características de projeto, materiais construtivos, vida em serviço, auscultação e gerenciamento.

O capítulo 3 aborda o tópico vibrações e os efeitos destas sobre os seres humanos assim como os procedimentos para coleta e quantificação.

No Capítulo 4 apresenta-se o tópico carrinhos de bebês e bonecos de teste.

O capítulo 5 apresenta a metodologia para análise de variáveis que podem afetar um bebê durante percurso sobre calçadas.

O capítulo 6 descreve o estudo de caso aplicado às calçadas localizadas no Plano Piloto do Distrito Federal.

O Capítulo 7 apresenta a análise de dados enquanto que o capítulo 8 apresenta as conclusões e recomendações para pesquisas futuras.

## 2. CALÇADAS

Neste capítulo aborda-se o tópico calçadas. Primeiramente são apresentadas as características de projeto das calçadas tais como largura mínima, tipo de pavimento e faixas de circulação e serviço. Em seguida é feita uma abordagem quanto aos materiais construtivos empregados e por fim, os devidos serviços de gerenciamento, que são de fundamental importância para o referido estudo.

A partir do conhecimento das características de projeto, procura-se identificar os defeitos habituais ocorrentes, ratificando a necessidade de gerenciar a serventia dos pavimentos das calçadas baseados nas avaliações objetivas e, em especial, nas subjetivas, para proporcionar um melhor desempenho operacional, no que tange a segurança e o conforto do usuário.

### 2.1 DEFINIÇÃO

Calçada é “parte da via, normalmente segregada e em nível diferente, não destinada à circulação de veículos, reservada ao trânsito de pedestres e, quando possível, à implantação de mobiliário urbano, sinalização, vegetação e outros fins”. (Lei Federal nº 9503, de 23 de setembro de 1997, ANEXO I; CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO - CTB (1998); MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006).

Segundo SANTOS (2002) a estrutura das calçadas na maioria das vezes não está condicionada para resistir às influências do meio externo e o defeito provocado por esta incapacidade influencia severamente em sua qualidade para o usuário.

As calçadas são elementos importantes no ambiente urbano e requerem grande investimento financeiro. A má construção resulta em deformações que podem provocar danos que prejudicam os atributos desejados de segurança, conforto na caminhada, aparência e vida útil (RAJANI, 2002).

Segundo RAJANI (2002) os defeitos nos pisos das calçadas revestidos em concreto começam a apresentar falhas a partir de 1 a 5 anos após a sua construção. Na América do Norte existem dois tipos de categorias de calçadas – flexíveis e rígidas. A maioria das calçadas é composta de pavimento flexível (asfáltico), pois são econômicas na

construção e duradouras. No entanto as de pavimento rígido (concreto) possuem um design diferente, são de fácil construção e apresentam maior resistência, capaz de suportar o peso de um veículo. Os dois modelos fornecem resultados comparáveis.

O levantamento dos defeitos existentes no pavimento é atividade fundamental na avaliação de sua condição global (estrutural e funcional). Os tipos de defeitos e suas causas prováveis influem na escolha da técnica mais adequada de reabilitação. Portanto, para que se possa proceder à avaliação das condições globais do pavimento, tal levantamento deverá possibilitar a identificação e quantificação dos diversos tipos de defeitos e seus respectivos graus de severidade, assim como a determinação das técnicas de reabilitação recomendáveis (SANTOS, 2002).

Segundo os SISTEMAS INTEGRADOS DE CALÇADAS (ABCP, 2007), as calçadas são componentes integrantes da paisagem municipal, devendo ser seguras e universalmente acessíveis. Elas devem ser capazes de acomodar todos os utilizadores, incluindo deficientes visuais e usuários de mobilidade reduzida. O uso de calçadas deve ser incentivado como uma alternativa à utilização do automóvel para promover estilos de vida mais saudáveis.

O bom planejamento, concepção, construção e manutenção de calçadas irão ajudar a alcançar estes objetivos. É necessário, o apoio dos tomadores de decisão, bem como da equipe de gestão do município, para assegurar o desenvolvimento e a sustentabilidade de um sistema seguro e acessível de calçadas.

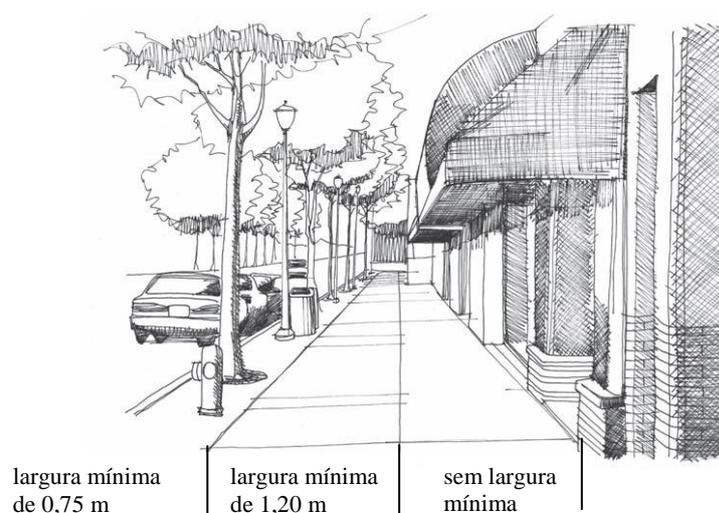
Segundo WEIS (2006), quando as calçadas são projetadas e construídas utilizando as melhores práticas, o tempo de vida do passeio pode ser prorrogado, reduzindo assim os custos de manutenção.

## **2.2 CARACTERÍSTICAS DE PROJETO**

Como já foi mencionado, calçada é parte integrante da via pública. Segundo WEIS (2006) para uma calçada ser acessível esta deverá ligar pedestres, elementos e meios necessários. Deverão ser construídas em todos os novos desenvolvimentos, podendo ser ordenadas por áreas.

Segundo o MINISTÉRIO DAS CIDADES (2006) a largura das calçadas depende primeiramente do número de pedestres esperados para utilização. Uma calçada deve ter largura mínima de 1,20m para o deslocamento confortável lado a lado em direções opostas de dois adultos. Porém, segundo GOLD (2003) a largura mínima recomendável seria 2,30m levando em consideração (i) a necessidade de se evitar contato dos pedestres com o acabamento possivelmente áspero da construção lindeira, (ii) a necessidade de se evitar atritos entre pedestres e veículos trafegando próximos ao meio fio e (iii) o espaço necessário para mobiliário urbano como postes etc.

Para organizar o passeio público, a Prefeitura Municipal de São Paulo definiu um novo padrão arquitetônico que divide as calçadas em faixas. As calçadas com até 2 metros de largura serão divididas em 02 faixas diferenciadas por textura ou cor e as com mais de 2,00 metros, em 03 faixas, também diferenciadas, como mostra a Figura 2.1 (SISTEMAS INTEGRADOS DE CALÇADAS (ABCP, 2007)).



**Figura 2.1** – Modelo ideal de passeio (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006).

Segundo o MINISTÉRIO DAS CIDADES (2006) para a implantação do mobiliário urbano deve-se estar atento a informações como materiais, design e funcionalidade, porém, a localização de sua instalação pode facilitar ou impedir a boa utilização do elemento, ou até se transformar em uma situação perigosa no deslocamento de pessoas.

Os mobiliários urbanos são instalados em áreas públicas ou privadas pelo Poder Público ou por ele autorizado, possuindo natureza utilitária ou simplesmente atendendo a um

interesse urbanístico, paisagístico, simbólico ou cultural. Estes podem ser classificados segundo seus aspectos formais ou por agrupamentos, conforme sua utilidade (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006).

A ABNT criou em 1986 a NBR 9283 que define e classifica o mobiliário urbano, normatizando, assim, um conceito. Todos os objetos, elementos e pequenas construções integrantes da paisagem urbana, de natureza utilitária ou não, deverão ser implantados mediante autorização do poder público, em espaços públicos e privados (NBR 9283, 1986).

A maioria dos elementos que compõe o mobiliário urbano de uma cidade é instalada sobre as calçadas. São lixeiras, telefones públicos, caixas de correio, abrigos de ônibus, placas de trânsito, postes de iluminação, entre outros. Todos são elementos de interesse à comodidade da coletividade, portanto sua implantação deverá respeitar a autorização dos órgãos competentes da Administração Municipal e demais organismos gerenciadores em casos específicos como foi citado anteriormente (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006).

Recomenda-se que o mobiliário esteja sempre instalado na calçada, na posição oposta ao lote, ou seja, adjacente à guia, evitando sua locação errada o que provocará não apenas desconforto de uso do elemento, mas inacessibilidade e acidentes. Também não deve em nenhum momento, obstruir a livre passagem de qualquer pessoa e nem comprometer a segurança da circulação.

A vegetação possui importante papel, pois promove uma melhor qualidade ambiental nas cidades, aumentando a permeabilidade do solo urbano, o que diminui o risco de enchentes. As árvores também fazem parte da classificação do mobiliário urbano apresentado pela NBR 9283. Árvores, arbustos, palmeiras, forrações, qualquer tipo de vegetação implantada no espaço de uso público deverá atender às questões da mobilidade para que se comporte de forma acessível, inclusive para as pessoas com dificuldades na locomoção e movimentação (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006).

Segundo o MINISTÉRIO DAS CIDADES (2006) é positivo e deve ser incentivado o plantio de árvores na cidade. Para isso, há a necessidade de se consultarem regras

específicas das prefeituras locais e das concessionárias de energia elétrica e telefonia, devendo ser tomado os seguintes cuidados:

- a) Escolher a muda, dando sempre preferência às espécies que possuam raízes para baixo, evitando que estas destroem a calçada, não possuam flores que caiam com facilidade, tenham galhos baixos direcionados e/ou podados acima de 2,10m, evitando chãos escorregadios e plantio em calçadas com largura igual ou inferior a 1,50m;
- b) Garantir que nem troncos, nem raízes prejudiquem a circulação de pessoas pelas calçadas, recomendando áreas de passagem livre de obstáculos de no mínimo 1,50m, respeitando as distâncias mínimas de 5,00m entre as árvores para espécies de pequeno porte, 8,00m para espécies de médio porte e 12,00m para as de grande porte; e
- c) Estas devem estar localizadas a menos de 0,30m de distância da guia a serem plantadas, garantindo a aeração do solo e a infiltração das águas.

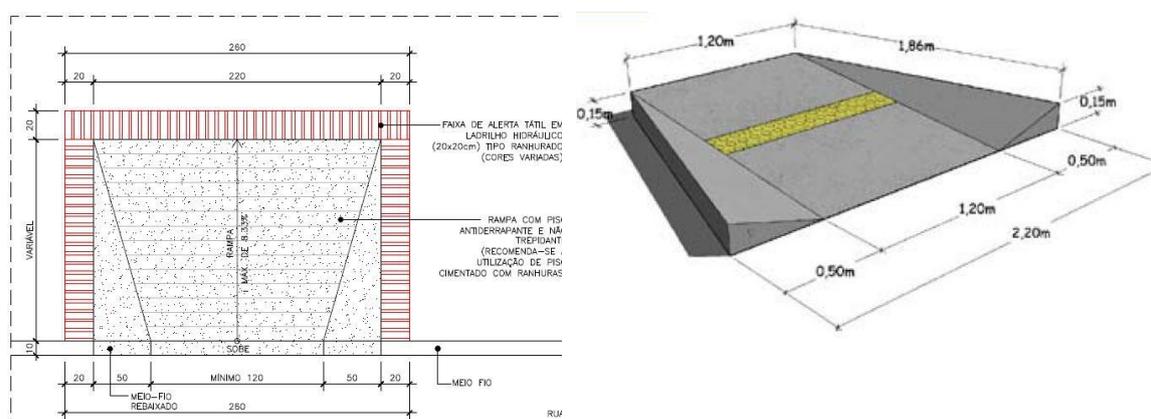
Quanto às rampas de rebaixamento de calçada, estas devem estar juntas às faixas de travessia de pedestres como um recurso que facilita a passagem do nível da calçada para o da rua, melhorando a acessibilidade para as pessoas com: mobilidade reduzida, empurrando carrinho de bebê, que transportam grandes volumes de carga e aos pedestres em geral (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006).

As rampas para acesso de veículos não podem ocupar toda a largura da calçada e impedir o percurso seguro. Estas devem ocupar no máximo 60,00 cm da largura do passeio, na seção transversal. Quando a faixa de serviço for menor que a largura da rampa, essa deverá ter seu perímetro contornado por piso podotátil (tipo pastilhado). Nos casos em que a largura for inferior a 1,80m, toda a calçada deverá ser rebaixada, sendo que a rampa deverá ser sinalizada com piso de alerta tátil direcional (tipo texturizado) e todo o espaço de acesso ao veículo deverá ser sinalizado com piso podotátil (tipo pastilhado) (PROJETO CALÇADA LEGAL (PMS, 2008)).

Segundo o PROJETO CALÇADA LEGAL (PMS, 2008), as rampas para acesso de pedestres devem apresentar inclinação máxima de 8,33%, sendo toleradas em reformas, quando esgotadas as possibilidades de soluções que atendam essa inclinação, inclinação máxima de 10%. Devem também ser sinalizadas com faixa de alerta tátil direcional

(piso tipo texturizado) para permitir a circulação de portadores de deficiência visual, e ter revestimento com piso antiderrapante e não trepidante (recomenda-se a utilização de piso cimentado com textura).

Nos casos onde não houver espaço suficiente para a construção da rampa com inclinação adequada e faixa de percurso de no mínimo 1,20 m, que permita a manobra de cadeirantes em frente à rampa, recomenda-se rebaixar toda a largura da calçada. Assim, a rampa deverá ser sinalizada com piso de alerta tátil direcional (tipo texturizado) e o espaço da calçada de acesso ao pedestre também deverá ser sinalizado com o mesmo piso como mostra a Figura 2.2 (PROJETO CALÇADA LEGAL (PMS, 2008)).



**Figura 2.2** – Planta Baixa e Perspectiva rampa para pedestre (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006).

Outro aspecto que deve ser levado em consideração é a inclinação transversal das áreas de circulação, onde são aceitos, no máximo 2% para áreas internas e 3% para áreas externas. Inclinações superiores a essas dificultam, consideravelmente, a circulação de alguém em cadeira de rodas e produzem um efeito de desequilíbrio em idosos, gestantes e pessoas com labirintite (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006).

Além do dimensionamento, vegetação e mobiliário da calçada, deve-se escolher de uma forma correta os materiais empregados nestes ambientes. A escolha errada, ou simplesmente a má aplicação do material, acaba por dificultar ou impedir o livre acesso ou a permanência e utilização de um determinado local ou objeto (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2006). A utilização de materiais adequados, além de permitirem uma boa

mobilidade urbana, serve como referência, principalmente para pessoas com deficiências visuais.

Os pisos devem ter superfície regular, firme, estável e antiderrapante sob qualquer condição, que não provoque trepidação em dispositivos com rodas (cadeiras de rodas ou carrinhos de bebê) (ABNT NBR 9050, 2004). É importante entender que a textura de um piso é um dos principais elementos de orientação de pessoas com deficiência visual. A cor também é um elemento de grande importância para os indivíduos que possuem baixa visão, como os idosos.

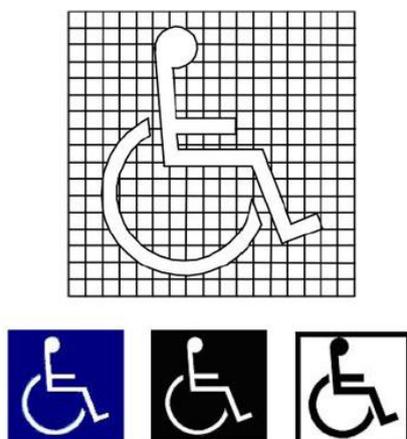
Os mais adequados são os que apresentam regularidade superficial e sejam antiderrapantes, proporcionando conforto e segurança aos usuários. Outro aspecto importante é a facilidade de manutenção, devendo-se priorizar o uso de materiais removíveis, quando da instalação em áreas sujeitas à passagem de instalações de serviços públicos (WEIS, 2006).

Em estudo realizado por FERREIRA E SANCHES (2008) com 83 cadeirantes pode-se verificar que o pavimento (superfície de contato com as rodas da cadeira) é um fator que se destaca. O estado de conservação e o material utilizado no piso apareceram como aspectos muito importantes. As demais características têm importância menor. O estudo evidenciou a importância de se oferecer aos cadeirantes uma superfície firme e bem conservada para sua movimentação. Superfícies desniveladas constituem obstáculos podendo mesmo impedir a movimentação.

A comunicação e a sinalização possuem bastante importância, sejam elas, visual, tátil ou sonora, pois garantem a correta e segura acessibilidade aos portadores de necessidades especiais. A instalação de qualquer tipo de sinalização na via ou calçada deve ser prevista e instalada pelo órgão competente da prefeitura (PROJETO CALÇADA LEGAL (PMS, 2008)).

Segundo o PROJETO CALÇADA LEGAL (PMS, 2008), a comunicação visual de acessibilidade é representada pelo Símbolo Internacional de Acesso - SIA. Este símbolo é utilizado para sinalizar as circulações que possibilitem acesso aos cadeirantes ou pessoas com mobilidade reduzida, orientando percursos e o uso correto de

equipamentos, incluindo as rampas, as escadas, os estacionamentos e os telefones públicos, como mostra a Figura 2.3 abaixo.



**Figura 2.3** – Símbolo Internacional de Acesso - SIA (ABNT NBR 9050, 2004).

A comunicação tátil é dirigida a pessoas com deficiência visual. No caso das calçadas é representado pelo piso de alerta tátil e piso tátil direcional, os quais apresentam finalidades distintas em função do seu relevo, textura e cores diferenciadas utilizados nos espaços da calçada. O piso de alerta tátil (pastilhado) tem a função de alertar para a existência de obstáculos, e o piso tátil direcional (texturizado) orienta e direciona o percurso do transeunte (PROJETO CALÇADA LEGAL (PMS, 2008)).

A comunicação sonora é dirigida, especialmente, aos portadores de deficiência visual e deve existir em semáforos sonoros, entradas e saídas de postos de combustíveis, oficinas, estacionamentos e/ou garagens de uso coletivo (PROJETO CALÇADA LEGAL (PMS, 2008)).

## **2.3 MATERIAIS CONSTRUTIVOS**

No Brasil a utilização do concreto de cimento como pavimentação adequada em calçadas é sem dúvida a mais frequente, principalmente, devido às suas vantagens de manutenção e durabilidade. Para os usuários em cadeiras de rodas, para pessoas empurrando carrinhos de bebês e para viajantes puxando malas com rodas, o concreto proporciona maior conforto dado sua superfície lisa e livre de rugosidade (GOLD, 2003).

Os tipos de revestimento que podem ser utilizados em calçadas são: concreto tradicional moldado in loco, revestimento poroso, concreto poroso em placas pré-moldadas, blocos intertravados de concreto, ladrilhos hidráulicos, asfalto-borracha, rubbersidewalks, terrewalks, concreto asfáltico e piso drenante. A seguir, são apresentadas as principais características dos materiais citados anteriormente.

#### Calçada de concreto tradicional moldado in loco

Segundo o SISTEMA INTEGRADO DE CALÇADAS (ABCP, 2007) as calçadas de concreto podem ser executadas com concreto moldado in loco de modo convencional, quando o concreto, produzido em central ou na própria obra, é simplesmente desempenado e vassourado. Possui características de elevada durabilidade, desde que respeitadas às características do produto, o modo de instalação e de manutenção. O acabamento superficial deve apresentar rugosidade adequada para evitar escorregamentos no tráfego de cadeirantes, deficientes visuais, carrinhos de bebês e portadores de necessidades especiais.

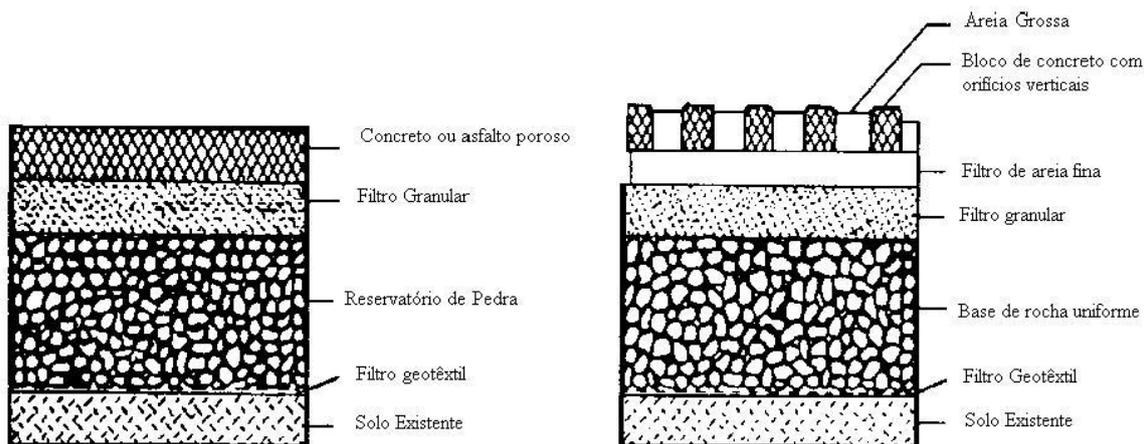
O concreto tradicional moldado in loco possui resistência à compressão de 20 MPa, com espessura para tráfego de pedestre de 5,00 a 6,00 cm. Possui acabamento superficial com diversidade de texturas e cores. As juntas são executadas em concordância com a modulação de estampagem. Devem ser previstas também juntas de controle e de execução da obra (SISTEMAS INTEGRADOS DE CALÇADAS - (ABCP, 2007)).

#### Calçada com revestimento poroso

Segundo URBONAS e STAHR (1993) *apud* CRUZ *et al.* (1999) pavimento permeável é uma alternativa de dispositivo de infiltração onde o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras localizado sob a superfície do terreno.

URBONAS e STAHR (1993) *apud* CRUZ *et al.* (1999) classificam os pavimentos permeáveis basicamente em três tipos: (i) pavimento de asfalto poroso; (ii) pavimento de concreto poroso; (iii) e o pavimento de blocos de concreto vazados preenchidos com

material granular, como areia ou vegetação rasteira, como grama conforme mostra a Figura 2.4. A camada superior dos pavimentos porosos (asfalto e concreto) é construída similarmente aos pavimentos convencionais, com a diferença básica que a fração da areia fina é retirada da mistura dos agregados na confecção do pavimento. Os blocos de concreto vazado são colocados acima de uma camada de base regular (areia). Filtros geotêxteis são colocados sobre a camada de areia fina para prevenir a migração de areia fina para a camada granular.



Concreto ou Asfalto Poroso (i) e (ii)

Blocos de Concreto Vazados (iii)

**Figura 2.4** – Pavimento permeável (URBONAS e STAHRÉ (1993) *apud* CRUZ *et al.* (1999))

Segundo URBONAS e STAHRÉ (1993) *apud* CRUZ *et al.* (1999) não existem limitações para o uso do pavimento permeável, exceto quando a água não pode infiltrar para dentro do subsolo devido à baixa permeabilidade do solo ou o nível do lençol freático for alto, ou se houver uma camada impermeável que não permita infiltração.

#### Calçada com placas pré-moldadas de concreto poroso

As placas de concreto pré-fabricadas possuem alto desempenho para aplicação assentada com argamassa sobre base de concreto, ou removível, diretamente sobre a base ou como piso elevado. Agrega-se de elevada durabilidade, sendo adequado para o tráfego de cadeirantes e deficientes visuais, possuindo superfície antiderrapante. Essas placas apresentam resistência à tração de 35 MPa, espessura de 2,50 cm para placas fixas e 3,00 cm para placas removíveis (ABCP, 2007).

As placas fixas são assentadas com argamassa de consistência seca sobre a camada de base e as removíveis sobre camada de pó de brita com 3,00 a 4,00 cm de espessura sobre a base. As juntas podem ou não ser rejuntadas para placas fixas enquanto que as removíveis não devem ser rejuntadas. Possuem acabamento superficial de diversas cores e formatos (ABCP, 2007).

#### *Calçada de concreto permeável ou poroso moldado in loco*

Existem outros tipos de pavimento sendo empregados, como o concreto permeável que auxilia na recuperação da capacidade de infiltração do solo que vem sendo perdida com o avanço das áreas urbanas. Possui alto índice de vazios interligados, preparado com pouca ou nenhuma areia, o que permite a passagem desobstruída de grandes quantidades de água. Se utilizado como pavimentação externa, captura a água da chuva e permite que ela infiltre diretamente no solo, aliviando, assim, o sistema público de águas pluviais (POLASTE e SANTOS, 2006).

A densidade do concreto permeável depende das propriedades e das proporções dos materiais usados e dos procedimentos de compactação usados em sua aplicação. Em geral possuem densidade na ordem de 1.600 a 2.000 kg/m<sup>3</sup> e índices de vazios de 15 a 25%. Possuem resistência de compressão na escala de 3,5 a 28 MPa, tendo como valor típico aproximadamente 25 MPa, resistência suficiente para suportar um caminhão dos bombeiros e até mais, com misturas, materiais e aditivos especiais. Pode-se acrescentar mais areia, aumentando a resistência, mas a perda da permeabilidade é alta, limitando drasticamente o uso deste recurso (POLASTE e SANTOS, 2006).

Este tipo de revestimento evita o acúmulo de água nas calçadas, melhorando a circulação de pedestres. A rugosidade superficial aumenta, prevenindo desta forma acidentes causados por deslizamento.

No Brasil não são encontradas pesquisas específicas sobre este material. Há citações breves em estudos mais abrangentes sobre drenagem. No entanto, a literatura internacional cita a utilização deste material há muitas décadas na Europa e nos Estados Unidos. Há experiências também no Japão e no Chile. No Brasil, trata-se de uma inovação aplicada em projetos-piloto pelo país. Em abril de 2006, em Belo Horizonte

(MG), começou a ser empregado no Parque Tecnológico de Belo Horizonte (BH-Tec), que funcionará próximo ao campus Pampulha da UFMG (POLASTE e SANTOS, 2006).

#### Calçada com blocos intertravados de concreto

O sistema de pavimentação intertravada é a que melhor satisfaz as necessidades estéticas, construtivas, de resistência, e ainda agrega valor pelo seu desempenho como pavimento parcialmente permeável.

Os blocos intertravados, pré-fabricados com concreto, são assentados sobre camada de areia e travados através de contenção lateral e pelo atrito da camada de areia entre as peças. Possuem elevada durabilidade, bom conforto de rolamento, superfície antiderrapante, resistência à compressão de 35 MPa e espessura de 6,00 cm. Para a base é utilizado brita graúda simples corrida e compactada sobre subleito também compactado. As peças de concreto são assentadas sobre uma camada de areia média cuja espessura varia entre 3,00 e 5,00 cm, sendo esta camada de areia média disposta sobre a camada de base. As juntas devem ser refinadas com areia fina. Possuem diversos tipos de acabamento superficial, em diversas cores, formatos e texturas (ABCP, 2007).

#### Calçada com ladrilho hidráulico

Segundo o SISTEMA INTEGRADO DE CALÇADAS (ABCP, 2007) o ladrilho hidráulico é composto por uma placa de concreto de alta resistência ao desgaste para acabamento de pisos, assentada com argamassa sobre base de concreto. Possui elevada durabilidade, conforto no rolamento e superfície antiderrapante. Sua resistência individual à tração é menor do que 4,6 MPa e menor do que 5,0 MPa para um conjunto de ladrilhos. Para o tráfego de pedestre recomenda-se espessura de até 20 mm, sendo utilizada uma base de concreto magro com espessura de 3,00 a 5,00 cm. Possui diversas texturas e cores.

Segundo GOLD (2003) o ladrilho hidráulico proporciona estética aos ambientes, considerado muitas vezes como marca de uma região. Porém apresenta certa fragilidade

ao tráfego e ou à movimentação de veículos. O processo construtivo do cimentado exige a presença de pedaço de madeira formando a junta de dilatação que com o passar do tempo se destaca apresentando incômodo aos pedestres. Quando de sua existência em boas condições proporciona conforto ao caminhar.

#### Calçada com concreto asfáltico

Segundo WESSELING (2005) o concreto asfáltico pode ser considerado um material viscoelástico, por apresentar comportamento elástico e viscoso simultaneamente, quando submetido a temperaturas intermediárias. O mesmo, em altas temperaturas (acima de 100°C) atua como fluido viscoso. Em baixas temperaturas (abaixo de 0°C) torna-se um sólido elástico.

Segundo WESSELING (2005) o Concreto Asfáltico (CA) – também denominado Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) caracteriza-se por possuir uma granulometria de graduação contínua, bem graduada, ou seja, contando com todas as frações de agregados em proporções semelhantes. É a mistura de mais alta qualidade, em que um controle rígido na dosagem, mistura e execução deve atender a exigências de estabilidade, durabilidade, flexibilidade e resistência ao deslizamento, preconizados pelas Normas Construtivas.

#### Calçadas construídas com asfalto+borracha de pneus descartados

Segundo FERNANDES (2000) a borracha de pneus moída pode ser utilizada como material para pavimentação, através da mistura com o ligante asfáltico antes da adição do agregado (processo úmido) ou como parte do agregado (processo seco). Com a obrigação de reciclagem dos pneumáticos inservíveis imposta pelo CONAMA e a necessidade de pavimentos mais resistentes, devido à utilização de veículos mais pesados, viu-se a possibilidade de um melhoramento dos ligantes com a adição de borracha oriunda de pneumáticos inservíveis. A borracha de pneu é uma borracha vulcanizada e serve como modificador de ligantes asfálticos. A incorporação pode ser feita por dois processos. O primeiro, chamado de processo seco, consiste em utilizar a borracha como mais um agregado da mistura asfáltica, quando a borracha passará a ser chamada aqui de Agregado-Borracha. O segundo, denominado processo úmido,

adiciona a borracha moída diretamente ao ligante asfáltico, a alta temperatura (e.g. 240°C), tornando os dois uma única mistura chamada de ligante Asfalto-Borracha com propriedades diferentes do ligante inicial (GREEN, 1998; ODA, 2000; BERTOLLO *et al.*, 2002; FAXINA, 2002).

A borracha proporciona um aumento da flexibilidade, tornando a mistura asfáltica mais resistente ao envelhecimento e ao aparecimento de deformações. Quando comparado ao pavimento convencional, o pavimento com asfalto-borracha apresenta maior durabilidade (FERRARA, 2006).

### *Rubbersidewalks e Terrewalks*

Uma empresa americana desenvolveu um produto para ser utilizado em calçadas na cidade de Santa Mônica, Califórnia. Este produto denomina-se Rubbersidewalks e consiste em placas pré-moldadas constituídas por um composto de borracha. Esse material propicia flexibilidade e permite que a calçada “dobre” quando a raiz de uma árvore cresce sob a calçada. Durante o desenvolvimento desse material descobriu-se que as raízes das árvores possuem crescimento diferente quando se utiliza o Rubbersidewalks comparado ao concreto de cimento convencional (RUBBERSIDEWALKS, 2009).

As placas deste produto possuem alta densidade, pois são compostas por pneus reciclados, borracha combinada com poliuretano e corante, e em seguida, moldados com calor sob compressão, o que produz um produto forte e duradouro com alto coeficiente de atrito para piso antiderrapante tanto no estado seco como no molhado. Essas placas estão disponíveis em vários tamanhos e cores, tendo tempo de vida de oito a doze anos (RUBBERSIDEWALKS, 2009).

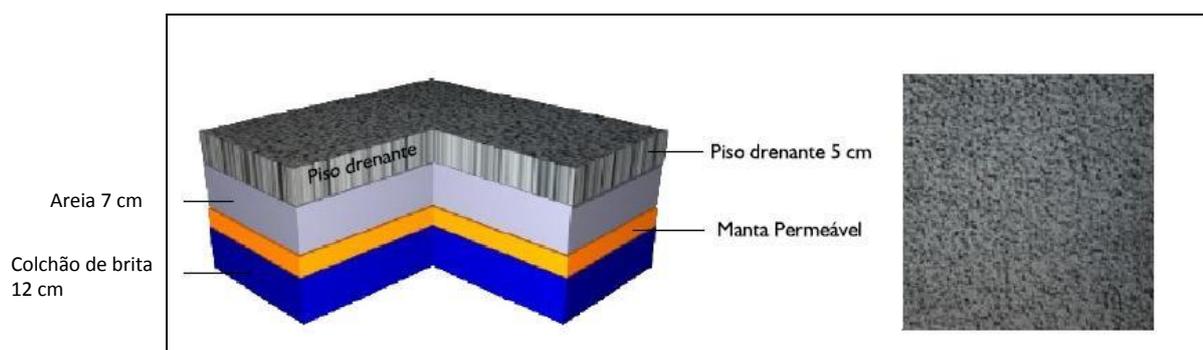
A mesma empresa, também desenvolveu recentemente um novo produto semelhante ao Rubbersidewalks no qual deu o nome de Terrewalks. Esse produto é composto por borracha de pneus reciclados, combinado com poliuretano e corante, e sua diferença com o Rubbersidewalks está na aparência ou aspecto das placas (RUBBERSIDEWALKS, 2009).

### Calçada com piso drenante

O piso drenante (Figura 2.5), caracteriza-se por possuir excelente padrão, acabamento rústico e antiderrapante sendo 100% permeável, o que permite a infiltração das águas pluviais, auxiliando na alimentação dos lençóis freáticos e ainda se torna uma importante ferramenta no combate a males como enchentes, enxurradas, erosões, etc., problemas comuns em centro urbanos (TECNOGRAN, 2009).

Sua composição é feita através da junção de dois agregados rochosos de alta resistência, passando por uma prensagem especial para manter os espaços entre os agregados e com isto permitir drenagem entre os grãos. Outra característica do material é a forma construtiva a qual proporciona uma maior permeabilidade, uma função técnica importante, ou seja, reduz o acúmulo de águas das chuvas como foi citado anteriormente (TECNOGRAN, 2009).

Possui as seguintes dimensões: 40 x 40 x 5 cm, com aspecto rústico e antiderrapante, 100% permeável, suporta tráfego leve (pessoas), resistência à tração na flexão menor que 3,4 MPa e resistência à compressão também menor que 3,4 MPa (TECNOGRAN, 2009).



**Figura 2.5** – Piso drenante (TECNOGRAN, 2009).

## **2.4 VIDA EM SERVIÇO**

Os Sistemas de Gerência de Pavimentos visam à obtenção do melhor retorno possível para os recursos investidos, provendo pavimentos seguros, confortáveis e econômicos aos usuários, permitindo a construção de um esquema de manutenção baseado apenas

na correção de problemas para um sistema de manutenção planejada, capaz de prolongar a vida útil e garantir padrões mínimos de serviço em toda a malha viária (MICHAEL, 2006).

Um dos objetivos principais da gerência de pavimentos é fornecer respostas para questões como o que precisa ser feito numa determinada rede de pavimento, selecionando uma boa estratégia; como esses serviços deverão ser executados, definindo que tipo de atividade de manutenção e reabilitação deverá ser feito; quando será necessário intervir para evitar a ruptura ou prolongar a vida em serviço de um pavimento; localização dos projetos prioritários; etc.

Segundo MICHAEL (2006) o primeiro passo no desenvolvimento de um sistema de gerência de pavimentos consiste na definição das seções de análise, geralmente em função do volume de tráfego, do tipo de pavimento, do tipo e espessura de cada camada, do tipo de subleito e do estado de conservação do pavimento. Em seguida, procede-se um levantamento da condição atual do pavimento, registrando-se as extensões e os níveis de severidade para cada tipo de deterioração encontrada nas seções. Com base no inventário e na condição do pavimento, pode-se analisar, em nível de rede, diferentes estratégias de manutenção e reabilitação (por exemplo, “não fazer nada”, “manutenção corretiva”, “manutenção preventiva”, “recapeamento”, “reconstrução”).

Posteriormente, passa-se à análise em nível de projeto, que consiste na definição das atividades de manutenção e, quando for o caso, no dimensionamento dos reforços e na reconstrução. Finalmente, são realizadas as análises econômicas e de priorização.

O levantamento dos defeitos existentes no pavimento é atividade fundamental na avaliação de sua condição global (estrutural e funcional). Os tipos de defeitos e suas causas prováveis influem na escolha da técnica mais adequada de reabilitação. Portanto, para que se possa proceder à avaliação das condições globais do pavimento, tal levantamento deverá possibilitar a identificação e quantificação dos diversos tipos de defeitos e seus respectivos graus de severidade, a determinação das técnicas de reabilitação recomendáveis e a definição de ensaios complementares para a elaboração do projeto de reabilitação.

Em Brasília, mais especificamente no Plano Piloto, as calçadas são geralmente construídas com concreto moldado in loco. Para melhor compreensão e análise, segue uma classificação dos principais tipos de defeitos encontrados nas superfícies dessas calçadas:

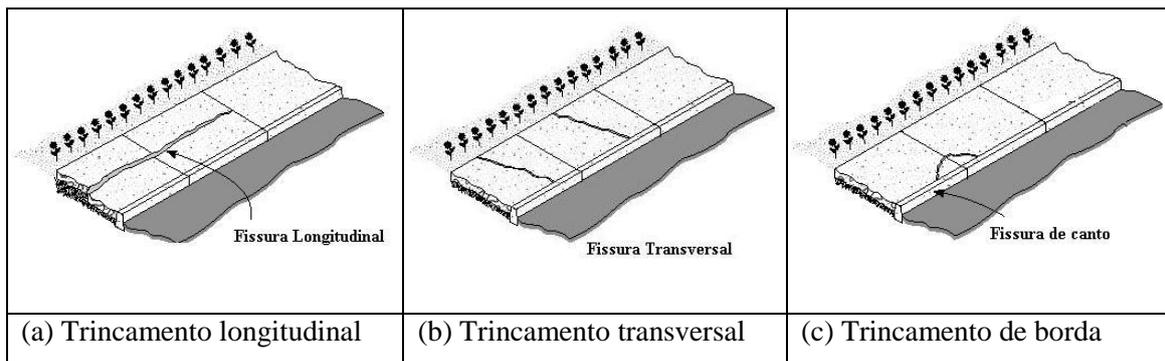
### *1. Trincas*

Fenda existente no revestimento, facilmente visível à vista desarmada, com abertura superior à da fissura, podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada ou trinca interligada. Podem ser classificadas em: trincamento longitudinal, transversal e de canto.

1.1 Trincamento longitudinal (Figura 2.6a): é um conjunto de trincas paralelas à linha central da calçada. É resultado da má execução da junta de separação entre dois blocos de calçada, recalque diferencial, no caso do alargamento da calçada, contração da capa superficial da calçada devido a baixas temperaturas ou endurecimento do concreto e pela propagação de trincas abaixo do revestimento da calçada incluindo trincas em base de concreto de cimento Portland;

1.2 Trincamento transversal (Figura 2.6b): é composto por um conjunto de trincas perpendiculares à linha central da superfície da calçada. Pode ser causado por contração da capa de revestimento da calçada, devido a baixas temperaturas ou endurecimento do concreto e pela propagação de trincas abaixo do revestimento da calçada, incluindo trincas em base de concreto de cimento Portland; e

1.3 Trinca de canto (Figura 2.6c): resulta do trincamento na borda, normalmente situada ao longo de uma faixa de 30,00 a 60,00 cm da borda do pavimento da calçada ou na junção onde o pavimento sofre alargamento. Caracteriza-se também por uma área trincada que pode ocorrer próximo a junção entre a calçada e o meio-fio ou parede de edificação. Pode ser acompanhado por desintegração ou desagregação ao longo da borda. São causados pela construção defeituosa de meio-fio, diferença de rigidez entre os materiais constituintes do alargamento e do pavimento antigo, isolamento insuficiente da separação, compactação insuficiente e ação erosiva, devido à drenagem deficiente (SANTOS (2002); RAJANI (2002); RAJANI e ZHAN (1997)).



**Figura 2.6** – Trincamentos (SANTOS (2002); RAJANI (2002); RAJANI e ZHAN (1997)).

### 2. Assentamento

É o afundamento do pavimento, criando ondulações superficiais de grande extensão, embora o pavimento permaneça íntegro. Possuem diferentes graus de severidade, baixo, médio e alto, que são classificados através de condição de conforto e segurança oferecidos aos usuários. Sua contagem é feita a partir da avaliação do defeito, sendo extremamente subjetiva e que geralmente induz ao aparecimento de outros defeitos na área afetada, sendo considerado também no cálculo do ICP (Índice de Condição do Pavimento) (SHAHIN, 2005).

### 3. Escalonamento ou degrau de junta

Ocorrência de deslocamentos verticais diferenciados e permanentes entre uma placa e outra adjacente, na região da junta. Podem ser causados pela consolidação de solo mole no subleito, bombeamento de finos ou erosão da sub-base sob a placa ou pelo empenamento dos bordos das placas devido a mudanças na temperatura e na umidade (SHAHIN, 1994).

Possuem diferentes tipos de grau de severidade, baixo, médio ou alto, definidos através do valor do desnível da junta. Sua contagem é feita quando o defeito ocorre em uma junta, contabiliza-se apenas uma placa e o desnível presente em uma fissura não é contabilizado, sendo, no entanto levado em conta para a definição do grau de severidade dessa fissura (SHAHIN, 2002).

#### *4. Escamação / Polimento da Superfície*

O agregado exposto, (condição de desgaste superficial) dependendo de sua natureza mineral poderá ser consumido pela ação abrasiva do tráfego, ocorrendo então a perda da macrotextura da superfície do pavimento concomitantemente com a perda da microtextura dos agregados que se tornam bastante desgastados e lisos (SHAHIN, 1994).

#### *5. Falha na selagem das juntas*

Qualquer avaria no material selante que possibilite a acumulação de material incompressível na junta ou que permita a infiltração d'água. Podem ser causadas pela acumulação de material incompressível nas juntas. Os danos típicos causados nas juntas são remoção do selante, extrusão/expulsão do selante, crescimento de ervas daninhas, enrijecimento do selante, falta de coesão com os bordos das placas e falta ou ausência de selante nas juntas. Essas falhas podem assumir diferentes graus de severidade, baixo, médio ou alto e dependerá do estado de conservação e desempenho do selante (SHAHIN, 1994).

#### *6. Esborcinamento das juntas*

Quebras que aparecem nos cantos das placas, em forma de cunha e ocorrendo a uma distância não superior a 60,00 cm do canto. São causados pelas tensões de empenamento. Possui variação no grau de severidade, baixo, médio ou alto, que oscila de acordo com a profundidade da quebra. A realização da contagem desses defeitos é feita quando a placa apresentar uma ou mais quebras de canto de nível de severidade semelhante, contabilizando-se “uma placa com uma quebra de canto” ou quando a placa apresentar quebras de canto com mais de um nível de severidade, sendo considerado para contabilização apenas o nível de severidade mais elevado (SHAHIN, 1994).

#### *7. Buracos*

Reentrâncias côncavas encontradas na superfície da placa, resultantes da perda de concreto no local, exibindo área e profundidade bem definidas. Possuem diferentes tipos de graus de severidade e contagem, uma vez que estão diferentemente relacionados à progressão de outros defeitos, devendo ser avaliados e contados conforme o defeito que lhe deu origem (SHAHIN, 2005).

## 2.5 DIAGNÓSTICO DAS CALÇADAS

Como em qualquer assunto de responsabilidade torna-se necessário monitorar e fiscalizar o cumprimento de normas e códigos. Do ponto de vista das calçadas, a prefeitura pode, por exemplo, criar uma equipe permanente de monitoração da qualidade destas, vistoriando periodicamente todas as ruas da cidade e cadastrando os problemas. Municípios com calçadas inadequadas podem ser notificados (GOLD, 2003). Em estudo realizado na cidade de Indianópolis (EUA), para os levantamentos de campo foram utilizados caneta e caderno para anotação da condição da calçada e informações sobre localização, assim como câmera digital para documentar visualmente cada trecho percorrido. Pesquisas amostrais podem ser realizadas e os resultados posteriormente expandidos estatisticamente para se demonstrar uma visão global das calçadas da cidade e o custo de colocar todas as calçadas em ordem (GOLD, 2003).

Em um estudo realizado na cidade de Overland Park, Kansas (EUA), foram estabelecidos critérios para a auscultação das calçadas. O primeiro passo tomado foi a criação de uma base eletrônica das calçadas, através de fotos aéreas e GPS, onde em seguida os dados levantados foram cadastrados. O próximo passo consistiu na criação de um inventário, com a criação de um software que armazenaria todos os dados de uma calçada e geraria automaticamente vários relatórios, racionalizando o processo de gestão das calçadas (BERGNER, LUESSENHEIDE e HALE, 2007).

Considerando as atividades de monitoramento dessas calçadas, durante a inspeção um inspetor preenche um formulário para cada calçada, descrevendo o local dos painéis defeituosos, os tipos de defeitos encontrados, bem como o comprimento, a largura e declividade e inclinação da calçada. No escritório, o resumo dessas inspeções é então gravado, com o intuito de manter um banco de dados das calçadas existentes e de novos projetos fornecidos pelo poder público e privado. Após o levantamento e cadastramento das calçadas e suas especificações, o processo de manutenção tende a se tornar mais fácil, uma vez que todas estão georreferenciadas (BERGNER, LUESSENHEIDE e HALE, 2007).

## 2.6 PROCESSAMENTO DOS DADOS LEVANTADOS

Segundo o DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS *et al.* (2009), os projetos de reparação das calçadas baseiam-se em dois índices: o Índice de Condição do Pavimento (ICP) e o Índice Internacional de Rugosidade (IRI). O ICP é uma medida da condição do pavimento utilizado como padrão de ferramenta empregada na avaliação de pavimentos em uma classificação de zero a cem. O IRI é o índice da condição da calçada determinado mediante medição da rugosidade que varia de zero a cinco. Um escore zero indica que a calçada está completamente deteriorada; cinco indica que a calçada aparenta ser totalmente nova.

Ainda segundo o DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS *et al.* (2009), para localizar as áreas identificadas onde o pavimento necessitava de manutenção, as calçadas foram separadas em seções, independentes do comprimento dos blocos ou placas, onde cada uma possui duas vertentes: uma a leste e uma a oeste, ou uma ao norte e uma ao sul, conforme Tabela 2.1.

**Tabela 2.1** – Amostra bloco entrada

| AVENIDA  | LADO | RUA 1     | RUA 2        |
|----------|------|-----------|--------------|
| Spruce 1 | W    | Spann Ave | Fletcher Ave |

Fonte: DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS *et al.* (2009)

Foram levantados diferentes trechos, em seguida os mesmos foram fotografados e avaliados de acordo com o seu grau de conservação e índice de rugosidade em um intervalo de “0” a “5”, sendo que “5” representa a melhor qualidade e “0” representa a pior conforme ilustra a Figura 2.7. A avaliação final de um trecho de calçada é obtida pelo somatório das notas atribuídas a cada um dos aspectos considerados, ponderados pela importância relativa de cada aspecto.

|   |   |   |
|---|---|---|
|  |  |  |
| (a) Estado de conservação bom   | (b) Estado de conservação médio   | (c) Estado de conservação ruim  |

**Figura 2.7** – Estado de conservação das calçadas (DEPARTAMENT OF PUBLIC WORKS *et al.* (2009)).

## 2.7 GERENCIAMENTO DAS CALÇADAS

O DEPARTAMENT OF PUBLIC WORKS *et al.* (2009), classifica as calçadas em três níveis prioritários: alta prioridade; média prioridade e baixa prioridade. As calçadas a serem selecionadas para reparação deverão conter além de defeitos, alguns fatores como alto fluxo de pedestre nas áreas comuns como escolas, igrejas, hospitais, paradas de ônibus, etc.

Para priorização quanto à reparação nas calçadas, utiliza-se uma escala de um para três. Um significa nível de prioridade alta e necessidade de reparação imediata; dois significa que o nível de prioridade é moderado; e o nível três indica pouca ou nenhuma necessidade de reparo. Tais classificações consideram as anotações feitas bem como a localização geográfica, proximidade de uma igreja ou escola, por exemplo, fornecendo uma visão do entorno de cada segmento, incluindo referência de habitação, comércio, escolas, que irão completar a prioridade da avaliação.

Existem diversos tipos de serviço de manutenção nas superfícies das calçadas como o aplainamento que é feito para corrigir os desníveis quando os mesmos estão fora da faixa de 1,25 a 5,00 cm, a reconstrução de juntas, reconstrução de placas deterioradas, corte

de raízes, substituição de placas com assentamento maior que 5,00 cm e a poda de árvores.

## **2.8 TÓPICOS CONCLUSIVOS**

Este capítulo caracterizou como deve ser feito o projeto de uma calçada, quanto a sua largura, faixa de serviço, acessibilidade para portadores de necessidades, identificou os tipos de pavimentos existentes nas calçadas, os defeitos que se estabelecem ao longo da sua vida útil e como avaliar a degradação da serventia a partir de levantamentos objetivos e subjetivos.

### **3. VIBRAÇÕES**

Este capítulo apresenta uma abordagem sobre o histórico das vibrações, como se originam, os efeitos que elas causam sobre o organismo e os efeitos da mesma sobre a saúde. Serão feitas abordagens sobre como quantificar as vibrações, qual tipo de aparelho deve ser utilizado e por fim estudos sobre o impacto da vibração.

#### **3.1 DEFINIÇÃO**

Segundo FERNANDES (2000) um corpo é dito em vibração quando ele descreve um movimento oscilatório em torno de um ponto de referência. O número de vezes de um ciclo completo de um movimento durante um período de um segundo é chamado de frequência e é medido em Hertz (Hz).

Tais movimentos podem consistir de um simples componente ocorrendo em uma única frequência, como um diapasão, ou muitos componentes ocorrendo em diferentes frequências simultaneamente, como por exemplo, com o movimento de um pistão de um motor de combustão interna (FERNANDES, 2000).

Segundo FERNANDES (2000) na prática, os sinais de vibração consistem em muitas frequências ocorrendo simultaneamente, dificultando a observação em um gráfico amplitude  $\times$  tempo. Esses componentes podem ser visualizados plotando a amplitude da vibração  $\times$  frequência. O mais importante dos sinais de vibração é o estudo dos componentes individuais da frequência que é chamado de análise de frequência, uma técnica que pode ser considerada a principal ferramenta de trabalho nos diagnósticos de medida de vibração.

#### **3.2 ORIGEM DAS VIBRAÇÕES**

As vibrações geralmente ocorrem por causa dos defeitos dinâmicos de tolerância de fabricação, folgas, contatos, o atrito entre peças de uma máquina e, ainda, devido a forças desequilibradas de componentes rotativos e de movimentos alternados, o que leva a ser praticamente impossível evitá-las (REGAZZI e XIMENES, 2005).

Entretanto, às vezes, esta pode ser provocada intencionalmente, através de dispositivos alimentadores de componentes ou peças de uma linha de produção, em compactadores de concreto, em banhos de limpeza ultrassônicos, em britadores e bate-estacas. Máquinas vibratórias de ensaio são bastante usadas para transmitir certo nível controlado de vibração aos conjuntos e subconjuntos. É necessário examinar suas respostas físicas e funcionais, de modo a assegurar resistência à vibração ambiental (REGAZZI e XIMENES, 2005).

Segundo REGAZZI e XIMENES (2005) uma exigência básica de todo trabalho vibratório, seja no projeto das máquinas que usam energia vibratória, seja obtendo e mantendo o bom funcionamento de aparelhos mecânicos, está na capacidade de se conseguir uma avaliação exata dessa vibração por meio da medição e análise.

Segundo REGAZZI e XIMENES (2005) uma das pesquisas mais conhecidas sobre valores admissíveis para a vibração de máquinas em geral é o VDI2056, compilado pelo “VDI Vibration Expert Committee of Germany”. As normas ISO 2631 (1997) e 5349 (2001) também mostra como medir e calcular os valores admissíveis de vibração em termos do rigor da vibração. Estes valores permitidos são valores experimentais recomendados, variáveis de acordo com a condição de instalação das máquinas ou dispositivos. As vibrações indesejadas além de prejudicar o funcionamento das máquinas, quando transmitida ao ser humano pode causar enjoo, diminuição da capacidade de trabalho ou lesões graves (REGAZZI e XIMENES, 2005).

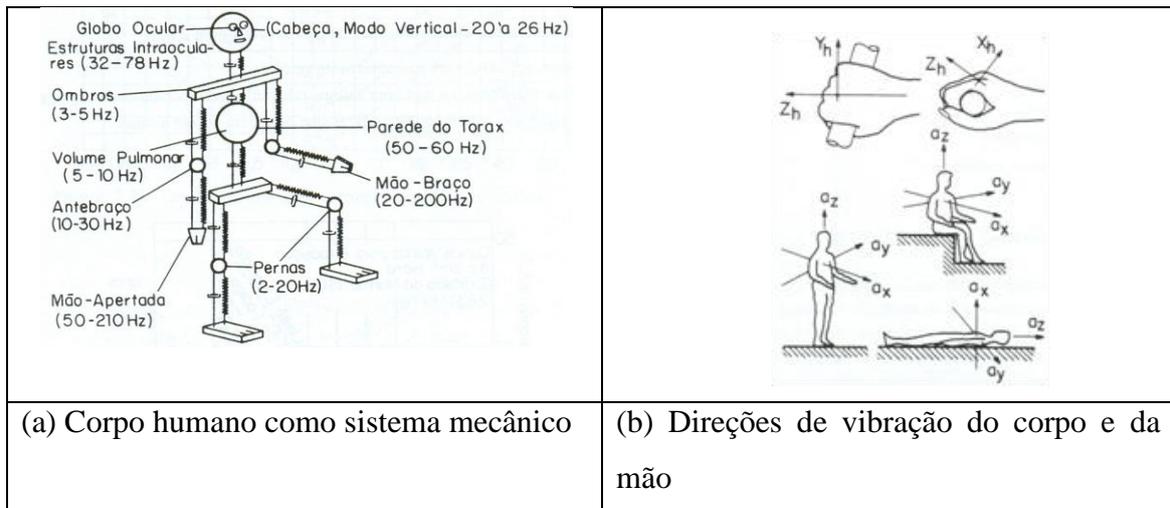
As vibrações afetam as pessoas de muitas formas causando desconforto, problemas de saúde, diminuição da capacidade de concentração e eficiência no trabalho ou enjoo, no caso de vibrações de baixíssima frequência.

### **3.3 EFEITOS DA AÇÃO DAS VIBRAÇÕES SOBRE O ORGANISMO**

Estas decorrem em função das características físicas do estímulo, dependendo em que direção ocorre à aplicação. Os eixos de aplicação foram normalizados segundo um plano tridimensional (ISO 2631-1, 1997) e são respectivamente eixo Z (vertical), eixo Y (transversal) e eixo X (sagital) (GERGES, 2005).

Segundo REGAZZI e XIMENES (2005) o corpo humano reage às vibrações de maneiras diversas. A sensibilidade às vibrações longitudinais (ao longo do eixo  $z$ , da coluna vertebral) é diferente da sensibilidade transversal (eixos  $x$  ou  $y$ , ao longo dos braços ou através do tórax). Dentro de cada direção, a sensibilidade também varia com a frequência (“resposta em frequência do corpo”), isto é, para uma determinada frequência, a aceleração tolerável (em  $m/s^2$ ) é diferente da aceleração tolerável em outra frequência. Os problemas mais comuns são náuseas e enrijecimento da coluna.

Segundo GERGES (2005 *apud* FERREIRA, 2007) o corpo humano é um sistema (físico e biológico) extremamente complexo e com múltiplos graus de liberdade (Figura 3.1a). Na reação do corpo humano em um campo de vibrações e choque, deve-se considerar, não apenas a resposta mecânica do sistema, mas também o efeito psicológico sobre o indivíduo. O efeito das vibrações sobre o corpo humano pode ser extremamente grave, havendo a possibilidade de ocorrência de perda de equilíbrio, falta de concentração, visão turva e até danificação permanente de determinados órgãos do corpo.



**Figura 3.1** – Vibrações e suas direções no corpo humano (GERGES, 2005).

A faixa de frequências na qual o corpo humano apresenta mais sensibilidade é de 1 Hz a 80 Hz. O corpo humano pode ser submetido a vibrações em várias direções e posições, em pé, sentado ou deitado (Figura 3.1b). A direção na qual o corpo é mais sensível às vibrações é vertical (indivíduo em pé). Na faixa de frequências entre 4 e 8 Hz, se situam as frequências naturais dos elementos do corpo humano (massa abdominal, ombros e pulmões). Nessa faixa de frequências, o corpo humano apresenta alta sensibilidade, por isso os limites dos níveis de vibração são menores (GERGES, 2005).

O conhecimento sobre conforto, fadiga e diminuição da eficiência é baseado em dados estatísticos coletados na prática e em condições experimentais. Face à dificuldade de execução de ensaios experimentais com seres humanos, do tempo consumido e de problemas éticos, muitos conhecimentos sobre efeitos danosos são obtidos em experimentos com animais. Contudo, nem sempre é possível obter uma escala de resultados em experimentos com animais, correlacionada com o homem, mas apenas informações aproximadas (GERGES, 2005).

Considerando o corpo humano como um sistema mecânico, pode-se, para baixas frequências aliada a baixos níveis de vibração, obter aproximadamente um sistema de parâmetros (FERNANDES, 2000). Uma das mais importantes partes desse sistema diz respeito ao efeito da vibração e choque do sistema tórax-abdômen. Isso é devido a um efeito distinto de ressonância que ocorre na faixa entre 3 e 6 Hz que produz uma maior amplitude no movimento para pessoas sentadas ou em pé. A Tabela 3.1 ilustra os sintomas percebidos pelo corpo humano com as respectivas frequências de vibração.

**Tabela 3.1 – Efeitos da vibração no corpo humano**

| SINTOMAS                                | FREQUÊNCIA (Hz) |
|---|-----------------|
| Sensação geral de desconforto           | 4-9             |
| Sintomas na cabeça                      | 13-20           |
| Sintomas no maxilar                     | 6-8             |
| Influência na linguagem                 | 13-20           |
| Sintomas na garganta                    | 12-19           |
| Dor no peito                            | 5-7             |
| Dor abdominal                           | 4-10            |
| Desejo de urinar                        | 10-18           |
| Aumento do tônus muscular               | 13-20           |
| Influência nos movimentos respiratórios | 4-8             |
| Contrações musculares                   | 4-9             |

Fonte: FERNANDES (2000)

Foram desenvolvidos no passado vários métodos para classificar a gravidade da exposição e definir os limites de exposição para aplicações específicas. Nenhum desses métodos, no entanto, pode ser considerado aplicável a todas as situações e, conseqüentemente, nenhum foi aceito universalmente (ISO 2631-1, 1997).

Segundo a norma FERNANDES e FERNANDES (2000) existem basicamente três tipos de exposição humana à vibração:

a) Vibrações transmitidas simultaneamente à superfície total do corpo e/ou a partes substanciais dele. Isto acontece quando o corpo está imerso em um meio vibratório. Há circunstâncias em que isto é de interesse prático, por exemplo, quando ruídos de alta intensidade no ar ou na água excitam vibrações no corpo;

b) Vibrações transmitidas ao corpo como um todo através de superfícies de sustentação, como os pés de um homem em pé, ou as nádegas de um homem sentado, ou a área de sustentação de um homem recostado. Este tipo de vibração é comum em veículos, em construções em movimento vibratório e nas proximidades de maquinário de trabalho; e

c) Vibrações aplicadas a partes específicas do corpo, como cabeça e membros. Exemplos destas vibrações ocorrem por meio de cabos, pedais ou suportes de cabeça, ou por grande variedade de ferramentas e instrumentos manuais.

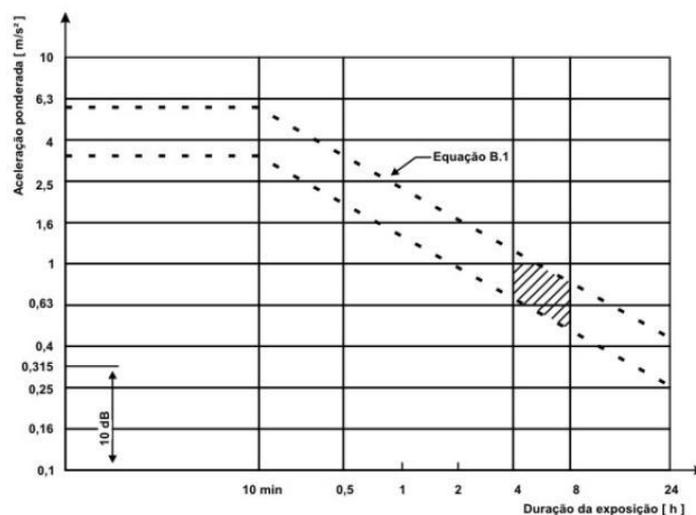
Segundo VASCONCELOS (1998) *apud* PEREIRA (2005), estabelecer a noção de conforto humano às vibrações pode ser uma tarefa difícil. Existem diversos fatores subjetivos que podem influenciar a sensação de desconforto, tais como a condição sociocultural das pessoas, o tipo de atividade desenvolvida e seu estado psicológico no momento do evento, fatores ambientais, ruídos, etc. É grande a dificuldade de simular estas condições em laboratório de modo a reduzir a variabilidade das respostas individuais. Deste modo, o limiar do conforto de pessoas submetidas à vibração pode ser considerado como uma medida bastante subjetiva, gerando algumas controvérsias quanto aos valores aceitáveis das acelerações impostas.

Segundo PEREIRA (2005) uma forma de ilustrar esta subjetividade das respostas pode ser exemplificada no trabalho de OBORNE e BOARER (1982) sobre o efeito das instruções na variabilidade das respostas de pessoas submetidas às vibrações. Os

voluntários foram orientados a responder ao estímulo de vibrações em termos das seguintes instruções: conforto, desconforto, parte do corpo vibrando, sensações. Nenhuma atenção foi dada na definição destes termos. Apesar das curvas não apresentarem diferenças significativas, os intervalos de frequência de maior sensibilidade à vibração diferiram significativamente.

Pode-se concluir que, com toda essa ampla variedade de influências e efeitos, torna-se bastante difícil quantificar de modo objetivo quais níveis de vibração causam sensação de desconforto no ser humano. Logo, a noção de desconforto de pessoas submetidas a acelerações em certas direções passa a ser uma questão muito mais subjetiva, gerando uma série de controvérsias quanto aos valores aceitáveis de acelerações impostas (PEREIRA, 2005).

Na ISO 2631-1 (1997) os valores medidos para as acelerações experimentadas pelo ser humano durante a avaliação devem ser comparados com o “health guidance caution zones” (Figura 3.2).



**Figura 3.2** – Gráfico zona de risco potencial a saúde (ISO 2631-1, 1997).

Na Figura 3.2, para acelerações/tempos de exposição localizadas entre as linhas tracejadas têm-se risco potencial à saúde humana. Esses dados foram inicialmente obtidos para tempos de exposição entre 4 e 8 horas, representados pelas hachuras na figura. Para tempos de exposição inferiores, a norma recomenda que sejam adotados cuidados extremos.

Para acelerações/tempos de exposição localizados abaixo da zona de risco potencial, os efeitos à saúde não foram claramente documentados e/ou observados objetivamente. Acima dessa zona existe probabilidade de risco à saúde (ISO 2631-1, 1997).

Segundo a ISO 2631-1 (1997), do ponto de vista dos efeitos das vibrações, por exemplo, em usuários de transporte público, as sensações de desconforto dependem da duração da viagem, tipo de atividade sendo realizada naquele momento (leitura, alimentação, etc.) e outros fatores (ruído ambiente, temperatura, etc.). As acelerações experimentadas pelos usuários podem apresentar as seguintes características, ilustradas pela Tabela 3.2.

**Tabela 3.2** – Acelerações × sintomas experimentados pelos usuários de transporte público

| ACELERAÇÕES                            | SINTOMAS                    |
|--|-----------------------------|
| Menor que $0,315\text{m/s}^2$          | Não tem incomodo            |
| $0,315\text{m/s}^2 - 0,63\text{m/s}^2$ | Pouco desconfortável        |
| $0,5\text{m/s}^2 - 1,00\text{m/s}^2$   | Bastante desconfortável     |
| $0,8\text{m/s}^2 - 1,60\text{m/s}^2$   | Desconfortável              |
| $1,25\text{m/s}^2 - 2,50\text{m/s}^2$  | Muito desconfortável        |
| Maior que $2,50\text{m/s}^2$           | Extremamente desconfortável |

Fonte: ISO 2631 (1997)

### 3.4 QUANTIFICAÇÃO DAS VIBRAÇÕES

Segundo REGAZZI e XIMENES (2005) considera-se a amplitude da onda do diapasão em vibração, como o deslocamento físico dos pontos do diapasão para os dois lados de sua posição de equilíbrio. Além do deslocamento, também se pode descrever o movimento do braço do diapasão em termos de velocidade e aceleração. A forma e o período da vibração permanecem inalterados, quer seja o deslocamento, a velocidade ou a aceleração que esteja sendo examinada. A principal diferença está na defasagem entre as curvas de amplitude × tempo.

A amplitude da vibração descreve sua severidade podendo ser quantificada de diversas maneiras:

- O valor de pico-a-pico é muito útil porque indica a excursão máxima da onda, uma quantidade na qual, por exemplo, o deslocamento vibratório de uma peça da máquina atinge um ponto crítico quanto às considerações de máxima tensão ou de folga mecânica;
- O valor de pico é especialmente útil para indicar o nível de curta duração dos choques, etc. Porém os valores de pico só indicam o nível máximo que ocorreu, sem considerar a forma de onda;
- O valor médio retificado, por outro lado, certamente leva em conta a forma da onda, mas é considerado de interesse prático limitado e não tem uma relação direta com qualquer quantidade física útil; e
- O valor eficaz (rms) é a medida mais importante de amplitude, porque leva em conta tanto a cronologia da onda, como também considera o valor de amplitude que está diretamente ligado à energia contida na onda, e, por conseguinte, indica o poder destrutivo da vibração. O valor rms é o requerido pelas normas de avaliação da exposição à vibração do ser humano (REGAZZI e XIMENES, 2005).

Quanto aos sinais senoidais, o deslocamento, a velocidade e as amplitudes de aceleração estão relacionados matematicamente entre si, em função da frequência e do tempo.

Segundo REGAZZI e XIMENES (2005) os parâmetros de vibração são universalmente mensuráveis em unidades métricas, de acordo com as normas ISO. A constante gravitacional “g” ainda é largamente usada para designar os níveis de aceleração, embora esteja fora do sistema ISO de unidades correntes. Porém, um fator de quase 10 (9,81), inter-relaciona as duas unidades, de modo a simplificar a conversão mental com uma tolerância de 2%.

Para fazer a mensuração das vibrações sobre o corpo humano, é necessário conhecer a direção de atuação: x, y e z, a frequência e a intensidade do sinal de excitação. Usa-se o tempo de duração para o cálculo da dose e conseqüentemente o grau de exposição às vibrações indesejadas. As vibrações que são transmitidas ao corpo humano podem ser classificadas em dois tipos, segundo a região do corpo atingida:

- a) Transmitidas ao corpo inteiro: são de baixa frequência e grande amplitude, situando-se na faixa de 1 a 80 Hz, mais especificamente de 1 a 20 Hz. Também são enquadradas como vibração no corpo inteiro os casos de enjoo que compreendem as frequências na faixa de 0,1 a 0,63 Hz. Tais vibrações são mais críticas em atividades relacionadas aos meios de transporte e são tratadas na norma ISO 2631-1;
- b) Vibrações que atingem um segmento do corpo (localizadas): são as mais estudadas, situando-se na faixa de 6,3 a 1250 Hz. Ocorrem principalmente nos trabalhos de escavação, na construção de galerias, quebra de pedras e madeiras. São relacionadas na norma ISO 5349-1 (REGAZZI e XIMENES, 2005).

Segundo REGAZZI e XIMENES (2005) os equipamentos de medição de vibração geralmente são combinações entre transdutores, amplificadores, e detetor-indicador de sinal com características metrológicas controladas. A calibração é realizada em conjunto e as tolerâncias são especificadas na norma ISO 8041. Os cabos, conectores e pré-amplificadores são considerados parte integral do sistema de medição. Deve-se definir para quais conjuntos de elementos a calibração é válida.

Tais equipamentos devem ser do tipo 1 ou do tipo 2, como recomendado pela norma ISO 8041. A diferença está apenas na tolerância permitida de  $\pm 3,5\%$  para o tipo 1, usados em casos específicos como ambientes bem definidos e controlados, e  $\pm 6\%$  para o tipo 2, usado em ampliações gerais.

### **3.5 COLETOR DE DADOS DE VIBRAÇÕES**

Segundo FIGUEIREDO *et al.* (2007) os acelerômetros são constituídos por uma massa de reação suspensa por uma estrutura estacionária. Este aparelho pode ser visto como um transdutor massa-mola, que se encontra no interior de um sensor, que por sua vez está unido ao corpo. Sempre que este acelera, a inércia faz com que a massa resista. A força exercida pela massa é equilibrada pela mola e, como o deslocamento permitido pela mola é proporcional à força aplicada, a aceleração do corpo é proporcional ao deslocamento da massa.

Em um acelerômetro, a aceleração é medida num ponto especial de medida, ao longo de um eixo sensível do mesmo. A magnitude da aceleração aplicada é vista, por instrumentos ou circuitos, como um impulso elétrico. Tal impulso é depois processado por circuitos externos, podendo ser usado em inúmeras aplicações (FIGUEIREDO *et al.*, 2007).

O transdutor universalmente usado na captação de uma vibração é o acelerômetro piezométrico, que se caracteriza por ter uma banda dinâmica maior, com boa linearidade. Estes possuem características de serem altos geradores de sinal, não necessitando de fonte de potência. Além disso, não possuem partes móveis e geram um sinal proporcional à aceleração, que pode ser integrado, obtendo-se a velocidade e o deslocamento do sinal (FERNANDES, 2000).

Nos acelerômetros piezométricos, a massa é unida a um cristal piezométrico. Esses cristais são sintéticos ou naturais que produzem carga quando são comprimidos. Portanto quando o corpo do acelerômetro é sujeito à vibração, a massa obedece às leis da inércia e o cristal piezométrico fica submetido a forças de tração e compressão, gerando cargas. Estas forças são proporcionais à aceleração, de acordo com a Lei de Newton,  $F = m \cdot a$  (FIGUEIREDO *et al.*, 2007).

A medição da vibração no corpo humano pode ser realizada pelo aparelho HVM100. Este aparelho consiste de um medidor de vibração que possui múltiplas funções, dentre elas amostragem e filtragem digital conforme as normas vigentes. Também possui medidor multifunção, que faz medição de severidade de vibração, vibração em mãos e braços e vibração no corpo inteiro. Esse aparelho permite a utilização de acelerômetro triaxial, que realiza medições simultâneas nos eixos “x”, “y” e “z” (GROM, 2009).

Segundo GROM (2009) o aparelho grava e recupera até 10 configurações e 100 arquivos com valores em intervalos de 1 minuto até 99 horas, onde cada arquivo grava também 120/140 pontos históricos no tempo (Amplitude da vibração rms com ou sem pico, ou Amplitude mínima-Amin ou Amplitude máxima-Amax a cada 1, 2, 5, 10, 20, 30 ou 60 segundos), atendendo as normas: ISO 8041, ISO 2631 partes 1 e 2, ISO 5349 Partes 1 e 2 e ISO 10819.

O aparelho é empregado no monitoramento de vibrações, sendo mais utilizado na higiene e segurança do trabalho, quando há exposição do trabalhador às vibrações de ferramentas e máquinas, na avaliação de vibrações transmitidas por luvas e em pesquisas e desenvolvimento atuando na qualificação de produtos, melhoria de produtos (segurança e conforto) e avaliação de dispositivos para redução de vibração (GROM, 2009).

O HVM 100 faz as seguintes aferições:

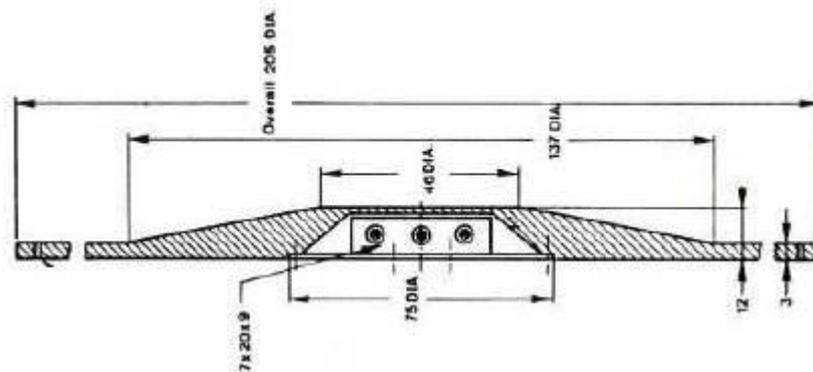
- $A_{rms}$ : Aceleração eficaz RMS (integração linear no tempo em 1, 2, 5, 10, 20, 30, 60 segundos ou exponencial – SLOW selecionada pelo usuário);
- $A_{min}$ : Nível mínimo de aceleração RMS (baseada em Arms);
- $A_{max}$ : Nível máximo de aceleração RMS (baseada em Arms);
- Pico: Pico máximo de aceleração instantânea (atualizado na taxa Arms); e
- $A_{mp}$ : Nível máximo do pico durante a medição (GROM, 2009).

### 3.6.1 Acessórios de configuração

O aparelho HVM 100 é composto por três tipos de acessórios: almofada, acelerômetro (uniaxial ou triaxial) e adaptadores (Palma da mão, T, barra e geral) conforme mostram as Figuras 3.3 e 3.4 (GROM, 2009).



**Figura 3.3** – Acessórios de configuração do aparelho HVM 100 (GROM, 2009).



**Figura 3.4** – Detalhes da almofada (GROM, 2009).

### 3.6 ESTUDOS SOBRE A AVALIAÇÃO DA VIBRAÇÃO NOS USUÁRIOS DE CADEIRA DE RODAS EM DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS

Em estudo realizado em cadeirantes, COOPER *et al.* (2002) procurou quantificar a vibração transmitida e estudar os efeitos destas sobre os usuários, ao trafegar sobre determinada superfície. Baixos níveis de vibração podem causar ao corpo humano a sensação de mal-estar, se exposto por longos períodos. Caso esses níveis de vibração progridam, pode-se alcançar até mesmo a degeneração das vértebras da coluna. Durante a aceleração e o choque da cadeira de rodas com obstáculos, a coluna vertebral absorve os esforços transmitidos pela mesma e os distribui ao corpo humano em forma de energia.

Nesse estudo pode-se observar que quanto mais leve a cadeira, menor a vibração transmitida ao usuário. Idêntico resultado foi constatado na presença de sistemas de suspensão e amortecimento. A pesquisa realizada avaliou seis trechos experimentais, constituídos por pavimentos apresentando revestimento com diferentes tipos de blocos (Figura 3.5):

- a) uma superfície de concreto tradicional, cujo acabamento (texturização) foi executado com vassoura apropriada;
- b) três trechos com revestimento em blocos intertravados de concreto, assentados perpendicularmente (forma de espinha de peixe). Além disso, entre uma seção e outra, foram analisados blocos com chanfros diferentes; e

c) duas seções com revestimento em tijolos de argila, com ângulo de assentamento igual a 45°, variando-se também os chanfros.

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
| <p>(a) bloco intertravado de concreto e tijolo de argila sem chanfros (canto vivo)</p> | <p>(b) bloco intertravado de concreto com chanfros</p> | <p>(c) bloco intertravado de concreto e tijolo de argila com chanfro</p> |

**Figura 3.5** – Detalhe dos revestimentos avaliados (Cooper *et al.*, 2002).



**Figura 3.6** – Superfícies de teste (COOPER *et al.*, 2002).

Os trechos levantados mediam aproximadamente sete metros de comprimento, e os revestimentos da superfície eram semelhantes aos encontrados nas calçadas das cidades norte-americanas. A amostra utilizada contou com a participação de dez cadeirantes, os quais deviam percorrer três vezes cada seção de teste, inicialmente a uma dada velocidade (3,6 km/h) e posteriormente repetia-se o procedimento em uma velocidade de deslocamento superior (7,2 km/h). Desta forma, cada cadeirante realizou 36 passagens pelos trechos experimentais (COOPER *et al.*, 2002).

Para medir a transmissão da vibração aos cadeirantes, foram instalados acelerômetros capazes de medir as frequências de vibração do meio onde o dispositivo é inserido (Figura 3.7) Esses dispositivos foram instalados em todas as cadeiras, mais

precisamente nos assentos e nos apoios dos pés, os quais seriam pontos mais propícios para receber energia da cadeira de rodas.



**Figura 3.7** – Acelerômetro instalado na cadeira de rodas (COOPER *et al.*, 2002).

Segundo COOPER *et al.* (2002) os resultados desse estudo demonstraram diferenças significativas nas vibrações transmitidas aos usuários em diferentes partes do corpo, uma vez que os acelerômetros instalados nos encostos dos pés e nos assentos apresentaram diferentes resultados. Outra diferença significativa ocorreu na transmissão de vibração às cadeiras entre os diferentes tipos de pavimentos estudados. Em ambas as velocidades, as maiores vibrações ocorreram no trecho com revestimento de blocos de concreto que apresentavam os maiores chanfros (8 mm). As vibrações medidas apresentaram a mesma ordem de grandeza apesar da diferença de revestimentos superficiais, à exceção do trecho construído com blocos apresentando chanfros de 8 mm. Além disso, também não se observou diferença estatística significativa na energia ou força propulsora necessária para deslocamento ao longo dos diferentes trechos avaliados.

### **3.7 TÓPICOS CONCLUSIVOS**

Dentro do contexto de vibrações, foi possível verificar sua origem, os efeitos que causam no organismo tanto com relação à saúde quanto ao conforto, como quantificar e escolher os aparelhos que podem ser usados para realização da quantificação das vibrações. Também foram apresentados estudos sobre o efeito das vibrações em diferentes tipos de pavimentos.

## **4. CARRINHOS DE BEBÊS E BONECOS DE TESTE**

Este capítulo apresenta uma abordagem sobre o histórico dos carrinhos de bebês e bonecos de teste e sua utilização no Brasil e no mundo. Serão feitas abordagens sobre onde surgiu o primeiro carrinho de bebê, seus acessórios de configuração e suas funções como meio de transporte. Também será apresentado estudo com carrinhos de bebês e bonecos de teste, mostrando sua importância em estudos de impacto em seres humanos, o que é importante para a compreensão da presente pesquisa.

### **4.1 DEFINIÇÃO**

Carrinho de bebê é um veículo sobre rodas, utilizado para transportar crianças. A criança geralmente fica sentada com o rosto voltado para frente, porém existem carrinhos para recém-nascidos, nos quais o bebê permanece deitado, ou sentado com apoio, virado para a pessoa que empurra. Algumas versões mais modernas podem ser configuradas para carregar tanto um bebê deitado como a criança sentada (FONTANEL, 1998).

Segundo FONTANEL (1998) há também uma variedade de carrinhos duplos, que permitem carregar duas crianças ao mesmo tempo, podendo ser para gêmeos ou para crianças de idades diferentes.

### **4.2 HISTÓRICO DO CARRINHO DE BEBÊ**

O primeiro carrinho de bebê foi desenhado por William Kent, em 1733. Sua concepção baseou-se na tendência da alta sociedade, que o usaria como peça decorativa e obra de arte. O mesmo tinha forma de concha e era puxado por cães ou pôneis. Isto era encarado pela classe média e trabalhadores como algo extravagante (AMATO, 2004).

Nos anos que seguem várias mudanças foram feitas para a concepção do estilo do carrinho, a mais importante delas foi à inserção de alças no equipamento, que serviam para serem carregados pelos pais em vez de serem puxados por animais (Figura 4.1). Isto agregou conveniência para os pais, tirando também o valor de entretenimento para as crianças (AMATO, 2004).



**Figura 4.1** – Carrinho de bebê puxado por cães (AMATO, 2004).

Em 1967, o engenheiro aeronáutico aposentado Owen MacLaren, desenhou e patenteou o protótipo do BaBy Buggy (B-01), baseado no princípio de projeto do trem de pouso de um avião para criar um carrinho dobrável (AMATO, 2004).

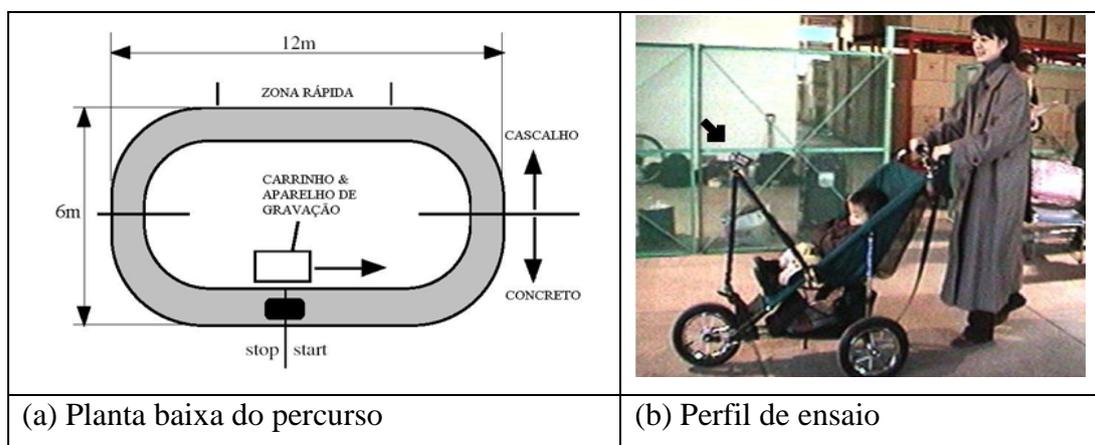
Segundo AMATO (2004) a necessidade foi à força motivadora da invenção. Owen morava na Inglaterra, mas tinha uma filha e neta que moravam nos Estados Unidos e, vendo o transtorno que era o transporte do antigo carrinho de bebe da sua neta sempre que o visitavam, teve a ideia de criar um carrinho que dobrasse para facilitar a vida de todos.

Os carrinhos de bebês hoje em dia são populares, são concebidos e atualizados de forma a atrair clientes, sendo alguns modelos leves e fáceis de manusear. Ao mesmo tempo, todos os esforços têm sido feitos para torná-los elegantes e atraentes.

### **4.3 ESTUDOS COM CARRINHOS DE BEBÊ**

YAMANAKA (1999a, 1999b) mediu as vibrações e seus efeitos em bebês transportados em carrinhos. Os levantamentos foram realizados com seis tipos de carrinhos em uma pista com 12m de comprimento e 6m de largura, cuja superfície apresentava dois tipos de acabamento (cascalho e concreto). Para cada tipo de carrinho o circuito era percorrido duas vezes (Figuras 4.2a e 4.2b).

Nesse estudo, as acelerações máximas e mínimas foram medidas nas rodas dianteiras e traseiras, nas extremidades anterior e posterior do assento e no próprio boneco de teste. As acelerações medidas na extremidade anterior e no centro do assento demonstraram alta correlação. Da mesma forma, as acelerações medidas no boneco de teste também apresentaram correlação com as acelerações medidas na extremidade anterior e no centro do assento. As acelerações analisadas concomitantemente na extremidade anterior do assento-roda traseira; na extremidade posterior do assento-roda dianteira, demonstraram correlação relativamente superior, que poderia ser interpretada como um reflexo da estrutura do carrinho.



**Figura 4.2** – Ensaio com carrinhos de bebês (YAMANAKA, 1999a, 1999b).

Também se constatou padrão de vibração semelhante na extremidade anterior do assento e no centro do mesmo. Comparando os diferentes carrinhos, observou-se que as diferenças de vibração na roda dianteira, rodas traseiras e na extremidade posterior do assento apresentam diferenças na absorção dos impactos. Além disso, a vibração no boneco de teste mostrou-se altamente correlacionável com o assento.

Segundo YAMANAKA (1999) os carrinhos de bebês são equipamentos úteis para o transporte. No entanto, em um ambiente cheio de vibrações pode ser prejudicial, uma vez que estas podem causar problemas fisiológicos e psicológicos nas crianças. Carrinhos de bebês que possuem bancos acolchoados tem vibração menor uma vez que estes absorvem e distribuem a mesma sobre o corpo.

Segundo a JUVENILE PRODUCTS MANUFACTURERS ASSOCIATION (2006) a escolha do carrinho do bebê deve ser feita muito atentamente, afinal a criança passará muito tempo nele. Os primeiros anos de vida, o primeiro passeio, a primeira viagem, ou

seja, as primeiras experiências acontecerão a bordo desse carrinho e por isso vale à pena investir num bom produto que acompanhe o crescimento do bebê.

Existem alguns carrinhos que são classificados como Adventure, Explorer, Pick Up e outros nomes que remetem a esportes e trilhas, exigindo um produto mais resistente a pancadas, subidas e superfícies rochosas. Estes possuem rodas maiores e mais grossas, amortecedores dianteiros e traseiros, rodinhas direcionáveis, capa impermeável, muitos porta-treco (diversos bolsos, sacolas e compartimentos para armazenar copo, celular, etc.) e um protetor frontal removível, ideal para ser usado em dias chuvosos e na mata, protegendo o bebê. Sua estrutura é reforçada e feita em material leve (JUVENILE PRODUCTS MANUFACTURERS ASSOCIATION, 2006).

Tais equipamentos classificam-se de acordo com o peso das crianças atendendo aos requisitos de segurança e conforto. Quanto aos tipos de carrinhos de bebês disponíveis no Brasil, têm-se alguns modelos com as características indicadas na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1 – Alguns carrinhos de bebês no mercado brasileiro**

| MODELOS DE CARRINHOS | ESTRUTURA     | DOBRADURA | Nº DE RODAS | MAT. DAS RODAS | ASSENTO    |
|----------------------|---------------|-----------|-------------|----------------|------------|
| AT2                  | Paralelogramo | Dobrável  | Plástico    | Plástico       | Reclinável |
| ATX                  | Paralelogramo | Dobrável  | 4x4         | Plástico       | Reclinável |
| BYE BYE              | Paralelogramo | Dobrável  | 4x4         | Plástico       | Reclinável |
| CLASSE 1             | Paralelogramo | Dobrável  | 4x4         | Plástico       | Reclinável |
| SPACE                | Paralelogramo | Dobrável  | 4x4         | Plástico       | Reclinável |
| FLY                  | Paralelogramo | Dobrável  | 4x4         | Câmaras de Ar  | Reclinável |
| MILANO REVERSÍVEL    | Paralelogramo | Dobrável  | 4x4         | Plástico       | Reclinável |
| MILANO               | Paralelogramo | Dobrável  | 4x4         | Plástico       | Reclinável |
| PEGASUS              | Paralelogramo | Dobrável  | 4x4         | Plástico       | Reclinável |
| RIVIERA              | Paralelogramo | Dobrável  | 4x4         | Plástico       | Reclinável |
| X-TREME              | Paralelogramo | Dobrável  | 4x4         | Câmaras de Ar  | Reclinável |
| TRICICLO             | Triangular    | Dobrável  | 1x2         | Câmaras de Ar  | Reclinável |

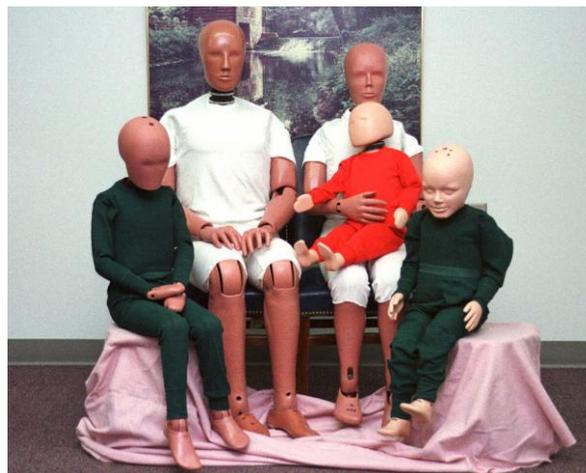
Fonte: ADAPTADO DE GALZERANO e BURIGOTTO (2009)

#### 4.4 BONECOS DE TESTE (BT)

Bonecos de teste são instrumentos para gravar dados sobre o comportamento dinâmico do ser humano em uma colisão. Estes possuem as dimensões, peso, proporções e articulação semelhantes as do corpo humano. Os dados possíveis de serem obtidos com ele em um experimento podem incluir variáveis, como a velocidade de impacto, esmagamento, vigor, flexão e taxas de desaceleração durante uma colisão. Eles permanecem indispensáveis para o desenvolvimento da ergonomia e em todos os tipos de veículos, desde automóveis a aeronaves (KARIM, 2001).

Segundo KARIM (2001) os bonecos de teste têm a função de imitar um ser humano durante uma colisão, enquanto coletam dados que de outra forma seriam impossíveis de se obter de um passageiro humano. São compostos de materiais que imitam a anatomia do corpo humano. Ele tem uma espinha dorsal feita de camadas alternadas de discos de metal e de borracha.

Os bonecos são feitos em diferentes tamanhos e classificados por porcentagem e sexo (Figura 4.3). O boneco masculino 50% representa o tamanho de um homem mediano (é maior do que a metade da população masculina e menor do que a outra metade). Esse é o boneco mais usado em testes de colisão, pesando 77,00 kg e medindo 1,78 m de altura (KARIM, 2001).



**Figura 4.3** – Bonecos de teste (KARIM, 2001).

Os bonecos de teste contêm três tipos de instrumentação: medidores de aceleração, sensores de carga e sensores de movimento.

Os medidores de aceleração são dispositivos que medem a aceleração em uma direção específica. Esses dados são usados para determinar a probabilidade de ferimentos. Aceleração é a taxa com que a velocidade varia. Se você bate sua cabeça em um muro de tijolos, a velocidade da sua cabeça muda muito rapidamente (e deve machucar muito!). Mas ao bater sua cabeça em um travesseiro, a velocidade de sua cabeça muda mais lentamente à medida que o travesseiro é esmagado (e isso não machuca) (KARIM, 2001).

Segundo KARIM (2001) os bonecos de teste têm medidores de aceleração por toda parte. Dentro da cabeça, há um que mede a aceleração em todas as três direções (frente-trás, cima-baixo e esquerda-direita). Também existem medidores no peito, pélvis, pernas, pés e em outras partes do corpo. Também são compostos por sensores de carga que medem a quantidade de força em diferentes partes do corpo durante a colisão. E por sensores de movimentos que são colocados na região peitoral dos bonecos de teste. Eles medem o quanto o peito se curva durante uma colisão.

Neste estudo serão utilizados bonecos de teste representando bebês de seis, doze e dezoito meses de idade. A Tabela 4.2 apresenta um comparativo entre os valores usuais de peso e altura para meninos e meninas, segundo o MINISTÉRIO DA SAÚDE brasileiro e os valores medidos para os bonecos de teste.

**Tabela 4.2 – Peso × Altura de bebês e bonecos de teste**

| IDADES   | MENINAS(*) |             | MENINOS(*) |             | BONECOS DE TESTE (**) |             |
|----------|------------|-------------|------------|-------------|-----------------------|-------------|
|          | Peso (kg)  | Altura (cm) | Peso (kg)  | Altura (cm) | Peso (kg)             | Altura (cm) |
| 6 meses  | 7,250      | 65,00       | 7,850      | 66,00       | 7,833                 | 66,00       |
| 12 meses | 9,450      | 73,00       | 10,100     | 75,00       | 9,971                 | 75,00       |
| 18 meses | 11,140     | 80,00       | 11,770     | 82,00       | 11,609                | 83,00       |

Fonte: (\*) MINISTÉRIO DA SAÚDE brasileiro (\*\*) PRÓPRIA

#### 4.5 TÓPICOS CONCLUSIVOS

Dentro do contexto de carrinhos de bebês, foi possível verificar o desenvolvimento histórico dos carrinhos, mostrando a importância do uso no Brasil e no mundo. Também

se mostrou a importância dos bonecos de teste, seu papel representativo do corpo humano, absorvendo os impactos do meio ambiente em estudos de colisão.

## **5. METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE VARIÁVEIS QUE AFETAM A UM BEBÊ EM PERCURSOS SOBRE CALÇADAS**

Este capítulo apresenta a metodologia que foi adotada nesta pesquisa. São apresentadas as seções para realização dos levantamentos de campo, as medições quantitativas e qualitativas a serem efetuadas, dados referentes aos carrinhos de bebês e bonecos de testes utilizados e o procedimento estatístico empregado para a análise de dados.

### **5.1 INTRODUÇÃO**

Pisos irregulares e desgastados, degraus no meio do caminho, inclinações acima do razoável, ausência de sinalização sonora em cruzamentos, de piso tátil e de áreas verdes para escoamento das águas de chuva, faixas de circulação estreitas e presença de mobiliário urbano no trajeto das guias rebaixadas são exemplos dos problemas enfrentados diariamente por quem tenta circular pelas calçadas de Brasília empurrando um carrinho de bebê, carrinho de compras, a bordo de uma cadeira de rodas ou usando uma bengala.

No Brasil muitas vezes entende-se o sistema de transportes urbanos apenas como aquele que é composto pelos modos motorizados, como por exemplo: rodoviário; ferroviário; metroviário; trens urbanos; veículos particulares; motos; táxis etc., esquecendo na maioria das vezes dos chamados meios de transportes ou deslocamento não motorizados, tais como: bicicleta e caminhada e outros.

Os bebês são carregados no colo ou transportados em carrinhos com rodas. Nem se cogita a possibilidade de deslocamento individualizado pelos motivos óbvios. A mãe ou o acompanhante é o responsável pela segurança do bebê e fica todo o tempo zelando pelo seu conforto. Calçadas niveladas e sem buracos são desejáveis, tanto para facilitar a circulação dos carrinhos quanto pelo conforto e segurança das pessoas carregando bebês. A ausência de conforto é resultado dos buracos e/ou da superfície com revestimento em más condições de conservação. A estética das calçadas também é prejudicada pela mudança do tipo de revestimento a cada novo lote.

A problemática da falta de fluidez pode ser percebida principalmente pela descontinuidade das calçadas principalmente naquelas que incluem degraus, rampas transversais acentuadas (para acomodar acessos veiculares aos imóveis lindeiros), e/ou com a presença de obstáculos. Essa situação provoca a necessidade do pedestre ficar frequentemente mudando de direção. A mesma falta de fluidez também resulta de calçadas com grande fluxo de pedestres, mas com largura insuficiente para acomodar esse volume.

As condições inadequadas das calçadas restringem o uso de alguns pedestres. Os mais sensíveis, requerendo boas condições de nivelamento ficam dentro do grupo dos usuários de cadeiras de rodas, idosos e carrinhos de bebês. Outros pedestres, por exemplo, deficientes visuais, precisam que as calçadas estejam desobstruídas para poder orientar-se ao longo das mesmas. Neste trabalho ressalta-se a importância de desenvolver uma metodologia para análise dos parâmetros que afetam a um pedestre em percurso sobre calçada, contemplando o conforto e a segurança oferecida pelo rolamento. Como estudo de caso, escolheu-se o carrinho de bebê circulando em várias calçadas do Plano Piloto do Distrito Federal.

O estudo pode ser dito como descritivo, pois busca as características que estão relacionadas ao fenômeno dos parâmetros que interferem na avaliação de pavimentos de calçadas, assim como sua infraestrutura. Como base conceitual para direcionar e referendar o estudo, foram abordados os seguintes focos: Calçadas, Vibrações, Carrinhos de Bebês e Bonecos de Teste. A base fundamental da metodologia constitui em coletar as vibrações ou acelerações percebidas por bonecos de teste mediante utilização de acelerômetros instalados em almofadas e dispostos no interior de carrinhos de bebês. Também, levantou-se o tipo de material e estado de conservação dos pavimentos das calçadas para detectar correlações e contribuições entre diferentes variáveis relacionados a fatores humanos, fatores do carrinho de bebê e ao pavimento dessas calçadas.

## 5.2 ESTRUTURA METODOLÓGICA

A Figura 5.1 apresenta a sequência de atividades a serem realizadas.

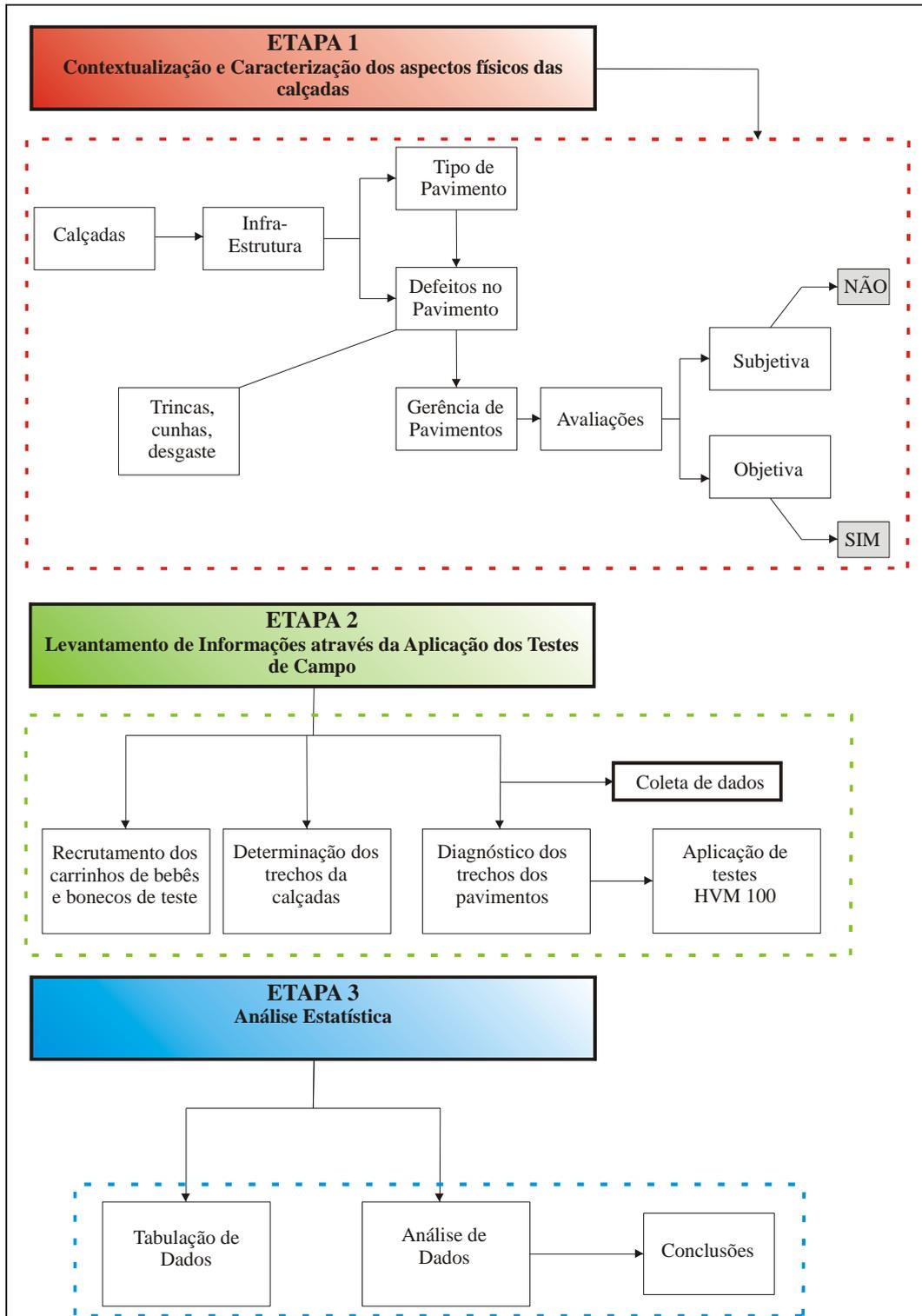


Figura 5.1 – Fluxograma Metodológico

### 5.3 ETAPAS DA METODOLOGIA

A seguir explica-se cada uma das etapas apresentadas no fluxograma metodológico da Figura 5.1.

#### 5.3.1 – Contextualização e Caracterização dos Aspectos Físicos das Calçadas

Esta etapa consistiu em uma pesquisa bibliográfica em livros e artigos científicos para fixação de conceitos e definições relacionados com pavimentação e gerência de pavimentos, avaliação de pavimentos e calçadas. O resultado desta pesquisa foi apresentado no capítulo 2 da presente dissertação.

#### 5.3.2 – Identificação das Variáveis Relevantes na Avaliação

Os dados em campo foram coletados conforme as etapas apresentadas a seguir.

##### 5.3.2.1 – Recrutamento dos carrinhos de bebês e bonecos de teste

Inicialmente foram recrutados 05 (cinco) carrinhos de bebês, porém excluiu-se 02 (dois) devido os modelos serem parecidos, utilizando apenas 03 (três) carrinhos de bebê cada um possuindo suas devidas características, conforme a Tabela 5.1.

**Tabela 5.1** – Amostra carrinhos de bebês

|   | TIPO DE CARRINHO | SISTEMA DE RODAS | AMORTECEDOR | PESO DO CARRINHO (kg) | CINTO DE SEGURANÇA |
|---|------------------|------------------|-------------|-----------------------|--------------------|
|  | 1                | 4x4              | Não         | 6,080                 | 5 Pontos           |
|  | 2                | 4x4              | Não         | 9,870                 | 3 Pontos           |
|  | 3                | 4x4              | Sim         | 11,470                | 5 Pontos           |

Fonte: GALZERANO (2009)

Esta pesquisa contou também com a utilização de três bonecos de teste. Estes representam bebês de 6 (seis), 12 (doze) e 18 (dezoito) meses de idade, cujos pesos são respectivamente 7,833 kg, 9,971 kg e 11,609 kg e cujas alturas são respectivamente 66,00 cm, 75,00 cm e 83,00 cm como mostra a Figura 5.2 abaixo.



**Figura 5.2** – Bonecos de teste utilizados no estudo

#### *5.3.2.2 – Diagnóstico (identificação) dos Trechos de Teste*

Partindo do levantamento da tipologia e das características dos trechos das calçadas selecionadas no Plano Piloto do Distrito Federal, foi feito um estudo para a determinação dos locais nos quais foram realizados os levantamentos de campo com os carrinhos, tendo em vista alguns aspectos como: localização e acessibilidade das calçadas, estado de conservação, ou seja, que apresentem ou não trincamentos, desagregação do material da superfície, entre outros, e características como tipo de material do pavimento.

#### *5.3.2.3 – Aplicação dos Testes*

Inicialmente foram selecionados mediante inspeção visual trechos de pavimentos de calçadas que apresentassem diferentes condições de conservação da superfície, em especial, quanto à irregularidade da superfície (pavimentos variando de estado excelente a péssimo em termos dessa variável). Essa irregularidade deveria ser uniforme ao longo de um dado comprimento. Cada trecho analisado tinha 8 metros de extensão, a fim de

permitir que o carrinho pudesse se deslocar na velocidade desejada ao longo de uma distância suficiente para avaliar as condições de conforto ao trafegar pelo mesmo.

A partir dos trechos selecionados foram efetuadas avaliações dessas seções considerando-se as diferenças físicas entre os bonecos de teste (altura, peso e idade). Os carrinhos foram conduzidos à velocidade média de  $3,2 \pm 0,2$  km/h. Essa velocidade foi escolhida a partir de observações de campo relacionadas à velocidade usual de passeio de carrinhos em parques e outros locais de recreação. Durante os testes, as velocidades de deslocamento dos carrinhos foram continuamente aferidas mediante equipamento apropriado, denominado Strollometer.

A aplicação também contou com a utilização do HVM 100, cedido pelo CEFTRU, que consiste de um medidor integrado de vibração apresentado na Figura 3.3, aliado a utilização de uma almofada na qual foi instalado um acelerômetro triaxial, como indicado na Figura 3.4.

**Tabela 5.2** – Resumo das seções levantadas

| TIPO DE PAVIMENTO  | ESTADO DE CONSERVAÇÃO | Nº DE SEÇÕES LEVANTADAS POR CARRINHO | TOTAL DE SEÇÕES LEVANTADAS |
|--------------------|-----------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| Pedra              | Regular               | 93                                   | 297                        |
| Portuguesa         | Ruim                  | 93                                   | 297                        |
| Placa de Concreto  | Bom                   | 93                                   | 297                        |
|                    | Regular               | 93                                   | 297                        |
|                    | Ruim                  | 93                                   | 297                        |
| Bloco Intertravado | Bom                   | 93                                   | 297                        |
| Asfalto            | Bom                   | 93                                   | 297                        |
| Somatório          |                       | 651                                  | 1.953                      |

Fonte: PRÓPRIA (2009)

#### *5.3.2.4 – Tabulação e análise de dados*

Uma vez concluídos todos os levantamentos de campo, os dados obtidos foram tabulados e feitas análises estatísticas utilizando regressão linear, de forma a identificar correlações e contribuições entre as diferentes variáveis envolvidas tendo em vista o conforto oferecido pelo pavimento.

### **5.4 TÓPICOS CONCLUSIVOS**

Neste capítulo apresentou-se a metodologia a ser utilizada nos levantamentos de campo, foram caracterizadas as variáveis independentes que serão consideradas no estudo, bem como o procedimento de análise estatística a ser empregado para análise dos dados coletados em campo.

## **6. ESTUDO DE CASO APLICANDO A METODOLOGIA NAS CALÇADAS DO PLANO PILOTO DO DISTRITO FEDERAL**

O Estudo de caso está dividido em três etapas. Primeiramente caracteriza-se o Distrito Federal, mostrando dados populacionais e a segmentação em regiões administrativas. Numa segunda etapa será apresentando o recrutamento dos carrinhos de bebês e dos bonecos de teste, bem como os trechos das calçadas selecionadas para avaliação.

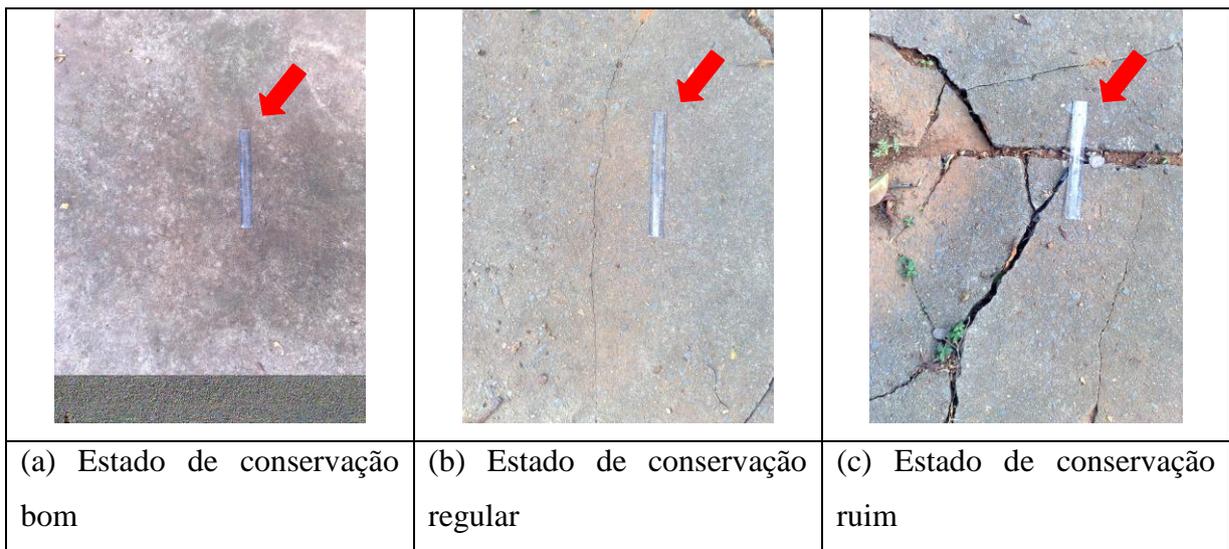
### **6.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS CALÇADAS DO PLANO PILOTO DO DISTRITO FEDERAL**

O Distrito Federal possui uma área total de 5.801,937 Km<sup>2</sup>, com densidade populacional de 354,3 hab./Km<sup>2</sup>. Está dividido em 19 regiões administrativas e possui uma população de 2.455.903 habitantes. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009), dessa população cerca de 53.342 são recém-nascidos.

### **6.2 IDENTIFICAÇÃO DAS CALÇADAS**

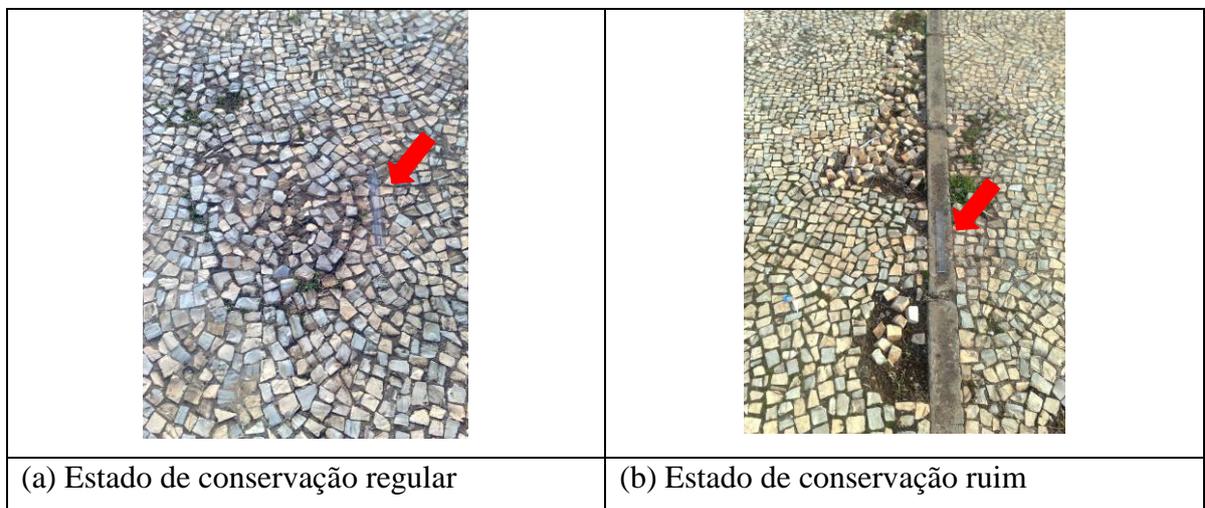
Das calçadas existentes no Plano Piloto do Distrito Federal, várias foram visitadas com o intuito de se determinar quais possuiriam características que se adequassem ao presente estudo. Esses segmentos foram fotografados e avaliados visualmente, constatando-se o estado de conservação em todos os casos. Foram selecionados respectivamente trechos com placas de concreto, pedras portuguesas, blocos intertravados de concreto e mistura asfáltica. Para cada tipo de pavimento procurou-se trechos com diferente estado de conservação.

A primeira calçada selecionada (Figura 6.1), situada na quadra residencial 406 da Asa Norte, possui intenso movimento de pedestres que utilizam a calçada para deslocar-se ao trabalho, escola ou lazer. Essa calçada é constituída por pavimento com revestimento de placas de concreto, alternando trechos em estado de conservação bom, regular e ruim. Existem ainda alguns trechos mais desgastados, provavelmente pela falta de manutenção.



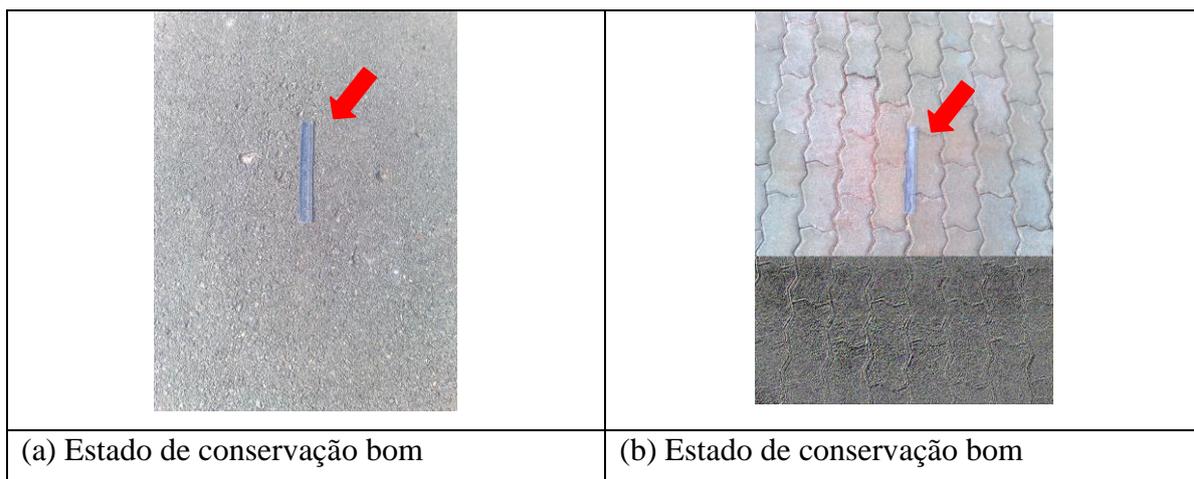
**Figura 6.1** – Calçada com Placas de Concreto

A segunda calçada foi selecionada na Esplanada dos Ministérios (Figura 6.2a), mais precisamente na Praça dos Três Poderes. O pavimento dessa calçada é constituído por pedras portuguesas e ao longo de sua extensão alterna estado de conservação regular e ruim, existindo ainda alguns trechos totalmente degradados devido à falta de manutenção.



**Figura 6.2** – Calçada com Pedra Portuguesa

O terceiro trecho foi selecionado nos arredores da Praça dos Três Poderes. O pavimento desse trecho é constituído por mistura asfáltica em bom estado de conservação, como mostra a Figura 6.3b abaixo.



**Figura 6.3** – Pavimento com mistura asfáltica e pavimento com blocos intertravados de concreto.

Finalmente, o quarto trecho selecionado corresponde ao pavimento de blocos intertravados, em bom estado de conservação, localizado no estacionamento do CEFTRU (Ver Figura 6.3b).

### 6.3 LEVANTAMENTO DOS DADOS

Esta seção detalha os procedimentos de levantamento das vibrações nos carrinhos de bebês durante o deslocamento sobre seções de calçadas selecionadas para o presente estudo.

Realizou-se inicialmente um levantamento piloto com 5 tipos de carrinhos de bebês e com os 3 tipos de bonecos de teste em 4 tipos de pavimento. Em cada trecho, com 8m de extensão, cada carrinho realizou o percurso 4 vezes, alternando-se a posição da almofada/acelerômetro e do boneco de teste a cada medição. No primeiro estágio o boneco de teste encontrava-se sentado com a almofada/acelerômetro localizada no assento. Na segunda medição o boneco de teste encontrava-se sentando com a almofada/acelerômetro disposta no encosto. No terceiro estágio, o boneco de teste estava deitado com a almofada/acelerômetro localizada no encosto. Finalmente, na quarta medição o boneco de teste estava deitado e a almofada/acelerômetro localizada no assento. De acordo com o levantamento piloto, independente do carrinho utilizado e para cada posição do boneco, foi gasto em média 10 segundos para percorrer cada percurso.

## 7. ANÁLISE DE DADOS

Neste capítulo é feita a análise dos dados coletados em campo durante o estudo de caso.

### 7.1 INTRODUÇÃO

A análise de dados foi realizada mediante regressão linear a fim de identificar as correlações e contribuições entre as diferentes variáveis envolvidas na avaliação das vibrações percebidas por bonecos de teste alocados em carrinhos de bebês durante percurso sobre calçadas. As análises incluíram fatores relativos aos carrinhos de bebês, aos bonecos de teste e ao tipo de pavimento/estado de conservação das calçadas.

Dentre os fatores dos bonecos de teste tentou-se captar a influência de algumas variáveis tais como: idade; peso e altura. Nos carrinhos de bebês levou-se em consideração o tipo de carrinho, a existência de amortecedor e cinto de segurança, a posição do boneco de teste no carrinho e o peso do carrinho. Quanto aos fatores relativos às calçadas, foram considerados o estado de conservação e o tipo de revestimento em cada caso.

### 7.2 TABULAÇÃO DOS DADOS

Os dados coletados em campo através do aparelho HVM100 foram transcritos em uma planilha eletrônica do software *Excel*. Nesta planilha constam:

- a) Fatores Relativos aos Bonecos de Teste:
  - Idade do Boneco de Teste;
  - Peso do Boneco de Teste;
  - Altura do Boneco de Teste;
- b) Fatores Relativos aos Carrinhos de Bebês:
  - Peso do carrinho;
  - Existência de amortecedor;
  - Cinto de segurança (3 ou 5 pontos);
  - Posição do boneco de teste no carrinho (deitado e sentado, respectivamente);
- c) Fatores Relativos aos Tipos de Pavimentos:

- Tipo de revestimento (blocos intertravados, placas de concreto, mistura asfáltica e pedras portuguesas, respectivamente);
- Estado de conservação do pavimento da calçada (bom, regular e/ou ruim).

Os levantamentos de campo foram realizados em seções de calçadas selecionadas previamente mediante inspeção visual no local. Foram considerados 4 tipos usuais de materiais empregados na construção dos pavimentos das calçadas: mistura asfáltica, placas de concreto, blocos intertravados de concreto e pedras portuguesas, respectivamente. As seções avaliadas foram classificadas segundo seu estado de conservação, tendo-se:

- Pavimento com mistura asfáltica: uma seção em bom estado;
- Pavimento com placas de concreto: uma seção em estado bom, uma seção em estado regular e uma seção em estado ruim;
- Pavimento com blocos intertravados de concreto: uma seção em bom estado;
- Pavimento com pedras portuguesas: uma seção em estado regular e outra seção em estado ruim.

### **7.3 PADRONIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS QUALITATIVAS**

Prévio as análises de regressão, foi necessário converter-se todas as variáveis qualitativas (posição do boneco de teste no carrinho de bebê, estado de conservação e cinto de segurança) para variáveis quantitativas (ou variáveis dummy), codificadas por 0 (zero) e 1 (um), respectivamente.

### **7.4 ANÁLISES DE VARIÂNCIA E HOMOGENEIDADE**

Com os resultados obtidos através do levantamento, procedeu-se a realização de testes de Análise de Variância (ANOVA) assim como testes de Kruskal-Wallis a fim de avaliar se havia diferença estatística entre as acelerações medidas respectivamente para as quatro posições do conjunto boneco de teste/almofada-acelerômetro durante os levantamentos de campo.

As posições consideradas durante as medições foram: no primeiro estágio o boneco de teste encontrava-se sentado com a almofada/acelerômetro localizada no assento. Na

segunda medição o boneco de teste encontrava-se sentado com a almofada/acelerômetro disposta no encosto. No terceiro estágio, o boneco de teste estava deitado com a almofada/acelerômetro localizada no encosto. Finalmente, na quarta medição o boneco de teste estava deitado e a almofada/acelerômetro localizada no assento.

Para valores-p iguais ou superiores a 0,05 não há diferença estatística entre as acelerações e as respectivas posições dos bonecos de teste. Assim sendo, foram calculados inicialmente os valores-p mediante ANOVA e comparados ao valor limite de 0,05. Para valores-p inferiores a 0,05 procedeu-se ao teste de Kruskal-Wallis. Se o valor-p obtido nessa análise foi superior a 0,05, então não há diferença estatística entre as acelerações e as respectivas posições dos bonecos de teste.

A partir das análises desenvolvidas, cujos resultados são apresentados na Tabela 7.1, constatou-se que apenas os carrinhos 2 (boneco de 18 meses) e 3 (bonecos de 6, 12 e 18 meses) em seções de pavimento asfáltico, apresentaram valores-p inferiores a 0,05 em ambos os testes realizados.

Para o caso particular do carrinho 2, os bonecos de 6 e 12 meses (valores-p>0,05), requerem o emprego de apenas 1 posição, enquanto que o boneco de 18 meses (valor-p<0,05), requer o emprego das 4 posições medidas em campo. Tendo em vista o exposto, não serão desenvolvidas análises para o carrinho 2 em pavimento asfáltico.

Para os carrinhos 1, 2 e 3 percorrendo pavimentos de bloco intertravados, pedras portuguesas e placas de concreto não há diferenças estatísticas entre as acelerações medidas para diferentes posições boneco/almofada-acelerômetro. Portanto nas análises futuras não será feita distinção em relação à posição do boneco/almofada-acelerômetro.

**Tabela 7.1** – Valores-p obtidos em testes com Análise de Variância (ANOVA) e testes Kruskal-Wallis

| CARRINHO                    | IDADE DO BONECO | TESTE        |                  |
|-----------------------------|-----------------|--------------|------------------|
|                             |                 | ANOVA        | KRUSKAL - WALLIS |
| <b>MISTURA ASFÁLTICA</b>    |                 |              |                  |
| <b>1</b>                    | 6               | <b>0,001</b> | <b>0,0518</b>    |
|                             | 12              | 0,884        | 0,8878           |
|                             | 18              | 0,280        | 0,2531           |
| <b>2</b>                    | 6               | 0,606        | 0,3912           |
|                             | 12              | 0,378        | 0,2257           |
|                             | 18              | <b>0,003</b> | <b>0,0062</b>    |
| <b>3</b>                    | 6               | <b>0,002</b> | <b>0,0102</b>    |
|                             | 12              | <b>0,027</b> | <b>0,0222</b>    |
|                             | 18              | <b>0,006</b> | <b>0,0039</b>    |
| <b>BLOCOS INTERTRAVADOS</b> |                 |              |                  |
| <b>1</b>                    | 6               | 0,968        | 0,983            |
|                             | 12              | 0,855        | 0,608            |
|                             | 18              | 0,576        | 0,298            |
| <b>2</b>                    | 6               | 0,493        | 0,617            |
|                             | 12              | 0,206        | 0,273            |
|                             | 18              | 0,099        | 0,204            |
| <b>3</b>                    | 6               | 0,113        | 0,142            |
|                             | 12              | 0,059        | 0,009            |
|                             | 18              | 0,413        | 0,354            |
| <b>PEDRAS PORTUGUESAS</b>   |                 |              |                  |
| <b>1</b>                    | 6               | 0,668        | 0,542            |
|                             | 12              | 0,993        | 0,965            |
|                             | 18              | 0,928        | 0,961            |
| <b>2</b>                    | 6               | 0,08         | 0,049            |
|                             | 12              | 0,084        | 0,129            |
|                             | 18              | 0,56         | 0,183            |
| <b>3</b>                    | 6               | 0,367        | 0,252            |
|                             | 12              | 0,941        | 0,82             |
|                             | 18              | 0,147        | 0,132            |
| <b>PLACAS DE CONCRETO</b>   |                 |              |                  |
| <b>1</b>                    | 6               | 0,113        | 0,163            |
|                             | 12              | 0,287        | 0,493            |
|                             | 18              | 0,760        | 0,816            |
| <b>2</b>                    | 6               | 0,694        | 0,97             |
|                             | 12              | 0,312        | 0,461            |
|                             | 18              | 0,183        | 0,33             |
| <b>3</b>                    | 6               | 0,840        | 0,863            |

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 12 | 0,623 | 0,826 |
| 18 | 0,654 | 0,849 |

## 7.5 ANÁLISES DE CORRELAÇÃO E REGRESSÃO MÚLTIPLA

Inicialmente foi realizado um teste de correlação entre as variáveis idades, pesos e alturas, cujo resultado é apresentado na Tabela 7.2.

**Tabela 7. 2 – Matriz de correlação**

|       | IDADE  | PBT    | ALT |
|-------|--------|--------|-----|
| IDADE | 1      |        |     |
| PBT   | 0,9969 | 1      |     |
| ALT   | 0,8660 | 0,9023 | 1   |

IDADE – Idade do boneco de teste;

PBT – Peso do boneco de teste;

ALT – Altura do boneco de teste.

A matriz de correlação obtida na Tabela 7.2 indica que existe uma alta correlação entre essas variáveis. Ante o exposto, foram desenvolvidas análises de regressão múltipla considerando a influência dessas variáveis isoladamente.

Neste trabalho, o objetivo principal era isolar o efeito da variável dependente (Y) na presença de outras variáveis independentes, e a técnica de análise de regressão múltipla tipo "stepwise" mostrou-se a mais indicada. Sumariamente, esta técnica consiste em selecionar a variável independente mais correlacionada com Y e encontrar a equação de regressão linear de primeira ordem entre Y e esta variável independente. Em seguida seleciona-se a segunda variável independente para entrar no modelo baseando-se no coeficiente de correlação parcial; esta variável será aquela que apresentar o maior coeficiente de correlação parcial com a variável dependente (Y). Obtém-se uma equação de Y como sendo função destas duas variáveis. Como próxima etapa, examina-se a contribuição da primeira variável selecionada como se ela tivesse entrado no modelo após a inclusão da segunda variável. Caso seja significativa em um determinado nível, ela é

mantida no modelo. Dando prosseguimento, seleciona-se a terceira variável mais correlacionada com a variável dependente, dada a condição de que duas variáveis já estão no modelo. Novo teste é feito para a primeira variável selecionada visando determinar se ela permanece no modelo, considerando que a segunda e a terceira já estão nele. O mesmo é feito para a segunda variável selecionada admitindo que a primeira e a terceira já pertencem ao modelo. Qualquer variável que apresente uma contribuição não significativa é removida dele. O processo é continuado até que mais nenhuma variável seja admitida ou rejeitada.

As análises de regressão múltipla tipo "*Stepwise*" foram desenvolvidas utilizando-se o subprograma "*Linear Regression*", componente do software XLSTAT - Versão 2010.

### **7.5.1 - Análise da influência das variáveis independentes nas vibrações percebidas pelos bonecos de teste**

As análises de regressão múltipla foram desenvolvidas considerando respectivamente 3 configurações. Os resultados apresentados nesta seção correspondem apenas aos modelos estatísticos gerados que exibiram os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) em cada análise. A partir dos modelos estatísticos calculados determinou-se a contribuição de cada variável independente. Foram avaliadas as seguintes configurações:

#### 1ª Configuração:

Variável dependente (Y):

- Acelerações medidas na almofada sob os bonecos de teste.

Variáveis independentes ( $X_i$ ):

- Idade dos bonecos de teste = 6, 12 e 18 meses;
- Tipos de carrinhos = C1, C2 e C3;
- Pesos dos carrinhos = 6,080 kg (C1), 9,870 kg (C2), 11,470 kg (C3);
- Acessórios de configuração dos carrinhos = existência de amortecedor e cinto de segurança (3 e 5 pontos); posição do boneco de teste no carrinho (apenas para o carrinho 3 em pavimento asfáltico);

- Tipos de pavimentos = pavimento com mistura asfáltica; pavimento com pedras portuguesas; pavimento com placas de concreto de cimento e pavimento com blocos intertravados;
- Estados de conservação = bom, regular e ruim.

### 2ª Configuração:

Variável dependente (Y):

- Acelerações medidas na almofada sob os bonecos de teste.

Variáveis independentes (X<sub>i</sub>):

- Pesos dos bonecos de teste = 7,833 kg (6 meses), 9,971 kg (12 meses) e 11,609 kg (18 meses);
- Tipos de carrinhos = C1, C2 e C3;
- Pesos dos carrinhos = 6,080 kg (C1), 9,870 kg (C2), 11,470 kg (C3);
- Acessórios de configuração dos carrinhos = existência de amortecedor e cinto de segurança (3 e 5 pontos); posição do boneco de teste no carrinho (apenas para o carrinho 3 em pavimento asfáltico);
- Tipos de pavimentos = pavimento com mistura asfáltica; pavimento com pedras portuguesas; pavimento com placas de concreto de cimento e pavimento com blocos intertravados;
- Estados de conservação = bom, regular e ruim.

### 3ª Configuração:

Variável dependente (Y):

- Acelerações medidas na almofada sob os bonecos de teste.

Variáveis independentes (X<sub>i</sub>):

- Altura dos bonecos de teste = 66,00 cm (6 meses), 75,00 cm (12 meses) e 83,00 cm (18 meses);
- Tipos de carrinhos = C1, C2 e C3;
- Pesos dos carrinhos = 6,080 kg (C1), 9,870 kg (C2), 11,470 kg (C3);
- Acessórios de configuração dos carrinhos = existência de amortecedor e cinto de segurança (3 e 5 pontos); posição do boneco de teste no carrinho (apenas para o carrinho 3 em pavimento asfáltico);

- Tipos de pavimentos = pavimento com mistura asfáltica; pavimento com pedras portuguesas; pavimento com placas de concreto de cimento e pavimento com blocos intertravados;
- Estados de conservação = bom, regular e ruim.

Conforme mencionado no item 7.4, a análise estatística para os pavimentos asfálticos foi realizada apenas para os carrinhos 1 e 3, respectivamente, e o estado de conservação da seção avaliada era bom. Para o carrinho 1 considerou-se apenas 1 posição para o conjunto boneco de teste/acelerômetro, enquanto que para o carrinho 3 foram consideradas as 4 posições levantadas em campo. Segundo ilustra a Tabela 7.3, as acelerações medidas em campo apresentaram correlação praticamente nula com as variáveis independentes, sendo o peso dos bonecos de testes a única variável que apresentou uma contribuição ínfima.

No caso do carrinho 3, se demonstrou que a idade, a altura e a posição do boneco de teste dentro do carrinho apresentaram correlação, embora pequena, com as acelerações, conforme mostra a Tabela 7.4 abaixo.

**Tabela 7.3** – Influência das variáveis nas vibrações do carrinho 1 em pavimento asfáltico

| R <sup>2</sup> | Variáveis | Contribuição |
|----------------|-----------|--------------|
| 0,022          | PBT       | -            |

PBT – Peso do boneco de teste.

$$ACEL = 1.38 - 3.16 \times PBT \quad (R^2=0,022) \quad (1)$$

**Tabela 7.4** – Influência das variáveis nas vibrações do carrinho 3 em pavimento asfáltico

| R <sup>2</sup> | Variáveis | Contribuição |
|----------------|-----------|--------------|
| 0,081          | IDADE     | 57,6%        |
| 0,140          | SA        | 42,4%        |

IDADE – Idade do boneco de teste; SA – Boneco sentado/acelerômetro no assento prevalece em relação à posição boneco deitado/acelerômetro no assento.

$$ACEL = 1,15 - 1,82 \times IDADE - 0,18 \times SA \quad (R^2=0,140) \quad (2)$$

Já no pavimento de blocos intertravados, o modelo estatístico gerado (Tabela 7.5) considerando simultaneamente os 3 carrinhos, apresentou coeficiente de determinação muito baixo.

**Tabela 7.5** – Influência das variáveis nas vibrações em todos os carrinhos em pavimento de blocos intertravados

| R <sup>2</sup> | Variáveis | Contribuição |
|----------------|-----------|--------------|
| 0,106          | AMORT     | -            |

AMORT –Amortecedor.

$$ACEL = 1.46 - 0,26 \times AMORT \quad (R^2=0,106) \quad (3)$$

Entre as variáveis independentes avaliadas, constatou-se que apenas a existência de amortecimento (AMORT) em um dos carrinhos demonstrou alguma correlação com as acelerações medidas em campo. É importante destacar que toda a seção avaliada apresentava bom estado de conservação.

Para o pavimento de pedras portuguesas (Tabela 7.6), considerando simultaneamente os 3 carrinhos, constatou-se que o estado de conservação da seção é a variável com contribuição predominante, enquanto que o tipo de carrinho utilizado e peso do boneco apresentaram contribuição reduzida. No entanto, é importante destacar que no caso da variável tipo de carrinho, o carrinho mais simples dentre os avaliados foi o que apresentou alguma correlação (e contribuição) com as acelerações medidas.

**Tabela 7.6** – Influência das variáveis nas vibrações em todos os carrinhos em pavimento de pedras portuguesas

| R <sup>2</sup> | Variáveis | Contribuição |
|----------------|-----------|--------------|
| 0,439          | EC        | 92,66%       |
| 0,465          | C1        | 5,41%        |
| 0,474          | PBT       | 1,93%        |

EC - Estado de conservação; C1 - Carrinho 1 prevalecendo sobre Carrinho 3; PBT

– Peso do Boneco de Teste.

$$ACEL = 1,80 + 6,16 \times PBT + 0,38 \times C1 - 1,49 \times EC \quad (R^2=0,474) \quad (4)$$

A análise do pavimento com placas de concreto (Tabela 7.7), considerando simultaneamente os 3 carrinhos, demonstrou que o estado de conservação do pavimento é a variável quase que absoluta nas contribuições às acelerações medidas.

**Tabela 7.7** – Influência das variáveis nas vibrações em todos os carrinhos em pavimentos com Placas de Concreto

| R <sup>2</sup> | Variáveis | Contribuição |
|----------------|-----------|--------------|
| 0,597          | ECR       | 87,98%       |
| 0,669          | ECM       | 10,72%       |
| 0,678          | C1        | 1,3%         |

ECR - Estado de conservação ruim prevalece sobre estado de conservação bom;

ECM - Estado de conservação regular prevalece sobre estado de conservação bom;

C1 - Carrinho 1 prevalecendo sobre Carrinho 3.

$$ACEL = 1,38 + 0,23 \times C1 - 0,81 \times ECM - 0 + 2,18 \times ECR - 1 \quad (R^2=0,678) \quad (5)$$

A variável tipo de carrinho, ainda que tenha apresentado pequeníssima contribuição, demonstrou que o carrinho 1 (mais simples) se correlacionava com as acelerações medidas, ao contrário dos outros tipos de carrinhos.

Considerando todas as análises realizadas neste item, para pavimentos de pedras portuguesas e placas de concreto cujo estado de conservação seja regular ou ruim, essa variável, aliada ao tipo de carrinho, torna-se preponderante frente às demais em relação às acelerações percebidas pelos bonecos de teste.

### **7.5.2 - Análise da influência das variáveis independentes nas vibrações percebidas pelos bonecos de teste considerando cada carrinho individualmente**

As análises de regressão múltipla foram desenvolvidas considerando respectivamente 3 configurações para cada carrinho individualmente. Foram avaliadas as seguintes configurações:

### 1ª Configuração:

Variável dependente (Y):

- Acelerações medidas na almofada sob os bonecos de teste.

Variáveis independentes ( $X_i$ ):

- Idade dos bonecos de teste = 6, 12 e 18 meses;
- Tipo de carrinho = C1;
- Peso do carrinho = 6,080 kg;
- Acessórios de configuração dos carrinhos = existência de amortecedor e cinto de segurança (3 e 5 pontos); posição do boneco de teste no carrinho (apenas para o carrinho 3 em pavimento asfáltico);
- Tipos de pavimentos = pavimento com mistura asfáltica; pavimento com pedras portuguesas; pavimento com placas de concreto de cimento e pavimento com blocos intertravados;
- Estados de conservação = bom, regular e ruim.

### 2ª Configuração:

Variável dependente (Y):

- Acelerações medidas na almofada sob os bonecos de teste.

Variáveis independentes ( $X_i$ ):

- Pesos dos bonecos de teste = 7,833 kg (6 meses), 9,971 kg (12 meses) e 11,609 kg (18 meses);
- Tipo de carrinho = C1;
- Peso do carrinho = 6,080 kg;
- Acessórios de configuração dos carrinhos = existência de amortecedor e cinto de segurança (3 e 5 pontos); posição do boneco de teste no carrinho (apenas para o carrinho 3 em pavimento asfáltico);
- Tipos de pavimentos = pavimento com mistura asfáltica; pavimento com pedras portuguesas; pavimento com placas de concreto de cimento e pavimento com blocos intertravados;
- Estados de conservação = bom, regular e ruim.

### 3ª Configuração:

Variável dependente (Y):

- Acelerações medidas na almofada sob os bonecos de teste.

Variáveis independentes ( $X_i$ ):

- Altura dos bonecos de teste = 66,00 cm (6 meses), 75,00 cm (12 meses) e 83,00 cm (18 meses);
- Tipo de carrinho = C1;
- Peso do carrinho = 6,080 kg;
- Acessórios de configuração dos carrinhos = existência de amortecedor e cinto de segurança (3 e 5 pontos); posição do boneco de teste no carrinho (apenas para o carrinho 3 em pavimento asfáltico);
- Tipos de pavimentos = pavimento com mistura asfáltica; pavimento com pedras portuguesas; pavimento com placas de concreto de cimento e pavimento com blocos intertravados;
- Estados de conservação = bom, regular e ruim.

A análise realizada para as 3 configurações apresentadas também foi realizada respectivamente para o carrinho tipo C2 e carrinho tipo C3. Os resultados apresentados nesta seção correspondem apenas aos modelos estatísticos gerados que exibiram os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ) em cada análise.

Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) calculados foram baixos, desta forma os modelos não conseguiram explicar a variação da aceleração, exceto nos pavimentos em placas de concreto e pedra portuguesa, onde todos os carrinhos apresentaram coeficiente de determinação superior a 0,50.

Segundo ilustra a Tabela 7.8, em pavimento asfáltico em bom estado de conservação as acelerações medidas em campo apresentaram correlação praticamente nula com as variáveis independentes, sendo o peso dos bonecos de testes e a idade as únicas variáveis que apresentam uma contribuição ínfima.

**Tabela 7. 8** – Influência das variáveis nas vibrações para cada tipo de carrinho em pavimento asfáltico

| Tipo de carrinho | Equação do modelo                 | R <sup>2</sup> |
|------------------|-----------------------------------|----------------|
| C1               | $ACEL = 1,38 - 3,17 \times PBT$   | 0,022          |
| C2               | $ACEL = 0,81 - 1,37 \times PBT$   | 0,004          |
| C3               | $ACEL = 1,11 - 1,82 \times IDADE$ | 0,081          |

PBT – Peso do Boneco de Teste; IDADE – Idade do boneco de teste.

No pavimento de blocos intertravados, o modelo estatístico gerado (Tabela 7.9) apresentou um coeficiente de determinação muito baixo entre as variáveis independentes avaliadas. É importante destacar que toda a seção avaliada apresentava bom estado de conservação.

**Tabela 7. 9** – Influência das variáveis nas vibrações para cada tipo de carrinho em pavimento de blocos intertravados

| Tipo de carrinho | Equação do modelo                 | R <sup>2</sup> |
|------------------|-----------------------------------|----------------|
| C1               | $ACEL = 1,70 - 6,62 \times ALT$   | 0,004          |
| C2               | $ACEL = 1,31 - 1,24 \times IDADE$ | 0,060          |
| C3               | $ACEL = 0,94 + 5,28 \times PBT$   | 0,054          |

PBT – Peso do Boneco de Teste; ALT - Altura do boneco de teste; IDADE – Idade do boneco de teste.

Para o pavimento em pedras portuguesas (Tabela 7.10) constatou-se que a variável estado de conservação do pavimento apresentou contribuição nos três modelos estatísticos. Particularmente no carrinho C3, sua contribuição alcançou (83,45%) enquanto que a variável peso dos bonecos apresentou (16,55%) de contribuição.

**Tabela 7. 10** – Influência das variáveis nas vibrações para cada tipo de carrinho em pedras portuguesas

| Tipo de carrinho | Equação do modelo                               | R <sup>2</sup> |
|------------------|---|----------------|
| C1               | $ACEL = 2,83 - 1,64 \times EC$                  | 0,577          |
| C2               | $ACEL = 2,37 - 1,46 \times EC$                  | 0,351          |
| C3               | $ACEL = 0,74 + 0,17 \times PBT - 1,4 \times EC$ | 0,556          |

PBT – Peso do Boneco de Teste; EC – Estado de conservação.

A análise do pavimento com placas de concreto (Tabela 7.11) observou-se novamente que a variável estado de conservação do pavimento apresentou contribuição nos três modelos estatísticos. Particularmente no carrinho C2, sua contribuição alcançou (89,22%) enquanto que a variável peso dos bonecos apresentou (10,78%) de contribuição.

**Tabela 7. 11** – Influência das variáveis nas vibrações para cada tipo de carrinho em placas de concreto

| Tipo de carrinho | Equação do modelo   | R <sup>2</sup> |
|------------------|---|----------------|
| C1               | $ACEL = 0,65 + 1,06 \times ECM + 2,39 \times ECR$                   | 0,730          |
| C2               | $ACEL = 2,62 - 0,19 \times PBT + 0,60 \times ECM + 1,93 \times ECR$ | 0,631          |
| C3               | $ACEL = 0,55 + 0,76 \times ECM + 2,22 \times ECR$                   | 0,748          |

ECR – Estado de conservação ruim; ECM – Estado de conservação médio; PBT – Peso do Boneco de Teste.

## 7.6 AVALIAÇÃO DO CONFORTO E DO RISCO À SAÚDE SEGUNDO A ISO 2631-1 (1997)

Os níveis limites para determinação da resposta ao incômodo ou reclamação variam em função das características da vibração (intensidade, frequência, direção e tempo de exposição) assim como da finalidade do lugar. A norma ISO 2631-1 (1997) trata desse assunto e estabelece níveis de tolerância aceitáveis quanto à percepção de conforto e risco a saúde.

### 7.6.1 - Conforto

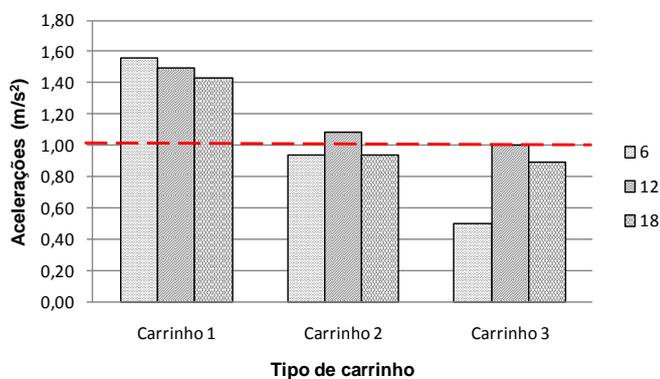
Do ponto de vista do conforto (ou desconforto), a norma ISO 2631-1 (1997) classifica as acelerações da seguinte maneira:

- Até  $1,00 \text{ m/s}^2$  – desconforto tolerável;
- $1,00 \text{ m/s}^2$  à  $2,00 \text{ m/s}^2$  – muito desconfortável;
- Acima de  $2,00 \text{ m/s}^2$  – extremamente desconfortável.

Segundo essa norma, as acelerações eficazes (ou *r.m.s*) devem ser medidas na superfície de contato pessoa-objeto na direção sagital “x”, na direção transversal “y” e na direção vertical “z”. A partir desses três valores determina-se a aceleração equivalente atuante naquele ponto e naquele instante.

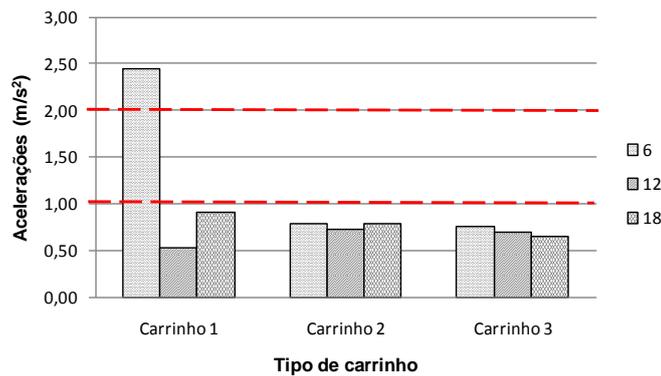
Neste estudo foram determinadas as acelerações em cada eixo assim como seu valor equivalente (total) a cada segundo, para cada tipo de carrinho e para cada tipo de pavimento e respectivo estado de conservação. As acelerações apresentadas nos gráficos deste item representam em cada caso a média dos valores equivalentes (totais) de aceleração calculados a cada segundo ao longo da seção considerada.

Considerando o caso do pavimento com blocos intertravados e em bom estado de conservação, apenas o carrinho tipo 1, para os três bonecos de teste, apresentou valores de aceleração que caracterizam muito desconforto ao ser humano, como mostra a Figura 7.1 abaixo.



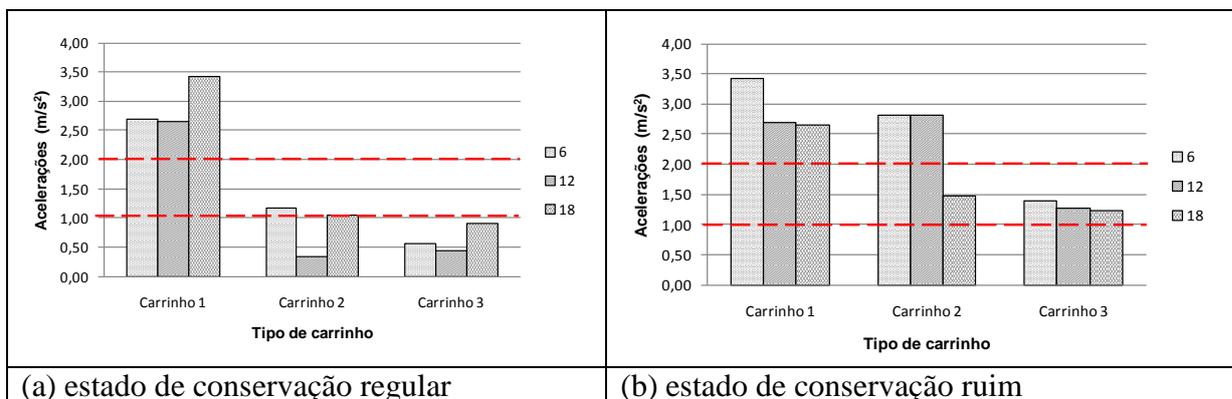
**Figura 7.1** – Avaliação do conforto para pavimento com blocos intertravados

No pavimento asfáltico (em bom estado de conservação), o carrinho tipo 1 apresentou aceleração muito elevada (acima de  $2,00 \text{ m/s}^2$ ) para o boneco mais jovem e de menor peso, o que corresponderia a uma sensação de extremo desconforto, conforme ilustra a Figura 7.2.



**Figura 7.2** – Avaliação do conforto para pavimento asfáltico

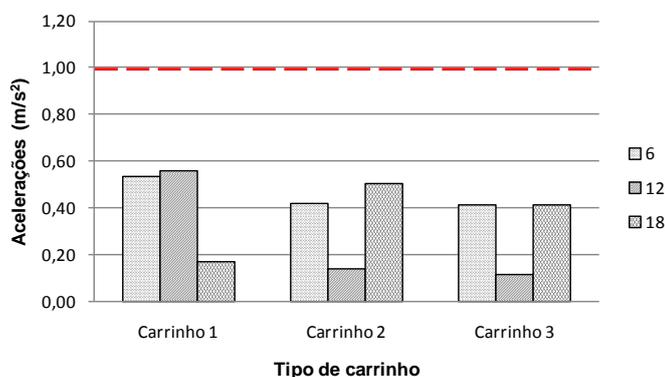
Para o pavimento com pedras portuguesas, no estado de conservação regular, observa-se para o carrinho tipo 1 valores de aceleração superiores a  $2,00 \text{ m/s}^2$ , para os três bonecos avaliados, caracterizando novamente uma situação de extremo desconforto, conforme ilustra a Figura 7.3(a). Em contrapartida, o carrinho tipo 2 apresentou acelerações no limiar do desconforto tolerável.



**Figura 7.3** – Avaliação do conforto para pavimento com pedras portuguesas

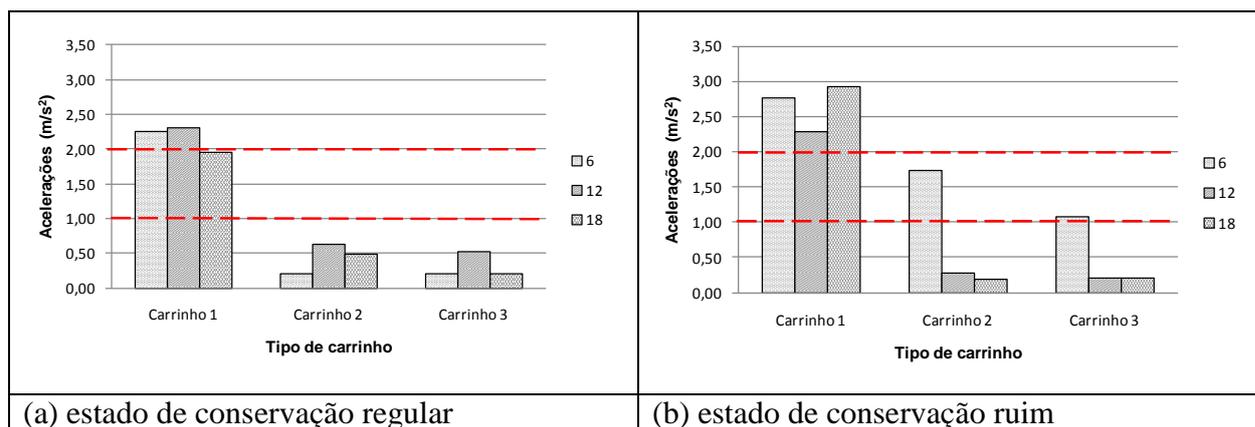
Por outro lado, para pavimento com pedras portuguesas em estado de conservação ruim, todos os tipos de carrinho apresentaram valores de aceleração, onde a sensação seria de muito ou extremo desconforto para os usuários. Para o carrinho tipo 1, todos os bonecos de teste apresentaram sensação de extremo desconforto enquanto que no carrinho tipo 2, essa mesma sensação foi encontrada para os bonecos mais jovens e mais leves, conforme descrito na Figura 7.3(b). Ao melhorar-se a condição do carrinho (tipo 3), as acelerações diminuiriam significativamente, exibindo valores superiores a  $1,00 \text{ m/s}^2$ . Porém, ainda assim provocariam uma sensação de muito desconforto independente da idade/peso do boneco.

Para o pavimento com placas de concreto, no estado de conservação bom, nenhum dos carrinhos apresentou valores de aceleração que pudessem provocar desconforto, conforme mostra a Figura 7.4.



**Figura 7.4** – Avaliação do conforto em pavimento com placas de concreto em bom estado de conservação

Para pavimento com placas de concreto em estado de conservação regular (Figura 7.5(a)), o carrinho tipo 1 novamente apresentou valores que induzem a sensação de extremo desconforto nos bonecos de teste de 6 e 12 meses, assim como sensação de muito desconforto no boneco mais velho e mais pesado.



**Figura 7.5** – Avaliação do conforto em pavimento com placas de concreto

Já no estado de conservação ruim (Figura 7.5(b)), os carrinhos tipo 2 e 3 não apresentaram valores de aceleração que pudessem produzir desconforto acima do tolerável para os bonecos mais velhos e mais pesados. No entanto, para o boneco mais jovem, as

acelerações medidas cresceram significativamente à medida que a qualidade do carrinho diminuía, apresentando valores de muito desconforto nos carrinhos 2 e 3 a extremo desconforto no carrinho 1. O carrinho tipo 1 também apresentou valores de aceleração que produziriam extremo desconforto para os bonecos de 12 e 18 meses, respectivamente.

Comparando os dados apresentados neste item (Tabelas 7.12 e 7.13), percebe-se que o boneco de 6 meses, mais leve que os demais, é o mais susceptível ao desconforto provocado pelas altas acelerações. Por outro lado, o carrinho tipo 3 embora apresentasse desconforto inicial, ao aumentar-se consideravelmente a aceleração atuante (maior que  $2,00 \text{ m/s}^2$ ), o mesmo conseguiu absorver e dissipar as vibrações recebidas sem atingir o estágio extremamente desconfortável. Ou seja, o carrinho tipo 3, que dispõe de amortecedores, reduz a susceptibilidade às acelerações mais elevadas.

**Tabela 7.12** – Carrinhos que apresentaram acelerações superiores a  $1,00 \text{ m/s}^2$  e inferiores a  $2,00 \text{ m/s}^2$

| Tipo de carrinho | Bloco Intertravado | Mistura asfáltica | Pedras Portuguesas |      | Placas de concreto |         |      |
|------------------|--------------------|-------------------|--------------------|------|--------------------|---------|------|
|                  |                    |                   | Regular            | Ruim | Bom                | Regular | Ruim |
| 1                | BT6                |                   |                    |      |                    |         |      |
|                  | BT12               |                   |                    |      |                    | BT18    |      |
|                  | BT18               |                   |                    |      |                    |         |      |
| 2                | BT12               |                   | BT6                | BT18 |                    |         | BT6  |
| 3                |                    |                   |                    | BT6  |                    |         |      |
|                  |                    |                   |                    | BT12 |                    |         | BT6  |
|                  |                    |                   |                    | BT18 |                    |         |      |

BT – Boneco de Teste; 6, 12 ou 18 – idade do Boneco de Teste

**Tabela 7.13** – Carrinhos que apresentaram acelerações superiores a  $2,00 \text{ m/s}^2$

| Tipo de carrinho | Bloco Intertravado | Mistura asfáltica | Pedras Portuguesas |      | Placas de concreto |         |      |
|------------------|--------------------|-------------------|--------------------|------|--------------------|---------|------|
|                  |                    |                   | Regular            | Ruim | Bom                | Regular | Ruim |
| 1                |                    |                   | BT6                | BT6  |                    |         | BT6  |
|                  |                    | BT6               | BT12               | BT12 |                    | BT6     | BT12 |
|                  |                    |                   | BT18               | BT18 |                    | BT12    | BT18 |
| 2                |                    |                   | BT6                | BT6  |                    |         |      |
|                  |                    |                   |                    | BT12 |                    |         |      |
| 3                |                    |                   |                    |      |                    |         |      |

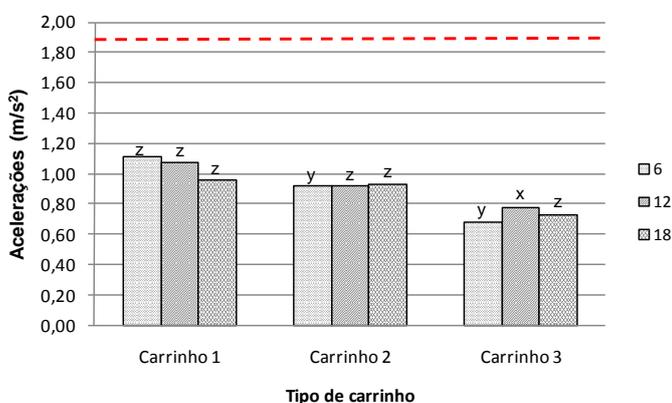
BT – Boneco de Teste; 6, 12 ou 18 – idade do Boneco de Teste

### 7.6.2 - Risco a saúde

A norma ISO 2631-1 (1997) recomenda que as acelerações r.m.s sejam medidas em cada eixo e a análise de risco à saúde seja efetuada considerando apenas o maior valor calculado em cada caso. Desta forma, inicialmente foram determinados para cada seção os valores médios das acelerações r.m.s respectivamente nos eixos “x”, “y” e “z”. Selecionou-se então a maior aceleração em cada situação e procedeu-se a análise do risco à saúde mediante o gráfico apresentado na Figura 3.2.

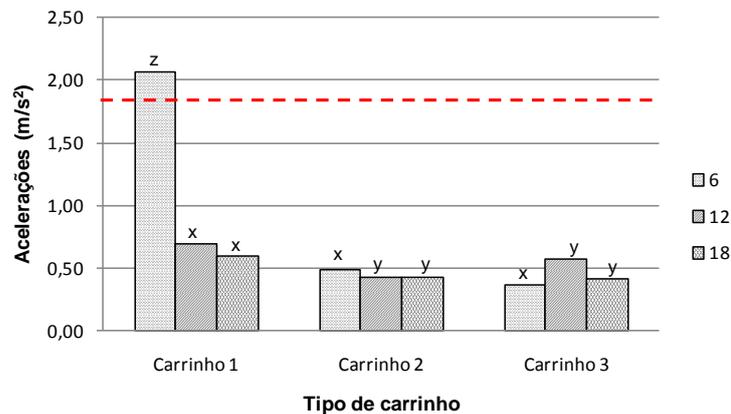
Para efeitos de análise, considerou-se tempos de exposição de até 30 minutos de atuação da vibração em cada carrinho. Esse tempo foi estimado como tempo médio de passeio de bebês em carrinhos durante percurso sobre calçadas. Para esse tempo de exposição, acelerações entre 1,90 e 3,50 m/s<sup>2</sup> poderiam provocar risco potencial à saúde humana. No entanto, a própria norma ISO 2631-1 (1997) esclarece que os valores de aceleração apresentados no gráfico da Figura 3.2 para tempos de exposição inferiores há 4 horas devem ser utilizados com cautela, pois a região de risco potencial foi determinada para tempos de exposição entre 4 e 8 horas e posteriormente expandida para outros tempos de exposição.

A análise para pavimento com blocos intertravados em bom estado de conservação (Figura 7.6), em todas as situações analisadas não apresentou acelerações superiores a 1,90 m/s<sup>2</sup>, e, portanto não houve risco potencial a saúde. Além disso, é importante destacar que para o carrinho tipo 1, as maiores acelerações para cada boneco ocorreram na direção vertical “z”.



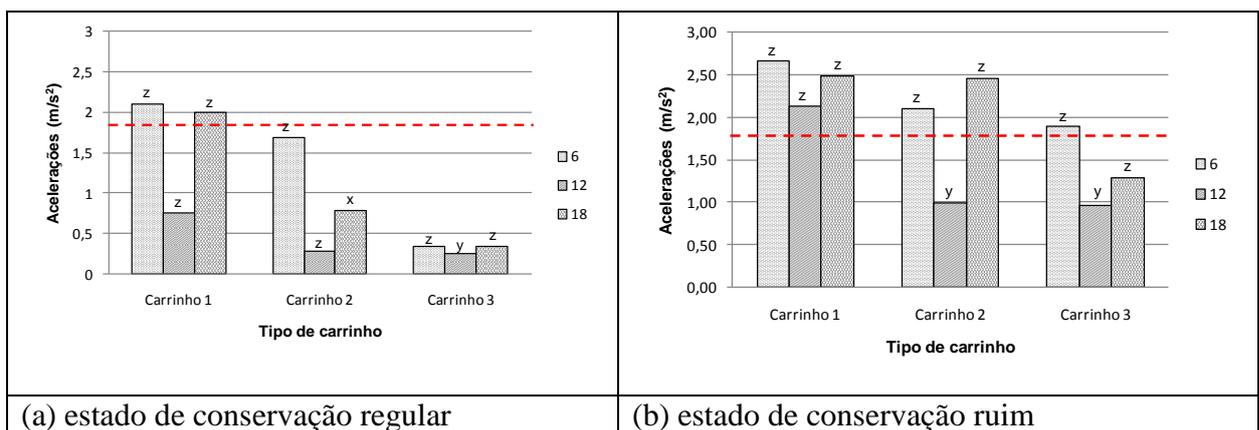
**Figura 7.6** – Avaliação do risco à saúde em pavimento com blocos intertravados

Para o pavimento asfáltico em bom estado de conservação (Figura 7.7), constatou-se que somente no carrinho tipo 1, a aceleração no boneco de teste de 6 meses apresentou valor superior a  $1,90 \text{ m/s}^2$  e, portanto risco potencial à saúde.



**Figura 7.7** – Avaliação do risco à saúde em pavimento asfáltico

Para a análise do pavimento de pedras portuguesas no estado de conservação regular (Figura 7.8a), novamente o carrinho tipo 1 apresentou valores de aceleração que poderiam provocar risco potencial à saúde para usuários de 6 e 18 meses. Além disso, nesse carrinho as maiores acelerações para cada boneco ocorreram na direção vertical “z”.

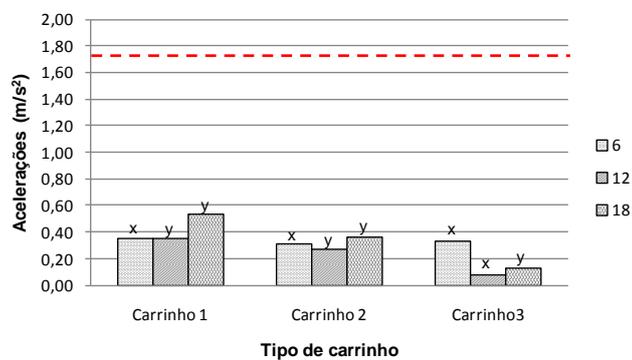


**Figura 7.8** – Avaliação do risco à saúde em pavimento de pedras portuguesas

Considerando o pavimento de pedras portuguesas no estado de conservação ruim (Figura 7.8b), observou-se que os três carrinhos apresentaram pelo menos um caso no qual a aceleração medida superava  $1,90 \text{ m/s}^2$  recomendado pela norma. Particularmente o carrinho tipo 1, independente da idade do boneco, apresentou valores de aceleração

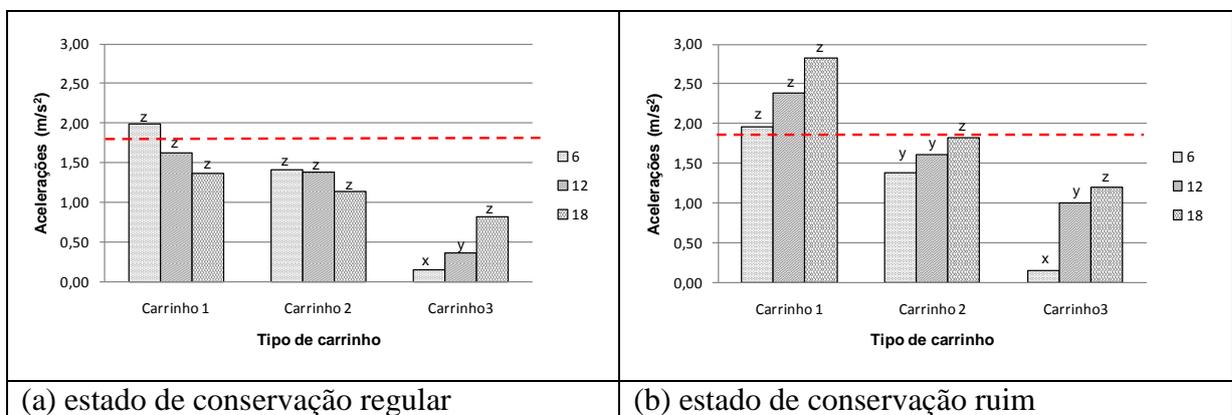
significativamente superiores aos recomendados o que provocaria um risco potencial à saúde dos usuários. Além disso, nesse carrinho as maiores acelerações para cada boneco também ocorreram na direção vertical “z”.

No pavimento com placas de concreto no estado de conservação bom (Figura 7.9), nenhum dos carrinhos apresentou valores de aceleração que colocassem em risco potencial à saúde dos usuários. Por outro lado, nesse estado de conservação, as acelerações mais importantes ocorreram nos eixos transversais “x” e “y”.



**Figura 7.9** – Avaliação do risco à saúde em pavimento com placas de concreto em bom estado de conservação

Para esse mesmo pavimento em estado de conservação regular (Figura 7.10a), apenas o carrinho 1 apresentou aceleração que colocaria em risco potencial à saúde de um usuário de 6 meses de idade.



**Figura 7.10** – Avaliação do risco à saúde em pavimento com placas de concreto

No estado de conservação ruim (Figura 7.10b), novamente o carrinho 1 apresentou para os três bonecos de teste valores de aceleração superiores à aceleração recomendada pela norma, e, portanto, risco potencial a saúde. Em ambos estados de conservação, também se constatou que nas três situações analisadas para o carrinho tipo 1, as acelerações dominantes ocorreram na direção vertical “z”.

Resumindo todas as análises realizadas neste item (Tabela 7.14) conclui-se que o carrinho tipo 1 em pavimentos com estado regular ou ruim apresentou valores de aceleração superiores a  $1,90 \text{ m/s}^2$  e inferiores a  $3,50 \text{ m/s}^2$  independente da idade do boneco de teste, o que poderia provocar riscos potenciais a saúde. Ou seja, esse carrinho seria mais susceptível à ocorrência de riscos potenciais à saúde se comparado ao carrinho mais sofisticado tipo 3. Além disso, nesse carrinho as acelerações dominantes ocorreram na direção vertical “z”. Também se percebe que o boneco de 6 meses, mais leve que os demais, é o mais susceptível aos riscos à saúde comparado aos demais.

**Tabela 7.14** – Carrinhos que apresentaram acelerações superiores a  $1,90 \text{ m/s}^2$  e inferiores a  $3,50 \text{ m/s}^2$

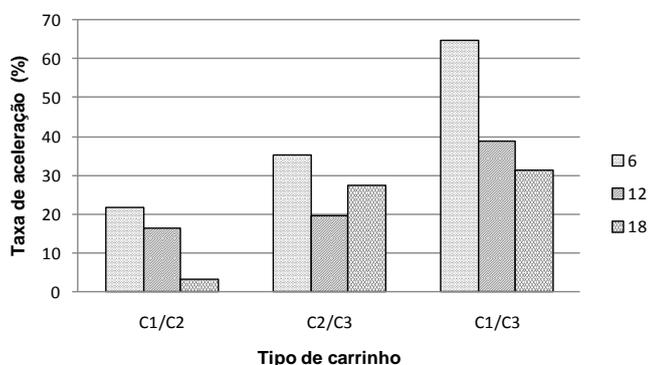
| Tipo de carrinho | Bloco Intertravado | Mistura asfáltica | Pedras Portuguesas |       | Placas de concreto |         |       |
|------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------|--------------------|---------|-------|
|                  |                    |                   | Regular            | Ruim  | Bom                | Regular | Ruim  |
| 1                |                    | BT6z              | BT6z               | BT6z  |                    |         | BT6z  |
|                  |                    |                   | BT18z              | BT12z |                    | BT6z    | BT12z |
|                  |                    |                   |                    | BT18z |                    |         | BT18z |
| 2                |                    |                   |                    | BT6z  |                    |         |       |
|                  |                    |                   |                    | BT18z |                    |         |       |
| 3                |                    |                   |                    | BT6z  |                    |         |       |

BT – Boneco de Teste; 6, 12 ou 18 – idade do Boneco de Teste; z – direção da maior aceleração atuante

## 7.7 AVALIAÇÃO DO EFEITO DO TIPO DE CARRINHO NA MAGNITUDE DAS VIBRAÇÕES

Neste item serão avaliadas as taxas de variação da aceleração entre os carrinhos tipo 1 (C1) e tipo 2 (C2), entre os carrinhos tipo 2 (C2) e tipo 3 (C3), e entre os carrinhos tipo 1 (C1) e tipo 3 (C3).

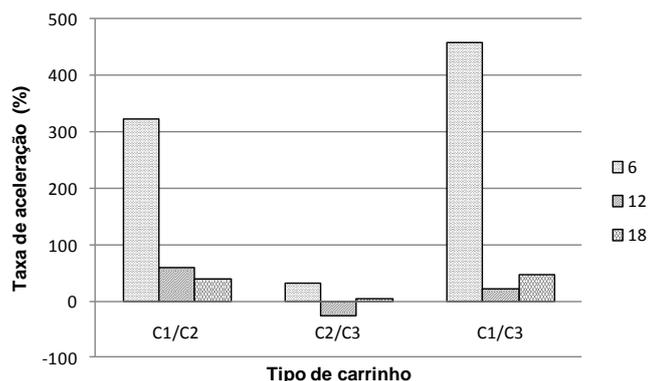
No pavimento de blocos intertravados em bom estado de conservação (Figura 7.11), ao comparar-se os três carrinhos percebe-se que as taxas de variação da aceleração variam inversamente à idade/peso dos bonecos de teste e à qualidade do carrinho utilizado. Constatou-se que a taxa de variação da aceleração entre os carrinhos tipo 1 e tipo 2 (C1//C2) alcançou pouco mais de 20% no boneco mais jovem, ou seja, a aceleração no boneco de 6 meses no carrinho tipo 1 foi 20% superior à observada no mesmo boneco sentado no carrinho 2. Por outro lado, o efeito da qualidade do carrinho mostrou-se mais clara comparando os carrinhos tipo 1 e tipo 3 (C1/C3). Nesse caso a taxa de variação da aceleração foi ligeiramente superior a 60% no boneco de 6 meses.



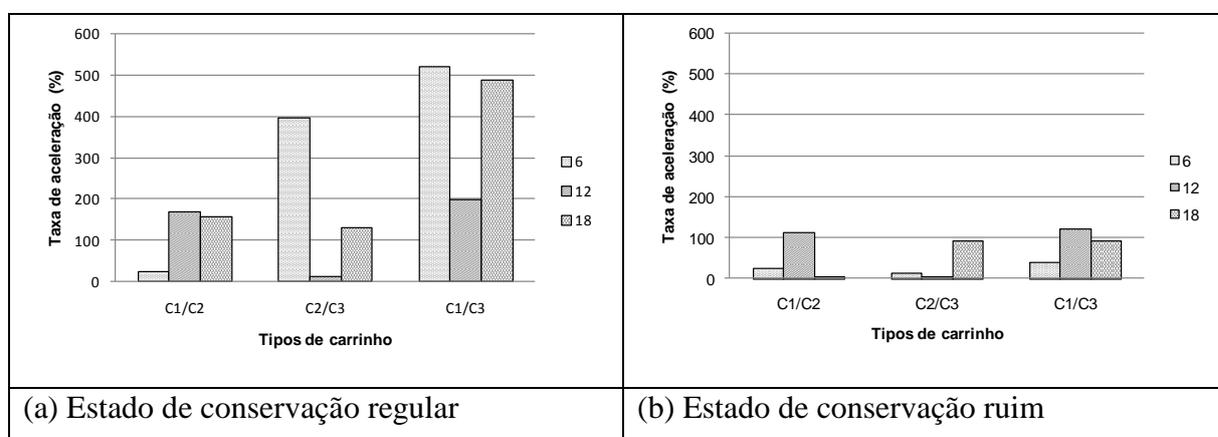
**Figura 7.11** – Taxa de variação das acelerações em pavimento com blocos intertravados

No pavimento asfáltico em bom estado de conservação (Figura 7.12), ao comparar os carrinhos tipo 1 × tipo 2 (C1/C2) e tipo 1 × tipo 3 (C1/C3) percebe-se que a taxa de variação das acelerações apresentou variação significativa entre o boneco mais jovem e os bonecos mais velhos aliada à variação da qualidade entre os carrinhos. As acelerações no boneco mais jovem medidas no carrinho 1 foram respectivamente 300% e 450% superiores às observadas nos carrinhos 2 e 3.

No pavimento de pedras portuguesas no estado de conservação regular (Figura 7.13(a)), ao comparar os carrinhos tipo 2 × tipo 3 e tipo 1 × tipo 3, percebe-se novamente que as taxas de variação da aceleração são significativas para o boneco mais jovem aliada a variação da qualidade do carrinho. Adicionalmente, constatou-se que os bonecos de 12 e 18 meses passaram a apresentar maiores taxas de variação da aceleração.



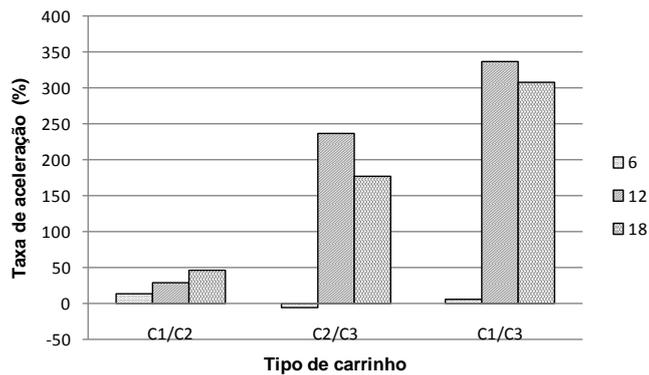
**Figura 7.12** – Taxa de variação das acelerações em pavimento asfáltico



**Figura 7.13** – Taxa de variação das acelerações em pavimento de pedras portuguesas

Para o pavimento de pedras portuguesas no estado de conservação ruim (Figura 7.13(b)), percebe-se que a taxa de variação das acelerações cresce ao aumentar a idade dos bonecos aliado a variação da qualidade do carrinho, embora esse crescimento não seja tão significativo quanto aquele observado na seção em estado regular (Figura 7.13(a)).

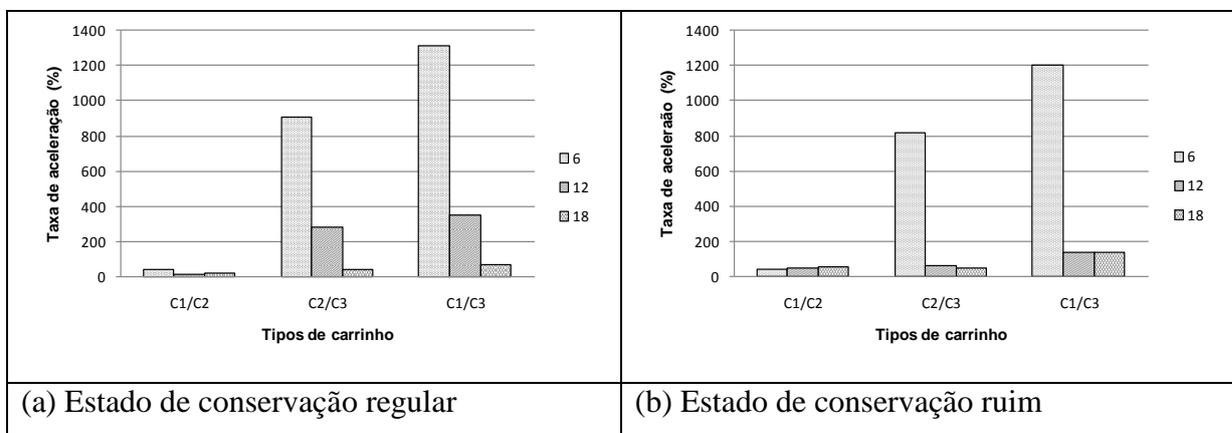
No pavimento com placas de concreto em bom estado de conservação (Figura 7.14), observou-se que os bonecos mais velhos, de 12 e 18 meses, apresentaram maiores taxas de variação da aceleração e esse aumento das taxas tornou-se mais evidente com a variação da qualidade do carrinho.



**Figura 7.14** – Taxa de variação das acelerações em pavimento com placas de concreto em bom estado de conservação

No pavimento com placas de concreto em estado de conservação regular (Figura 7.15(a)), constatou-se que para os carrinhos tipo 2 × tipo 3 e tipo 1 × tipo 3, a variação das taxas de aceleração variou inversamente à idade dos bonecos e à qualidade do carrinho avaliado, sendo essa taxa de variação muito significativa para o boneco de 6 meses comparado aos bonecos de 12 e 18 meses.

Por outro lado, para esse mesmo pavimento, porém em estado de conservação ruim (Figura 7.15(b)), observou-se novamente que para os carrinhos tipo 2 × tipo 3 e tipo 1 × tipo 3, a variação das taxas de aceleração variou inversamente à idade dos bonecos e à qualidade do carrinho avaliado. Essa taxa de variação mostrou-se muito significativa para o boneco de 6 meses comparado aos bonecos de 12 e 18 meses. No entanto, os bonecos mais velhos apresentaram comportamento semelhante nas duas situações analisadas.



**Figura 7.15** – Taxa de variação das acelerações em pavimento com placas de concreto

Resumindo os dados apresentados neste item, conforme ilustra a Tabela 7.15, percebe-se que as maiores diferenças entre as acelerações ocorreram entre os carrinhos 1 e 3. Além disso, para pavimentos de concreto o boneco mais leve sofreu maior influência, sendo esta proporcional à deterioração da superfície, enquanto nos pavimentos com pedras portuguesas esse fato ocorreu para os bonecos mais pesados.

**Tabela 7.15** – Maiores taxas de variação da aceleração entre carrinhos

| Tipo de carrinho   | Estado de conservação | C1/C2     | C2/C3                  | C1/C3                  |
|--------------------|-----------------------|-----------|------------------------|------------------------|
| Bloco Intertravado |                       |           |                        | BT6-65%                |
|                    |                       |           |                        | BT12-40%               |
|                    |                       |           |                        | BT18-30%               |
| Mistura asfáltica  |                       | BT6-300%  |                        | BT6-450%               |
| Pedras Portuguesas | Regular               |           | BT6-400%               | BT6-500%<br>BT18-500%  |
|                    | Ruim                  | BT12-110% | BT18-90%               | BT12-120%<br>BT18-90%  |
| Placas de concreto | Bom                   |           | BT12-250%<br>BT18-180% | BT12-350%<br>BT18-300% |
|                    | Regular               |           | BT6-900%               | BT6-1300%              |
|                    | Ruim                  |           | BT6-800%               | BT6-1200%              |

BT – Boneco de Teste; 6, 12 ou 18 – idade do Boneco de Teste; C1/C2 – taxa de variação da aceleração entre o carrinho tipo 1 e o carrinho tipo 2; C2/C3 – taxa de variação da aceleração entre o carrinho tipo 2 e o carrinho tipo 3; C1/C3 – taxa de variação da aceleração entre o carrinho tipo 1 e o carrinho tipo 3

## **7.8 ANÁLISE DE PROBABILIDADE QUANTO A PERCEPÇÃO DE CONFORTO E RISCO À SAÚDE**

Nesta seção realizou-se uma análise estatística a fim de determinar-se a probabilidade de ocorrência de desconforto e risco à saúde nos bonecos de teste tendo em vista os valores limites definidos na norma ISO 2631-1 (1997).

Esta análise foi desenvolvida apenas para pavimentos com pedras portuguesas tendo em vista que este tipo de pavimento foi o que apresentou as maiores acelerações e, portanto maiores riscos à saúde. Inicialmente foram realizados testes de normalidade (Anderson-Darling e Shapiro-Wilk) nos dados brutos obtidos para cada carrinho e cada idade dos bonecos de testes. Caso esses dados apresentassem valor-p igual ou superior a 0,05, a distribuição foi então considerada normal e selecionada para a realização dos testes de probabilidade.

A partir da média e do desvio-padrão calculados para cada conjunto de dados selecionados anteriormente, determinou-se inicialmente a probabilidade de ocorrência de desconforto nos bonecos de teste. Conforme detalha a Tabela 7.16, para acelerações entre 1,00 e 2,00  $m/s^2$ , correspondente à sensação de muito desconforto, as probabilidades calculadas apresentaram a mesma ordem de grandeza independente do tipo de carrinho e idade dos bonecos de teste. No entanto, para acelerações superiores a 2,00  $m/s^2$ , constatou-se que o carrinho tipo 1, mais simples, comparado ao carrinho tipo 3, apresentou probabilidades ligeiramente superiores quanto à ocorrência de desconforto.

**Tabela 7. 16** – Probabilidade de ocorrência de desconforto em pavimento com pedras portuguesas

| Carrinho | Idade | Média | Desvio-padrão | Probabilidade (%)                       |                            |
|----------|-------|-------|---------------|---|----------------------------|
|          |       |       |               | $1,00 \leq a_c \leq 2,00 \text{ m/s}^2$ | $a_c > 2,00 \text{ m/s}^2$ |
| 1        | 6     | 2,10  | 1,07838536    | 31,02                                   | 53,59                      |
|          | 12    | 1,99  | 0,819757018   | 39,09                                   | 49,60                      |
|          | 18    | 2,11  | 1,32422525    | 26,76                                   | 53,19                      |
| 2        | 18    | 1,70  | 1,151         | 33,17                                   | 39,74                      |
| 3        | 6     | 1,44  | 0,967         | 39,62                                   | 28,10                      |
|          | 18    | 2,00  | 1,146         | 30,78                                   | 50,00                      |

Do ponto de vista da probabilidade de risco à saúde, conforme mostra a Tabela 7.17, para os três carrinhos avaliados, as probabilidades de risco potencial à saúde (acelerações entre 1,90 e 3,50  $m/s^2$ ) apresentaram valores de aceleração com a mesma ordem de grandeza. Por outro lado, as probabilidades de ocorrência de acelerações superiores a 3,50  $m/s^2$  (risco provável à saúde), são pequenas e em alguns casos irrisórias.

**Tabela 7.17** – Probabilidade de ocorrência de risco à saúde em pavimento com pedras portuguesas

| Carrinho | Idade | Média | Desvio-padrão | Probabilidade (%)                      |                           |
|----------|-------|-------|---------------|--|---------------------------|
|          |       |       |               | $1,90 \leq ac \leq 3,50 \text{ m/s}^2$ | $ac > 3,50 \text{ m/s}^2$ |
| 1        | 6     | 1,40  | 0,775392      | 25,76                                  | 0,35                      |
|          | 12    | 1,00  | 0,98041       | 17,34                                  | 0,54                      |
|          | 18    | 1,55  | 1,153861      | 33,66                                  | 4,55                      |
| 2        | 6     | 1,20  | 1,26421       | 25,68                                  | 3,44                      |
|          | 18    | 0,86  | 1,288368      | 18,88                                  | 2,02                      |
| 3        | 6     | 1,53  | 1,10901       | 33,23                                  | 3,84                      |
|          | 12    | 1,46  | 0,701705      | 26,25                                  | 0,18                      |
|          | 18    | 1,61  | 0,867535      | 35,61                                  | 1,46                      |

## 8. CONCLUSÕES

No Brasil algumas cidades desenvolveram projetos de calçadas adequadas há algum tempo, como o manual “Conheça as regras para arrumar a sua calçada”, realizado pela prefeitura de São Paulo. Em Brasília, existem alguns exemplos de projetos de calçadas acessíveis em execução em alguns setores, por exemplo, Setor Comercial Sul, onde foram implantados esses tipos de calçadas. Estima-se que no médio prazo o Distrito Federal terá a disposição calçadas acessíveis, a partir de projetos financiados pelo Governo do Distrito Federal. Assim no longo prazo, serão necessários procedimentos para avaliação dos pavimentos dessa rede.

Esta pesquisa teve por objetivo geral analisar as vibrações transmitidas aos carrinhos de bebês durante percursos sobre calçadas. Mediante análises estatísticas procurou-se correlacionar as vibrações medidas com o estado de conservação da calçada, tipo de material do revestimento da calçada, peso, altura e idade do boneco de teste, peso do carrinho de bebê e existência de acessórios (amortecedores) assim como a posição do sistema boneco de teste/almofada-acelerômetro dentro do carrinho. Para cada tipo de calçada foram selecionados trechos de 8,00m de extensão, que apresentassem estado de conservação bom, regular e ruim, respectivamente. A qualidade de rolamento de cada trecho foi avaliada com o auxílio de um aparelho medidor de vibração, para três tipos de carrinhos de bebês e três tipos de bonecos de teste. Cada segmento foi percorrido à velocidade média de  $3,2 \pm 0,2$  km/h. Após terem sido coletados os valores das vibrações em campo, deu-se início ao tratamento dos dados.

Mediante análise de regressão múltipla, com o auxílio do software *XLSAT*, constatou-se que os modelos estatísticos gerados para pavimentos com placas de concreto e pedras portuguesas apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) razoáveis enquanto que os modelos estatísticos gerados para os pavimentos asfáltico e com blocos intertravados de concreto apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) muito baixos. Tendo em vista os maiores coeficientes de determinação obtidos, observou-se que o estado de conservação da calçada demonstrou ser a variável preponderante, seguida pelo tipo de carrinho, nas contribuições às acelerações medidas em campo. Outras variáveis, tais como posição do boneco, peso, altura e idade do boneco de teste, apresentaram contribuição às acelerações

medidas apenas em casos isolados de pavimento asfáltico em bom estado (posição do boneco de teste no carrinho); e pedra portuguesa em estado regular (peso e altura do boneco de teste).

Do ponto de vista do conforto/desconforto, constatou-se que o boneco de 6 meses, mais leve que os demais, é o mais susceptível ao desconforto provocado pelas altas acelerações. Por outro lado, o carrinho tipo 3 (mais sofisticado) embora apresentasse desconforto inicial, ao aumentar-se consideravelmente a aceleração atuante, o mesmo conseguia absorver e dissipar as vibrações recebidas sem atingir um estágio extremamente desconfortável. Ou seja, o carrinho tipo 3, que dispõe de amortecedores, reduz a susceptibilidade às acelerações mais elevadas.

Considerando o risco à saúde provocado pelas vibrações concluiu-se que o carrinho tipo 1 em pavimentos com estado regular ou ruim apresentou valores de aceleração superiores a  $1,90 \text{ m/s}^2$  independente da idade do boneco de teste, o que poderia provocar riscos potenciais à saúde. Ou seja, esse carrinho seria mais susceptível à ocorrência de riscos potenciais à saúde se comparado ao carrinho mais sofisticado tipo 3. Além disso, no carrinho tipo 1 as acelerações dominantes ocorreram na direção vertical “z”. Também foi observado que o boneco de 6 meses, mais leve que seus semelhantes, é o mais susceptível aos riscos à saúde comparado aos demais.

Do ponto de vista da diferença de magnitude das vibrações entre carrinhos constatou-se que as maiores diferenças entre as acelerações ocorreram entre os carrinhos 1 e 3. Além disso, para pavimentos de concreto o boneco mais leve sofreu maior influência, sendo esta proporcional à deterioração da superfície, enquanto nos pavimentos com pedras portuguesas esse fato ocorreu para os bonecos mais pesados.

## **RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS**

Aumentar o número de trechos avaliados e os estado de conservação, pois a amostra do estudo foi limitada.

Trabalhar com carrinhos que tenham estrutura diferente, por exemplo, a triangular, que possuam pneus infláveis e variação de números de rodas.

Instalar acelerômetros em outros elementos do carrinho, por exemplo, na alça para empurrar, nos eixos dos carrinhos, para determinar o aumento ou diminuição das vibrações que são percebidas por esses elementos.

Desenvolver um modelo numérico que possa representar a situação real de um carrinho de bebê em diferentes estados de conservação da calçada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMATO, A. J. (2004) *On foot: A history of walking*. University Press. Washington Square. New York, NY.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9050 (2004) *Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9283 (1996) *Mobiliário Urbano - Classificação*. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP) (2007) *Cartilha Sistemas Integrados de Calçadas*.
- BERGNER, D.; LUESSENHEIDE, J.; HALE, M (2007) *A step in the right direction: Effective sidewalk maintenance management*. APWA International Congress.
- BERTOLLO, S. A. M.; J. L. FERNANDES JÚNIOR; L. B. BERNUCCI; E. MOURA (2002) *Avaliação Laboratorial de Mistura Asfáltica Densa Modificada com Adição de Borracha*. Transportes, v. 10, n. 1.
- BRASIL (1997) *Lei n° 9503, de 23 de setembro de 1997*. Dispõe sobre o Código de Trânsito Brasileiro. Brasília.
- BURIGOTTO (2009) *Burigotto S/A - Indústria e Comércio*. Site web visitado em Agosto de 2009. Disponível em: <http://www.burigotto.com.br>.
- CTB, Código de Trânsito Brasileiro (1998) *Lei n. 9.503, de 23.09.97* (DOU 24.09.97 – Retif. DOU 25.09.97).
- COOPER, R. A.; WOLF, E. B. S.; FITZGERALD, S. G.; DOBSON, A.; AMMER, W.; BONINGER, M. L. e COOPER, R. (2002) *Evaluation of selected sidewalk pavement surfaces*. Department of Rehabilitation Science and Technology, Physical Medicine and Rehabilitation and Bioengineering. University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, EUA.
- CRUZ, M. A. S.; ARAÚJO, P. R.; SOUZA, V. C. B. (1999) *Estruturas de controle do escoamento urbano na microdrenagem*. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre: ABRH.
- DEPARTAMENT OF PUBLIC WORKS; Indiana University; Purdue University; Southeast Neighborhood Development; Great Indy Neighborhoods Initiatives (2009). *Street, Sidewalk Curb and Alley Assessment*. In: [http://www.sendcdc.org/images/publicspace/Infrastructure\\_Assessment.pdf](http://www.sendcdc.org/images/publicspace/Infrastructure_Assessment.pdf).
- FAXINA, A. L. (2002) *Estudo em Laboratório do Desempenho de Concreto Asfáltico Usinado a Quente Empregando Ligante Tipo Asfalto-Borracha*. Dissertação de M.Sc., EESC, São Carlos, SP, Brasil.
- FERRARA, R.D. (2006) *Estudo comparativo do custo x benefício entre o asfalto convencional e asfalto modificado pela adição de borracha moída de pneu*. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação do curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, SP, 96 fl.

- FERNANDES JR. J. L.; ODA, S (2000) *Resultados da Avaliação de Asfalto-Borracha Através de Ensaios Tradicionais e de Ensaios da Especificação SUPERPAVE*. In: XIVANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Gramado-RS. Panorama Nacional de Pesquisa em Transportes. Rio de Janeiro-RJ.
- FERNANDES, J. C.; FERNANDES, M. R. M. (2000) *Guia para avaliação da exposição humana à vibrações de corpo inteiro* - Tradução da Norma ISO 2631. Copenhagen: Norma ISO. (Tradução/Outra).
- FERNANDES, J. C. (2000) *Segurança nas Vibrações sobre o Corpo Humano* - Apostila.
- FIGUEIREDO L. J; GAFANIZ A. R.; LOPES G. S.; PEREIRA R. (2007) *Aplicações de Acelerômetros*. Monografia. Instrumentação e Aquisição de Sinais. Lisboa, Portugal.
- FEDERATION OF CANADIAN MUNICIPALITIES AND NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2004). *Sidewalk Design. Construction and Maintenance*. Issue. Nº 1.0. July.
- FERREIRA, M. A. G.; SANCHES, S. P. (2008) *Características priorizadas pelos cadeirantes na avaliação de calçadas e travessias urbanas*. In: XV PANAM - Congreso Panamericano de Ingeniería de Transporte y Transito, 2008, Cartagena de Índias, Colômbia. Actas del XV PANAM – Congreso Panamericano de Ingeniería de Transporte y Transito.
- FONTANEL B. (1998) *Babies Celebrated*. Harry N. Abrams. p 250 pages. ISBN 0-8109-4012-4.
- JPMA - JUVENILE PRODUCTS MANUFACTURERS ASSOCIATION. Disponível em: <http://www.jpma.org>. Acesso: 02/03/2009.
- GERGES, S. N. Y. (2005) *Ruídos e vibrações veiculares*. S. N. Y. Gerges, 1a edição.
- GALZERANO (2009). *Galzerano IND Carrinhos e Barços LTDA*. Siteweb visitado em Agosto de 2009. Disponível em: <http://galzerano.com.br>.
- GOLD, P. A. (2003) *Melhorando as Condições de Caminhada em Calçadas*. São Paulo- SP.
- GOLDMANN, D.E. & Von GEIERKE, M.R. (1960). *The Effects of Shock and Vibration on Man*, Medical Research Institute. Bethesda Maryland lecture and review series Nº 60-3. USA.
- GREEN, P. J. (1998) Binders. In: Nicholls, J.C. (eds.) *Asphalt Surfacing*. E&FN Spon. Londres, Inglaterra.
- IBGE (2009). *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 24.11.2009.
- GROM (2009) *Grom Acústica e Automação*. Siteweb visitado em Agosto de 2009. Disponível em: <http://www.grom.com.br>.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (1997). *Mechanical Vibration and Shocks – Evaluation os Human Exposure to Whole Body Vibration – Part 1: General Requiriments: ISO 2631/1*. Second Edition. Geneve.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2001). *Mechanical Vibration – Measurement andevaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 1: General Requiriments: ISO 5349/1*. Second Edition. Geneve.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (1990). *Human response to vibration – Measurement instrumentation – Part 1: General Requiriments: ISO 8041*. First Edition. Geneve,.

- KARIM N. (2001) *HowStuffWorks*. Publicado em 05 de fevereiro de 2005  
<http://carros.hsw.uol.com.br/karim-nice.htm>.
- MICHAEL, R. (2006) *Sidewalk Management*. APWA Congress. Kansas City, Missouri.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES (2006) *Brasil Acessível. Programa Brasileiro de Acessibilidade Urbana*. Caderno 2. Brasília.
- PEREIRA, C. C. G. (2005) *Curvas de Percepção e Conforto Humano para Vibrações Verticais*. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, MG, 168fl.
- POLASTE B.; SANTOS D. L. (2006) *Concreto Permeável*. Universidade de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. São Paulo.
- PMS - PREFEITURA MUNICIPAL DE SERRA (2008) Secretaria Municipal de desenvolvimento Urbano. *Projeto Calçada Legal*. Espírito santo.
- RAJANI, B. (2002) *Behaviour and Performance of Concrete Sidewalks*. National Research Council of Canada, Construction Technology Update No. 53.
- RAJANI, B.; ZHAN, C. (1997) *Performance of Concrete Sidewalks: field studies*. Canadian Journal of Civil Engineering, 24: 303–312.
- REGAZZI, R. D. e XIMENES, G. M. (2005) *A Importância da Avaliação da Vibração no Corpo Humano*. IMETRO. Rio de Janeiro, Brasil.
- RUBBERSIDEWALKS (2009). Rubbersidewalks, Inc. In: <http://www.rubbersidewalks.com/default.aspx>  
Sítio web visitado em 07 de Julho de 2009.
- SANTOS, L. M. (2002) *Desenvolvimento Metodológico de Processo para Valoração de Defeitos de Calçadas*. Tese de Mestrado – Universidade de Brasília, UnB. Brasília, DF.
- SHAHIN, M. Y. (1994) *Pavement management for airports, roads and parking lots*. Kluwer Academic Publishers.
- SHAHIN, M. Y. (2005) *Pavement management for airports, roads and parking lots*. Kluwer Academic Publishers.
- TECNOGRAN (2009). Tecnogran do Brasil. In: [www.tecnogran.com.br/drenante/index.html](http://www.tecnogran.com.br/drenante/index.html) Sítio web visitado em 07 de Julho de 2009.
- YAMANAKA, T. (1999)a *Subjective Factors for the Feel of Ride of the Baby Buggy*. University of Tsukuba. Japan.
- YAMANAKA, T. (1999)b *Vibrational Characteristics of the Baby Buggy and Subjective Factors for the Feel of Ride*. University of Tsukuba. Japan.
- WEIS, J.P.E (2006) *Sidewalk defects*. Omnni Associates, Inc. Appleton. WI.
- WESSELING, D. H. (2005) *Estudo do comportamento mecânico de misturas em concreto asfáltico com incorporação de resíduos industriais*. Dissertação de M.Sc., Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. 144fl.

## ANEXO A – REVISÃO DE CONCEITOS DE ESTATÍSTICA

A partir dos dados coletados e posteriormente tabulados, realizou-se Análise de Variância e Teste de Kruskal-Wallis. Essas análises permitiram determinar se as acelerações medidas nos bonecos de testes em diferentes posições apresentavam diferença estatística.

### *Análise de Variância e Teste de Kruskal - Wallis*

A Análise de Variância (ANOVA) é um procedimento utilizado para comparar três ou mais tratamentos. Existem muitas variações da ANOVA devido aos diferentes tipos de experimentos que podem ser realizados.

A principal aplicação da ANOVA (Analysis of Variance) é a comparação de médias oriundas de grupos diferentes, também chamados tratamentos, como por exemplo, médias históricas de questões de satisfação, empresas que operam simultaneamente com diferentes rendimentos, entre muitas outras aplicações.

Em um experimento, cada observação  $Y_{ij}$  pode ser decomposta conforme o modelo a seguir:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \quad i=1, \dots, I \text{ e } j=1, \dots, J \quad (\text{A.1})$$

Onde:

$Y_{ij}$  é a observação de  $i$ -ésimo tratamento na  $j$ -ésima unidade experimental ou parcela;

$\mu$  é o efeito constante (média geral)

$\tau_i$  é o efeito do  $i$ -ésimo tratamento;

$\epsilon_{ij}$  é o erro associado ao  $i$ -ésimo tratamento na  $i$ -ésima unidade experimental ou parcela assumindo como:  $\epsilon_{ij} \stackrel{\text{IID}}{\sim} N(0, \sigma^2)$ . Aqui, IID significa que os erros devem ser independentes e identicamente distribuídos.

Em um experimento, existe o interesse em testar se há diferença entre as médias dos tratamentos, o que equivale a testar as hipóteses:

$$\begin{cases} H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_I \\ H_1 : \mu_1 \neq \mu_{i'} \text{ para pelo menos um par } (i, i'), \text{ com } i \neq i' \end{cases}$$

Onde:

$$\mu_i = \mu + \tau_i \quad i = 1, 2, \dots, I. \quad (\text{A.2})$$

De forma equivalente, pode-se escrever tais hipóteses da seguinte forma:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_i = 0 \\ H_1 : \tau_i \neq 0 \text{ para pelo menos um } i. \end{array} \right.$$

Se a hipótese nula for verdadeira, todos os tratamentos terão uma média comum  $\mu$ .

A ideia, na Análise de Variância (ANOVA), é comparar a variação devida aos tratamentos com a variação devida ao acaso ou resíduo. Para calcular a ANOVA, os graus de liberdade deverão ter:

- a) Tratamentos =  $k - 1$ ;
- b) Total =  $kr - 1$ ;
- c) Resíduo =  $k(r-1)$ .

O fator de correção:

$$C = \frac{(\sum y)^2}{n} \quad (\text{A.3})$$

A soma do quadrado total:

$$SQ_{Tot} = \sum y^2 - C \quad (\text{A.4})$$

Soma dos quadrados de tratamentos:

$$SQ_{Trat} = \frac{\sum T^2}{r} - C \quad (\text{A.5})$$

Soma dos quadrados dos resíduos:

$$SQ_{Res} = SQ_{Tot} - SQ_{Trat} \quad (\text{A.6})$$

Quadrado médio de tratamento:

$$QM_{Trat} = \frac{SQ_{Trat}}{k - 1} \quad (A.7)$$

Quadrado médio do resíduo:

$$QM_{Res} = \frac{SQ_{Res}}{k(r - 1)} \quad (A.8)$$

Valor de F:

$$F = \frac{QM_{Trat}}{QM_{Res}} \quad (A.9)$$

O valor-p é um procedimento de teste equivalente que usa a probabilidade de significância, a qual é calculada pela maioria dos programas estatísticos. O valor-p representa a probabilidade de ser obtida uma observação da distribuição F com  $k - 1$  e  $k(r - 1)$  graus de liberdade maior ou igual ao valor observado pela  $F_{calc}$ . Se o valor-p calculado for menor que  $\alpha$ , rejeita-se  $H_0$ , caso contrário, se o valor-p for maior ou igual que  $\alpha$  aceita-se  $H_0$ .

Em outras palavras, o valor-p é a probabilidade, sob  $H_0$ , de ocorrência do valor particular observado para a estatística de teste ou de valores mais extremos. A probabilidade de significância de um teste mede a força da evidência contra  $H_0$  em uma escala numérica. Um valor-p pequeno indica uma forte justificativa (evidência) para a rejeição de  $H_0$ .

Uma análise de variância permite que vários grupos sejam comparados a um só tempo, utilizando variáveis contínuas. O teste é paramétrico (a variável de interesse deve ter distribuição normal) e os grupos têm que ser independentes.

Considerando uma variável de interesse com média  $\mu$  e variância  $\sigma^2$  tem-se dois estimadores de  $\sigma^2$ :

$S_E^2$  = dispersão entre os grupos, que em inglês é representado por  $S_B^2$  (between).

$S_D^2$  = dispersão dentro dos grupos, que em inglês é representado por  $S_W^2$  (within).

A análise de variância exige que os erros  $\varepsilon_{ij}$  tenham distribuição normal e devendo haver homocedasticidade entre os tratamentos (variância homogênea). Estes pressupostos nem sempre são satisfeitos em um experimento ou conjunto de dados.

Como uma alternativa à análise paramétrica para um delineamento completamente casualizado,  $k \geq 3$  tratamentos, existe o teste de Kruskal-Wallis. Este teste pode ser utilizado para testar a hipótese  $H_0: H_1 = H_2 = \dots = H_k$ . Neste caso não há suposições com relação à normalidade e homocedasticidade dos dados. No entanto para a utilização deste teste, a variável em estudo deve ser contínua e as observações devem ser independentes.

A análise consiste em obter o posto de cada uma das observações. Adota-se que o menor valor recebe (ranking ou posto) 1, o segundo 2 e assim por diante, até que todas as observações tenham sido consideradas. Quando ocorrem empates, atribui-se o valor médio entre as observações, ou seja, atribui-se a média das ordens que seriam atribuídas a elas se não ocorresse o empate. Se, por exemplo, as duas menores observações forem iguais há um empate. Neste caso, cada uma recebe o posto 1,5 que é a média dos valores 1 e 2.

Para testar a hipótese nula, utiliza-se a seguinte estatística de teste:

$$H = \frac{12}{N(N-1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1) \quad (\text{A.10})$$

Onde:

$N$  = número total de observações;

$k$  = número de tratamentos;

$n_j$  = número de observações no  $j$ -ésimo tratamento;

$R_j$  = soma dos postos do  $j$ -ésimo tratamento.

Rejeita-se  $H_0$  se  $H \geq X^2$  com  $k - 1$  graus de liberdade ao nível  $\alpha$  de significância.

Se ocorrerem empates, a estatística de teste  $H$  deve ser corrigida com a seguinte expressão:

$$C = 1 - \sum \frac{\binom{3-t_i}{3}}{N^3 - N} \quad (\text{A.11})$$

Onde  $t_i$  é o número de observações empatadas no  $i$ -ésimo grupo. Assim, tem-se a estatística corrigida:

$$H_1 = \frac{H}{C} \quad (\text{A.12})$$

Para testar  $H_0$ , procede-se exatamente como se não houvesse empates.

#### *Modelização para variáveis não numéricas*

A inclusão de categorias não numéricas no modelo de regressão deve fazer-se recorrendo a variáveis binárias. No caso mais simples, em que há duas características (A e B), cria-se uma variável  $X_1$  (“variável dummy”), com dois valores possíveis, correspondendo cada um a uma das categorias. Os dois valores costumam ser 0 e 1, mas pode ser usado qualquer par de números. Se houver “ $c_n$ ” categorias, deverão criar-se as variáveis binárias necessárias para definir todas as categorias.

#### *Regressão Linear e Coeficiente de Determinação ( $R^2$ )*

A regressão nasce da tentativa de relacionar um conjunto de observações de certas variáveis, designadas genericamente por  $X_k$  ( $k=1\dots p$ ), com as leituras de certa grandeza  $Y$ . No caso da regressão linear, está subjacente uma relação do tipo:

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_p X_p \quad (\text{A.13})$$

Onde:

$Y$  = variável dependente;

$a, b_1, b_2, \dots, b_p$  = parâmetros da relação linear procurada;

$X_1, X_2, \dots, X_p$  = variáveis independentes.

O objetivo pode ser explicativo (demonstrar uma relação matemática que pode identificar, mas não prova uma relação de causa-efeito) ou preditivo (obter uma relação que permita, perante futuras observações das variáveis  $X_k$ , prever o correspondente valor de  $Y$ , sem necessidade de medir). Independentemente dos objetivos, as variáveis  $X_k$  são muitas vezes

designadas por variáveis explicativas, uma vez que tentam explicar as razões da variação de Y.

Supondo que se dispõe de  $n$  conjuntos de medidas com as correspondentes observações, a utilização do modelo incluirá sempre uma parcela de erro. Utilizando o índice  $i$  ( $i=1\dots n$ ) para indicar cada conjunto, se terá:

$$y_i = a + b_1 + X_i b_1 + b_2 X_i b_2 + \dots + b_p X_i b_p + e_i \quad i=1\dots n \quad (\text{A.14})$$

Independentemente das motivações, a versão da regressão linear que aqui se apresenta consiste em estimar os valores dos parâmetros  $a, b_1, b_2 \dots b_p$ , por meio da minimização da soma dos quadrados dos desvios. Daí o nome “método dos mínimos quadrados” que às vezes se utiliza nomeadamente para a regressão simples ( $p=1$ ). O termo multi-regressão é usado para explicar o caso  $p>1$ . Neste ponto, é conveniente definir:

|  |   |
|--|---|
| $\mathbf{y} = [y_1 y_2 \dots y_n]'$            | vetor de leituras   |
| $\mathbf{x}_k = [x_{1k} x_{2k} \dots x_{nk}]'$ | vetor das observações de cada variável $X_k$                        |
| $\mathbf{X} = [x_1 x_2 \dots x_p]'$            | matriz de observações (elementos $x_{ik}, i=1\dots n, k=1\dots p$ ) |
| $\mathbf{b} = [ab_0]' = [ab_1 b_2 \dots b_p]'$ | vetor de parâmetros   |
| $\mathbf{e} = [e_1 e_2 \dots e_n]'$            | vetor de erros  |
| $\mathbf{1} = [1 \dots 1]$                     | vetor unitário de dimensão $n$                                      |
| $\mathbf{X}_a = [1 x_1 x_2 \dots x_p]$         | matriz ampliada de observações ( $i=0\dots n, k=0\dots p$ )         |

Com estas definições, é possível reescrever a Equação 5.6 de forma compacta:

$$\mathbf{y} = \mathbf{a} \cdot \mathbf{1} + \mathbf{X} \cdot \mathbf{B}_0 + \mathbf{e} \quad (\text{A.15})$$

Ou

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}_a \cdot \mathbf{b} + \mathbf{e} \quad (\text{A.16})$$

Escrevendo em forma de função, tem-se:

$$Y = f(\mathbf{X}) + \varepsilon \quad (\text{A.17})$$

Onde:

$Y$  = variável resposta ou dependente;

$F$  = descreve a relação entre  $X$  e  $Y$ ;

$X$  = variável independente, concomitante, covariável ou variável preditora

$\varepsilon$  = erro aleatório.

O caso mais simples de regressão é quando se tem duas variáveis e a relação entre elas pode ser representada por uma linha reta. É a chamada regressão linear simples.

Para a construção de um modelo de regressão, devem-se seguir três etapas, que são:

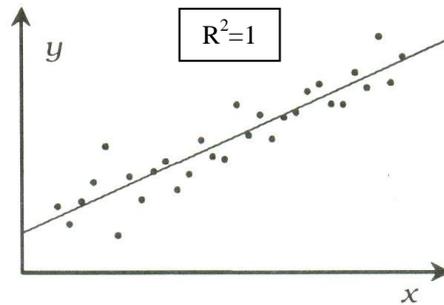
- I) Seleção das variáveis preditoras;
- II) Escolha do modelo de regressão;
- III) Abrangência do modelo.

O grande problema em estudos observacionais é escolher um conjunto de variáveis que podem ou devem ser incluídas no modelo. Pode-se usar um modelo teórico, neste caso, devem ser usadas aproximações por modelos polinomiais. Geralmente é necessário restringir a abrangência do modelo para alguns valores ou região da(s) variável(is) preditora(s).

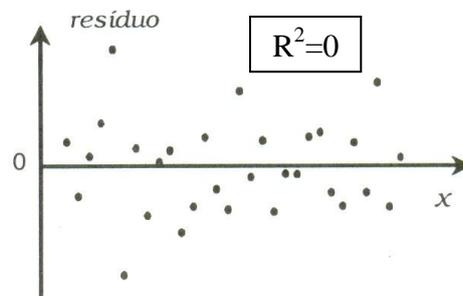
Para além de pressupostos gerais acerca da correta especificação do modelo e da medição sem erros das variáveis observadas, um pressuposto importante para todo o desenvolvimento é de que os erros do modelo têm média nula, não estão correlacionados e têm variância constante. A não verificação desses pressupostos faz com que muitas das regressões deixem de fazer sentido, pois foram deduzidas a partir dessa hipótese.

Uma condição adicional para os erros do modelo é de que estejam normalmente distribuídos. Não sendo essencial para a derivação das expressões de cálculo das estimativas dos parâmetros, este pressuposto é indispensável para todas as hipóteses e derivação de intervalos de confiança e, em geral, para toda a validação estatística dos resultados.

O coeficiente de determinação  $R^2$  representa o quanto da variabilidade total dos dados é explicado pelo método da regressão. Quanto maior o  $R^2$ , mais a variação total de Y é reduzida pela introdução da variável independente X no modelo.



**Figura A.1** – A variável preditora X é responsável por toda a variação nas observações  $Y_i$



**Figura A.2** – A variável preditora X não ajuda na redução da variação  $Y_i$  com a regressão linear