

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**Conforto em Edifícios Altos Excitados pelo Vento:
uma abordagem metanalítica**

Samuel Salomão Gonçalves Bandeira

Porto Alegre
2019

Samuel Salomão Gonçalves Bandeira

Conforto em Edifícios Altos Excitados pelo Vento: uma abordagem metanalítica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Porto Alegre
2019

Samuel Salomão Gonçalves Bandeira

**Conforto em Edifícios Altos Excitados pelo Vento:
uma abordagem metanalítica**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Área de Concentração Estruturas, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 23 de abril de 2019

Prof. Acir Mércio Loredou-Souza
PhD, The University of Western Ontario
Orientador

Prof. Marcelo Maia Rocha
Dr.techn., Universitaet Innsbruck
Co-orientador

Prof. Nilo Cesar Consoli
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Gustavo Javier Zani Núñez
D. Sc., Universidade Federal do Rio Grande
do Sul

Mario Gustavo Klaus Oliveira
D. Sc., Universidade Federal do Rio Grande
do Sul

Zacarias Martin Chamberlain Pravia
D.Sc, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Dedico este trabalho ao meu irmão, Tiago.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe que sempre esteve ao meu lado, me dando apoio para prosseguir em todos os momentos, principalmente naqueles em que eu pensava em desistir. Ao meu pai que sempre me doou palavras de incentivo. E aos meus familiares que me acompanharam nessa jornada, sendo compreensíveis em ocasiões que não pude estar presente devido aos momentos incessantes de estudo. Muito obrigado.

Agradeço a meu orientador professor Acir pela paciência e pelo conhecimento que ele tem repassado para mim. Obrigado, professor.

Aos meus amigos Janelson e Bruna que nesses últimos 10 anos sempre me apoiaram. Obrigado pela amizade!

Ao meu amigo do mestrado Augusto que foi essencial para que eu continuasse no programa. À minha amiga Mari que sempre esteve presente para uma boa conversa. Aos amigos Luciana, Matheus Wanglon e Natália. Obrigado pela amizade nesse mestrado.

Agradeço ao ex-presidente Luiz Inácio Lula da Silva, à ex-presidenta Dilma Rousseff e ao ex-ministro da educação Fernando Haddad pela criação de políticas públicas sociais que permitiram a inserção de jovens, como eu, na ciência do Brasil.

À Eliana e Lucia, duas amigas da minha família que sempre me apoiaram nas minhas conquistas.

Ao PPGEC e à CAPES pelo apoio estrutural e financeiro.

RESUMO

BANDEIRA, S. S. G. **Conforto em Edifícios Altos Excitados pelo Vento: uma abordagem metanalítica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

Estruturas verticais estão ficando cada vez mais altas devido ao aumento da urbanização e adensamento das cidades. De acordo com a sua esbeltez inerente, resultando em baixos valores de frequência natural, esses prédios estão suscetíveis a vibrações induzidas pelo vento podendo causar desconforto para os ocupantes. Já pequenos e perceptíveis níveis de aceleração com gamas de frequências baixas relevantes para vibrações de corpo inteiro podem causar náuseas e desconforto, enquanto altos níveis de aceleração podem ser alarmantes e causar medos aos ocupantes. Esse trabalho propõe uma revisão literária sistemática em termos de metanálise com os estudos empíricos da área de conforto em edifícios altos. A metanálise foi segmentada na verificação do viés de publicação, sensibilidade das metodologias e verificação dos estimadores de aceleração. Além disso, uma comparação dos resultados dos critérios de limite de aceleração obtidos a partir da metanálise com as principais normas de conforto vigentes é realizada. Por fim, uma recomendação para a atualização da norma NBR 6123:1988 é feita. A metanálise utilizou dois modelos de efeitos, o de efeitos fixos sendo o método da máxima verossimilhança (MLE) e o de DerSimonian & Laird/Método dos momentos (MOM) para o modelo de efeitos aleatórios, no qual os resultados foram os mesmos para ambos. O critério final proposto tem limites inferiores e próximos à norma ISO 10137(2007) e similar à curva H-70 do critério da AIJ-GEH. Com relação à norma NBR 6123:1988, os limites de percepção de aceleração são maiores a uma frequência de aproximadamente 0,3 Hz e inferiores a partir disso.

Palavras-chave: *Conforto Humano; Ação Dinâmica do Vento; Edifícios Altos; NBR 6123.*

ABSTRACT

BANDEIRA, S. S. G. **Comfort in Wind-Induced Tall Buildings: the Meta-Analysis in Human-Structure Interaction**. Dissertation (Masters in Engineering) – Civil Engineering Graduate Program, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

Vertical structures are getting higher due to increased urbanization and densification of cities. According to their inherent slenderness, resulting in low natural frequency values, these buildings are susceptible to wind-induced vibrations in which can cause discomfort to the occupants. Already small and noticeable levels of acceleration with low frequency ranges relevant to whole body vibrations can cause nausea and discomfort, while high levels of acceleration can be alarming and cause fear among occupants. This research proposes a systematic literary review in terms of meta-analysis about empirical studies of comfort field in high-rise buildings. This research proposes a systematic literary review in terms of meta-analysis with the empirical studies of the comfort in high-rise buildings field. The meta-analysis was segmented in the verification of the publication bias, sensitivity of the methodologies and verification of the acceleration estimators. In addition, a comparison of the acceleration limit results criteria obtained from the meta-analysis with the main current comfort standards is performed. Finally, a recommendation for updating the NBR 6123: 1988 standard is made. The meta-analysis used two effects models, the fixed effects being the maximum likelihood (MLE) and the DerSimonian & Laird / Method of moments (MOM) for the random effects model, in which the results were the same for both. The proposed final criterion has lower and approximate limits to ISO 10137 (2007) and similar to the H-70 curve of the AIJ-GEH criterion. With respect to standard NBR 6123: 1988, the limits of perception of acceleration are greater at a frequency of approximately 0.3 Hz and lower therefrom.

Keywords: *Human Comfort; Dynamic Wind Action; High Buildings; NBR 6123.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Edifícios acima de 150 m construídos mundialmente	26
Figura 2 – Edifícios acima de 100 m construídos no Brasil	27
Figura 3 – Simulador HKUST de vibração biaxial (a) parte externa (b) parte interna	42
Figura 4 – “ <i>VSimulators: Human factors simulation for motion and serviceability in the built environment</i> ” (a) simulador em Bath (b) simulador em Exeter	46
Figura 5 – Gráfico funil da metanálise dos efeitos da sindicalização na produtividade	55
Figura 6 – Gráfico funil da metanálise das elasticidades de preço na demanda de água	56
Figura 7 – Gráfico Galbraith da metanálise dos efeitos da sindicalização na produ- tividade	56
Figura 8 – Dados extraídos: (a) média (b) desvio-padrão	59
Figura 9 – Curvas de distribuição acumulada log-normais	62
Figura 10 – Curvas CDF de NC10	64
Figura 11 – Diagrama de caixa dos dados	65
Figura 12 – Gráfico de funil dos dados – f: 0.125 Hz – 0.2 Hz	67
Figura 13 – Gráfico de funil dos dados - f : 0.25 Hz – 0.315 Hz	68
Figura 14 – Gráfico de Galbraith	69
Figura 15 – Resultados dos estimadores de percepção de aceleração com o método MLE	71
Figura 16 – Curvas de função de distribuição log-normal acumulada dos resultados da metanálise	73
Figura 17 – Comparação das ondas senoidais e aleatórias para a direção uniaxial e orientação do corpo (a) frontal e (b) lateral	74
Figura 18 – Comparação das ondas senoidais e aleatórias de SK93	75
Figura 19 – Sensibilidade da forma da onda	76
Figura 20 – Sensibilidade da orientação do corpo	77
Figura 21 – Sensibilidade da trajetória da onda	78
Figura 22 – Sensibilidade da postura corporal	79
Figura 23 – Regressão dos dados para 1% e 2% de TCA	80
Figura 24 – Comparação dos diferentes períodos de retorno com TCA de 2%	82
Figura 25 – Comparação do critério com as normas - $T = 1$ ano	83
Figura 26 – Comparação do critério com as normas – $T = 5$ anos	84
Figura 27 – Comparação do critério com as normas – $T = 10$ anos	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa de perdas na produção em edifícios altos excitados pelo vento	35
Tabela 2 – Comparação dos limites de percepção de vários autores	44
Tabela 3 – Resumo dos estimadores para os modelos de efeitos fixos e efeitos aleatórios	53
Tabela 4 – Critérios de Exclusão/Seleção	59
Tabela 5 – Descrição dos Critérios dos Trabalhos Excluídos	60
Tabela 6 – Estratificação dos Dados	61
Tabela 7 – Resultados da análise por Dersimonian e Laird (1986)/Momentos . . .	72
Tabela 8 – Regressão exponencial para 1% e 2% de TCA com 95% de intervalo de confiança	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIJ	Architectural Institute of Japan
cdf	Cumulative distribution function
CTBUH	Council on Tall Buildings and Urban Habitat
DIN	Deutsches Institut für Normung
DP	Desvio-padrão
erf	Função Erro
ISO	International Organization for Standardization
LP	Limite de percepção de aceleração
MLE	Máxima verossimilhança
mG	milímetro da gravidade
NBCC	National Research Council of Canada
ND	Não disponível
RMLE	Máxima verossimilhança restrita
RMS	Root Mean Square
SE	Erro padrão
TCA	Taxa de comentários adversos
TE	True effect

LISTA DE SÍMBOLOS

s^2	Variância do Estudo
θ	Média do Estudo
τ^2	Varância entre os Estudos
B_i	Fator de encolhimento
p	Distribuição posteriori
$g(V)$	Função dos Parâmetros
Y_i	Parâmetro estatístico de estimativa de um estudo
χ_{k-1}^2	Qui-quadrado
μ	Parâmetro de localização
θ	Parâmetro de escala

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	PREÂMBULO	25
1.2	RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVAS	25
1.3	QUESTÃO DA PESQUISA	27
1.4	METODOLOGIAS	28
1.5	OBJETIVOS DO TRABALHO	29
1.6	ESTRUTURA	29
2	FISIOLOGIA E PSICOLOGIA DA PERCEPÇÃO DE VI- BRAÇÃO	31
2.1	MECANISMOS DE PERCEPÇÃO	31
2.1.1	Sinais Visuais	31
2.1.2	Percepção Sonora	33
2.2	EFEITOS NOS OCUPANTES	33
2.2.1	<i>Motion Sickness</i>	33
2.2.2	Síndrome de Sopite e Performance no Trabalho	34
2.3	Habituação	35
3	CONFORTO EM EDIFÍCIOS ALTOS EXCITADOS PELO VENTO	37
3.1	PRIMEIRAS EVIDÊNCIAS CIENTÍFICAS	37
3.2	PESQUISAS E ENSAIOS EMPÍRICOS	38
4	REVISÃO SISTEMÁTICA E METANÁLISE	47
4.1	METANÁLISE	47
4.1.1	Domínio da Pesquisa Bibliográfica	47
4.1.2	Modelagem da Variação na Metanálise	48
4.1.2.1	Modelo de Efeitos Fixos	48
4.1.2.2	Modelo de Efeitos Aleatórios	48
4.1.3	Inferência Estatística	49
4.1.3.1	Teste de Homogeneidade	49
4.1.3.2	Modelo dos Efeitos Fixos	50
4.1.3.3	Modelo dos Efeitos Aleatórios	50
4.1.4	Diagnóstico	52
4.1.4.1	Análise de Sensibilidade	52
4.1.4.2	Viés de Publicação	54

5	PRÉ-ANÁLISE DOS DADOS	57
5.1	CARACTERÍSTICAS DO LEVANTAMENTO	57
5.2	TRABALHOS EXCLUÍDOS	58
5.3	TRABALHOS SELECIONADOS	58
5.4	EXTRAÇÃO DOS DADOS DE ID NC10A E WJ08A	62
5.5	DIAGRAMA DE CAIXA	63
5.6	VIÉS DE PUBLICAÇÃO	65
5.6.1	Tipo I	65
5.6.2	Tipo II	66
6	METANÁLISE	71
6.1	MÉTODO DA MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA – EFEITO FIXOS	71
6.2	MÉTODO DE DERSIMONIAN & LAIRD/MOMENTOS – EFEITO ALEATÓRIOS	72
6.3	SENSIBILIDADE DAS METODOLOGIAS DE ENSAIO	74
6.3.1	Forma de Onda	74
6.3.2	Sinais Visuais	75
6.3.3	Orientação do Corpo	76
6.3.4	Trajectoria da Onda	77
6.3.5	Postura Corporal	78
6.4	CRITÉRIO CONFORTO	79
6.4.1	Período de Retorno	80
6.4.2	Comparação com Normas	81
7	CONCLUSÃO	85
7.1	DOS DADOS ADQUIRIDOS	85
7.2	DA DISTRIBUIÇÃO DOS DADOS	85
7.3	DA VIÉS DE PUBLICAÇÃO	85
7.4	DA METANÁLISE	86
7.5	DA SENSIBILIDADE DAS METODOLOGIAS	86
7.6	DOS CRITÉRIOS	87
7.7	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	88
	REFERÊNCIAS	89
	ANEXOS	99
	ANEXO A – TRABALHOS CADASTRADOS	101

ANEXO B – DADOS EXTRAÍDOS	117
-------------------------------------	-----

1 INTRODUÇÃO

1.1 PREÂMBULO

Este trabalho é uma continuação da pesquisa de [Zatti \(2016\)](#), no qual o autor descreveu qualitativamente e quantitativamente os procedimentos e formulações relacionadas à percepção e à tolerância humana, bem como as metodologias de determinação das acelerações. O presente trabalho irá focar na metanálise das pesquisas relacionadas à conforto, para assim, em conjunto, verificar tais critérios.

1.2 RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVAS

O desempenho de edifícios altos sob a ação do vento é uma área relativamente nova no ramo da engenharia estrutural e está se tornando uma crescente preocupação. Historicamente, as estruturas eram compostas de materiais que estavam prontamente disponíveis no local da construção ou perto deles. A altura e a resistência dessas estruturas eram limitadas apenas pela resistência dos materiais. À medida que a tecnologia melhorou e os materiais de construção ficaram mais disponíveis, a altura das estruturas aumentou. Essas novas estruturas são menos densas que suas antecessoras, com maior flexibilidade e com menor amortecimento estrutural. Como resultado, esses edifícios são mais suscetíveis ao movimento induzido pelo vento e as técnicas de projeto para estruturas que resistam ao vento estão se tornando uma área de grande importância.

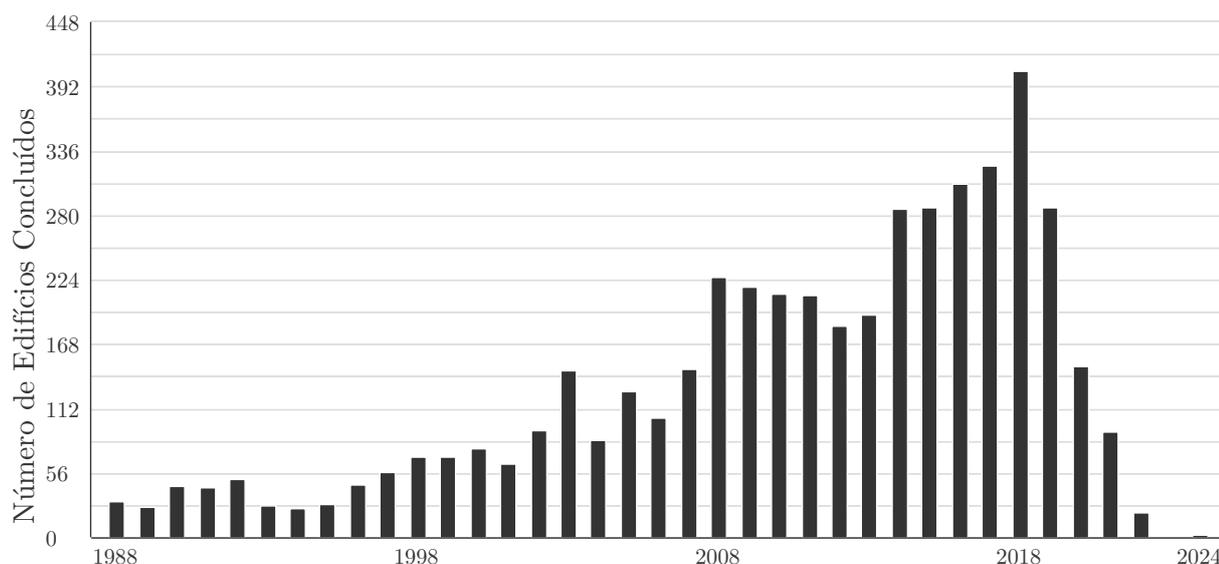
A definição do que seria um edifício alto é incerta e ambígua na prática de projeto. [Fu \(2018\)](#) afirma que há um senso comum que edifícios com menos de 8 pavimento é considerado baixo, entre 8 e 20 como medianos e a partir de 20 como altos. Entretanto, com a publicação dos 20 maiores edifícios do mundo até 2020 que vão de 492 m a 1000 m pelo [Council on Tall Buildings and Urban Habitat \(CTBUH\) \(2011\)](#), essa definição pode ser imprecisa. Além disso, a própria [Council on Tall Buildings and Urban Habitat \(CTBUH\) \(2015\)](#), nos seus critérios de altura, não definiu a altura de um edifício alto, considerando edifícios menores que 300 m como altos e acima disso como super altos e mega altos. Portanto, o que deve ser considerado como edifício alto fica na dependência da construção de outros edifícios desse porte, ou seja, a definição é dinâmica e comparativa.

Um marco importante para o início das construções de edifícios altos é a catedral *Ulm Minster* na Alemanha, que foi construída em 1890 e era considerada a edificação mais alta de 161,53 m até ser superada pelo *Philadelphia City Hall* em 1901 que tinha 167 m. No século 19, com o desenvolvimento de estruturas de aço, houve uma expansão da

quantidade de edifícios altos até os dias de hoje.

A [Figura 1](#) demonstra um gráfico da quantidade de edifícios altos acima de 150 m construídos nos últimos 30 anos. É notável o crescimento acelerado desse tipo de edificação nos últimas décadas. Atualmente, de acordo com a [Council on Tall Buildings and Urban Habitat \(CTBUH\) \(2017\)](#), 160 edifícios acima de 200 m devem ser finalizados até o fim de 2018.

Figura 1 – Edifícios acima de 150 m construídos mundialmente



Fonte: cortesia do Council on Tall Buildings and Urban Habitat

No contexto brasileiro não seria diferente. Os edifícios mais altos atingem alturas acima de 200 m, por exemplo, o mais alto, o Yachthouse Residence Club em Balneário Camboriú, atingirá 271,4 m em 2019. A [Figura 2](#) demonstra a quantidade e altura dos edifícios acima de 100 m construídos ou no mínimo com a estrutura completa no Brasil. Entretanto, apesar dessa evolução no crescimento desse tipo de construção, de acordo com [Rocha e Loredou-Souza \(2011\)](#), os edifícios altos têm rigidez e amortecimento baixos, o que ocasiona baixas frequências naturais e, por consequência, maiores níveis de vibração, reduzindo o conforto humano quando excitados pelo vento.

Essas vibrações em edifícios excitados pelo vento podem ser perceptíveis para os ocupantes, podem causar medo e inquietação e causar sintomas de *motion sickness* ([BURTON et al., 2006](#); [GOTO, 1983](#); [HANSEN et al., 1973](#); [LEE, 1983](#)). Além disso, podem interferir na performance nos trabalhadores em edifícios comerciais, ocasionando sintomas como tonturas, dificuldade de concentração e náuseas ([LAMB et al., 2013](#)).

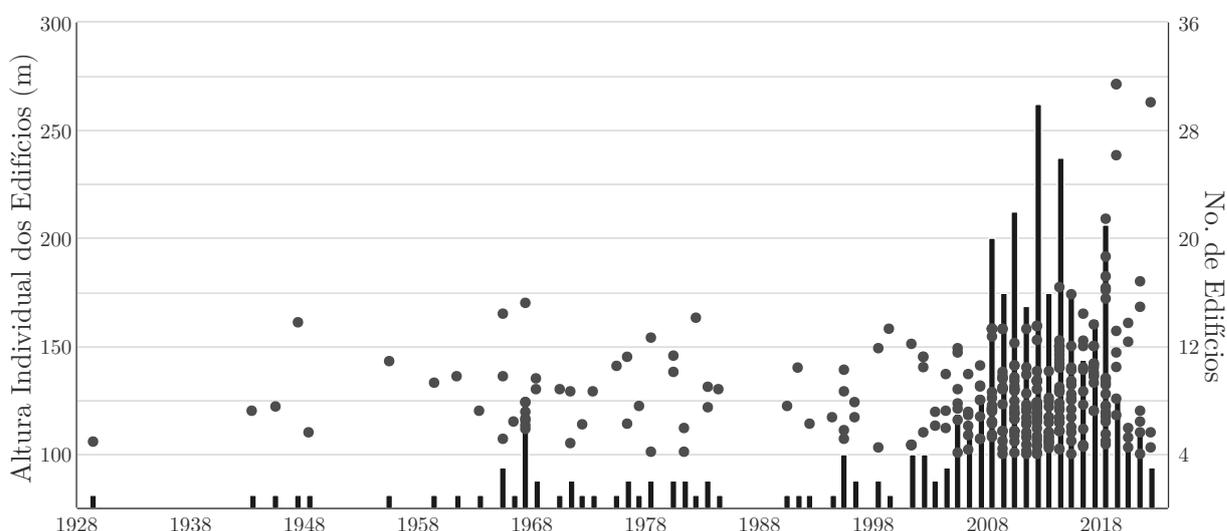
Apesar de existir normas e diretrizes de projeto que guiam o assunto e critérios de percepção, aceitabilidade e tolerância elaborados por uma gama de pesquisas, essas

normas e estudos não entram em consonância por prováveis diferenças de metodologias aplicadas ou parâmetros subjacentes adotados. Além disso, a subjetividade de resposta do conforto humano pode estar relacionada com essas diferenças. A única semelhança entre essas normas e estudos é que o as vibrações dos edifícios altos induzidas pelo vento interferem no conforto humano.

A metanálise, ferramenta criada para solucionar uma “crise” nas pesquisas da área de economia (STANLEY; JARRELL, 1989), vem sendo amplamente utilizada nas áreas que estudam o ser humano, como medicina e ciências sociais, por ser útil para lidar com essas incompatibilidades relacionada aos estudos do ser humano. Por esses critérios e normas abordarem a interação humano-estrutura, como justificativa, a metanálise desses estudos pode ser essencial para solucionar as diferenças dos resultados e ampliar as semelhanças entre eles.

A NBR 6123:1988 (ABNT, 1988) apresenta o seu critério de conforto de que a máxima aceleração não pode ultrapassar $0,1 \text{ m/s}^2$ e um período de retorno de dez anos. Portanto, uma outra justificativa para este estudo é de recomendar um critério de conforto humano para que a atual norma brasileira possa ser atualizada, uma vez que tal critério manteve-se estático por 30 anos.

Figura 2 – Edifícios acima de 100 m construídos no Brasil



Fonte: cortesia do Council on Tall Buildings and Urban Habitat

1.3 QUESTÃO DA PESQUISA

É possível combinar resultados de estudos empíricos de conforto humano em edifícios altos, levando em consideração suas semelhanças e diferenças metodológicas?

1.4 METODOLOGIAS

Essa seção discute as abordagens metodológicas em relação às pesquisas relacionadas ao conforto humano em edifícios altos excitados pelo vento. A seguir são tratadas as etapas de estudo.

Primeiramente, é realizada uma revisão bibliográfica dos aspectos psicológicos e fisiológicos do ser humano que influenciam nas pesquisas de conforto humano em edifícios altos induzidos pelo vento. Concomitantemente, uma revisão literária narrativa sobre os estudos de conforto humano com diferentes tipos de abordagem e as normas de projeto que regem o tema são apresentados.

A seguir, uma revisão teórica dos modelos para a metanálise é apresentada, incluindo os modelos de inferência estatística de efeitos fixos e efeitos variáveis. Além disso, são introduzidos a técnica de análise de sensibilidade e verificação do viés de publicação.

Na parte do desenvolvimento da pesquisa, será feita uma revisão literária sistemática qualitativa e metanálise em três partes: estudos com simuladores de vibração, estudos com verificação de vibração em escala real e em túnel de vento com aplicação de questionários e uma integração dos dois. Essa fase terá as seguintes etapas:

a) Localização dos estudos: será feita uma vasta pesquisa nos principais bancos de dados de pesquisa. Ainda, serão verificados os estudos referenciados nos estudos já encontrados;

b) Modelagem da variação: será feita a modelagem de variação dos estudos obtidos, por modelo de efeitos fixos e modelo de efeitos aleatórios, escolhendo um método para estimadores dos parâmetros de variação de acordo com a necessidade de aplicação;

c) Análise de sensibilidade: essa etapa verificará se parâmetros subjacentes influenciam nos resultados da metanálise. Nessa etapa, estudos serão estratificados de acordo com os parâmetros de influência a fim de verificar a sensibilidade deles. Além disso, serão feitas comparações a fim de fazer uma análise crítica;

d) Verificação da viés de publicação: nessa etapa, os estudos serão testados usando os métodos do gráfico de funil e gráfico de Galbraith para seja verificada a presença ou não de seletividade de publicação.

Seguindo, os resultados da metanálise serão comparados com as normas de projeto vigentes. Por fim, recomendações para trabalhos futuros e discursões finais serão feitas.

1.5 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo principal deste trabalho é elaborar um critério de conforto humano com as variáveis resposta de aceleração do edifício excitado pelas ações do vento, frequência de vibração e período de retorno baseado a partir da metanálise de diversos estudos na área de conforto humano, incluindo ensaios experimentais em simuladores de vibração e as medições com verificação da vibração do edifício em escala real e reduzida com ensaio em túnel de vento combinado com questionários. Além disso, os objetivos secundários são:

- a) Apresentar a revisão bibliográfica dos aspectos fisiológicos e psicológicos que influenciam na análise de conforto;
- b) Apresentar a revisão literária narrativa dos estudos em conforto humano em edifícios altos excitados pelo vento;
- c) Apresentar a revisão teórica dos métodos de metanálise, bem como análise de sensibilidade e verificação do viés de publicação;
- d) Comparação dos resultados da metanálise com as principais normas que tratam sobre conforto em edifícios excitados pelo vento;
- e) Fazer recomendações para pesquisas futuras na área.

1.6 ESTRUTURA

Essa pesquisa está dividida em 7 capítulos que abordarão os assuntos de conforto humano em edifícios excitados pelo vento.

O [Capítulo 1](#) introduz o tema, trazendo a relevância, justificativas e objetivos do estudo.

O [Capítulo 2](#) trata de uma revisão bibliográfica dos aspectos fisiológicos e psicológicos que estão relacionados ao conforto humano diante de vibrações. Esses aspectos são sinais visuais, percepção sonora, *motion sickness*, síndrome sopite, adaptação, educação e habituação.

O [Capítulo 3](#) apresenta o contexto histórico e 32 referências de estudos de conforto humano. Além disso, uma revisão das normas de projeto e comparações entre estudos por outros autores.

O [Capítulo 4](#) apresenta uma revisão teórica em metanálise, trazendo os modelos de variação e inferência estatística na metanálise e, bem como, as metodologias de diagnóstico dos resultados por análise de sensibilidade e verificação do viés de publicação.

O [Capítulo 5](#) apresenta uma pré-análise dos dados com características do levantamento, seleção, exclusão, extração e visualização dos dados e a verificação do viés de publicação.

O [Capítulo 6](#) apresenta a metanálise, bem como a análise de sensibilidade das metodologias e o critério final de conforto humano.

2 FISIOLOGIA E PSICOLOGIA DA PERCEPÇÃO DE VIBRAÇÃO

2.1 MECANISMOS DE PERCEPÇÃO

Os seres humanos percebem vibração mecânica pelos mecanismos visuais, auditivo, vestibular, proprioceptivo e sistemas sensoriais somáticos. A percepção de vibração é uma sensação psicológica e fisiológica complexa transmitida por inúmeros receptores pelo sistema nervoso central para o cérebro. Esses sinais de sensação são integrados no cérebro e produzem a percepção subjetiva da vibração induzida. A percepção dos sistemas sensoriais auditivo e visual mudam de acordo com o som e a iluminação, respectivamente, e transmitem a percepção de vibração para o sistema nervoso central. O sistema vestibular, que é sensível às acelerações angulares e lineares, registra a posição no espaço, através do mecanismo chamado de propriocepção. O sentido proprioceptivo é um sentido sinestésico das forças musculares e movimento do corpo. A mudança de pressão na superfície do corpo sinaliza informações para o sistema somatossensorial. Ambos os sistemas sensoriais proprioceptivos e somáticos produzem informações sobre as vibrações de corpo angulares e lineares dos membros no espaço.

Burton (2006) afirma que existem três regiões de frequência existentes que variam de acordo com o órgão sensorial que é usado na detecção do movimento. Frequências de 0,05 a 15 Hz são comumente captados pelo sistema vestibular, enquanto isso, as frequências entre 15 e 1500 Hz, pelo sistema sensorial somático e qualquer vibração abaixo de 1500 Hz são sentidos pelos receptores na pele.

2.1.1 Sinais Visuais

A importância dos sinais visuais na percepção de movimento é antiga e data da década de 1870 com Dvorak, Vierordt e Exner introduzindo a ideia que a detecção visual do movimento é uma sensação primária (BORING, 1949). Portanto, o movimento é sentido diretamente e não é deduzido por mudanças de posição. Atualmente, a hipótese mais aceita é de que o movimento pode ser detectado por intermédio de mecanismos visuais de detecção de movimento, e que também pode ser inferida, em segundo plano, por mudanças de posição (KAUFMAN, 1974).

Na área da psicofisiologia há várias pesquisas sobre esses mecanismos. Por exemplo, os mecanismos de direção seletiva por Vaney et al. (2001), Clifford e Ibbotson (2002), Borst e Euler (2011) ou os mecanismos de velocidade seletiva por Meng et al. (2016).

Já na área de análise de conforto humano em edifícios altos, a influência dos sinais visuais tem sido estudada por alguns autores a seguir.

[Irwin \(1981\)](#) realizou uma série de ensaios em uma câmara contendo mesa e cadeira excitada por vibração torcional senoidal, especificamente no eixo z, com dez objetos de estudo para comparar os efeitos dos sinais visuais na percepção de vibração. Os sinais visuais nesse estudo foram relacionados à abertura da janela da câmara, no qual os participantes poderiam ver no exterior uma parede de referência. Os resultados foram demonstrados em uma curva de comparação, no qual ficaram evidentes que os níveis de percepção com sinais visuais são maiores, principalmente em frequências ou acelerações torcionais menores.

[Noda e Ishikawa \(1999\)](#) realizaram ensaios para determinar a percepção de vibração horizontal quando os objetos de estudo podem ver o lado de fora de uma janela. Os autores concluíram que a percepção visual varia de acordo com as faixas de frequência. Em baixas frequências, com maiores amplitudes de deslocamento e menores aceleração, essa percepção é maior. Entretanto, em frequências mais altas, a percepção corpórea assume o principal papel na percepção generalizada do indivíduo. Outro ponto de destaque é que eles consideraram que a percepção visual está fortemente ligada com a amplitude de deslocamento e não com as acelerações.

[Shindo e Goto \(2002\)](#) apuraram os efeitos de vibração torcional de longo período de duração na percepção visual humana. O principal objetivo foi o de verificar a percepção visual, porém os autores verificaram também a relação com a percepção física. Algumas das conclusões detectaram que o uso de velocidade angular fazia com que os resultados fossem independentes da frequência de excitação trazendo uma velocidade de percepção média de 0,79 mrad/s. Além disso, os autores concordaram no que já tinha sido tratado por outros autores: percepção visual é mais sensível que a percebida pelo corpo e que os limites de percepção são menores do que as normas técnicas indicam.

Nos estudos de percepção visual, os pesquisadores utilizaram metodologias mais próximas à realidade, dentre elas, a possibilidade de haver janelas no ambiente e o posicionamento em relação ao observador, a presença de objetos que podem ser indicativos para a sensação da vibração, como objetos soltos, ou um recipiente contendo água, ou objetos fixos próximos a um objeto despreendido, ou a probabilidade do observador estar olhando para tais indicativos.

Aos fatores de influência na percepção em questão, [Kawana et al. \(2012\)](#) investigaram a influência do movimento de objetos na percepção de vibração, levando em conta a probabilidade de visualizá-los. Foram executados levantamentos de dados de experimentos levando em conta situações normais em edifícios residenciais e comerciais, análise estatística

e distribuição de probabilidade. Os fatores utilizados nessa pesquisa foram a distância entre o observador e o sinal visual, o tempo para perceber o sinal visual e o número de vezes que o sinal visual é visto. Os autores concluíram que: em frequências abaixo de 1,0 Hz e pico de aceleração menor que $0,02 \text{ m/s}^2$, a probabilidade de percepção de vibração por sensação visual foi maior que por sensação pelo corpo, entretanto, para acelerações maiores que $0,1 \text{ m/s}^2$, indicações visuais não ocorrem necessariamente; com frequências superiores a 2,5 Hz, a percepção visual raramente ocorre; e a probabilidade de sinais visuais em edifícios comerciais é maior que em residenciais.

2.1.2 Percepção Sonora

Assim como a percepção visual, a percepção sonora é parte integrativa para a percepção de vibração. Entretanto, pouco sobre o assunto é disponível na literatura, aplicando aos edifícios altos excitados pelo vento. A seguir, são indicadas duas referências que podem ser aplicadas para essa área.

[Sekuler et al. \(1997\)](#) verificaram se os estímulos sonoros influenciavam na percepção visual de movimento. Os autores realizaram uma série de comparações advindas de ensaios com observadores. A percepção com estímulos sonoros, em todo o ensaio ou antes do evento, foi superior quando não havia estímulo sonoro algum durante o experimento ou quando o sinal sonoro foi disposto após o evento ocorrido.

[Rosemann et al. \(2017\)](#) investigaram a interação audiovisual na detecção de vibração comparando duas formas de experimentos: sons coincidentes e sons não coincidentes com os estímulos visuais. Os estímulos audiovisuais incongruentes demonstraram serem significativamente inferiores que os primeiros.

2.2 EFEITOS NOS OCUPANTES

2.2.1 *Motion Sickness*

De acordo [Lackner \(2014\)](#), *motion sickness* pode ocorrer durante a exposição a vibração física e visual e que somente pessoas sem o sistema vestibular funcional estão imunes. Ainda, segundo [Graybiel et al. \(1968\)](#), os sintomas podem ser sudorese fria, palidez de vários graus, aumento da salivação, sonolência, dor de cabeça e até dor intensa, além de náuseas e vômitos.

Em edifícios, *motion sickness* pode ocorrer em acelerações baixas com frequências de 0,08 e 1,0 Hz ([LAMB et al., 2013](#)).

[Hansen et al. \(1973\)](#) conduziram um experimento em dois edifícios sensíveis ao vento e verificaram que no primeiro 36% e no segundo 47% das pessoas que responderam

aos questionários apresentaram sintomas de *motion sickness* durante uma tempestade com ventos.

Goto (1983) observou que após a passagem de um tufão, causando uma aceleração de $0,14 \text{ m/s}^2$ em um edifício alto, mais de 75% dos ocupantes nos andares superiores ao 13º tiveram sintomas psicológicos e fisiológicos, incluindo *motion sickness*

2.2.2 Síndrome de Sopite e Performance no Trabalho

Graybiel e Knepton (1976) definiram um tipo de *motion sickness* que surge com a exposição prolongada a ambientes com vibração. Os sintomas típicos da síndrome podem ser sonolência, diminuição na performance no trabalho, seja física ou mental, baixa motivação e humor deprimido.

Lamb et al. (2014) conduziram um estudo de nove meses para verificar dois efeitos adversos causados pela vibração de edifícios induzidos pelo vento. O estudo mostra que a vibração em edifícios podem causar síndrome de sopite e por consequência, causa a diminuição na performance de trabalho. O estudo foi realizado baseando-se em uma situação de controle, quando não há vibração no edifício. A redução na performance é alta, aproximadamente equivalente a um desvio padrão. Enquanto a síndrome de sopite pode reduzir a performance cognitiva (MATSANGAS et al., 2013; WRIGHT et al., 1995), a redução na performance de trabalho observada nos trabalhadores de prédios comerciais também pode ser parcialmente relacionada com a redução de motivação.

Apesar de Lamb et al. (2014) não terem conseguido obter as acelerações dos edifícios em todos os participantes do estudo, as acelerações obtidas mostraram que a redução da performance no trabalho está ligada com baixas acelerações. Os sintomas de sopite caracterizaram por 80% dos participantes e 20% são advindos de *motion sickness*. Sopite ocorre como resposta de uma exposição prolongada a baixas acelerações, enquanto altas acelerações produzem *motion sickness*. Goto (1983), Burton et al. (2015) afirmam que a segunda ocorre com aceleração de aproximadamente $0,10 \text{ m/s}^2$, por outro lado, Lamb et al. (2014) estimam que os sintomas da primeira ocorrem com acelerações menores que $0,10 \text{ m/s}^2$. Ainda, Matsangas et al. (2013), suportam essa ideia identificando sopite em participantes submetidos a acelerações, de $0,06 \text{ m/s}^2$ (em uma frequência de $0,167 \text{ Hz}$), no qual é considerada abaixo dos limites estabelecidos por algumas normas, como a NBR 6123:1988 (ABNT, 1988) e a ISO 10137 (ISO, 2007).

Devido à limitada quantidade de pesquisas sobre essa condição, o desenvolvimento de um critério para minimizar a incidência da sopite pode ser incerto. Lamb e Kwok (2017b) afirmam que a sopite não somente inicia o processo de sonolência, mas também pode suprimir o sistema fisiológico e psicológico. Hammam et al. (2014) afirmam que as

respostas psicológicas ocorrem em vibrações imperceptíveis e que indivíduos que reportam os sintomas de *sopite* demonstram uma combinação no sistema nervoso parassimpático e respostas psicológicas. Essas evidências científicas indicam que as vibrações de edifícios podem ocasionar implicações na performance no trabalho, assim como, o bem estar no ambiente de trabalho. A [Tabela 1](#) demonstra as estimativas de perdas de produtividade ocasionada pela *sopite* em edifícios altos e evidencia que, além do bem-estar do trabalhador, podem haver implicações econômicas para os proprietários e empregadores. Portanto, mais pesquisas precisam ser feitas para entender a extensão, em termos de aceleração, duração e exposição, da síndrome *sopite*.

Tabela 1 – Estimativa de perdas na produção em edifícios altos induzidos pelo vento

	<i>Estimativa</i>
Estimativa de ocupantes afetados em edifícios excitados pelo vento	
Proporção de ocupantes afetados de acordo com Lamb et al. (2014)	5,4%
Redução média da performance de trabalho	30,1%
Estimativa das características dos ocupantes em edifícios altos	
Número de pessoas em um prédio	25.000
Número de pessoas no terço mais alto	8.333
Média de salário anual	\$112.500
Estimativa do impacto diário na produção	
Número de ocupantes afetados em um dia de tormentas	450
Salário por dia	\$477
Estimativa da redução da performance no trabalho como proporção do salário por dia	\$143
Estimativa de impacto diário na produtividade baseado no número de tormentas por ano	
10 dias	\$643.500
30 dias	\$1.930.500
50 dias	\$3.217.500

Fonte: [Lamb e Kwok \(2017a\)](#)

2.3 HABITUAÇÃO

Segundo [Rankin et al. \(2009\)](#), a habituação é a redução gradual de uma resposta comportamental como resultado da exposição sustentada a um dado estímulo ambiental. A exposição a movimentos reais ou aparentes pode causar *motion sickness* na maioria dos indivíduos saudáveis; a náusea é o sintoma primário ([REASON, 1978](#)). A maioria dos indivíduos é capaz de se adaptar às condições de movimento, por exemplo, de acordo com [Stoffregen \(2011\)](#), a adaptação ao movimento no mar geralmente ocorre dentro de 2 a 3 dias após exposição prolongada. O processo de habituar-se às condições de movimento é complexo e não é bem compreendido. De acordo com [Lackner \(2014\)](#), indivíduos diferem na suscetibilidade à doença do movimento, e também em sua capacidade de desenvolver e reter essa resposta adaptativa.

As mulheres são mais propensas a sofrer *motion sickness* no mar (LAWTHER; GRIFFIN, 1988), apresentando níveis mais altos de suscetibilidade a *motion sickness* do que os homens (GOLDING, 2006; LAMB; KWOK, 2015) e têm maior probabilidade de relatar respostas adversas a edifícios em movimento (LAMB et al., 2013) provavelmente devido a níveis mais elevados de susceptibilidade à doença de movimento. Segundo Lamb e Kwok (2017b), a resposta específica do gênero ao movimento pode, inadvertidamente, produzir um resultado discriminatório quando o projeto do edifício pode, em média, resultar em redução da performance no trabalho, conforto e oportunidades de emprego para as mulheres em comparação com os homens. Se quantificável, tal efeito poderia ter consequências legais para proprietários e projetistas.

Baseando-se em suposições da pesquisa geral sobre *motion sickness*, em um estudo de uma estrutura para verificar o desempenho, Weigand e Kijewski-Correa (2015, p. 3) afirmam que “pressupõe-se que inquilinos em andares residenciais e de escritórios serão habituados à vibração do edifício”. Entretanto, existem poucas evidências de que os ocupantes são capazes de habituar-se às vibrações do edifício e há uma série de complexidades tais que a literatura geral sobre *motion sickness* não pode ser generalizada para a vibração de edifícios excitados pelo vento.

Existem algumas evidências de que alguns ocupantes podem habituar-se à vibração de edifícios. Denoon et al. (2000) constataram que 21% dos trabalhadores da torre de controle do aeroporto de Sydney relataram uma maior aceitação da vibração do edifício ao longo do tempo. Lamb et al. (2013) relatam que os que foram expostos à vibração tornaram-se menos afetados ao longo do tempo. No entanto, 48% relataram nenhuma mudança ao longo do tempo e 11% relataram ter sido afetados em maior grau ao longo do tempo.

A exposição prolongada a quase qualquer estímulo causa um julgamento mais favorável desse estímulo ao longo do tempo, chamada de Efeito da Mera Exposição (ZAJONC, 1968). A distinção entre tolerância e habituação é importante devido aos efeitos da exposição ao bem-estar e desempenho no trabalho, mas não é possível mitigar esses efeitos adversos, ou seja, simplesmente prolongar a capacidade dos ocupantes para suportar o efeito.

3 CONFORTO EM EDIFÍCIOS ALTOS EXCITADOS PELO VENTO

3.1 PRIMEIRAS EVIDÊNCIAS CIENTÍFICAS

A primeira referência relevante ao tema de verificação do conforto humano veio a partir do Subcommittee N° 31 da Structural Division ASCE em 1931, quando foi feita uma lista de recomendações, dentre elas: “estruturas devem ser projetadas a modo de garantir que as deflexões sejam mantidas em tal limite que tornem os edifícios confortavelmente habitáveis” (ASCE, 1931 apud HANSEN et al., 1973, p. 66). Após 40 anos, em 1971, no Committee 442 da American Concrete Institute (ASCE, 1971 apud HANSEN et al., 1973, p. 66) foi demonstrado uma preocupação nos níveis de vibração perceptíveis como um importante critério no projeto de qualquer edifício. Apesar dessas preocupações não colocarem nenhum critério específico quantitativo em relação ao conforto de pessoas, elas foram essenciais para a base de pesquisas futuras.

A primeira relação do conforto humano com a vibração de edifícios foi feita por Chang (1967) que relatou que a aceleração de $0,05 \text{ m/s}^2$ no Empire State Building é algo entre não perceptível e no limite de percepção. Essa conclusão foi dada a partir de experiências prévias dos ocupantes do edifício. Paralelo a isso, Feld (1968) listou os mais significantes problemas relacionados a uma torre de 55 andares em Nova Iorque, dentre eles é que o edifício apresentava oscilações incômodas durante uma tempestade, suficiente para fazer com que fosse impossível escrever em uma mesa localizada nos andares mais altos, por isso, desculpas foram pedidas aos funcionários regularmente durante o período de tais tempestades.

Khan (1971) fez ensaios de percepção de vibração para o projeto de construção do edifício John Hancock Center de 100 andares em Chicago. Foram selecionados 30 objetos de estudo de diferentes sexos, idades e ocupações no qual foram submetidos à vibração em uma plataforma giratória com diâmetro de aproximadamente de 6 metros em velocidade constante de $0,05 \text{ m/s}$. O motor da plataforma foi configurado para que tivesse uma variação de aceleração de $0,001$ até $0,20 \text{ m/s}^2$ ao longo de sua circunferência. Os objetos foram testados em 11 posições corporais e foram questionados a classificar segundo dois níveis: “não perceptível” e “perturbante”. Os resultados revelaram que a posição do corpo não influencia na percepção de vibração e que os limites de vibração para os testes foram acima de $0,04 \text{ m/s}^2$. Apesar da frequência natural do edifício ser de $0,132 \text{ Hz}$, a frequência utilizada nos ensaios não foi mencionada.

Reed (1971) fez a primeira avaliação em escala real de dois edifícios para determinar

a resposta dos ocupantes diante a variações de acelerações. Além disso, o autor elaborou o primeiro critério em termos de desvio padrão da aceleração para um período de retorno e frequências dos edifícios de estudo. Um dos resultados indicou o limite de percepção constante de $0,05 \text{ m/s}^2$ para um período de retorno de 6 anos.

A primeira tentativa na literatura de verificar os limites de percepção humana de baixa frequência de vibração no plano horizontal foi feita por [Chen e Robertson \(1972\)](#) uma vez que, anteriormente por [Chang \(1967\)](#), os dados para frequências abaixo de 1,0 Hz foram extrapolados a partir dos dados obtidos em frequências mais altas. Os autores realizaram ensaios durante a fase de projeto do World Trade Center em Nova Iorque com o objetivo de determinar os limites de percepção horizontal. Alguns fatores de influência da percepção foram examinados, como o período de oscilação, orientação do corpo, movimento do corpo, postura corporal e expectativa de movimento. Os resultados foram identificados através de três curvas que relacionam a frequência cumulativa com os níveis de percepção, tempo de exposição, nível de expectância, e aceleração média.

3.2 PESQUISAS E ENSAIOS EMPÍRICOS

Nesta seção serão apresentadas as pesquisas científicas com relação ao conforto humano em edifícios altos excitados pelo vento de forma cronológica. A seguir serão mostrados 32 trabalhos que demonstram o avanço na área. Somente as metodologias e os resultados dos autores serão resumidos, portanto, nenhuma análise qualitativa ou metanálise será feita.

[Chang \(1973\)](#) realizou um estudo relacionando os níveis de conforto humano com a aceleração estimada a partir da amplitude e frequência fundamental de vibração de um edifício. O autor estabeleceu uma curva de conforto com 5 níveis: “não perceptível” para acelerações abaixo de $0,05 \text{ m/s}^2$, “perceptível” entre $0,05 \text{ m/s}^2$ e $0,10\text{-}0,15 \text{ m/s}^2$, “incômodo” entre $0,10\text{-}0,15 \text{ m/s}^2$ e $0,49 \text{ m/s}^2$, “muito incômodo” entre $0,49 \text{ m/s}^2$ e $1,47 \text{ m/s}^2$ e “insuportável” acima de $1,47 \text{ m/s}^2$. Além disso, ele fez várias discursões a respeito de outros fatores que podem influenciar na percepção de vibração, como, velocidade, duração, aceleração angular e derivada da aceleração, chamada de "*Jerk*".

[Hansen et al. \(1973\)](#) realizaram uma pesquisa com os ocupantes de dois edifícios depois da passagem de duas distintas tempestades de vento e propôs uma metodologia e critérios racionalizados para analisar os problemas de desconforto em edifícios altos excitados pelo vento. Os autores fizeram um estudo dos edifícios antes das tempestades de vento e realizaram uma pesquisa com os ocupantes com relação à objeção à vibração do edifício. Após um tratamento estatístico, fizeram um ábaco relacionando o período de retorno com a porcentagem de pessoas que tiveram objeção à vibração em duas acelerações

de $0,02 \text{ m/s}^2$ e $0,05 \text{ m/s}^2$. Quanto maior a aceleração, maior o nível de queixa.

Goto (1975) realizou um experimento utilizando pessoas como objeto de estudo utilizando uma vibração do tipo onda senoidal com frequência de 0,1 a 1 Hz segundos e amplitude de 0,01 a 0,5 m. Os ensaios do autor tiveram grande contribuição, pois foram adicionados outros aspectos que poderiam ser afetados pela vibração, como caminhar, subir e descer escadas, a posição do corpo e da cabeça, além dos aspectos físicos do indivíduo como sexo e idade. De maneira independente, os objetos do sexo feminino, adultos, com posição em pé e com vibração no sentido frontal da cabeça tiveram limites inferiores de percepção. Por outro lado, objetos do sexo masculino, crianças, de posição sentada e no sentido lateral da cabeça tiveram limites superiores. Pesquisas futuras mostram uma relação oposta quanto ao sentido de vibração em relação à cabeça. Além disso, outro achado no estudo foi de que a percepção também está ligada à frequência de vibração.

Davenport (1975), em um artigo sobre o levantamento de riscos de ventos em edifícios altos combinou os dados de percepção à vibração de Chen e Robertson (1972) e Hansen et al. (1973) para sugerir níveis aceitáveis de aceleração em função da variação do período de retorno considerando a média de tempestades de vento por ano. Além disso, ele definiu o “quociente de sensibilidade do ocupante” que é a medida da razão da aceleração de pico e aceleração no limite de percepção em uma determinada porcentagem de ocupantes.

Irwin (1981) analisou a percepção, conforto e performance de critérios para seres humanos expostos à vibração angular pura e vibração angular contendo componentes translacionais com ou sem pistas visuais. Uma sala de ensaio contendo uma mesa e uma cadeira foi construída para que ela fosse induzida por vibração angular. Um total de 10 pessoas como objeto de estudo participaram. O resultado foram 7 curvas de percepção com relação ao período de retorno e relacionando a frequência de vibração na faixa de 0,063 Hz a 10 Hz com a vibração angular e translacional.

Goto (1983) fez um relatório de uma pesquisa de campo com os ocupantes de edifícios altos sujeitos à vibração após a passagem de dois tufões onde 90% dos ocupantes a partir do 13º andar sentiram a vibração e 40% relataram que não tolerariam tal experiência de novo. Com os resultados, o autor criou critérios relacionando a percepção, aceleração do edifício e a velocidade média do vento com três curvas distintas, uma utilizando a teoria *Buffering* e as outras duas com distribuição normal.

Irwin e Goto (1984) deram continuidades aos estudos de Irwin (1981) e verificaram alguns aspectos dos efeitos das frequências de vibração nos indivíduos. Em frequências menores que 1 Hz resultou maiores reações de náusea e desconforto abdominal. Enquanto isso, em frequências acima de 1 Hz, os indivíduos começaram a sentir perturbações ao

praticar tarefas manuais. Apesar desses achados serem confirmados por pesquisas posteriores, [Wong et al. \(2013\)](#) afirmou que as atividades analisadas pelos autores raramente são praticadas em escritórios modernos.

[Kanda et al. \(1988\)](#) introduziram o critério probabilístico para percepção do conforto em baixas frequências. O experimento consistia em um simulador de vibração senoidal uniaxial em uma sala de ensaio de 2,4 m x 3,4 m x 2,4 m, no qual foram submetidos 119 objetos de estudo, 80 homens e 39 mulheres de 20 a 30 anos. Foram utilizadas 5 frequências de vibração entre 0,33 Hz e 2 Hz e acelerações entre 0,02 e 0,08 m/s², com variação ascendente e descendente de 10 passos em uma duração de 6 minutos. Os resultados encontraram maiores sensibilidades no sentido lateral da cabeça, em mulheres, homens mais jovens e com acelerações descendentes.

[Isyumov et al. \(1988\)](#) fizeram um vultoso estudo em escala real de 8 edifícios historicamente conhecidos, dentre eles, o edifício Empire State, a torre Eiffel e as não mais existentes Torres Gêmeas. O estudo tinha por objetivo de validar os procedimentos analíticos e por ensaios em túneis de vento para estimar a resposta da ação dos ventos, com uma particular abordagem na percepção do indivíduo. Os resultados, na maioria dos casos, serviram para reassegurar a performance dos edifícios e a partir disso trazer mais confiança em procedimentos analíticos e por túneis de vento como ferramenta de projeto.

Ainda em 1988, [Melbourne e Cheung](#) iniciaram um processo para a modificação do critério das curvas estabelecido pela ISO 6894:1984 ([ISO, 1984](#)), no qual desenvolveram um critério para acelerações de pico em edifícios submetidos às vibrações complexas. Eles sugeriram que um fator de pico dependente da frequência deve ser aplicado na aceleração rms, no qual representaria a forma Gaussiana de vibração.

Em um estudo adicional ao de [Kanda et al. \(1988\)](#), [Kanda et al. \(1990\)](#) realizaram o mesmo experimento com aplicação de todas as metodologias anteriores, entretanto, com posições deitada e em pé. Os resultados foram os mesmos para o sentido da vibração, sendo lateral com maior sensibilidade e mostrou que a posição deitada é mais sensível que a sentada e a posição em pé é a que teve os menores limites de percepção. Adicionalmente, em um teste com 6 objetos de estudo, os autores verificaram que a vibração aleatória é similar com a vibração senoidal.

[Goto \(1990\)](#) em uma tentativa de simular um edifício de 50 andares com frequência natural de 0,23 Hz, utilizou um simulador de vários eixos para verificar a percepção de pessoas submetidas às vibrações elíptica e circulares variando de 0,01 a 0,15 m/s². Os resultados demonstraram que não há diferença significativa entre os dois tipos de vibração. 50% dos objetos de estudo relataram que perceberam a vibração em 0,05 m/s², 50-80% tiveram um sentimento de inquietação em 0,1 m/s², por outro lado, em 0,03 m/s², os

indivíduos tiveram dificuldades em realizar tarefas simples, como colocar água em um recipiente.

Melbourne e Palmer (1992) desenvolveram um critério de cálculo de acelerações em termos de pico de vibrações senoidais e fizeram um critério relacionando aceleração de pico da estrutura como função da frequência de vibração e período de retorno. Além disso, uma análise foi feita com relação a derivação de acelerações sentidas em um edifício que sofre vibrações complexas com contribuições significativas de vários modos de vibração.

Shioya e Kanda (1993) fizeram a avaliação da percepção de vibração sobre condições mais similares o possível àquela existente em edifícios altos. Os autores usaram um processo de banda estreita aleatória com frequências predominantes de 0,125 Hz a 0,315 Hz em uma sala de ensaio com simulador de vibração e compararam com as de uma vibração senoidal. Por fim, elaboraram um critério probabilístico para os limites de percepção. Um conflito desse trabalho com o de Shioya et al. (1994) é que naquele não há diferença entre as acelerações perceptíveis na vibração uniaxial, elíptica e circular.

Noguchi et al. (1993) realizaram um estudo no qual usaram uma sala de ensaio que foi induzida por vibrações uniaxiais, elípticas e circulares em uma variação de frequência de 0,1 Hz a 0,2 Hz. Os resultados do experimento foram relacionados em uma escala de percepção de 1 a 5 com o pico de aceleração e duas curvas de tempo de exposição à vibração. Além disso, os autores utilizaram como objeto de estudo somente mulheres de meia idade, não levando em conta as diferenças de sexo e idade na percepção da vibração.

Através de dois estudos (ISYUMOV, 1993; ISYUMOV, 1995), o autor elaborou diretrizes para avaliar a aceitabilidade de edifícios altos excitados pelo vento. A partir de discussões de estudos anteriores, alguns critérios foram elaborados para oscilação torcional, dentre eles, que a vibração é visualmente percebida quando a variação angular de linhas excederem $1/300$. O autor afirmou que os ocupantes estão mais propensos a ver a taxa de mudança da variação angular com o tempo, ou seja, a velocidade torcional. Nesse caso, o limite de velocidade é de $0,003 \text{ rad/s}$.

Shioya et al. (1994) investigaram os limites de percepção em uma frequência limitada de 0,125 Hz a 0,315 Hz. Nesse trabalho, os autores elaboraram uma relação da frequência com as acelerações de percepção. Foram medidas a percepção humana a vibrações uniaxiais, elípticas e circulares. Foi encontrado que mesmo que a vibração uniaxial demonstraram uma dependência clara com a frequência, os limites de percepção para as vibrações elípticas e circulares são mais reais na maioria dos edifícios altos. Entretanto, essa pesquisa foi baseada em uma pequena variação de frequência para basear um critério aceitável para vibrações em edifícios, e essas conclusões parecem estar em conflito com algumas das relatadas por Kanda et al. (1990).

Bachmann et al. (1995), em um guia de práticas de problemas de vibrações, definiram critérios de confortos relacionando uma escala de percepção com três fatores dinâmicos: aceleração do piso, amplitude de vibração e frequência de vibração. Os autores não realizaram experimentos próprios para desenvolver os critérios de vibração, mas sim, duas normas: a ISO 2631-2:1989 (STANDARDIZATION, 1989) e a norma alemã DIN 4150:1975 (DIN, 1975).

Isyumov e Kilpatrick (1996) fizeram uma revisão de acelerações em edifícios altos, sendo 27 edifícios dos Estados Unidos e Japão, e coleta de dados complementares de outros 47 edifícios através de ensaios em túnel de vento. Os resultados mostraram que, com exceção do edifício que sofreu com a passagem do furacão Alicia, a maioria dos outros edifícios tiveram baixos valores de aceleração comparados com os níveis de aceleração aceitáveis que são recomendados para edifícios comerciais. Alguns dos edifícios japoneses registraram altos níveis de aceleração durante a passagem de tufões, entretanto, poucos foram os relatos de vibração. Além disso, os autores destacaram a importância da percepção audiovisual na percepção de vibração pelo ocupante.

Denoon et al. (2000) e Denoon (2001) fizeram experimentos com simuladores de movimento em uma mesa vibratória unidirecional. O objetivo foi de verificar o desempenho cognitivo de ocupantes de edifício altos excitados pelo vento. Os resultados demonstraram que a vibração ocasionada pelo vento tinham efeitos mínimos nos indivíduos.

A seguir serão apresentados uma série de experimentos realizados por Burton et al. (2004), Burton et al. (2004), Burton et al. (2005) e Burton et al. (2006) que utilizaram o simulador HKUST mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Simulador HKUST de vibração biaxial (a) parte externa (b) parte interna



Fonte: Kwok et al. (2009, p. 373)

Burton et al. (2004) fizeram um experimento em um simulador de movimento com 250 objetos de estudo. O mecanismo consistia em vibrações aleatórias bidirecionais e no sentido frontal da cabeça, assim como, 3 frequências de 0,125 Hz, 0,25 Hz e 0,5 Hz foram utilizadas em 4 valores de aceleração de 0,01, 0,02, 0,04, 0,08 m/s². Dentro e fora do simulador os participantes faziam 6 tarefas cognitivas e 2 não cognitivas. Os resultados mostraram que a trajetória bidirecional teve valores de acelerações mais baixos que na orientação do corpo no sentido frontal da cabeça. Os resultados também reforçaram a dependência da frequência na percepção humana. Em um mesmo nível de aceleração, os níveis de percepção em 0,5 Hz foram maiores que 0,125 Hz.

Burton et al. (2004) e Burton et al. (2006) destacaram a importância de considerar a frequência de vibração no levantamento do conforto humano durante a vibração de edifícios altos ocasionada pelo vento. O artigo caracteriza a resposta biodinâmica à vibração do corpo humano ocorrendo em exposições de baixa frequência. Foi demonstrado que com o aumento da frequência de oscilação de 0,15 Hz para 1 Hz, a aceleração medida na cabeça do objeto de estudo aumenta consideravelmente. Esse foi o primeiro estudo no qual as acelerações do corpo foram medidas.

Burton et al. (2005) realizaram um experimento com mais de 500 objetos de estudo em um simulador de vibração. As configurações de vibração foram frequências de 0,16 Hz a 0,5 Hz, acelerações de 0,01 m/s² até 0,24 m/s² e duração de exposição de 12 min e 50 min. Os resultados demonstram que há interferências da frequência na produção de tarefas manuais e que quanto maior a duração da exposição da vibração, maior serão os sintomas de desconforto, como náusea.

Bashor et al. (2005) argumentaram pela primeira vez sobre as incertezas nas propriedades dinâmicas e limites de conforto humano. Os autores discutiram sobre os modelos de previsão do amortecimento, pois esse afeta a resposta do edifício excitado pelo vento. Além disso, eles compararam alguns trabalhos anteriores com relação à aceleração limite de percepção, porcentagem de pessoas que perceberam a vibração, o uso do pico ou valor rms de aceleração, o modelo de distribuição, o tipo de vibração e a metodologia de obtenção dos dados. Os autores fizeram uma comparação dos limites de percepção de vários autores de acordo com a Tabela 2.

Tamura et al. (2006) fizeram uma grande contribuição com o tema através de um estudo com uma variação de frequência de 0,125 Hz a 6 Hz usando um simulador em uma sala de ensaio, sendo os primeiros a realizarem um estudo com uma grande gama de frequências. Além disso, os autores investigaram a vibração nas trajetórias uniaxial, elíptico e circular nas orientações do corpo para frontal e lateral do corpo com acelerações senoidais e randômicas. Os resultados foram dados em limites de percepção relacionando o pico de aceleração e a frequência e um gráfico foi feito com os critérios de vários autores

Tabela 2 – Comparação dos limites de percepção de vários autores

Autor	Limite (m/s²)	Percep- ção(%)	Pico /rms	Distri- buição	Tipo de Vibração	Simulador ou Real
Denoon, et al. (1999)	0,006 - 0,007	~50%	rms	Lognormal	Gaussiana	R
Denoon, et al. (1999)	0,007	~50%	rms	Lognormal	Gaussiana	R
Denoon, et al. (1999)	0,008	~50%	rms	Lognormal	Gaussiana	R
Kanda et al. (1988)	0,009	1-2%	pico	Lognormal	Senoidal	S
Shioya, et al. (1992)	0,018	1-2%	pico	Lognormal	Senoidal	S
Goto, et al. (1996)	0,021	1-2%	pico	Weibull	Senoidal	S
Fujimoto, et al. (1988)	0,024	1-2%	pico	Lognormal	Senoidal	S
Kanda et al. (1988)	0,033	~50%	pico	Lognormal	Senoidal	S
Hansen et al. (1973)	0,049	1-2%	rms	Nenhuma	Gaussiana	R
Goto, et al. (1996)	0,050	~50%	pico	Weibull	Senoidal	S
Shioya, et al. (1992)	0,050	~50%	pico	Lognormal	Senoidal	S
Chen e Robertson (1972)	0,058	~50%	pico	Lognormal	Senoidal	S
Fujimoto, et al. (1988)	0,090	~50%	pico	Lognormal	Senoidal	S

Fonte: [Bashor et al. \(2005\)](#)

e recomendações de normas.

[Kwok e Hitchcock \(2008\)](#), no mesmo simulador da [Figura 3](#), fizeram um experimento que utilizava os sinais coletados por ensaios de modelos aero-elásticos de edifícios altos em túnel de vento. Os objetos foram expostos a 6 condições de vibrações diferentes, de forma aleatória, em um período de duração de 4 minutos. Após isso, eles respondiam um questionário de conforto avaliando os níveis de conforto de cada condição. Os resultados focaram nos benefícios do amortecimento, pois os participantes foram expostos a diferentes valores de amortecimento de acordo com a condição de vibração. Portanto, esse estudo serve como uma importante ferramenta para as avaliações de custo-benefício para adoção de medidas mitigatórias de vibração em edifícios altos induzidas pelo vento.

[Morava et al. \(2010\)](#) fizeram um levantamento do conforto de ocupantes de edifícios sensíveis ao vento em um simulador de seis graus de liberdade. O levantamento apenas verificou o conforto humano de vários casos específicos de tormentas de ventos em edifícios altos. Apesar de não contribuir diretamente com o desenvolvimento de critérios de conforto humano, o artigo destaca a importância da verificação do conforto na fase de projeto. Os autores também destacaram que trabalhos anteriores não levam em conta aspectos importantes relacionados a percepção de vibração que devem ser considerados, tais como o entorno do ambiente, a relação entre a vibração axial e torcional, duração da vibração, etc.

Na parte de pesquisa de campo, [Lamb et al. \(2013\)](#) realizaram uma série de entrevistas dos trabalhadores de um edifício comercial na Nova Zelândia. Os entrevistados foram questionados sobre as suas experiências com edifícios excitados pelo vento, relatos de comportamentos compensatórios e reclamações sobre vibração do edifício. Os resultados

da entrevista demonstraram que 41,7% já sentiram vibrações no edifício e 41,6% desses relataram que percebem vibrações pelo menos uma vez ao ano. O trabalho é importante por demonstrar um exemplo de itens a serem investigados nesse tipo de levantamento.

Ainda, [Lamb et al. \(2014\)](#) verificaram os efeitos das vibrações em edifícios induzidas pelo vento na performance de trabalho e bem-estar do indivíduo. Para tanto, foram realizados 1909 levantamentos em 8 meses em 47 trabalhadores de escritórios e 53 participantes de controle. Os resultados mostraram que a *motion sickness* é desenvolvida depois de um período de exposição à vibração. Com o aumento da *motion sickness*, foi demonstrado que a performance no trabalho pode decair em 76%-90% no desvio-padrão do controle. Adaptação por lugares diferentes para trabalhar durante um evento de vibração foi feita por alguns participantes, 30-40% fazem intervalos maiores e alguns utilizaram automedicação.

[Ferrareto et al. \(2015\)](#) fizeram uma análise de diversos métodos e normas com relação ao conforto humano em edifícios altos excitados pelo vento. Apresentaram semelhanças e contradições entre eles e introduziram uma hipótese sobre a adaptação do indivíduo. A hipótese diz que os usuários devem estar cientes da vibração do edifício e que eles devem ser ensinados a lidar com isso.

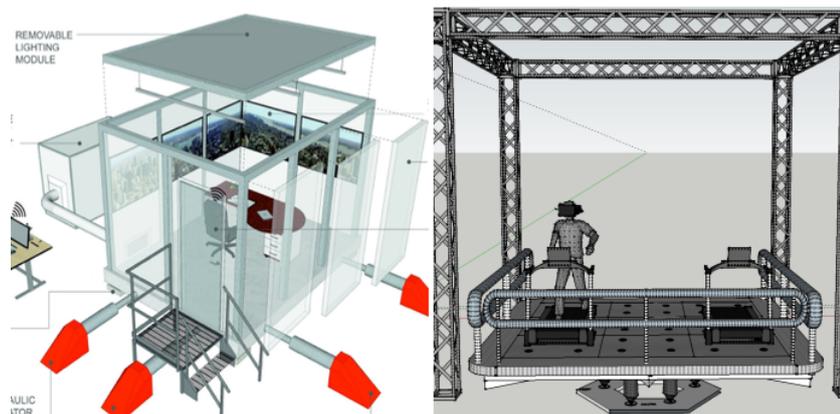
O mais recente estudo por [Kwok et al. \(2015\)](#) e de forma resumida por [Burton et al. \(2015\)](#) elabora o estado da arte na área de conforto humano em edifícios excitados pelo vento. Esses trabalhos tratam do comportamento psicológico e fisiológico do ocupante, investigações em grande escala e em simuladores, critérios de estado de serviço, normas e estratégias de mitigação.

Atualmente, existe um projeto em andamento com o título “*VSimulators: Human factors simulation for motion and serviceability in the built environment*” liderado pelo Professor Brownjohn. O projeto é dividido em duas instalações com dois simuladores diferentes. A primeira, localizada na *University of Bath*, terá atuadores hidráulicos que controlarão uma sala climatizada e poderá simular vibração biaxial em super baixas frequências com altas amplitudes, primariamente para investigar o conforto e a saúde dos ocupantes. Já na outra instalação, na *University of Exeter*, um simulador hexa-axial com sistema de atuação elétrico carregando uma plataforma de 4 m².

O equipamento de Bath incorporará telas de vídeo periféricas no ambiente interno e externo, sistemas para controle ambiental sofisticado e medição de reações fisiológicas e psicológicas dos ocupantes, enquanto o equipamento de Exeter utilizará realidade virtual sofisticada e capacidade total para identificação de força e captura de movimento de ocupantes. Usando equipamentos compartilhados (por exemplo, esteiras, sensores inerciais, captura de movimento ótico) e suporte técnico, as capacidades complementares serão

aplicadas para pesquisar interação humano-estrutura (baseada no conforto humano, bem-estar e produtividade), mobilidade assistida e reabilitação (EPRSC, 2018). A Figura 4 demonstra o projeto dos simuladores em questão.

Figura 4 – “VSimulators: Human factors simulation for motion and serviceability in the built environment” (a) simulador em Bath (b) simulador em Exeter



Fonte: ves.wordpress.com (2018)

4 REVISÃO SISTEMÁTICA E METANÁLISE

4.1 METANÁLISE

Glass (2013) definiu a metanálise na literatura de ciências sociais como "a análise estatística de uma grande coleção de resultados de análises de estudos individuais com a finalidade de integrar os achados". A metanálise é um delineamento quantitativo usado para avaliar sistematicamente os resultados de pesquisas anteriores para obter conclusões sobre uma área de pesquisa. Tipicamente, mas não necessariamente, o estudo é baseado em experimentos randomizados e controlados. Os resultados de uma metanálise podem incluir uma estimativa mais precisa dos efeitos das vibrações de prédios altos induzidas pelo vento, ou outros resultados, de que qualquer estudo individual que contribua para a análise conjunta. Identificando fontes de variação nas respostas; ou seja, examinar a heterogeneidade de um grupo de estudos e a generalização das respostas pode levar a respostas mais próximas da realidade.

A metanálise é uma ferramenta predominante nas áreas de ciências da saúde e biológicas. Por exemplo, em uma pesquisa com a palavra chave "*Meta-analysis*" no banco de dados *Scopus*, em um total de mais de 2,5 milhões de trabalhos científicos, 53% eram de medicina, 12% de bioquímica, genética e biologia molecular, 8% de psicologia, 6% de ciências sociais, neurociências ou ciências agrárias e 16% de outras áreas.

Por ser uma técnica muito associada às reações humanas, a metanálise pode ser essencial para o presente estudo que trata da interação humano-estrutura.

Na metanálise há dois tipos de abordagens estatísticas, a primeira é chamada de efeitos fixos, no qual é indicada para uma população que as generalizações serão feitas, que consiste em um conjunto de estudos que tem características e efeitos de estudos idênticos. Por outro lado, a abordagem por efeitos aleatórios é admitida quando esse conjunto de estudos tem diferentes efeitos e características.

4.1.1 Domínio da Pesquisa Bibliográfica

De acordo com Higgins et al. (2008), para um planejamento da metanálise, uma grande revisão literária precisa ser feita, obtendo a literatura e resumindo-a. As fontes incluem literatura publicada, como artigos de revista e literatura não publicada, como teses, dissertações, relatórios de pesquisa, trabalhos de eventos e trabalhos em progresso, para assim, diminuir possíveis vieses que possam surgir com a seleção dos trabalhos.

As pesquisas podem ser feitas em bancos de dados de artigos, índices de citação e banco de dados de resumos. Em prosseguimento, quando os estudos são obtidos, as referências encontradas neles podem ser incluídas para a metanálise.

4.1.2 Modelagem da Variação na Metanálise

Segundo Normand (1999), existem pelo menos três fontes de variação que devem ser consideradas antes de fazer a combinação da estatística descritiva de vários estudos. Primeiro, os erros de amostragem podem variar entre os estudos. Por exemplo, Burton et al. (2005) tem 500 objetos de estudo, por outro lado Kanda et al. (1988) 199, resultando em um parâmetro de estimativa com variados graus de precisão. Em seguida, as características dos estudos ou metodologias adotadas são o segundo fator. Esse fator é mais complexo, pois cada estudo tem sua particularidade, por exemplo, Noguchi et al. (1993) utilizaram somente mulheres de meia idade como objeto de estudo, já Kanda et al. (1988) utilizaram objetos de ambos os sexos e diferentes idades. Por fim, pode haver uma variação entre os estudos. O modelo de efeitos fixos introduzido na subseção 4.1.2.1 admite que cada estudo tem os mesmos parâmetros adjacentes e que não há nenhuma variação entre os estudos. Por outro lado, o modelo de efeitos aleatórios (introduzido na subseção 4.1.2.2) admite que cada estudo é associado com um parâmetro diferente, porém relacionado.

4.1.2.1 Modelo de Efeitos Fixos

Um modelo de efeitos fixos admite que cada parâmetro estatístico, Y_i , é concebido de uma população de estimativa de estudos com uma média comum θ . Seja θ o parâmetro central de interesse e admitindo que existem $i = 1, 2, \dots, k$ estudos independentes. Admitindo que Y_i é tal que $E(Y_i) = \theta$ e seja $s_i^2 = \text{var}(Y_i)$ a variância do parâmetro estatístico no i ésimo estudo. Para estudos moderadamente grandes, cada Y_i deve ser normalmente e assintoticamente distribuído (pelo teorema do limite central) e aproximadamente sem viés sistemático. Então,

$$Y_i \stackrel{\text{indep.}}{\sim} N(\theta, s_i^2) \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, k \quad (4.1)$$

e s_i^2 admitido como conhecido.

4.1.2.2 Modelo de Efeitos Aleatórios

O modelo de efeitos aleatórios postula que cada parâmetro estatístico, Y_i , é obtido com uma média específica de cada estudo, θ_i , e variância, s_i^2 :

$$Y_i | \theta_i, s_i^2 \stackrel{\text{indep.}}{\sim} N(\theta_i, s_i^2) \quad (4.2)$$

Ademais, cada media específica de estudo, θ_i , é admitido ser extraído de uma superpopulação de efeitos com média θ e variância τ , com

$$\theta_i | \theta, \tau^2 \stackrel{\text{indep.}}{\sim} N(\theta, \tau^2) \quad (4.3)$$

θ e τ^2 são referidos como hiperparâmetros e podem representar o efeito médio e a variância entre os estudos, respectivamente.

Observando que, dados os hiperparâmetros, a distribuição de cada parâmetro estatístico, Y_i , depois de retirar a média sobre os efeitos de cada estudo, é normal com efeito médio θ e variância $s_i^2 + \tau^2$. No modelo dos efeitos aleatórios, θ é o parâmetro de central de interesse; entretanto, a variância entre os estudos, τ^2 , também é importante e deve ser estimada. Além do θ , é possível encontrar estimativas dos efeitos específicos dos estudos, θ_i , que são úteis para inferências estatísticas ligadas a efeitos particulares de cada estudo. A distribuição de θ_i , condicional aos dados observados e aos hiperparâmetros, chamada de distribuição a posteriori, é

$$\theta_i | \mathbf{y}, \theta, \tau^2 \sim N(B_i\theta + (1 - B_i)Y_i, s_i^2(1 - B_i)) \quad (4.4)$$

Sendo $\mathbf{y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_k)$. B_i , definido como $s_i^2/(s_i^2 + \tau^2)$, é comumente referido como o fator encolhimento (*shrinkage*) para o i ésimo estudo. Quanto maior a variância entre os estudos, τ^2 , menor será o encolhimento B_i dos efeitos de estudo observados. Porque $0 \leq B_i \leq 1$, a média de θ_i na [Equação 4.4](#) é uma harmonização entre o efeito médio, θ , e os parâmetros estatísticos, Y_i . Quando $\tau^2 = 0$, o encolhimento é maximizado com $B_i = 1$, então $\theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_k = \theta$ e o modelo de efeitos aleatórios corresponde a um de efeitos fixos.

4.1.3 Inferência Estatística

Para que as diferenças sejam verificadas no número de amostras e metodologias de abordagem, os estudos são estratificados e então combinados. Para tanto, a distinção se cada estudo (ou um conjunto de estudo) mede um parâmetro comum persiste. Portanto, é necessário primeiramente fazer um teste de homogeneidade de médias. Se nenhuma variação significativa entre os estudos é encontrada, então a abordagem dos efeitos fixos é adotada; caso contrário, a metanálise segue para a abordagem de efeitos aleatórios ou identifica as características de estudo que estratifica os estudos em subconjuntos com efeitos homogêneos. O teste de homogeneidade é descrito a seguir e seguido por uma descrição de modos inferenciais para os modelos de efeitos fixos e efeitos aleatórios. Os métodos da máxima verossimilhança, máxima verossimilhança restrita e bayesiano são dados para os dois tipos de modelo.

4.1.3.1 Teste de Homogeneidade

O modelo de efeitos fixos da [Equação 4.1](#) admite que o parâmetro específico do estudo k compartilha uma média comum θ . Um teste estatístico para a homogeneidade das médias de estudo é equivalente a:

$$H_0 : \theta = \theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_k \text{ contra}$$

H_1 : no mínimo um θ_i diferente

No domínio de H_0 , para amostras grandes, $Q_W = \sum_i^k W_i (Y_i - \hat{\theta}_{MLE})^2 \sim \chi_{k-1}^2$, sendo $\hat{\theta}_{MLE} = \sum W_i Y_i / \sum W_i$ e $W_i = 1/s_i^2$. Se Q_W é maior que o percentual $100(1 - \alpha)$ da distribuição χ_{k-1}^2 , então a hipótese de igualdade das médias, H_0 , pode ser rejeitada em 100%. Se H_0 é rejeitada, a metanálise pode ser concluída que as médias de estudo vêm de duas ou mais populações distintas e deve seguir de duas maneiras: buscar uma tentativa de identificar as covariáveis que estratificam os estudos em populações homogêneas ou estimando pelo modelo dos efeitos aleatórios. Se H_0 não pode ser rejeitado, a metanálise pode concluir que os estudos k compartilham uma mesma média, θ , e estimar θ usando $\hat{\theta}_{MLE}$. Testes de homogeneidade tem um baixo poder contra a alternativa $\text{var}(\theta_i) > 0$. Se H_0 for rejeitado, então é equivalente a dizer que a quantidade de variância entre os estudos é pequeno.

4.1.3.2 Modelo dos Efeitos Fixos

Quando s_i^2 é admitido como conhecido, o log-probabilidade para θ , $\log(L | \mathbf{y}, \mathbf{s}^2)$ é proporcional a $\sum_i ((Y_i - \theta)^2 / s_i^2)$, que leva a um estimador de máxima verossimilhança (MLE):

$$\hat{\theta}_{MLE} = \frac{\sum_{i=1}^k W_i Y_i}{\sum_{i=1}^k W_i} \quad \text{com } W_i = \frac{1}{s_i^2} \quad (4.5)$$

sendo $\mathbf{s} = (s_1^2, s_2^2, \dots, s_k^2)$. Inferências padrão sobre θ são disponíveis usando o fato que $\hat{\theta}_{MLE} \sim N(\theta, (\sum_i W_i)^{-1})$. Uma abordagem bayesiana pode ser adotada especificando uma distribuição prévia para θ , por exemplo, $\theta \sim N(0, \sigma_0^2)$, e calculando a distribuição a posteriori

$$\theta | \mathbf{y}, \mathbf{s}, \sigma_0^2 \sim N \left(\left[\sum_i W_i + \sigma_0^{-2} \right]^{-1} \left(\sum_i W_i Y_i \right), \left[\sum_i W_i + \sigma_0^{-2} \right]^{-1} \right).$$

O estimador de θ é a média a posteriori

$$\tilde{\theta}_B = \left[\sum_i W_i + \sigma_0^{-2} \right]^{-1} \left(\sum_i W_i Y_i \right) \quad (4.6)$$

Se σ^2 é grande, então a média a posteriori coincide com MLE.

4.1.3.3 Modelo dos Efeitos Aleatórios

Se τ^2 é conhecido, então o MLE de θ é dado por

$$\hat{\theta}(\tau)_{MLE} = \frac{\sum_i W_i(\tau) Y_i}{\sum_k W_i(\tau)} \quad \text{com } W_i(\tau) = \frac{1}{s_i^2 + \tau^2} \quad (4.7)$$

Entretanto, em um caso mais realístico de τ^2 desconhecido, dois métodos de inferência estatística podem ser aplicados: o da máxima verossimilhança restrita (REML) ou o bayesiano.

De acordo com [Patterson e Thompson \(1971\)](#) e [Laird, M., Ware \(1982\)](#), o método da máxima verossimilhança restrita é o método para estimar componentes de variância em um modelo geral linear. Usando a distribuição marginal para \mathbf{y} , o log-probabilidade a ser maximizado é

$$\log(L(\theta, \tau^2 | \mathbf{s}^2, \mathbf{y})) \propto \sum_i \left\{ \log(s_i^2 + \tau^2) + \frac{(Y_i - \hat{\theta}_R)^2}{s_i^2 + \tau^2} \right\} + \log \left(\sum (s_i^2 + \tau^2)^{-1} \right)$$

A REML de τ^2 é a solução de

$$\hat{\tau}_R^2 = \frac{\sum_i w_i^2(\hat{\tau}) \left(\frac{k}{k-1} (Y_i - \hat{\theta}_R)^2 - s_i^2 \right)}{\sum_i w_i^2(\hat{\tau})}$$

O estimador para a média da população é calculado como:

$$\hat{\theta}_R = \frac{\sum_i^k w_i(\hat{\tau}_R) Y_i}{\sum_i^k w_i(\hat{\tau}_R)}; \quad w_i(\hat{\tau}_R) = \frac{1}{s_i^2 + \hat{\tau}_R^2} \quad (4.8)$$

e inferências são feitas usando $\hat{\theta}_R \sim N(\theta, (\sum_i w_i(\hat{\tau}_R))^{-1})$. Um estimador para θ_i pode ser calculado substituindo os estimadores REML pelos hiperparâmetros na [Equação 4.4](#). Esse tipo de aproximação à distribuição a posteriori é conhecido como *Bayes empírico* e resulta em $\hat{\theta}_i^R = (1 - \hat{B}_i^R) Y_i + \hat{B}_i^R \hat{\theta}_R$ onde $\hat{B}_i^R = s_i^2 / s_i^2 + \hat{\tau}^2$ é o estimador de encolhimento. Inferências para os efeitos específicos de estudo são feitas usando $\hat{\theta}_R \sim N(\theta_i, s_i^2(1 - \hat{B}_i^R))$. O método Bayes pode ser deficiente pois ignora as incertezas dos hiperparâmetros, $\{\theta, \tau^2\}$.

Para que as incertezas na estimativa dos hiperparâmetros θ e τ^2 ([Equação 4.3](#)), a abordagem Totalmente Bayesiana pode ser adotada ([SMITH et al., 1995](#)), ([DUMOUCHEL; HARRIS, 1981](#)). Distribuições a priori sobre os parâmetros são especificados e inferências sobre o efeito da população θ podem ser feitas integrando os parâmetros desconhecidos sobre a distribuição a priori conjuntas de todos os parâmetros. Seja $\theta \sim N(0, a^2)$ e $\tau^{-2} \sim \gamma(c, d)$ com $E(\tau^{-2}) = c/d$ e $\text{var}(\tau^{-2}) = c/d^2$. Então a distribuição a posteriori conjunta para $V = \{\theta, \theta_1, \dots, \theta_k, \tau^2\}$ é calculada como:

$$p(V | \mathbf{y}, \mathbf{s}^2) \propto \prod_i p(\theta_i | y_i, s_i^2) p(\theta_i | \theta, \tau^2) p(\theta) p(\tau^2) \quad (4.9)$$

As inferências são conduzidas usando parâmetros estatísticos da distribuição a posteriori, por exemplo:

$$\hat{\theta}_B = E(\theta | \mathbf{y}, \mathbf{s}^2) = \int_{\theta} \theta \int_{\theta_i, \tau^2} [p(V) d\theta_i d\tau^2] d\theta \quad (4.10)$$

A integral da [Equação 4.10](#) pode ser tratada analiticamente quando a priori e a verossimilhança são conjugados. Tipicamente, a integral deve ser avaliada numericamente. Nesses casos, uma aproximação de Monte Carlo na posteriori pode ser utilizada.

Um terceiro estimador de τ^2 vem do teste da homogeneidade. O método dos momentos (MOM), proposto por [Dersimonian e Laird \(1986\)](#), é concebido igualando Q_w com o seu respectivo valor esperado correspondente, assim:

$$\hat{\tau}_{DL}^2 = \max \left\{ 0, \frac{Q_W - (k - 1)}{\sum W_i - \frac{\sum W_i^2}{\sum W_i}} \right\}$$

Isso leva a,

$$\hat{\theta}_{DL} = \frac{\sum_i w_i(\hat{\tau}_{DL}) Y_i}{\sum_i w_i(\hat{\tau}_{DL})} \quad \text{com} \quad w_i(\hat{\tau}_{DL}) = \frac{1}{s_i^2 + \hat{\tau}_{DL}^2} \quad (4.11)$$

$\hat{\theta}_{DL}$ é conhecido como o estimador semponderado de Cochran de θ . A [Tabela 3](#) demonstra um resumo dos estimadores apresentados.

4.1.4 Diagnóstico

Essa fase da metanálise deve ser feita depois que a os dados são coletados e armazenados de acordo com as seções anteriores. A partir disso, há duas formas de diagnóstico dos resultados. O primeiro, chamado de análise de sensibilidade, é uma abordagem sistemática que investiga o quão sensível os resultados são às metodologias de análise ou mudanças nos dados. Concomitantemente, métodos para avaliar e ajustar a metanálise quando há um mecanismo de amostragem tendencioso também são apresentados.

4.1.4.1 Análise de Sensibilidade

Uma análise exploratória dos dados primários, por exemplo, as estimativas específicas do estudo, deve primeiro ser realizada a fim de compreender as características importantes dos dados. Por exemplo, um diagrama de caixa dos efeitos do estudo indicará valores típicos, dispersão (assimetria, multimodais etc.) e caudas (presença de *outliers*). Os diagramas de caixa podem ser estratificados por características dos estudos, a fim de compreender como e porque os estudos diferem.

A metanálise deve estimar tanto um modelo de efeitos fixos quanto um de efeitos aleatórios e comparar os resultados de ambos. A sensibilidade aos pressupostos estatísticos pode ser avaliada assumindo diferentes distribuições para os efeitos do estudo e comparando inferências subsequentes. Além disso, dentro de um modelo, a metanálise deve determinar quão sensível é a estimativa combinada para qualquer estudo ou grupo de estudos. Isto pode ser conseguido deixando um estudo para fora, calculando o efeito combinado dos restantes estudos, e comparando os resultados com o efeito combinado com base em todos os estudos.

Tabela 3 – Resumo dos estimadores para os modelos de efeitos fixos e efeitos aleatórios

Método	Parâmetro	Estimador	Variância
Modelo dos Efeitos Fixos: $Y_i \sim N(\theta, s_i^2)$			
MLE	θ	$\hat{\theta}_{\text{MLE}} = \frac{\sum_i W_i Y_i}{\sum_i W_i}$ $W_i = 1/s_i^2$ conhecido	$\left(\sum_i W_i\right)^{-1}$
Bayesiano	θ	$\tilde{\theta}_B = \left[\sum_i W_i + \sigma_0^{-2}\right]^{-1} \left(\sum_i W_i Y_i\right)$ $W_i = 1/s_i^2$ conhecido	$\left[\sum_i W_i + \sigma_0^{-2}\right]^{-1}$
Modelo dos Efeitos Aleatórios: $Y_i \theta_i, s_i^2 \sim N(\theta, s_i^2); \theta_i \theta, \tau^2 \sim N(\theta, \tau^2)$			
Dersimonian e Laird	τ^2	$\hat{\tau}_{\text{DL}}^2 = \max \left\{ 0, \frac{Q_W - (k-1)}{\sum W_i - \frac{\sum W_i^2}{\sum W_i}} \right\}$	Nenhum proposto
Método dos Momentos	θ	$\hat{\theta}_{\text{DL}} = \frac{\sum_i w_i(\hat{\tau}_{\text{DL}}) Y_i}{\sum_i w_i(\hat{\tau}_{\text{DL}})}$ $W_i(\tau) = 1/s_i^2 + \tau^2, W_i = 1/s_i^2$ conhecidos	$\left(\sum_i w_i(\hat{\tau}_{\text{DL}})\right)^{-1}$
REML	τ^2	$\hat{\tau}_{\text{R}}^2 = \frac{\sum_i w_i^2(\hat{\tau}) \left(\frac{k}{k-1}(Y_i - \hat{\theta}_{\text{R}})^2 - s_i^2\right)}{\sum_i w_i^2(\hat{\tau})}$	Fisher* ¹
	θ	$\hat{\theta}_{\text{R}} = \frac{\sum_i^k w_i(\hat{\tau}_{\text{R}}) Y_i}{\sum_i^k w_i(\hat{\tau}_{\text{R}})}$	$\left(\sum_i w_i(\hat{\tau}_{\text{R}})\right)^{-1}$
Bayes Empírico	θ	$\hat{\theta}_i^{\text{R}} = (1 - \hat{B}_i^{\text{R}}) Y_i + \hat{B}_i^{\text{R}} \hat{\theta}_{\text{R}}$ $w_i(\hat{\tau}_{\text{R}}) = 1/s_i^2 + \hat{\tau}_{\text{R}}^2, \hat{B}_i^{\text{R}} = s_i^2/s_i^2 + \hat{\tau}_{\text{R}}^2$ conhecidos	$s_i^2(1 - \hat{B}_i^{\text{R}})$
Bayesiano* ²	τ^2	$\hat{\tau}_{\text{B}}^2 = \int \tau^2 \hat{p}(V \mathbf{y}, \mathbf{s}) d\theta_i d\theta d\tau^2$	Distribuição
	θ	$\hat{\theta}_{\text{B}} = \int \theta \hat{p}(V \mathbf{y}, \mathbf{s}) d\theta_i d\tau^2 d\theta$	Distribuição
	θ	$\hat{\theta}_i^{\text{B}} = \int \theta_i \hat{p}(V \mathbf{y}, \mathbf{s}) d\theta_j d\theta d\tau^2 d\theta_i$	Distribuição
	$g(V)$	$\hat{g}(V) = \int g(V) \hat{p}(V \mathbf{y}, \mathbf{s}) dV$	Distribuição

Fonte: adaptado de [Normand \(1999\)](#)

1: A medida de informação observada de Fisher denota a matriz inversa das segundas derivadas da função log-probabilidade avaliada nos estimadores REML.

2: $V = \{\theta, \theta_1, \dots, \theta_k, \tau^2\}$ e $g(V)$ denota a função dos parâmetros, por exemplo, $P(\theta_i > 0)$.

4.1.4.2 Viés de Publicação

Se os objetos de estudo forem somente fontes de literatura publicada, a metanálise pode ser comprometida com a viés de publicação. Segundo [Guyatt et al. \(2009\)](#), isso ocorre quando a publicação da pesquisa depende dos resultados do estudo e/ou se eles são ou não estatisticamente relevantes.

Dois métodos distintos e independentes serão apresentados para que a viés de publicação seja verificada. O primeiro tem relação com a seletividade de publicação com relação à direção dos resultados que pode ser analisado pelo gráfico de funil. O segundo método está relacionado a significância estatística e pode ser analisado pelo gráfico de [Galbraith](#). Introduzido como ferramenta de metanálise por [Richard et al. \(1984\)](#), o gráfico de funil é um diagrama de dispersão de precisão versus efeito não padronizado (como coeficientes de regressão e coeficientes de correlação).

Na falta de viés de publicação, as estimativas irão variar aleatoriamente e simetricamente sobre o efeito real. A forma invertida e esperada do gráfico de túnel é regida pelo fenômeno estatístico da heteroscedasticidade. Como exemplo, A [Figura 5](#) demonstra os um gráfico de funil dos dados de metanálise de [Doucouliagos e Laroche \(2003\)](#) sobre os efeitos da sindicalização na produtividade e a [Figura 6](#) dos dados de metanálise de [Dalhuisen et al. \(2003\)](#) sobre as elasticidades de preço na demanda residencial de água, sendo $1/SE$ o inverso do erro padrão, que é calculado como:

$$SE = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4.12)$$

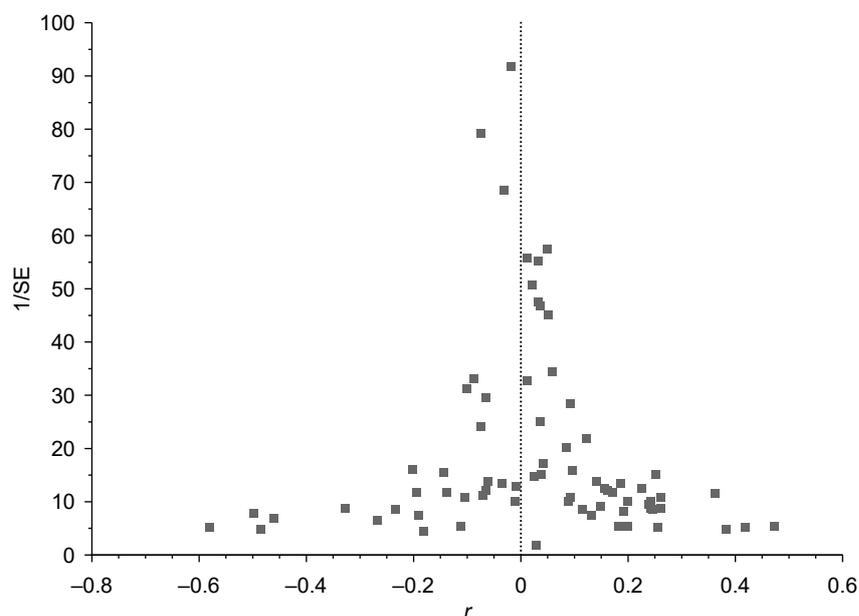
Sendo σ o desvio-padrão da população e n o número de amostras

Como podem ser vistos na [Figura 5](#) e na [Figura 6](#), o gráfico de funil apresenta uma maior simetria no primeiro do que no segundo. Portanto, isso pode ser levado em consideração para a verificação de seletividade de publicação. [Stanley \(2005\)](#) sugere que essa assimetria pode estar relacionada ao favorecimento de determinada direção. Apesar de ser verificada uma grande tendência de direção na [Figura 6](#), não pode ser concluído que não há chances de não ter viés de publicação no gráfico de funil da [Figura 5](#). Uma segunda verificação deve ser feita utilizando o gráfico de [Galbraith](#), pois os estudos podem estar incluídos na seletividade de publicação tipo II (termo definido por [Stanley \(2005\)](#)).

O tipo II de viés de publicação surge com a seleção de trabalhos que apresentam significância estatística. Sendo assim, o método proposto por [Galbraith \(1988\)](#) busca identificar esse tipo de seletividade.

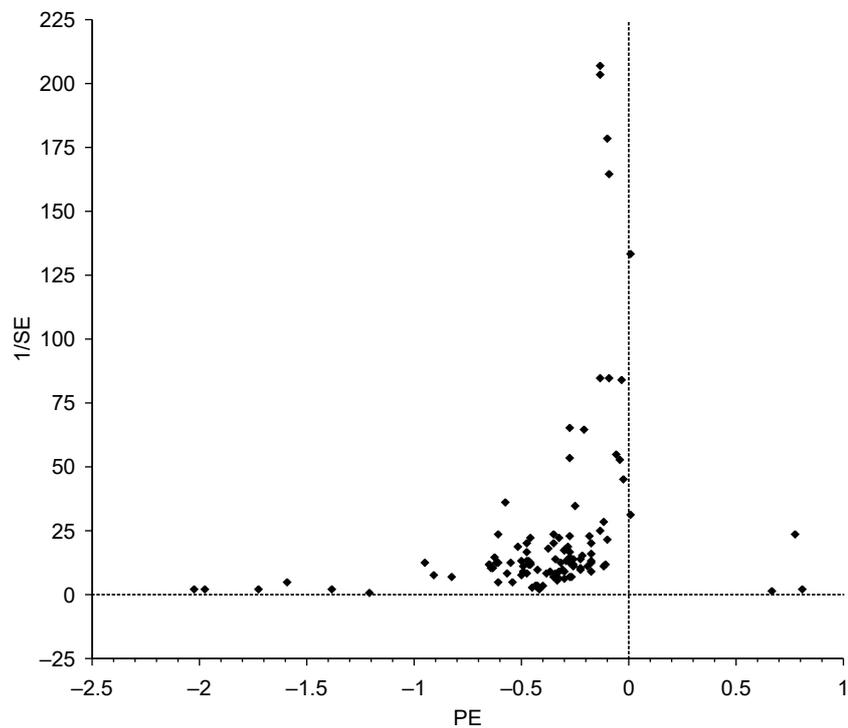
Ainda no exemplo de [Doucouliagos e Laroche \(2003\)](#), no qual não foi claramente detectada a viés de publicação no gráfico de funil, a [Figura 7](#) demonstra o gráfico de [Galbraith](#) para essa metanálise, sendo a ordenada o valor t de Student. Essencialmente,

Figura 5 – Gráfico funil da metanálise dos efeitos da sindicalização na produtividade

Fonte: [Stanley \(2005\)](#)

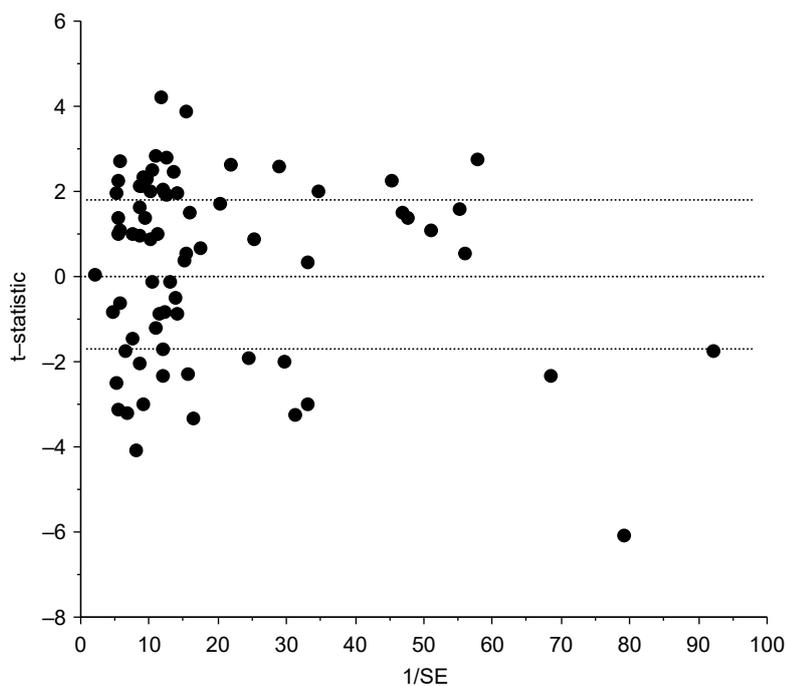
o gráfico de Galbraith é um gráfico de funil rotacionado em 90° e ajustado para que seja removida a heteroscedasticidade aparente. Quando não há efeito da seletividade, os pontos ficam distribuídos aleatoriamente sobre 0, sem relação nenhuma com a precisão. ??) recomenda que essa faixa de t-valores estejam em uma faixa de $\pm 1,96$. Existem algumas técnicas para ajustar a viés de publicação, dentre elas, a análise de meta-regressão (MRA) de [Stanley e Jarrell \(1989\)](#).

Figura 6 – Gráfico funil da metanálise das elasticidades de preço na demanda de água



Fonte: Stanley (2005)

Figura 7 – Gráfico Galbraith da metanálise dos efeitos da sindicalização na produtividade



Fonte: Stanley (2005)

5 PRÉ-ANÁLISE DOS DADOS

De acordo com os preâmbulos da metanálise, uma extensa busca foi realizada. Os bancos de dados utilizados foram *Scopus*, *Google Scholar* e Periódico Capes. Além disso, outras fontes complementares foram utilizadas, tais como a ferramenta *Mendeley Search*, a plataforma *Research Gate* e também as referências dos próprios trabalhos adquiridos foram verificadas. Nos bancos de dados foram utilizadas as palavras-chaves “*human comfort*”, “*tall buildings*” e “*wind*”.

Os trabalhos selecionados foram organizados, de acordo com o [Apêndice A](#), de forma sistemática, em primeiro autor, ano, idioma, tipo de publicação, fonte de publicação e título do trabalho. Além disso, a cada trabalho foi dada uma identificação chamada de *ID*. A identificação é dada com 4 caracteres, sendo os dois primeiros as iniciais do autor e os dois últimos o ano de publicação. Caso houvesse *branchs* iguais, o segundo caractere era substituído pela inicial do segundo autor.

5.1 CARACTERÍSTICAS DO LEVANTAMENTO

Após a extensa busca nos bancos de dados e em referências bibliográficos, conforme o [Apêndice A](#), os trabalhos encontrados e cadastrados na tabela contabilizam um total de 90.

Para que possa ser avaliada, qualitativamente, a busca, [Normand \(1999\)](#) definiu dois conceitos de análise: *recall* e precisão. *Recall* é definido como:

$$\text{Recall} = \frac{\text{Trabalhos adquiridos}}{\text{Total de trabalhos que deveriam ser adquiridos}} \cdot 100\%$$

no qual mede a taxa de sucesso da busca. Por outro lado, a precisão que elimina os falsos positivos, pode ser definida como:

$$\text{Precisão} = \frac{\text{Adquiridos e Relevantes}}{\text{Adquiridos}} \cdot 100\%$$

Tanto o *recall*, quanto a precisão são parâmetros que definem o sucesso da busca, ou seja, quanto mais alto forem esses valores, maior o sucesso da busca.

Dentre os 90 trabalhos adquiridos, o *recall* obtido foi de 51,1% e a precisão de 15,2%. Apesar da alta taxa de sucesso na busca, a precisão apresentou um valor baixo, pois os critérios de seleção excluíram trabalhos que não estavam de acordo com o padrão almejado para a metanálise.

Os trabalhos cadastrados no [Apêndice A](#) foram publicados ou apresentados no período de 1971 até 2017, nos quais apresentaram dois idiomas, inglês com 51,1% e japonês com 15,6% dos trabalhos. Quanto às informações do tipo de publicação, que será usada na análise de viés de publicação, os trabalhos publicados em revistas apresentaram o maior percentual com 40,0%, seguido dos anais de congressos com 38,9%, relatórios de pesquisa com 12,2% e teses de doutorado com 7,8%.

5.2 TRABALHOS EXCLUÍDOS

Para que houvesse uma homogeneidade na metanálise, alguns critérios de seleção de trabalhos foram estabelecidos. De forma mais específica, os estudos de conforto humano deveriam apresentar dois parâmetros estatísticos de limites de aceleração, a média e o desvio-padrão em uma determinada frequência, sejam quaisquer as metodologias empregadas. Além disso, poderiam ser incluídos trabalhos que tivessem dados estatísticos que possibilitem a extração dos parâmetros citados anteriormente. A [Tabela 4](#) apresenta os critérios mínimos que os trabalhos devem obedecer para que se tornem viáveis para a metanálise.

Os trabalhos excluídos da metanálise, ou não apresentaram os critérios mínimos da [Tabela 4](#), ou não estavam disponíveis, dentre outros fatores. Uma descrição mais detalhada de cada trabalho excluído da metanálise pode ser visualizada na [Tabela 5](#).

5.3 TRABALHOS SELECIONADOS

Os trabalhos que obedeceram os critérios explicados na seção anterior foram subdivididos de acordo com a [Tabela 6](#). Na tabela são apresentados os detalhes dos dados extraídos dos trabalhos selecionados, tais como metodologias aplicadas, que serão exploradas no [Capítulo 6](#), tipo de dado extraído e número de dados pontuais de relação frequência-aceleração. Alguns trabalhos, por exemplo com ID SK93A1 e SK93A2, possuem a mesma aplicação metodológica, entretanto, com apresentação dos resultados diferentes. Para o caso SK93A1, os resultados dos indivíduos testados são de "percebe vagamente" e para SK93A2 são de "percebe fortemente". O mesmo ocorre com os outros casos de metodologia duplicada.

Em alguns trabalhos foram encontrados mais de um tipo de metodologia aplicada com diferentes resultados. Cada resultado diferente e com metodologias diferentes foram extraídos para posterior análise. Esses 31 resultados serão denominados neste trabalho de estratos. No [Apêndice B](#) estão todos os dados extraídos dos trabalhos, incluindo aqueles que foram excluídos por insuficiência de dados.

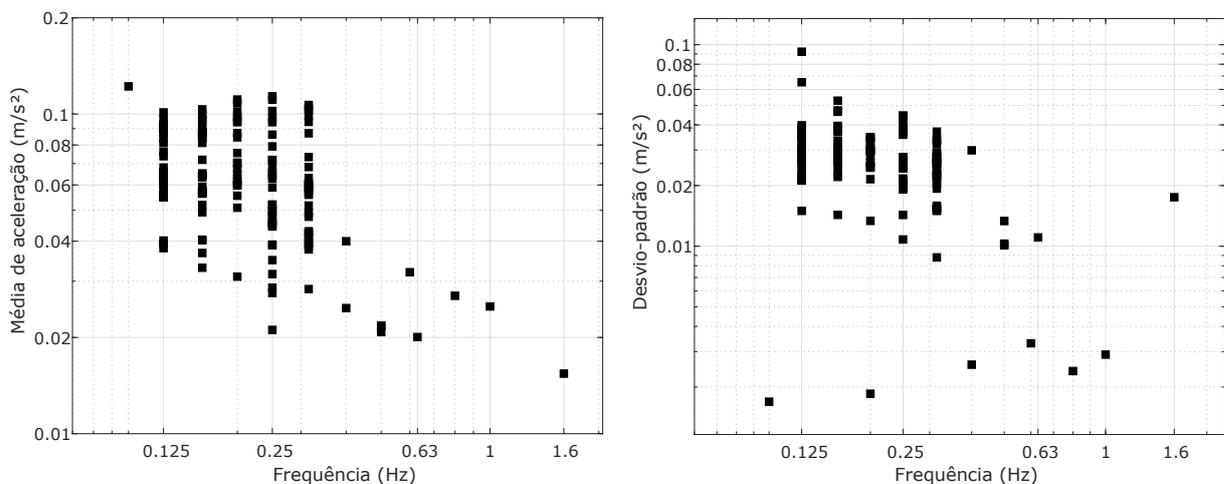
Tabela 4 – Critérios de Exclusão/Seleção

Item	Requisito	Descrição
1	Média e Desvio-Padrão	O estimador a ser avaliado será a média de percepção de aceleração em uma determinada frequência. Os trabalhos precisam ter média e desvio-padrão, ou ainda, variância. Além disso, dados estatísticos suficientes para a extração, caso não tenha a média/desvio-padrão.
2	Função de Distribuição Acumulada	Caso item 1 não seja atendido, a função de distribuição acumulada pode ser utilizada para a extração dos estimadores através de métodos estatísticos.
3	Metodologias	As seguintes informações devem estar disponíveis quanto à metodologia: formato da onda de vibração, sinais visuais, orientação do corpo, trajetória da onda, postura do corpo e tipo de ensaio (simulador ou escala real).
4	Número de amostras	Deve constar o número de amostras do estudo. Nesse caso, não há critérios quanto a proporção de homens e mulheres no estudo. Esse tipo de metodologia foi descartado na análise de acordo com Lamb e Kwok (2017b) , abordado no Capítulo 3 .
5	Outras informações relevantes	Outras informações, como origem da publicação, são relevantes para análises periféricas do estudo.

Fonte: elaborado pelo autor

Os dados dos 31 estratos são apresentados na [Figura 8](#), sendo os dados das médias de percepção de aceleração e desvios-padrões dos estudos, respectivamente.

Figura 8 – Dados extraídos: (a) média (b) desvio-padrão



Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 5 – Descrição dos Critérios dos Trabalhos Excluídos

ID	Motivos de exclusão
KF71, RJ71, CF73, IA75, YM75, YM77, IA78, MR79, HK80, GT81, IA84, HI86, FM88, KJ88, MW88, GT90, KJ90, KT90, YM90, K92, IN93, NS93, IT93, KJ95, IN95, GT96, DR99, SS99, DL00, DR01, KS02, IT03, IK03, BM04, BM05, KK05, BM07, KK08, BM08, KT08, BM11	Os trabalhos não estão disponíveis para download ou não foi possível obter cópia eletrônica ou física do conteúdo
HR73	Os critérios levam em conta a porcentagem de pessoas que perceberam uma certa aceleração em um período de retorno.
GT75	Não apresenta o número de amostras
MW78, GT83, IA86, FK90, FK90, KJ96, BK04, BK06, KS08, KK09, KD13, LK13, LS13, BM15, FJ15, LS16, FJ17, LS17	Não apresenta critérios
GM80	1 - Os testes são para critérios frequência x duração; 2 - A menor frequência de vibração é de 4 Hz.
IA81, NK93, BR04, WJ08	Não apresenta dados estatísticos suficientes (desvio-padrão)
LB83	Não apresenta critério de frequência
KJ93	O trabalho apresenta apenas uma elaboração para critério probabilístico baseado nos experimentos de KT90
IT94, NC96	Avaliação de conforto está em grau de desconforto
IN96	Critério aceleração x altura do edifício. Não fornecem frequências naturais dos edifícios. Não fornecem o número de amostras
SK98, IT98, NC99,	Revisão bibliográfica
SS02	Apresenta apenas resultados de vibração torcional
BH06	Dados de trabalhos anteriores
BR07	Critério teórico
MM10	Apesar de ter uma relação aceleração x frequência, o formato de apresentação dos resultados impede de extraí-los
KS12	Critério semi-empírico e probabilístico.
LS14	Não apresenta frequência, somente aceleração

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 6 – Estratificação dos Dados

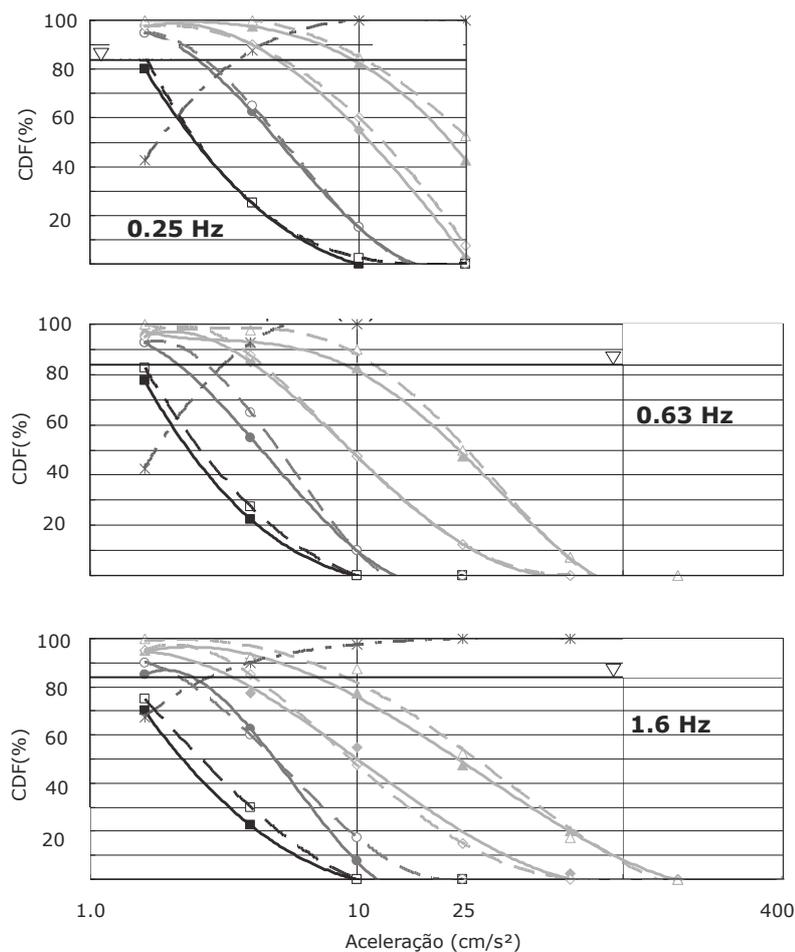
ID	Referência	Parâmetro Estatístico	Forma da Onda	Sinais Visuais	Orientação do Corpo	Trajectoria	Postura	Número de Dados
BM06A	Burton (2006)	Média e DP	Aleatória	Sim	Bidirecional	Uniaxial	Sentada	7
BM06B	Burton (2006)	Média e DP	Aleatória	Sim	Bidirecional	Uniaxial	Em pé	3
BM06C	Burton (2006)	Média e DP	Aleatória	Sim	Frontal	Uniaxial	Sentada	3
NC10A	Noda e Ishikawa (2010)	CDF	Senoidal	Não	Lateral	Uniaxial	Sentada	3
SK93A1	Shioya e Kanda (1993)	Média e DP	Aleatória	Sim	Frontal	Elíptica	Sentada	5
SK93A2	Shioya e Kanda (1993)	Média e DP	Aleatória	Sim	Frontal	Elíptica	Sentada	5
SK93B1	Shioya e Kanda (1993)	Média e DP	Aleatória	Sim	Lateral	Elíptica	Sentada	5
SK93B2	Shioya e Kanda (1993)	Média e DP	Aleatória	Sim	Lateral	Elíptica	Sentada	5
SK94A1	Shioya et al. (1994)	Média e DP	Senoidal	Sim	Frontal	Uniaxial	Sentada	5
SK94A2	Shioya et al. (1994)	Média e DP	Senoidal	Sim	Frontal	Uniaxial	Sentada	5
SK94B1	Shioya et al. (1994)	Média e DP	Senoidal	Sim	Lateral	Uniaxial	Sentada	5
SK94B2	Shioya et al. (1994)	Média e DP	Senoidal	Sim	Lateral	Uniaxial	Sentada	5
SK94C1	Shioya et al. (1994)	Média e DP	Senoidal	Sim	Frontal	Elíptica	Sentada	4
SK94C2	Shioya et al. (1994)	Média e DP	Senoidal	Sim	Frontal	Elíptica	Sentada	4
SK94D1	Shioya et al. (1994)	Média e DP	Senoidal	Sim	Lateral	Elíptica	Sentada	4
SK94D2	Shioya et al. (1994)	Média e DP	Senoidal	Sim	Lateral	Elíptica	Sentada	4
SK94E1	Shioya et al. (1994)	Média e DP	Senoidal	Sim	Bidirecional	Circular	Sentada	4
SK94E2	Shioya et al. (1994)	Média e DP	Senoidal	Sim	Bidirecional	Circular	Sentada	4
SK96A1	Shioya et al. (1996)	Média e DP	Aleatória	Sim	Frontal	Uniaxial	Sentada	5
SK96A2	Shioya et al. (1996)	Média e DP	Aleatória	Sim	Frontal	Uniaxial	Sentada	5
SK96B1	Shioya et al. (1996)	Média e DP	Aleatória	Sim	Frontal	Elíptica	Sentada	5
SK96B2	Shioya et al. (1996)	Média e DP	Aleatória	Sim	Frontal	Elíptica	Sentada	5
SK96C1	Shioya et al. (1996)	Média e DP	Aleatória	Sim	Lateral	Uniaxial	Sentada	5
SK96C2	Shioya et al. (1996)	Média e DP	Aleatória	Sim	Lateral	Uniaxial	Sentada	5
SK96D1	Shioya et al. (1996)	Média e DP	Aleatória	Sim	Lateral	Elíptica	Sentada	5
SK96D2	Shioya et al. (1996)	Média e DP	Aleatória	Sim	Lateral	Elíptica	Sentada	5
TY06A	Tamura et al. (2006)	Média e DP	Senoidal	Sim	Frontal	Uniaxial	Sentada	5
TY06B	Tamura et al. (2006)	Média e DP	Senoidal	Sim	Lateral	Uniaxial	Sentada	5
TY06C	Tamura et al. (2006)	Média e DP	Senoidal	Sim	Frontal	Elíptica	Sentada	4
TY06D	Tamura et al. (2006)	Média e DP	Senoidal	Sim	Lateral	Elíptica	Sentada	4
TY06E	Tamura et al. (2006)	Média e DP	Senoidal	Sim	Bidirecional	Circular	Sentada	4
WJ08A	Wu et al. (2008)	Média e DP	Harmônica	Sim	Livre	Uniaxial	Livre	6

Fonte: elaborado pelo autor

5.4 EXTRAÇÃO DOS DADOS DE ID NC10A E WJ08A

Os dados de [Noda e Ishikawa \(2010\)](#), diferentemente dos outros, não apresentaram média e desvio-padrão de percepção, somente as curvas de função de distribuição log-normal acumulada em distribuição da [Figura 9](#).

Figura 9 – Curvas de distribuição acumulada log-normais



Fonte: [Noda e Ishikawa \(2010\)](#)

Como visualizado na figura, a distribuição está incompleta com início em aproximadamente 40% nos resultados de 0,25 Hz e 0,63 Hz e de 65% na frequência de 1,6 Hz. Para que os estimadores fossem extraídos, os dados da curva foram extraídos e uma regressão foi aplicada com a equação da função de distribuição acumulada lognormal ([Equação 5.1](#)).

$$cdf = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left[\frac{\ln(x) - \mu}{\sqrt{2}\sigma} \right] \quad (5.1)$$

Sendo μ e σ , respectivamente, os parâmetros de localização e escala de uma distribuição

normal de $\ln(x)$ calculados como:

$$\mu = \ln \left(\frac{m}{\sqrt{1 + \frac{v}{m^2}}} \right) \quad (5.2)$$

$$\sigma^2 = \ln \left(1 + \frac{v}{m^2} \right) \quad (5.3)$$

Sendo m e v a média e a variância.

Os valores dos parâmetros foram extraídos conforme a [Figura 10](#) e a média e a variância são determinados de acordo com a [Equação 5.4](#) e [Equação 5.5](#), respectivamente.

$$m = \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) \quad (5.4)$$

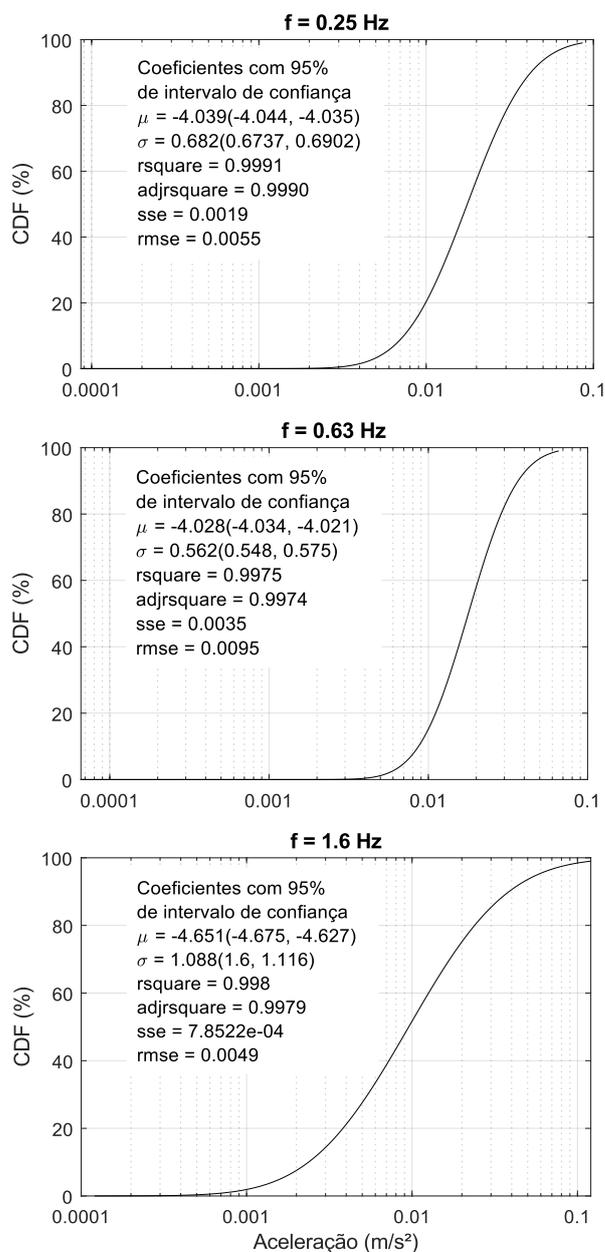
$$v = \left[\exp(\sigma^2) - 1 \right] \exp(2\mu + \sigma^2) \quad (5.5)$$

Assim como NC10A, WJ08A não apresenta os valores de média e variância de percepção, mas os parâmetros μ e σ . Entretanto, o autor usa o mesmo termo para taxa de comentários adversos e percepção de vibração. Além disso, foi observado que os valores de percepção são muito altos com relação aos outros valores de outros estudos, o que leva a inferência de que foi utilizada a metodologia para comentários adversos, não percepção de vibração. No [Capítulo 6](#) esses dois termos serão mais detalhados, pois representam parâmetros distintos. Portanto, os dados WJ08A serão descartados para a metanálise.

5.5 DIAGRAMA DE CAIXA

O diagrama de caixa é uma ferramenta estatística para representar graficamente 5 parâmetros estatísticos que demonstram a tendência central do conjunto de dados, sendo: a variação com limites máximo e mínimo, o primeiro e terceiro quartil e a mediana. O gráfico foi inventado por [Tukey \(1970\)](#) e pode ser usado para comparar a distribuição entre grupos de dados, verificar a indicação de vieses, detecta *outliers* e resumir um conjunto de dados. Ele é dividido pelo primeiro quartil sendo a parte inferior da caixa, o terceiro quartil sendo a parte superior da caixa, a mediana, o limite inferior e o limite superior. O grau de dispersão pode ser verificado com o tamanho da caixa, a obliquidade pela localização da mediana e a presença de outliers fora do diagrama. A [Figura 11](#) apresenta os diagramas de caixa dos valores da média de aceleração para cada frequência. Os grupos de dados das frequências apresentadas foram de 0,125, 0,16, 0,2, 0,25, 0,315 e 0,50 Hz, pois nessas frequências os dados apresentam número superior ou igual a 3.

Figura 10 – Curvas CDF de NC10

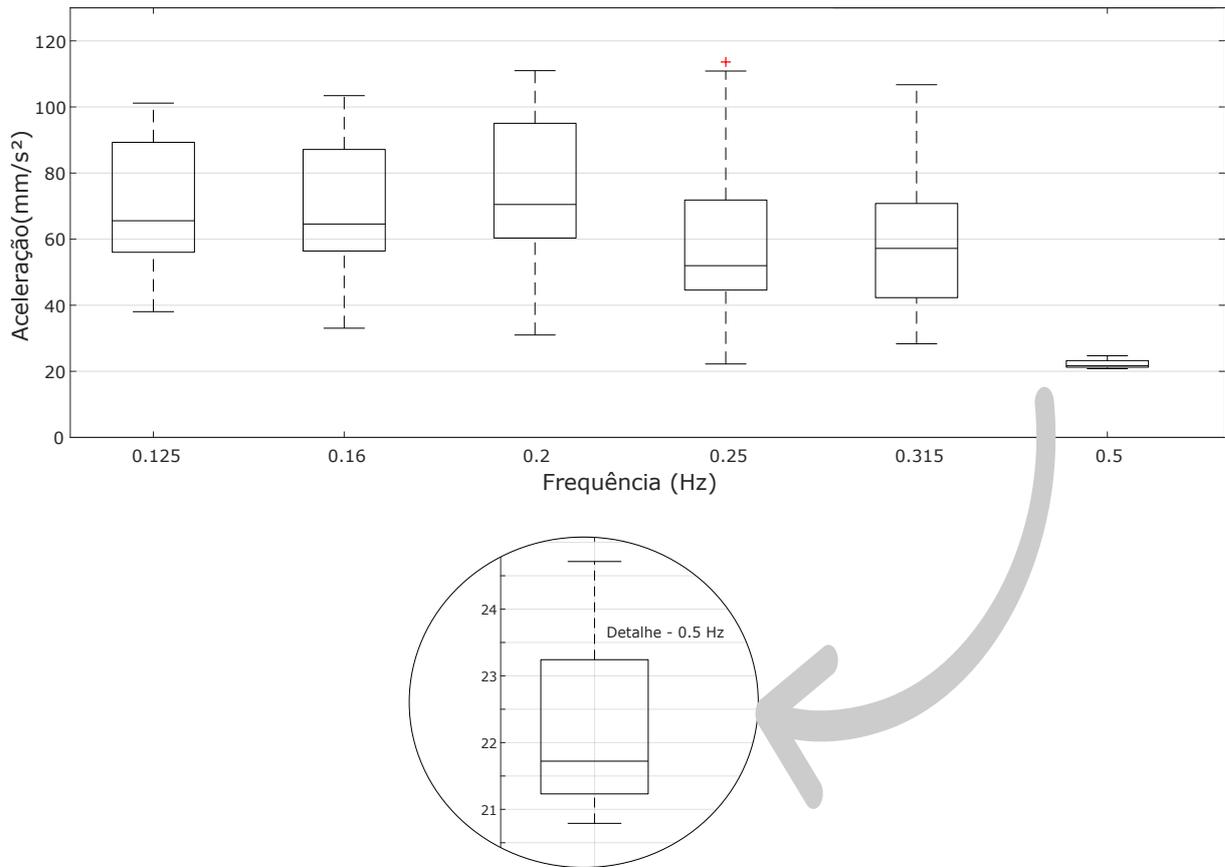


Fonte: elaborado pelo autor

Com exceção dos dados de 0,315 Hz, todos os grupos de frequência apresentaram assimetria com a tendência da linha da mediana mais próxima das menores percepções de aceleração. Com relação à dispersão de 50% dos dados representado pelo limite da caixa, os grupos de dados a partir de 0,25 Hz apresentaram uma tendência para acelerações menores, pois a caixa está mais próxima ao limite inferior.

A presença de *outliers* foi verificada com os dados fora de 2,698 do desvio-padrão. O valor de 0,1136 m/s² é um *outlier* de SK96B2 na frequência de 0,25 Hz, no qual foi o

Figura 11 – Diagrama de caixa dos dados



Fonte: elaborado pelo autor

único *outlier* encontrado dentro todos os dados.

Os dados na frequência de 0,5 Hz foram os mais particulares. Eles têm uma variação muito baixa comparando com os outros grupos de frequência, entre 0,021 e 0,025 m/s². Isso pode ser explicado pela quantidade de dados, com 4 valores, e também, os dados, apesar de serem de aplicações metodológicas diferentes, são do mesmo autor.

5.6 VIÉS DE PUBLICAÇÃO

5.6.1 Tipo I

A viés de publicação para a verificar a direção dos resultados foi feita para cada grupo de frequência e está apresentada nos gráficos de funil da [Figura 12](#) e [Figura 13](#). A análise foi feita para dois grupos de dados, para todos os dados e somente para aqueles de trabalhos publicados em revistas científicas. Os gráficos apresentam os valores dos resultados de percepção de aceleração e do inverso do erro padrão. Além disso, a linha tracejada horizontal representa o *true effect* que, de acordo com [Stanley \(2005\)](#), pode ser

estimado pelos 10% dos pontos que apresentam os menores valores de erro padrão.

Comparando os gráficos da esquerda com os da direita, nota-se uma leve inclinação da direção dos resultados para valores mais altos de percepção de aceleração. Isso pode indicar que os trabalhos têm maior tendência de serem aceitos por terem valores mais altos de aceleração.

5.6.2 Tipo II

Na [Figura 14](#) apresenta um gráfico de [Galbraith](#) para os dados do grupo de frequência. O t-valor foi calculado de acordo com a [Equação 5.6](#).

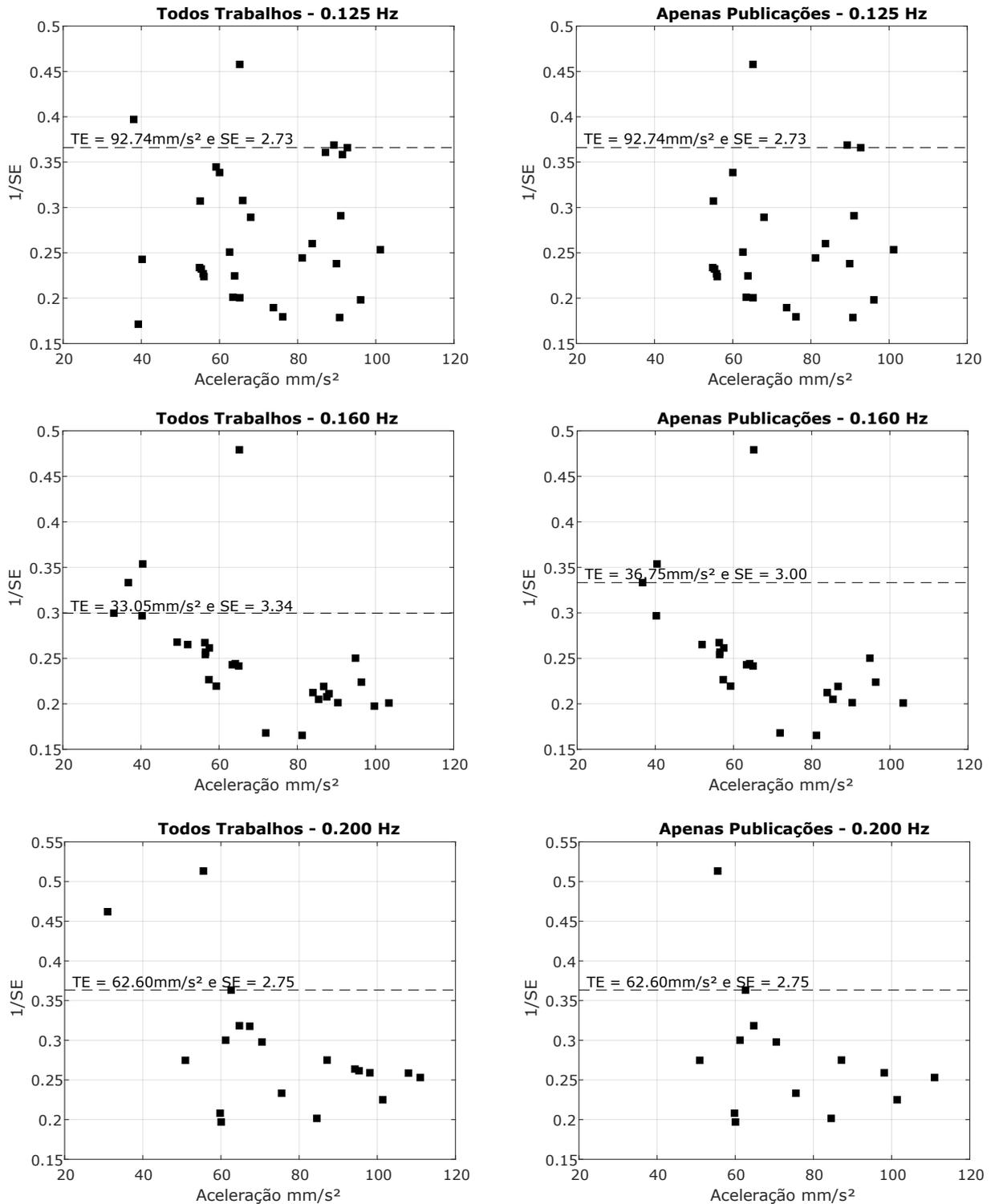
$$t - valor = \frac{(Efeito_j - TE)}{SE_j} \quad (5.6)$$

Sendo o $Efeito_j$ a percepção de aceleração para cada estudo, TE o valor do *true effect* estimado na seção anterior e SE_j o erro padrão calculado conforme a [Equação 4.12](#).

A excessiva variação do t-valor pode sugerir o tipo de viés de publicação do tipo II, no qual somente trabalhos com significância estatística muito altas são publicados, independente da precisão. Diferente do tipo I que tem uma indicação mais discreta, no gráfico de Galbraith é visível a variação do t-valor.

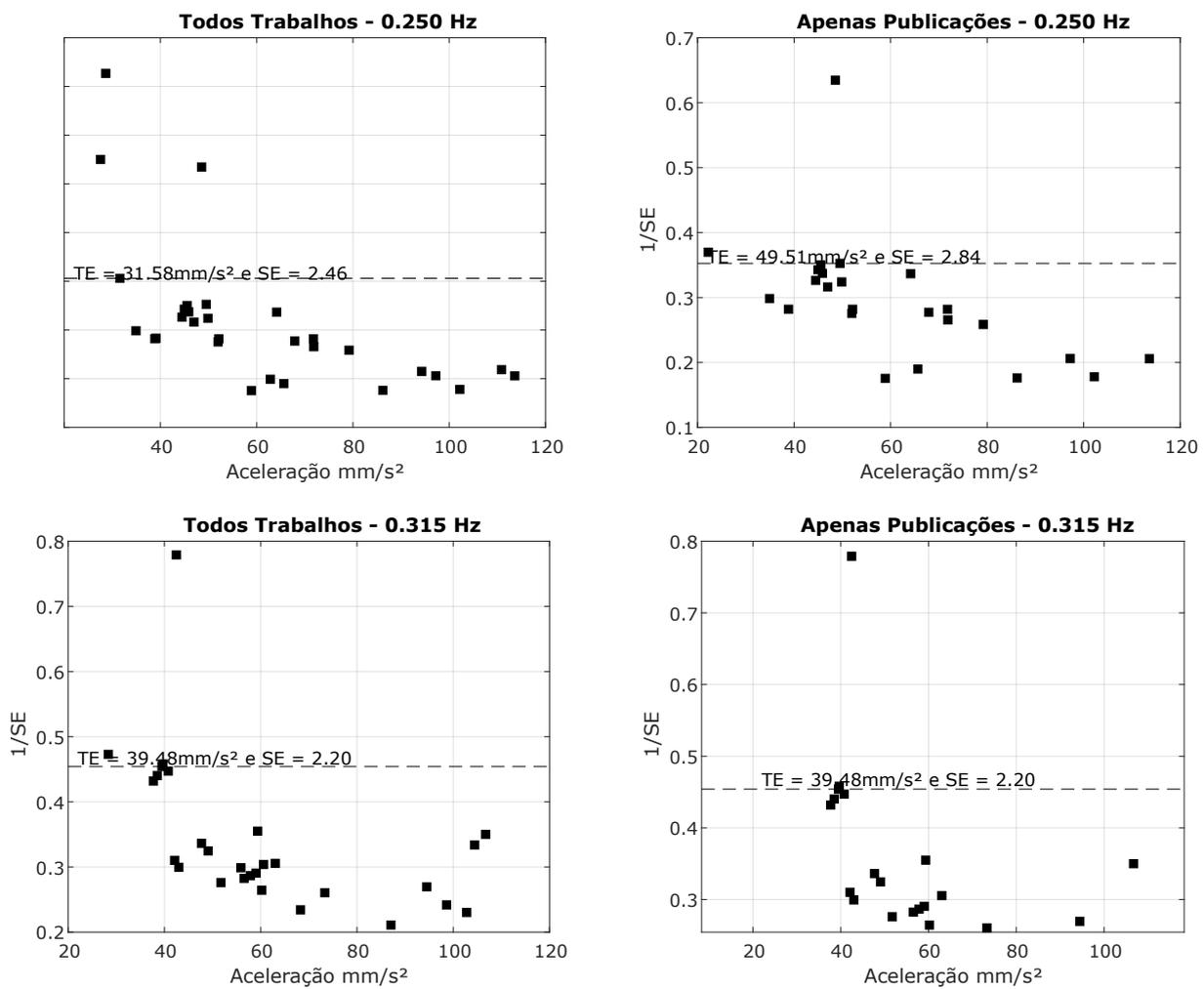
Outros indicativos, além do tipo II de viés de publicação, que podem influenciar no excesso de variação dos efeitos são erros de aleatórios de metodologia, ou ainda, uma genuína heterogeneidade na percepção de aceleração.

Figura 12 – Gráfico de funil dos dados – f: 0.125 Hz – 0.2 Hz



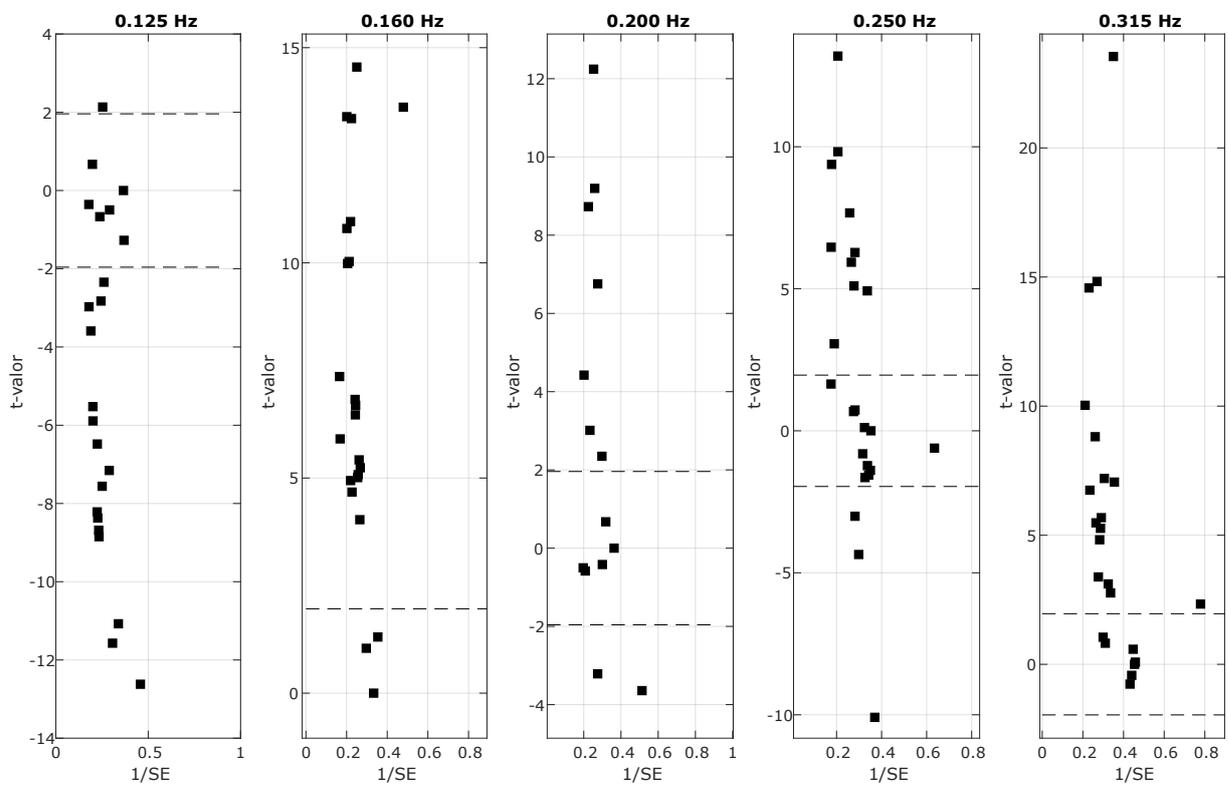
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 13 – Gráfico de funil dos dados - f : 0.25 Hz – 0.315 Hz



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 14 – Gráfico de Galbraith



Fonte: elaborado pelo autor

6 METANÁLISE

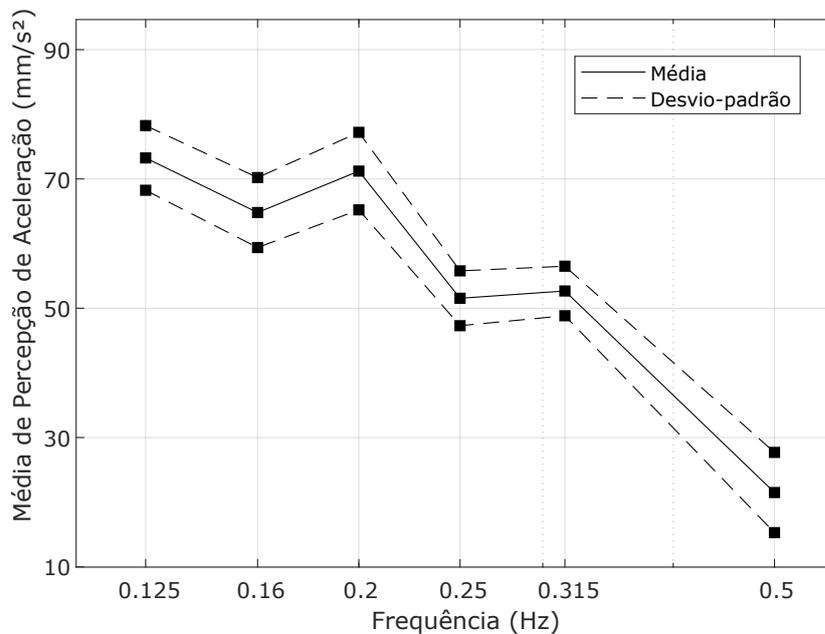
Após a seleção, extração e filtragem dos dados, a metanálise foi realizada para cada ponto de frequência com o número mínimo de 3 dados de percepção de aceleração. Os métodos escolhidos foram o da Máxima Verossimilhança (MLE) para o modelo de efeitos fixos e o de [Dersimonian e Laird \(1986\)](#) acoplado com o método dos momentos vistos no [Capítulo 4](#)

6.1 MÉTODO DA MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA – EFEITO FIXOS

O método MLE foi utilizado para a determinação de um estimador que representasse os dados para cada frequência disponível. Foram analisados 30 dados para a frequência de 0,125 Hz, 28 dados para 0,16 Hz, 19 dados para a 0,2 Hz, 31 dados para 0,25 Hz, 28 dados para a frequência de 0,315 Hz e somente 4 dados para a frequência de 0,5 Hz.

A [Figura 15](#) apresenta os resultados utilizando o método MLE, no qual apresenta o estimador média de percepção de aceleração e a faixa de desvio-padrão obtido a partir do cálculo do estimador variância.

Figura 15 – Resultados dos estimadores de percepção de aceleração com o método MLE



Fonte: elaborado pelo autor

Um dos efeitos da disponibilidade dos dados pode ser visto na [Figura 15](#) de forma subjetiva. Nota-se que os valores de aceleração nas frequências de 0,2 Hz e 0,315 Hz

aumentam com relação aos estimadores calculados para as frequências de 0,16 Hz e 0,25 Hz, anteriores a eles. Isso pode ser explicado devido a dois fatores, o primeiro, os números de dados serem diferentes em cada análise de frequência, pois os autores não possuem uma padronização em relação ao outro sobre as frequências utilizadas nos ensaios. Um segundo fator seria a sensibilidade das metodologias aplicadas em cada estudo que será visto mais à frente.

De acordo por Denoon (2001), Kanda et al. (1988), Chen e Robertson (1972), Burton (2006), dentre outros autores, a distribuição da percepção de aceleração segue uma distribuição lognormal. Portanto, a partir dos valores dos estimadores e usando os conceitos detalhando na seção 5.4, as curvas das funções de distribuição acumulada foram traçadas conforme a Figura 16. As curvas das funções de distribuição acumulada serão utilizadas mais à frente para a elaboração dos critérios de conforto

6.2 MÉTODO DE DERSIMONIAN & LAIRD/MOMENTOS – EFEITO ALEATÓRIOS

O método de Dersimonian e Laird (1986) e dos momentos foram aplicados seguindo os procedimentos do Capítulo 4 e os resultados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultados da análise por Dersimonian e Laird (1986)/Momentos

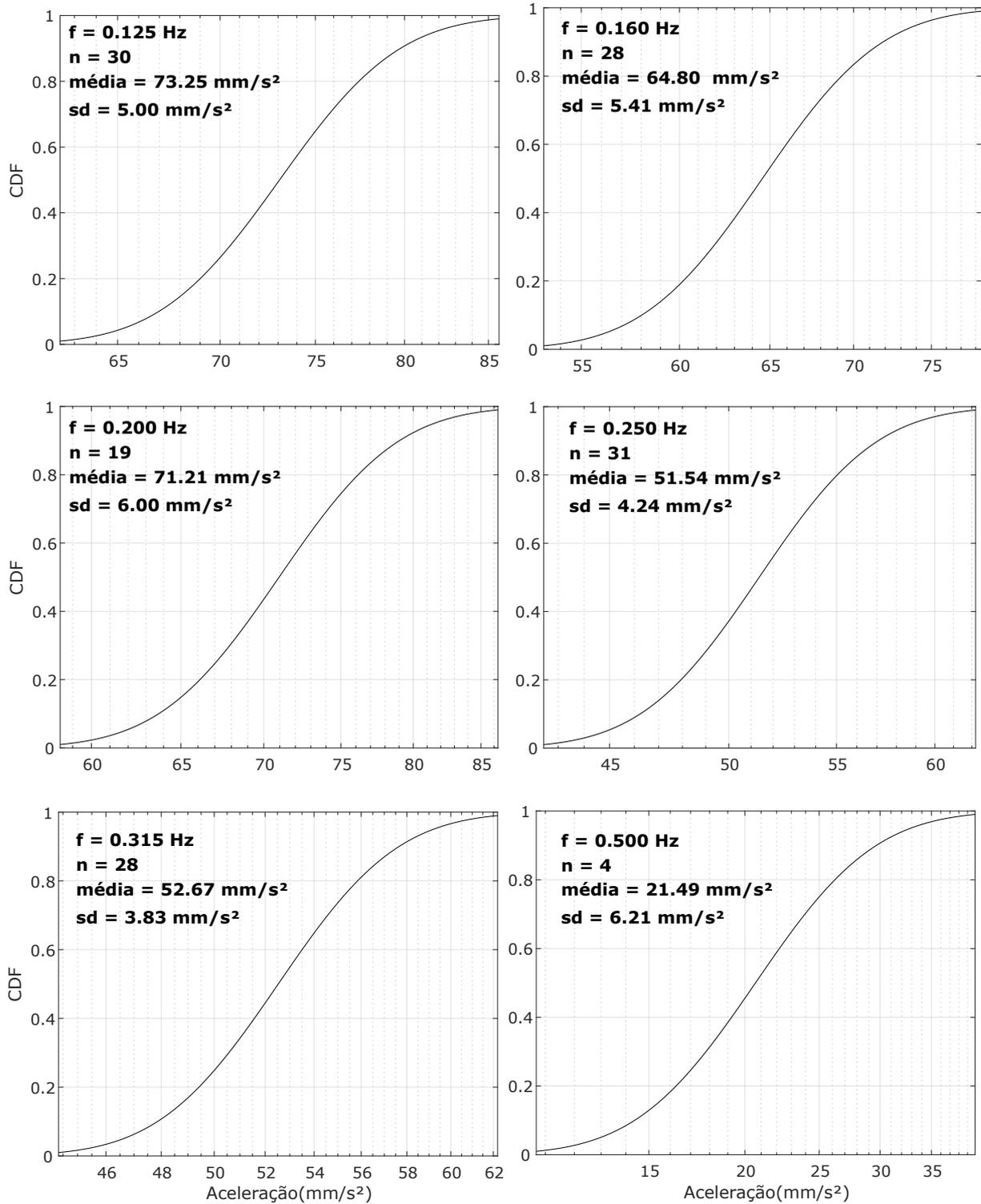
Frequência (Hz)	χ_{k-1}^2	k	$\hat{\tau}_{DL}^2$	$\hat{\theta}_{DL}$ (mm/s ²)	Variância (mm/s ²)	Teste de Homogeneidade (95% de significância estatística)
0.125	9.780	30	0	73.248	25.004	H_0 aceito
0.160	11.435	28	0	64.798	29.308	H_0 aceito
0.200	10.495	19	0	71.210	35.944	H_0 aceito
0.250	20.618	31	0	51.538	17.978	H_0 aceito
0.315	25.630	28	0	52.666	14.667	H_0 aceito
0.500	0.017	4	0	21.492	38.503	H_0 aceito

Fonte: elaborado pelo autor

O teste de hipótese para que θ seja igual a todos os valores de θ_k em diferentes graus de liberdade foi aceito, pois o valor de χ_{k-1}^2 em todas as frequências testadas é menor que o valor de significância estatística de 95% ($\alpha = 5\%$). Além disso, os valores da variância entre-estudos para todos os casos é igual a 0, tornando o modelo de efeitos aleatórios em um modelo de efeitos fixos.

Quando o valor da variância entre-estudos é igual a 0, os valores dos estimadores são iguais para o modelo de efeito fixo e modelo aleatório. Comparando os resultados dos estimadores, os valores são os mesmos, uma vez que a variância entre-estudos é zero para todos os casos.

Figura 16 – Curvas de função de distribuição log-normal acumulada dos resultados da metanálise



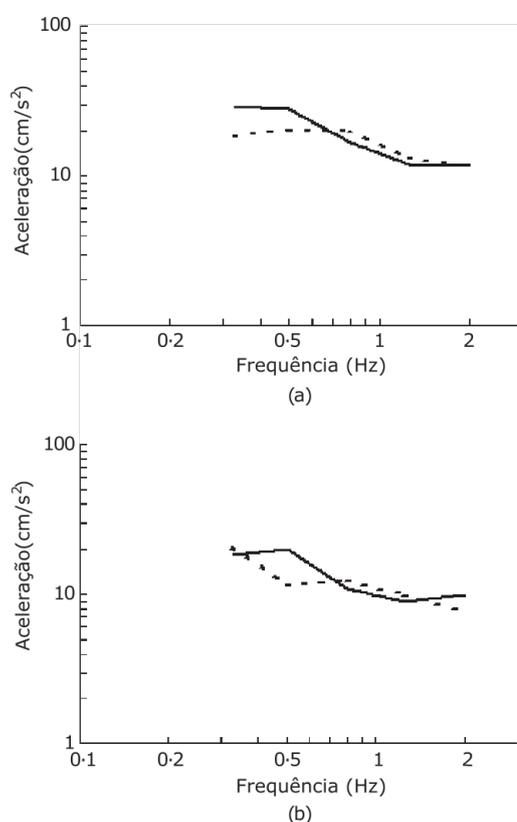
Fonte: elaborado pelo autor

6.3 SENSIBILIDADE DAS METODOLOGIAS DE ENSAIO

6.3.1 Forma de Onda

A forma de onda foi comparada por alguns autores, por exemplo, [Tamura et al. \(2006\)](#) afirma que não há nenhuma diferença significativa entre a onda senoidal e a onda aleatória e supõe que as pessoas não sentem nenhuma diferença intrínseca na sensibilidade das duas formas de onda. Os autores compararam duas curvas com ondas senoidais e aleatórias, conforme a [Figura 17](#), para chegar a essa conclusão.

Figura 17 – Comparação das ondas senoidais e aleatórias para a direção uniaxial e orientação do corpo (a) frontal e (b) lateral

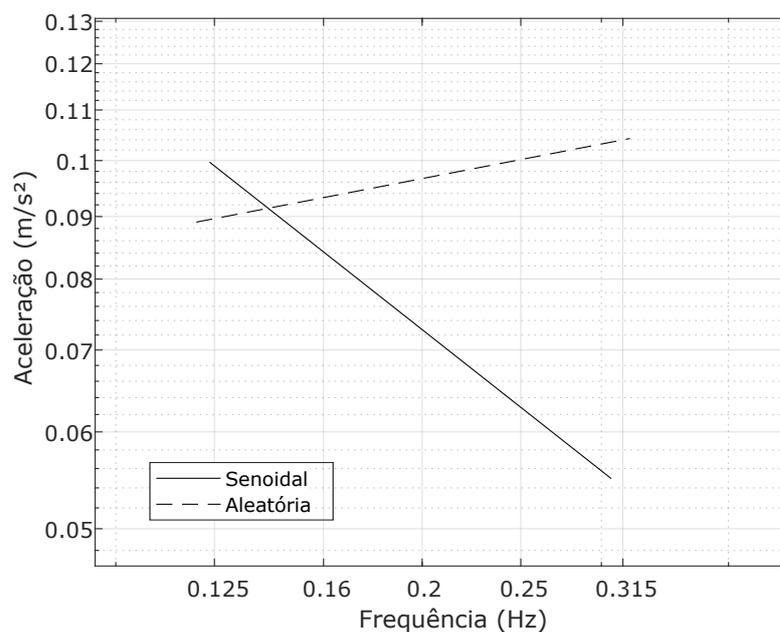


Fonte: [Tamura et al. \(2006\)](#)

Por outro lado, [Shioya e Kanda \(1993\)](#) comparou o formato de onda senoidal e aleatória e verificou que há uma diferença significativa. Enquanto que os gradientes de regressão da onda senoidal são negativos com a frequência seguindo um padrão da ISO 6897 ([ISO, 1984](#)), os gradientes de regressão para a onda aleatória são positivos e quase constantes com a frequência como pode ser visualizado na [Figura 18](#).

Os autores explicam que esse fenômeno pode ser devido à demora da resposta do indivíduo objeto de estudo em frequências mais altas.

Figura 18 – Comparação das ondas senoidais e aleatórias de SK93



Fonte: [Shioya e Kanda \(1993\)](#)

Como há incompatibilidades, uma a verificação da sensibilidade das duas formas de onda foi feita. A [Figura 19](#) demonstra os resultados com todos os dados, com somente aqueles que adotaram a forma de onda senoidal e com os que adotaram ondas aleatórias.

Como pode ser visualizado, as médias de percepção para a onda senoidal seguem uma dependência com gradiente negativo com relação à frequência, por outro lado, os valores da média para a onda aleatória seguem um padrão inconstante. Essa inconstância que segue um padrão de aclives e declives com as frequências pontuais influenciaram no resultado para todos os dados.

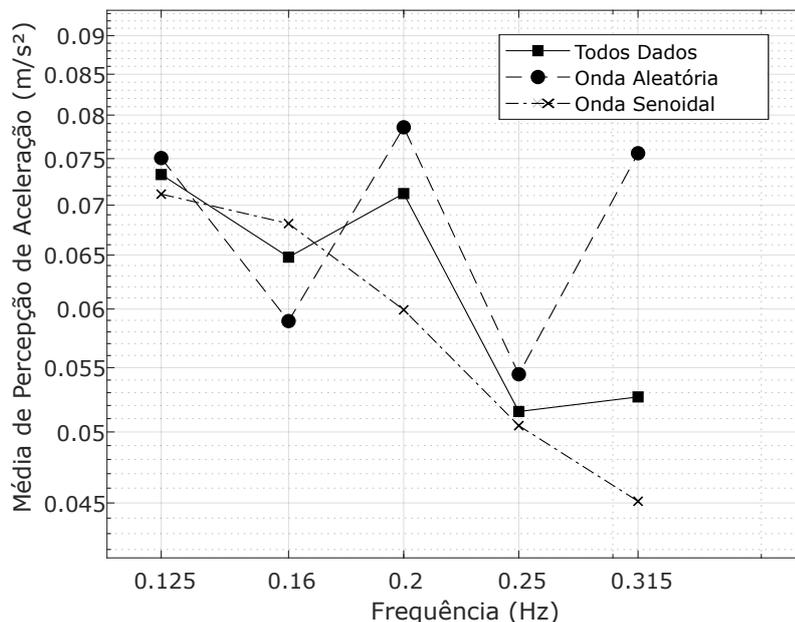
Apesar dos resultados para os dados que contenham apenas as ondas senoidais estarem compatíveis com [Tamura et al. \(2006\)](#) e [Shioya e Kanda \(1993\)](#), os resultados das médias para a onda aleatória não apresentam semelhança com os dados dos dois autores. Essa diferença se mostrou muito significativa, pois na onda aleatória não há dependência com a aceleração com a frequência.

6.3.2 Sinais Visuais

Apenas um levantamento, NC10A, foi feito com restrição total de sinais visuais para os participantes, tanto na visualização externa por janelas, quanto objetos presentes na sala de simulação que podem se mover e alterar a percepção do usuário.

Um teste de sensibilidade foi feito retirando-se os resultados desse levantamento e

Figura 19 – Sensibilidade da forma da onda



Fonte: elaborado pelo autor

não houve uma diferença significativa na média de percepção de aceleração para todos os levantamentos. A diferença foi na frequência de 0,25 Hz e está na quinta casa decimal de aceleração em m/s^2 .

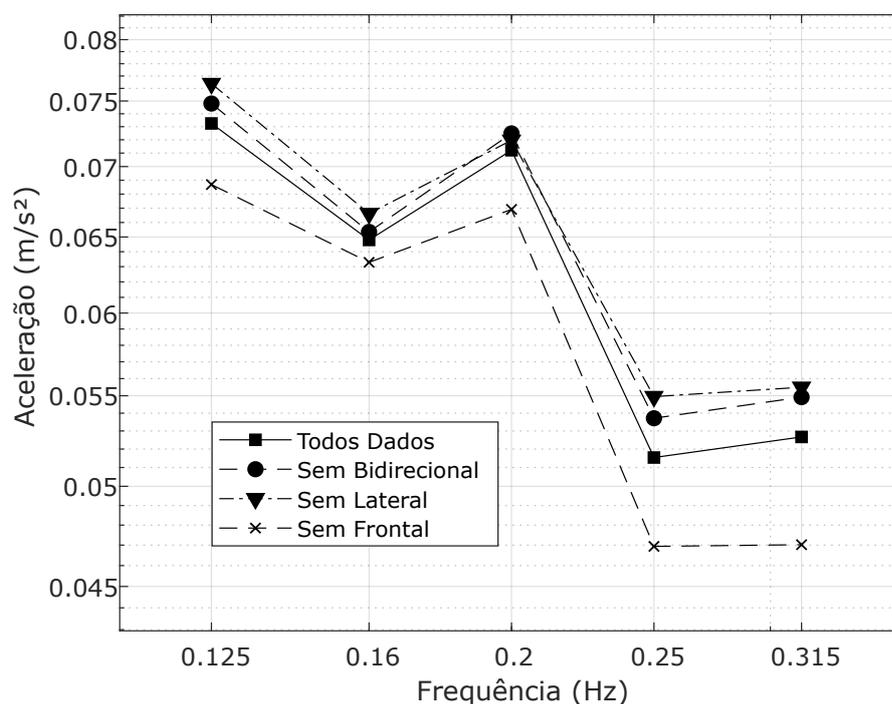
6.3.3 Orientação do Corpo

Foram utilizadas três metodologias quanto à orientação do corpo nos trabalhos de percepção: a direção da onda no sentido frontal à cabeça, no sentido lateral e nas duas direções, bidirecional. Quatro trabalhos usaram a orientação bidirecional, sendo dois com trajetória da onda uniaxial e dois com trajetória circular. Os outros 25 trabalhos utilizaram a orientação lateral e frontal, sendo 12 e 13 trabalhos, respectivamente.

Uma análise de sensibilidade foi conduzida com o propósito de verificar se há diferenças significativas. A análise foi feita retirando-se os dados dos trabalhos de determinada orientação do corpo e, assim, feita a verificação do estimador de média de percepção. A Figura 20 apresenta os resultados da metanálise com os resultados para todos os dados, sem os dados da orientação lateral, bidirecional e frontal.

A diferença da aplicação dessa metodologia não apresentou diferenças significativas nos grupos de frequência. Todos os resultados seguiram a mesma dependência com a frequência com diferenças pequenas de aceleração. Os resultados apontam que as pessoas têm maior sensibilidade às vibrações no sentido lateral do que no sentido frontal, pois

Figura 20 – Sensibilidade da orientação do corpo



Fonte: elaborado pelo autor

retirando-se os dados com orientação lateral, por exemplo, os valores de percepção de aceleração são maiores.

6.3.4 Trajetória da Onda

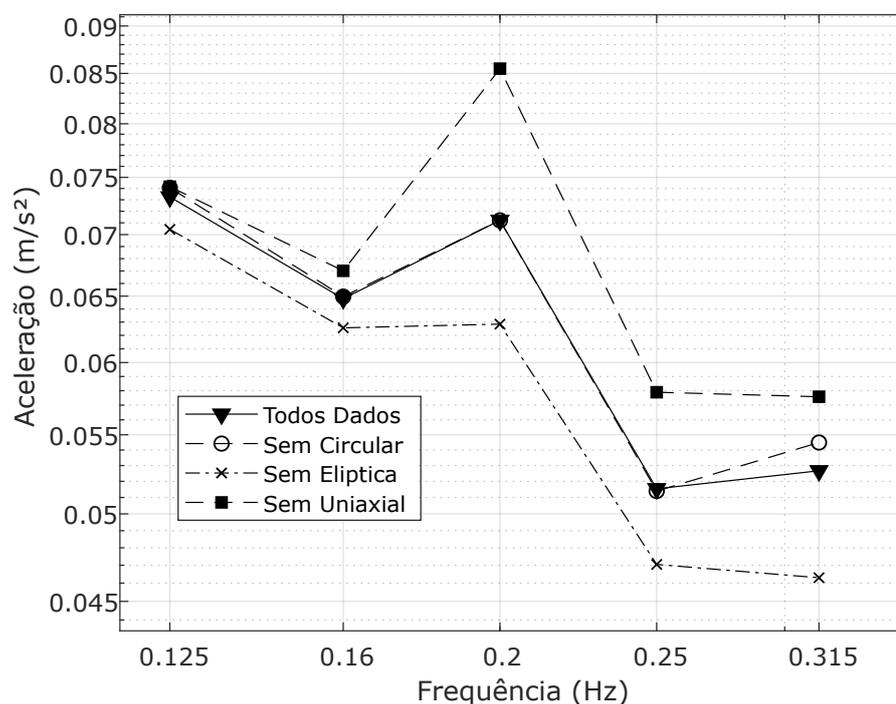
Existem três trajetórias de onda adotadas como metodologia de estudo nos levantamentos de percepção: trajetória uniaxial, elíptica e circular. A trajetória circular apresenta apenas três levantamentos e as trajetórias uniaxial e elíptica 14 cada.

A importância de identificar esse diferencial na metodologia está relacionada com o fato de que os sistemas do corpo humano que detectam a aceleração linear e a aceleração angular são diferentes. Os canais semicirculares presentes no ouvido detectam as acelerações angulares de qualquer passo e os órgãos otólitos, também presentes no ouvido, detectam as acelerações lineares (KWOK et al., 2015).

A Figura 21 demonstra os resultados dos estimadores para todos os dados, para os dados sem a trajetória circular, uniaxial e elíptica.

Como há poucos dados nos levantamentos com trajetória circular, os resultados dos estimadores retirando essa trajetória estão similares com os resultados para todos os dados. Entretanto, há uma diferença entre os resultados dos estimadores retirando a

Figura 21 – Sensibilidade da trajetória da onda



Fonte: elaborado pelo autor

elíptica e a uniaxial. Uma vez que elas possuem a mesma quantidade de levantamentos, elas podem ser comparadas.

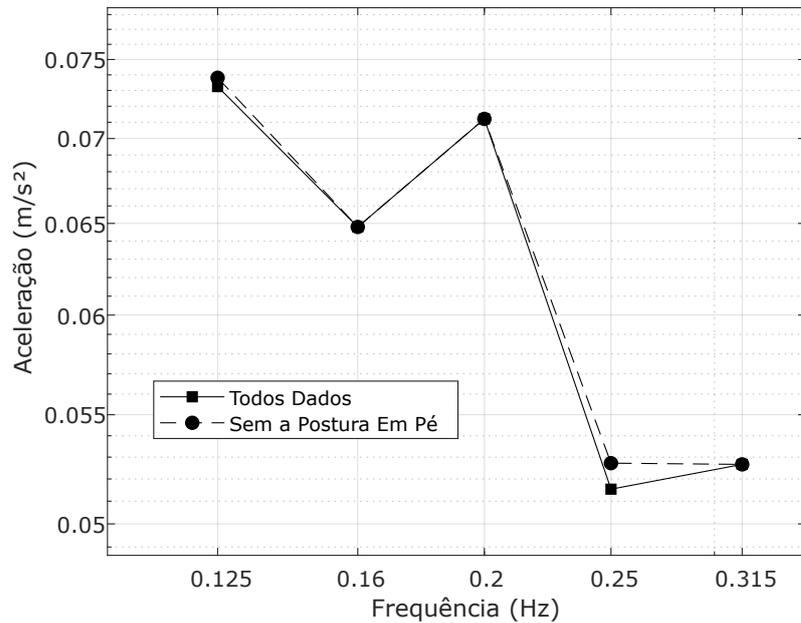
Com essa comparação, pode chegar a uma conclusão que a vibração translacional é mais sensível para o ser humano que a vibração torcional, uma vez que retirando-se os dados com trajetória uniaxial as acelerações aumentam ou diminuem se forem retiradas as elípticas.

6.3.5 Postura Corporal

Somente um levantamento foi realizado com a postura do indivíduo em pé, todos os outros foram feitos com a postura do corpo sentada. A [Figura 22](#) demonstra a comparação entre os estimadores para todos os dados e aqueles sem a adoção da postura em pé.

A diferença entre os dois resultados não é expressiva, mas vale ressaltar que somente um levantamento adota a postura em pé. Se mais levantamentos com essa postura fossem feitos, poderia ser verificado o peso da sensibilidade do ser humano em perceber a vibração em diferentes posturas. Em um caso real de percepção, o indivíduo estará em posição livre e poderá detectar diferentes limites de aceleração de acordo com a postura.

Figura 22 – Sensibilidade da postura corporal



Fonte: elaborado pelo autor

6.4 CRITÉRIO CONFORTO

Para a elaboração do critério de conforto humano a partir dos resultados, o estimador para a frequência de 0,5 Hz foi excluído da regressão por ter baixa variação, representado por um χ^2_{k-1} de 0,017 e por ser de um mesmo autor, que não é recomendado para uma metanálise.

Em uma pesquisa de campo de [Burton \(2006\)](#) foram verificados a taxa de comentários adversos (TCA) em um evento de tempestades de vento com a participação de 5.000 pessoas. Todos os participantes da pesquisa tiveram a percepção de vibração em algum momento da tempestade, entretanto, somente 2,3% dos participantes relataram comentários adversos.

Com essa TCA, a seguinte suposição pode ser feita:

$$\frac{\text{TCA}}{\text{Percepção}} = \frac{2,3\%}{100\%} \approx \frac{2\%}{87\%} \approx \frac{1\%}{44\%}$$

Essas TCA correspondem a 1 ano de período de retorno de uma tempestade de vento com o máximo de resposta de 10 minutos. De acordo com o levantamento de [Burton \(2006\)](#), os participantes do levantamento fizeram uma reclamação sugerindo uma tempestade de vento típica anual.

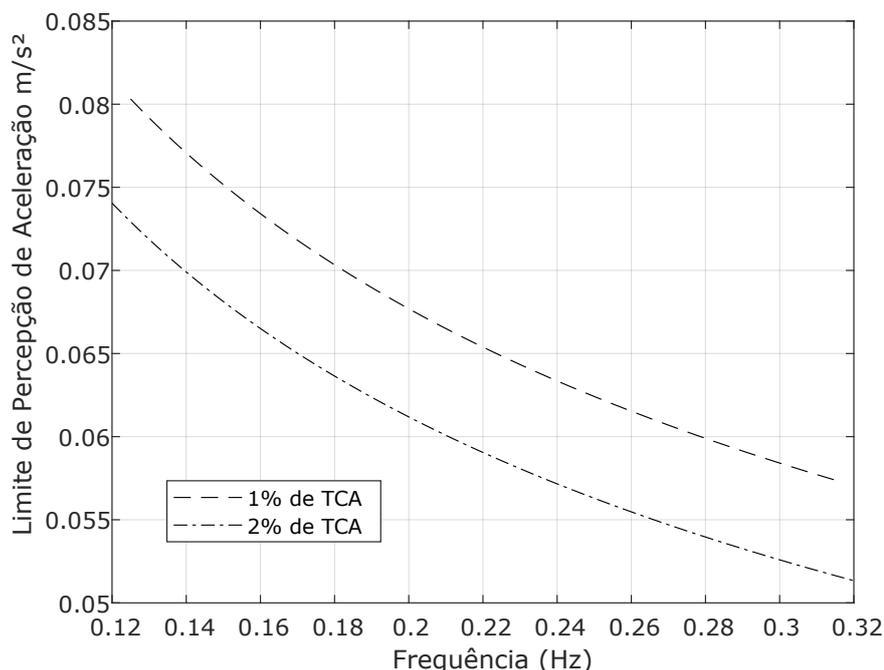
Os valores de percepção de 44% e 87% de distribuição acumulada foram extraídos

dos gráficos de funções de distribuição acumulada da Figura 16 e uma tentativa de regressão com uma equação exponencial de acordo com a Equação 6.1 foi aplicada conforme a Figura 23 e os parâmetros de regressão da Figura 6.4.

$$LP = \exp[\alpha + \beta \ln(f)] \quad (6.1)$$

Sendo α e β os parâmetros de ajuste da curva, LP o limite de percepção, e f a frequência de vibração.

Figura 23 – Regressão dos dados para 1% e 2% de TCA



Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 8 – Regressão exponencial para 1% e 2% de TCA com 95% de intervalo de confiança

TCA	α	β	R^2	R^2 ajustado	SSE	RMSE
1%	-3.395 (-4.167, -2.623)	-0.3735 (-0.07541, 0.8224)	0.7069	0.6092	1.1793E-04	0.0063
2%	-3.278(-4.069, -2.488)	-0.3637 (-0.09614, 0.8236)	0.6868	0.5824	1.5152E-04	0.0071

Fonte: elaborado pelo autor

6.4.1 Período de Retorno

Como definido anteriormente, o critério de aceleração para 1 ano de período de retorno e 2% de TCA é definido como:

$$LP(f) = \exp[-3, 28 - 0, 36 \ln(f)] \quad (6.2)$$

E para a TCA de 1%:

$$LP(f) = \exp[-3, 40 - 0, 37\ln(f)] \quad (6.3)$$

Pesquisas anteriores por [Melbourne e Palmer \(1992\)](#) trouxeram um método para generalizar o critério de aceleração para vários períodos de retorno. A relação traz a velocidade do vento com o período de retorno. Para áreas onde eventos extremos são gerados por tempestades de vento e sistemas de pressão extensivos, uma curva de ajuste de Gumbel com relação a dados diários foi sugerida:

$$\hat{V} = 30 + 3\ln(T) \quad (6.4)$$

Sendo T o período de retorno.

Uma relação do vento lateral e frontal traz o $\hat{V}^{2,5}$ e pode fazer uma suposição e ajuste desses fatores como:

$$\frac{\text{Resposta para um período de retorno de } T \text{ anos}}{\text{Resposta para um período de retorno de 5 anos}} = 0,68 + \frac{\ln(T)}{5}$$

Esse fator é para generalizar um critério de 5 anos de período de retorno para qualquer outro período. Portanto, uma adaptação para generalizar a partir de 1 ano para outros períodos de retorno foi feita e combinando com a [Equação 6.2](#) e [Equação 6.3](#), obtém-se o critério de limite de percepção, com 2% de TAC, em função da frequência para um período de retorno de uma tempestade de vento na [Equação 6.5](#).

$$LP(f, T) = \exp[-3, 28 - 0, 36\ln(f)] \left[\frac{30 + 3\ln(T)}{30} \right]^{2,5} \quad (6.5)$$

E para a TCA de 1%:

$$LP(f, T) = \exp[-3, 40 - 0, 37\ln(f)] \left[\frac{30 + 3\ln(T)}{30} \right]^{2,5} \quad (6.6)$$

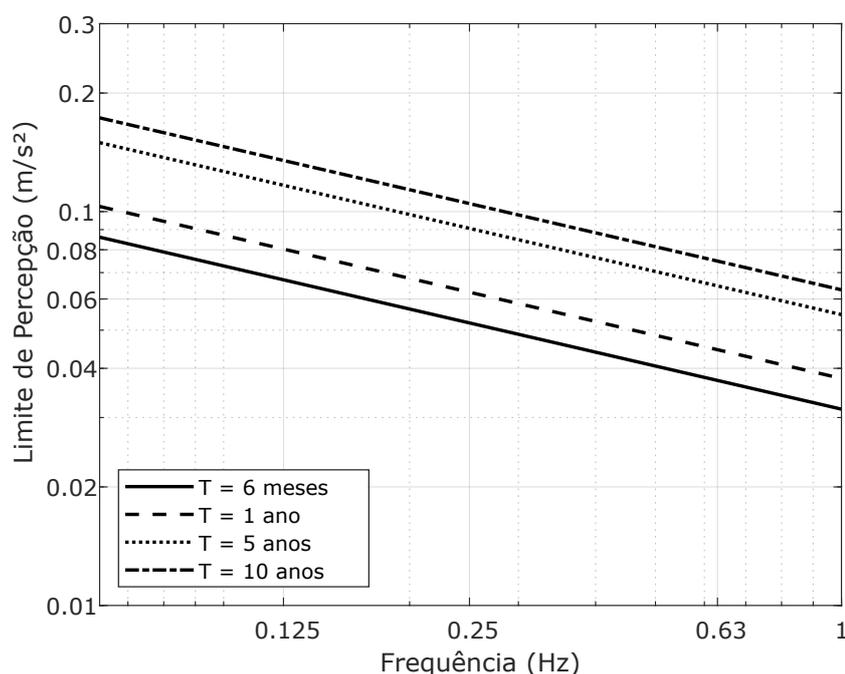
A [Figura 24](#) apresenta a comparação dos critérios para 6 meses, 1, 5 e 10 anos. No critério de período de retorno, a curva de percepção foi extrapolada para um limite de 0,063 Hz e 1,00 Hz.

6.4.2 Comparação com Normas

A primeira comparação refere-se ao período de retorno de 1 ano que foi esquematizado na [Figura 25](#)

Os critérios mostraram-se similares com os padrões internacionais, porém com algumas diferenças. Com relação à ISO 10137 ([ISO, 2007](#)), tanto para uma TCA de 1%

Figura 24 – Comparação dos diferentes períodos de retorno com TCA de 2%



Fonte: elaborado pelo autor

e 2%, os limites de aceleração são menores, mesmo no padrão mais conservador para residências. Essa diferença chega a $0,04 \text{ m/s}^2$ entre o padrão da ISO 10137 (ISO, 2007) e o critério proposto para 2% de TCA na menor frequência de $0,063 \text{ Hz}$, porém bem pequena na frequência de 1 Hz .

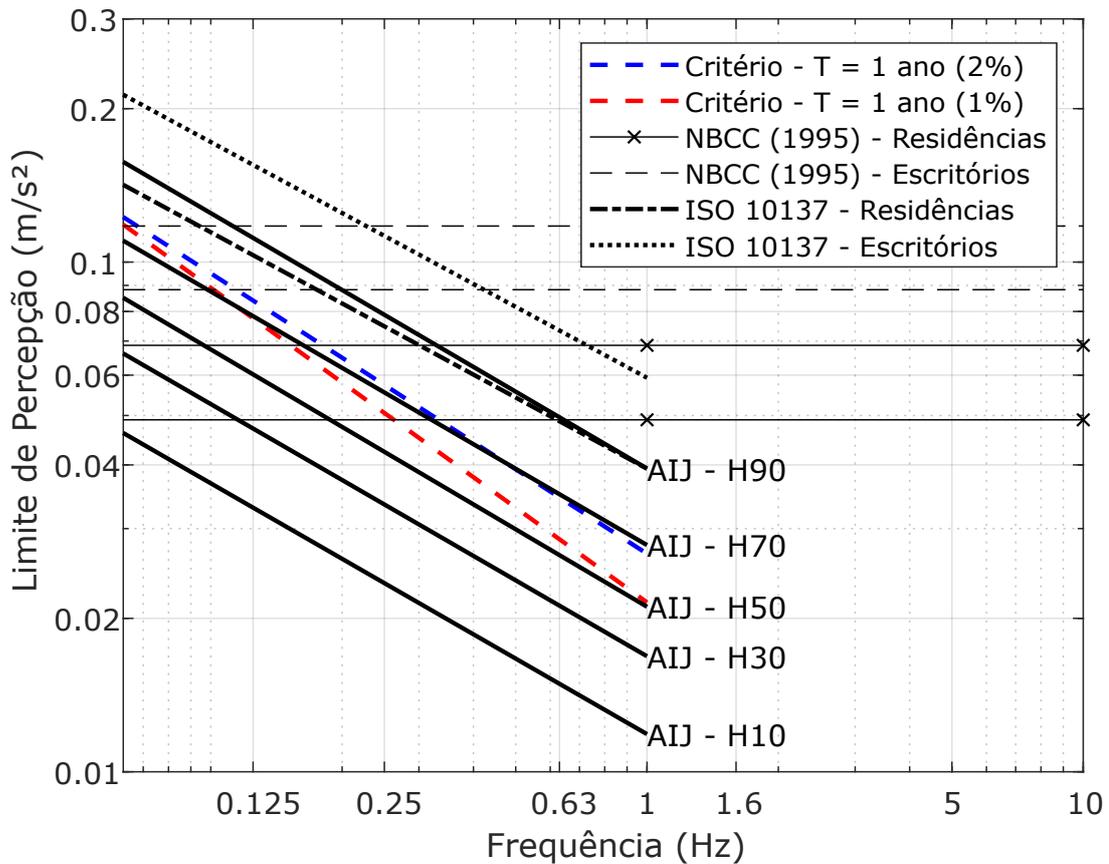
Com relação à norma japonesa AIJ-GEH (AIJ, 2004), a curva de TCA 1% é bem similar à curva H-70 que representa 70% de percepção dos ocupantes. Já no limite de percepção da curva com TCA de 2%, na frequência de $0,063 \text{ Hz}$, ela inicia com um limite abaixo de H-70 e termina em 1 Hz em quase igualdade com H-90, assim como a ISO 10137 (ISO, 2007).

A curva da NBCC (NBCC, 2010) é apenas demonstrativa, uma vez que não há dependência do limite de percepção com a frequência.

Já para o período de retorno de 5 anos, apenas a norma ISO 6897 (ISO, 1984) tem esse período. Uma vez que que a norma apresenta o limite em termos de aceleração rms, um fator de pico g foi aplicado conforme a Equação 6.7. Esse fator é uma aproximação generalizada feita por Melbourne e Palmer (1992).

$$g = \sqrt{2 \ln(fd)} \quad (6.7)$$

Sendo d a duração da tempestade de vento de 10 minutos que é medido em segundos na equação ($d = 600$ segundos).

Figura 25 – Comparação do critério com as normas - $T = 1$ ano

Fonte: elaborado pelo autor

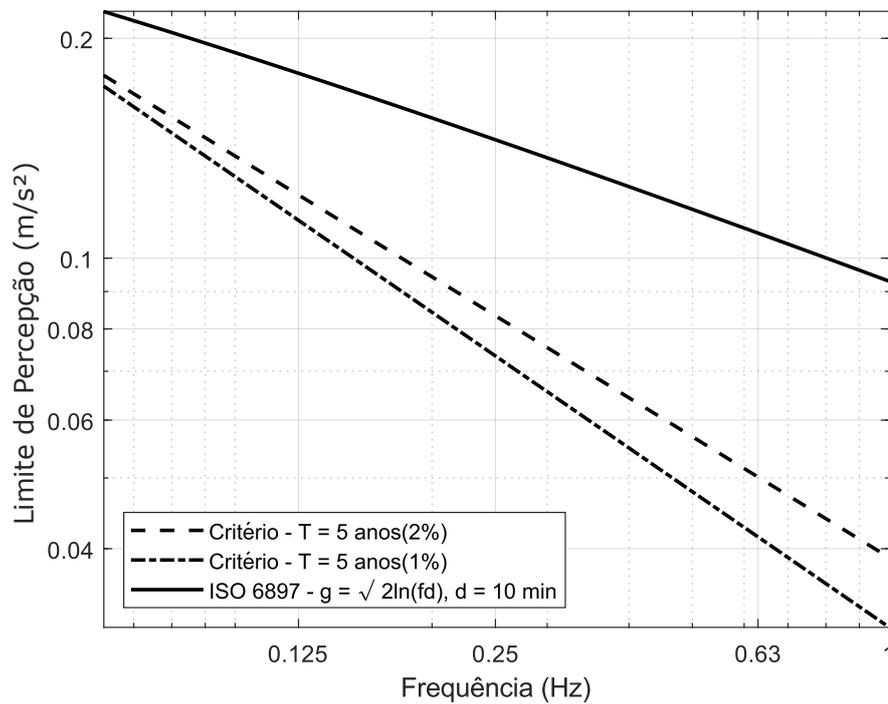
A [Figura 26](#) apresenta a comparação do critério proposto para 5 anos de período de retorno e do critério da ISO 6897 (ISO, 1984).

O critério proposto apresentou menores limites de percepção do que a adaptação da curva da ISO 6897 (ISO, 1984), chegando a uma diferença aproximada de $0,068 \text{ m/s}^2$ em $0,063 \text{ Hz}$ de frequência de vibração e $0,038 \text{ m/s}^2$ em 1 Hz para a TCA de 2%.

O critério atual da NBR 6123 (ABNT, 1988) utiliza um limite de aceleração de $0,1 \text{ m/s}^2$ para qualquer valor de frequência para um período de retorno de 10 anos. A comparação dele com o critério aqui proposto pode ser visualizada na [Figura 27](#)

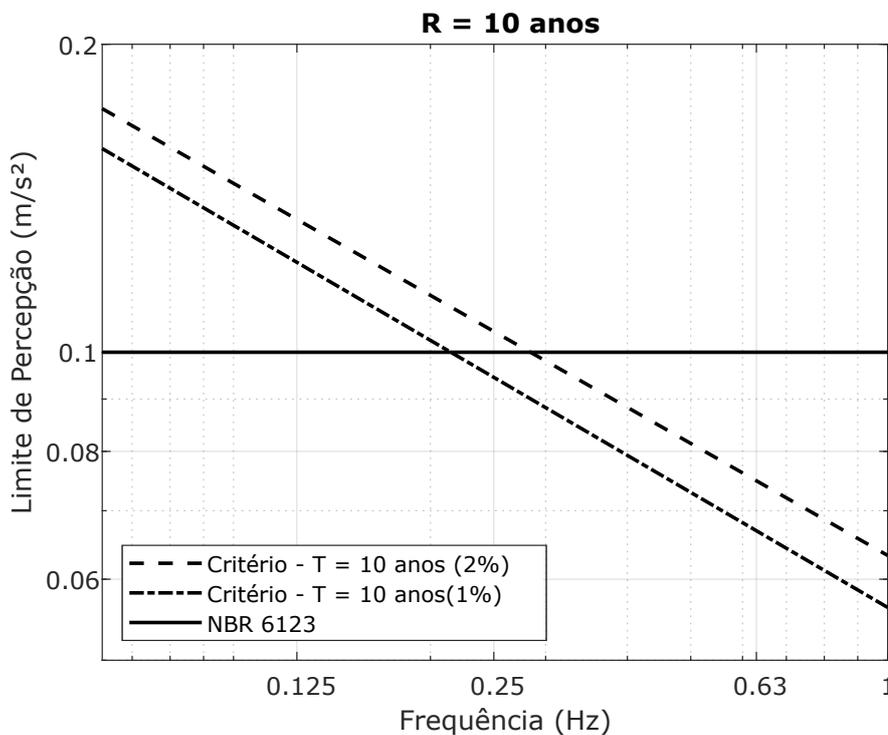
Como visto, o critério proposto tem valores de limite de aceleração maiores em frequências maiores e menores com o aumento da frequência em comparação com o da norma. A diferença chega a aproximadamente $0,076 \text{ m/s}^2$ na frequência de $0,063 \text{ Hz}$ e de $0,037 \text{ m/s}^2$ na frequência de 1 Hz .

Figura 26 – Comparação do critério com as normas – T = 5 anos



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 27 – Comparação do critério com as normas – T = 10 anos



Fonte: elaborado pelo autor

7 CONCLUSÃO

7.1 DOS DADOS ADQUIRIDOS

A busca pelos trabalhos relacionados com critérios de conforto humano em edifícios altos excitados pelo vento teve êxito com uma taxa de *recall* de 51%. Entretanto, a taxa de precisão foi baixa com apenas 15% dos trabalhos adquiridos contados como relevantes. As duas taxas poderiam ser superiores se a exclusão dos trabalhos não fosse pela sua indisponibilidade como demonstrado na [Tabela 5](#).

Com relação à exclusão dos trabalhos, cada um deles foi examinado e retirando os excluídos por indisponibilidade, os outros tiveram alguma metodologia que não é compatível com o critério aqui proposto. Dois trabalhos, [Noda e Ishikawa \(2010\)](#) e [Wu et al. \(2008\)](#), foram adaptados para que os estimadores, média e variância, fossem extraídos por apresentarem curvas de distribuição log-normal e não os estimadores em si. Entretanto, o último foi excluído por utilizar a taxa de comentários adversos e não a percepção.

7.2 DA DISTRIBUIÇÃO DOS DADOS

Os dados estão bem distribuídos com somente um dado na frequência de 0,25 Hz sendo *outlier* de acordo com o diagrama de caixa da [seção 5.5](#). Apesar disso, com exceção da frequência de 0,315 Hz, todos os grupos de frequência apresentaram uma obliquidade tendendo para acelerações menores.

Outro problema detectado é no grupo de frequência de 0,5 Hz, no qual os dados não tiveram a mesma amplitude dos outros grupos de frequência com uma variação muito baixa comparada a eles. Isso pode ser explicado por ter apenas 4 dados para analisar e esses dados serem do mesmo autor, ou seja, apresentarem a mesma metodologia e, por inferência, resultados próximos.

Tanto o problema da obliquidade, quanto a falta de variação e os problemas que isso pode resultar podem ser sanados ou reduzidos se mais trabalhos relevantes fossem adquiridos.

7.3 DA VIÉS DE PUBLICAÇÃO

A viés de publicação do tipo I não pôde ser detectada, pois a direção dos resultados nos gráficos tendendo para valores mais altos em trabalhos publicados é muito discreta. No

grupo de frequência de 0,5 Hz, a viés do tipo I não pôde ser verificada, pois a quantidade de dados impede de formar o formato do funil.

Uma segunda verificação dos dados na viés de publicação do tipo II, que trata do preterimento de trabalhos com baixa significância estatística, foi feita. Nos gráficos de Galbraith ficou visível a grande variação dos efeitos, trazendo um indicativo que os trabalhos com maior significância estatística têm prioridades na publicação. Outros indicativos da grande variação do t-valor são erros metodológicos e a heterogeneidade da percepção de aceleração, que vai de encontro com o objetivo desse trabalho que é estabelecer uma relação da aceleração com o conforto.

7.4 DA METANÁLISE

Os estimadores foram verificados por dois métodos, o MLE e de [Dersimonian e Laird \(1986\)](#)/Momentos. O primeiro é um modelo dos efeitos fixos e o segundo é um modelo de efeitos aleatórios. Os dois métodos apresentaram os mesmos resultados pois, a partir da análise do segundo, com $\tau = 0$, foi verificado que o modelo trata-se de um modelo de efeitos fixos, o que era esperado.

Vale ressaltar que por ser um modelo de efeitos fixos não quer dizer que os estimadores de média de cada trabalho comparados entre eles são valores homogêneos. Como visualizado na apresentação de dados da [Figura 8](#) e do diagram de caixa da [Figura 11](#), os resultados das médias dos trabalhos tem alta amplitude de variação, porem são bem distribuídos.

Nos resultados da metanálise, uma observação a ser feita é a elevação do resultado do estimador das frequências de 0,2 Hz e 0,315 Hz. Como foram feitas 6 análises individuais em cada grupo de frequência, isso pode ter sido resultado da disponibilidade de dados e como os autores não seguem um padrão de quais frequências analisar. O grupo de frequências tem números de dados diferentes, pois alguns autores optam por analisar determinada frequência e não outras. Esses erros de análise poderiam ser reduzidos se aumentassem a disponibilidade de dados.

7.5 DA SENSIBILIDADE DAS METODOLOGIAS

A análise de sensibilidade das metodologias da trajetória de onda e orientação corporal demonstrou que os tipos escolhidos refletem a sensibilidade do indivíduo na percepção da vibração. A primeira demonstrou que o ser humano é mais sensível às vibrações translacionais do que torcionais. Por outro lado, quando a onda está no sentido frontal da cabeça do indivíduo, ele tem mais sensibilidade à vibração quando é lateral à cabeça.

Com relação aos sinais visuais que interferem na percepção e a postura corporal do indivíduo, foi detectada pouca ou nenhuma sensibilidade entre as metodologias aplicadas. Entretanto, é essencial investigar mais trabalhos sem sinais visuais e/ou com diferentes posturas corporais para verificar se realmente há diferenças de percepção com essas metodologias.

A metodologia mais complexa de analisar a sensibilidade foi a forma da onda de vibração, pois as diferenças entre a onda do tipo senoidal e aleatória foram significantes. A primeira apresentou uma dependência com a frequência e a segunda uma independência, no qual refletiu o resultado geral.

Essa diferença significativa vem sendo debatida por diversos autores que defendem ou não a diferença dos resultados de percepção quando aplicada a onda senoidal ou a onda aleatória. Portanto, mais deve ser estudado sobre as aplicações desse tipo de metodologia para chegar a uma conclusão da influência da forma de onda na percepção de vibração.

7.6 DOS CRITÉRIOS

Os critérios propostos utilizaram os parâmetros iniciais propostos, aceleração, frequência e período de retorno, e a taxa de comentários adversos (TCA), sendo 2% e 1%. Baseado em uma pesquisa de campo de [Burton \(2006\)](#), foi possível traçar uma relação da TCA com a percepção acumulada dos gráficos de função de distribuição acumulada log-normais.

A inserção do período de retorno foi dada com uma relação generalizada de velocidade e período de retorno de [Melbourne e Palmer \(1992\)](#). Essa relação gerou duas curvas com TCA de 2% e 1% que foram comparadas a critérios internacionais. Os critérios aqui propostos apresentaram proximidade, com pequenas variações, com relação a outras normas.

Essa relação generalizada pode ser adaptada para o contexto das velocidades de vento no Brasil. Um exemplo de uma relação que pode ser utilizada é de [Vallis et al. \(2018\)](#), no qual o autor traça um mapa das regiões do Brasil com diferentes velocidades de vento em um período de retorno de 50 anos.

Outra generalização feita foi a não separação de edifícios comerciais e edifícios residenciais. A separação foi realizada apenas com a taxa dos comentários adversos.

Outra observação é a regressão da curva do critério que apresentou um valor de R^2 abaixo do esperado. Mais uma vez, a disponibilidade dos dados pode ser um fator essencial para diminuir esses erros, pois os resultados no grupo de frequência de 0,5 Hz, assim como, as elevações nos grupos de frequências de 0,2 Hz e 0,315 Hz influenciaram na

precisão da regressão.

7.7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

A utilização da metanálise na elaboração de um critério de conforto humano em edifícios altos excitados pelo vento é uma ferramenta nova para poder verificar as heterogeneidades dos critérios. Essa pesquisa buscou a integração de um método estatístico com os resultados de percepção de aceleração. Para que os efeitos adversos anteriormente relatados possam ser reduzidos, pesquisas futuras podem ser feitas. Dentre as sugestões:

- a) Aquisição de uma maior quantidade de dados que estão de fora dos dados adquiridos com taxa de *recall* de 51,1% para reduzir possíveis erros de metanálise e regressão;
- b) A partir da maior aquisição de dados, uma nova verificação da viés de publicação do tipo I deve ser feita;
- c) Uma comparação de todos os critérios da metanálise para verificar possíveis diferenças nos resultados de cada um;
- d) Uma pesquisa de campo em edifícios altos após uma tempestade de vento afim de buscar uma relação do uso do edifício com a taxa de comentários adversos ou da percepção acumulada;
- e) Utilização de uma relação que incorpore a realidade da velocidade de ventos no Brasil, assim como as diferenças das velocidades com a mudança de região;
- f) Verificação das aplicações metodológicas afim de trazer uma metodologia mais próxima à realidade de um caso de vibração, tais como, a verificação da forma de onda de vibração, orientação do corpo, trajetória de onda e postura corporal.

REFERÊNCIAS

ARCHITECTURAL INSTITUTE OF JAPAN. **AIJ GEH**: Guidelines for the evaluation of habitability. Japan, 2004. Citado na página 82.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988. 89 p. Citado 3 vezes nas páginas 27, 34 e 83.

BACHMANN, H.; AMMANN, W. J.; EISENMANN, J.; FLOEGL, I.; HIRSCH, G. H.; KLEIN, G. K.; LANDE, G. J.; MAHREHOLTZ, O.; NATKE, H. G.; NUSSBAUMER, H.; RAINER, J. H.; VERLAG, B. **Vibration Problems in Structures**. Zurich: Springer Science & Business Media, 1995. Citado na página 42.

BASHOR, R.; KIJEWski-CORREA, T.; KAREEM, A. On the Wind-Induced Response of Tall Buildings: The Effect of Uncertainties in Dynamic Properties and Human Comfort Thresholds. **Proceedings of Americas Conference on Wind Engineering**, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 43 e 44.

BORING, E. G. **Sensation And Perception In The History Of Experimental Psychology**. New York: Appleton-Century-Crofts, 1949. 660 p. Citado na página 31.

BORST, A.; EULER, T. Seeing Things in Motion: Models, Circuits, and Mechanisms. **Neuron**, Elsevier Inc., v. 71, n. 6, p. 974–994, 2011. ISSN 08966273. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.neuron.2011.08.031>>. Citado na página 31.

BURTON, M.; DENOON, R.; KWOK, K.; HITCHCOCK, P. Effects of uni-axial and bi-directional random motion on cognitive performance. In: **Proceedings of 11th Australasian wind engineering society workshop, Darwin**. [S.l.: s.n.], 2004. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 43.

BURTON, M.; HITCHCOCK, P.; KWOK, K.; ROBERTS, R. Acceptability curves derived from motion simulator investigations and previous experience with building motion. In: **10th America's Conference on Wind Engineering, Baton Rouge, Louisiana, USA**. [S.l.: s.n.], 2005. Citado 3 vezes nas páginas 42, 43 e 48.

BURTON, M.; KWOK, K. C.; HITCHCOCK, P. A.; DENOON, R. O. Frequency dependence of human response to uni-axial sinusoidal motion. In: **11th Australasian Wind Engineering Society Workshop**. Darwin: [s.n.], 2004. p. 4. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 43.

BURTON, M.; KWOK, K. C. S.; ABDELRAZAQ, A. Wind-Induced Motion of Tall Buildings: Designing for Occupant Comfort. **International Journal of High-Rise Buildings**, p. 1–8, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 45.

BURTON, M. D. **Effects of Low Frequency Wind-Induced Building Motion on Occupant Comfort**. 400 p. Tese (Thesis) — The Hong Kong University of Science and Technology, 2006. Citado 5 vezes nas páginas 31, 61, 72, 79 e 87.

BURTON, M. D.; KWOK, K.; HITCHCOCK, P.; DENOON, R. O. Frequency Dependence of Human Response to Wind-Induced Building Motion. **Journal of Structural**

Engineering, v. 132, n. 2, p. 296–303, 2006. ISSN 0733-9445. Citado 3 vezes nas páginas 26, 42 e 43.

CHANG, F.-K. Wind and movement in tall buildings. **Civil Engineering**, ASCE, v. 37, n. 8, p. 70–72, 1967. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 38.

CHANG, F. K. Human response to motions in tall buildings. **Journal of Structural Division**, ASCE, v. 99, n. 6, p. 1259–1272, 1973. Citado na página 38.

CHEN, P. W.; ROBERTSON, L. E. Human perception thresholds of horizontal motion. **Journal of the structural division**, ASCE, v. 92, n. 8, p. 1681–1695, 1972. Citado 4 vezes nas páginas 38, 39, 44 e 72.

CLIFFORD, C. W.; IBBOTSON, M. R. Fundamental mechanisms of visual motion detection: Models, cells and functions. **Progress in Neurobiology**, v. 68, n. 6, p. 409–437, 2002. ISSN 03010082. Citado na página 31.

Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH). The Tallest 20 in 2020: Entering the Era of the Megatall. p. 1–7, 2011. Disponível em: <<http://www.ctbuh.org/TallBuildings/HeightStatistics/BuildingsinNumbers/TheTallest20in2020/tabid/2926/language/en-US/Default.aspx>>. Citado na página 25.

_____. CTBUH Height Criteria for Measuring & Defining Tall Buildings The. p. 7, 2015. Disponível em: <<http://www.ctbuh.org/HighRiseInfo/TallestDatabase/Criteria/tabid/446/language/en-US/Default.aspx>>. Citado na página 25.

_____. **2017: Skyscraper History's Tallest, Highest- Volume, and Most Geographically Diverse Year**. [S.l.], 2017. Citado na página 26.

DALHUISEN, J. M.; FLORAX, R. J. G. M.; GROOT, H. L. F. de; NIJKAMP, P. Price and Income Elasticities of Residential Water Demand: A Meta-Analysis. **Land Economics**, v. 79, n. 2, p. 292–308, 2003. ISSN 0023-7639. Disponível em: <<http://le.uwpress.org/cgi/doi/10.2307/3146872>>. Citado na página 54.

DAVENPORT, A. Tall buildings-an anatomy of wind risks. **Construction in South Africa**, 1975. Citado na página 39.

DENOON, R. **Designing for wind-induced serviceability in buildings**. Tese (Doutorado) — PhD Thesis. The University of Queensland, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 72.

DENOON, R. O.; ROBERTS, R.; LETCHFORD, C.; KWOK, K. Effects of wind-induced tall building motion on cognitive performance. research report no r804. University of Sydney, Dept. of Civil Engineering, Centre for Advanced Structural Engineering, 2000. Citado 2 vezes nas páginas 36 e 42.

DERSIMONIAN, R.; LAIRD, N. Meta-Analysis in Clinical Trials. **Statistics in medicine**, v. 188, p. 177–188, 1986. ISSN 01972456. Citado 6 vezes nas páginas 15, 52, 53, 71, 72 e 86.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 4150-2: Erschütterungen im bauwesen; einwirkungen auf menschen in gebäuden (vibrations in building; influence on persons in buildings)**. Berlin, 1975. Citado na página 42.

DOUCOULIAGOS, C.; LAROCHE, P. What do unions do to productivity? A meta-analysis. **Industrial Relations**, v. 42, n. 4, p. 650–691, 2003. ISSN 00198676. Citado na página 54.

DUMOUCHEL, W. H.; HARRIS, J. E. Bayes Methods for Combining the Results of Cancer Studies in Humans and Other Species. **Journal of the American Statistical Association**, v. 78, n. 382, p. 293–308, 1981. Citado na página 51.

ENGINEERING AND PHYSICAL SCIENCES RESEARCH COUNCIL. **VSimulators: Human factors simulation for motion and serviceability in the built environment**. 2018. Disponível em: <<http://gow.epsrc.ac.uk/NGBOViewGrant.aspx?GrantRef=EP/P020690/1>>. Acesso em: 02 ago. 2018. Citado na página 46.

FELD, J. **Construction failure**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1968. v. 1. 151–151 p. Citado na página 37.

FERRARETO, J. A.; MAZZILLI, C. E. N.; FRANÇA, R. L. Wind-induced motion on tall buildings: A comfort criteria overview. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 142, p. 26–42, 2015. ISSN 01676105. Citado na página 45.

FU, F. Fundamentals of Tall Building Design. In: **Design and Analysis of Tall and Complex Structures**. [s.n.], 2018. p. 5–80. ISBN 9780081010181. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081010181000022>>. Citado na página 25.

GALBRAITH, R. F. A note on graphical presentation of estimated odds ratios from several clinical trials. **Statistics in Medicine**, v. 7, n. 8, p. 889–894, 1988. ISSN 10970258. Citado 4 vezes nas páginas 13, 54, 66 e 69.

GLASS, G. V. Primary , Secondary ,. v. 5, n. 10, p. 3–8, 2013. Citado na página 47.

GOLDING, J. F. Predicting individual differences in motion sickness susceptibility by questionnaire. **Personality and Individual Differences**, v. 41, n. 2, p. 237–248, 2006. ISSN 01918869. Citado na página 36.

GOTO, T. **The Criteria to Motions in Tall Buildings (Part 1) Factors Affecting Human Perception and Tolerance of Motion**. [S.l.], 1975. v. 237, n. 11, 109–119 p. Citado na página 39.

_____. Studies on wind-induced motion of tall buildings based on occupants reaction. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 13, p. 241–252, 1983. Citado 3 vezes nas páginas 26, 34 e 39.

_____. An experimental study on the relationship between motion and habitability in a tall residential building. In: **Proceedings of Tall Buildings: 2000 and Beyond, Fourth World Congress**. [S.l.: s.n.], 1990. p. 817–829. Citado na página 40.

GRAYBIEL, A.; KNEPTON, J. Sopor syndrome: a sometimes sole manifestation of motion sickness. **Aviation Space and Environmental Medicine**, v. 47, n. 8, p. 873–882, 1976. ISSN 00956562. Cited By 120. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0017157397&partnerID=40&md5=eeb1efdd82bf59e0e89d93334c44d5be>>. Citado na página 34.

GRAYBIEL, A.; WOOD, C. D.; MILLER, F.; CRAMER, D. B. **Diagnostic criteria for grading the severity of acute motion sickness**. Pensacola, 1968. 10 p. Citado na página 33.

GUYATT, G.; RENNIE, D.; MEADE, M. O.; COOK, D. J. **Diretrizes para Utilização da Literatura Médica: Manual para Prática Clínica da Medicina Baseada em Evidência**. [S.l.]: Artmed Editora, 2009. 386 p. Bibliografia: p. 372. ISBN 9788536325491. Citado na página 54.

HAMMAM, E.; BOLTON, P. S.; KWOK, K.; MACEFIELD, V. G. Vestibular modulation of muscle sympathetic nerve activity during sinusoidal linear acceleration in supine humans. **Frontiers in Neuroscience**, v. 8, n. SEP, p. 1–17, 2014. ISSN 1662453X. Citado na página 34.

HANSEN, R. J.; REED, J. W.; VANMARCKE, E. H. Human Response To Wind-Induced Motion of Buildings. **Engineering Journal**, v. 16, n. 3, p. 66–74, 1973. ISSN 00138029. Citado 6 vezes nas páginas 26, 33, 37, 38, 39 e 44.

HIGGINS, J. P.; GREEN, S. et al. **Cochrane handbook for systematic reviews of interventions**. Wiley Online Library, 2008. Citado na página 47.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6897**: Guidelines for the evaluation of the response of occupants of fixed structures, especially buildings and off-shore structures, to low-frequency horizontal motion (0.063 to 1 hz). Geneva, 1984. 8 p. Citado 4 vezes nas páginas 40, 74, 82 e 83.

_____. **ISO 10137**: Bases for design of structures—serviceability of buildings and walkways against vibrations. Geneva, 2007. 44 p. Citado 3 vezes nas páginas 34, 81 e 82.

IRWIN, A. Perception, Comfort and Performance Criteria for Human Beings Exposed to Whole body Pure yaw Vibration and Vibration Vontaining yaw and Translational Components. **Journal of Sound and Vibration**, v. 76, n. 4, p. 481–497, 1981. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 39.

IRWIN, A.; GOTO, T. Human perception, task-performance and simulator sickness in single and multi-axis low-frequency horizontal linear and rotational vibration. In: ACADEMIC PRESS LTD 24-28 OVAL RD, LONDON, ENGLAND NW1 7DX. **Journal of sound and vibration**. [S.l.], 1984. v. 97, n. 4, p. 677–677. Citado na página 39.

ISYUMOV, N. Criteria for acceptable wind-induced motions of tall buildings. In: **Proceedings of the International Conference on Tall Buildings, CTBUH, Rio de Janeiro, 1993**. [S.l.: s.n.], 1993. Citado na página 41.

_____. Motion perception, tolerance and mitigation. In: **Proceedings of the International Conference on Tall Buildings, CTBUH, Amsterdam, 1995**. [S.l.: s.n.], 1995. Citado na página 41.

ISYUMOV, N.; KILPATRICK, J. Full-scale experience with wind-induced motions of tall buildings. In: **Proceedings of 67th regional conference council on tall buildings and urban habitat, Chicago**. [S.l.: s.n.], 1996. p. 15–18. Citado na página 42.

ISYUMOV, N.; MASCIANTONIO, A.; DAVENPORT, A. Measured motions of tall buildings in wind and their evaluation. In: **Proceedings of the Symposium/Workshop on Serviceability of Buildings**. [S.l.: s.n.], 1988. v. 1, p. 181–199. Citado na página 40.

KANDA, J.; TAMURA, Y.; FUJII, K. Probabilistic criteria for human perception of low-frequency horizontal motions. In: **Symposium/Workshop on Serviceability of Buildings (Movements, Deformations, Vibrations)**. [S.l.: s.n.], 1988. p. 260–269. Citado 4 vezes nas páginas 40, 44, 48 e 72.

_____. Probabilistic perception limits of low-frequency horizontal motions. In: **Conference on Serviceability of Steel and Composite Structures**. [S.l.: s.n.], 1990. p. 67–72. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 41.

KAUFMAN, L. **Sight and mind: An introduction to visual perception**. [S.l.]: Oxford U. Press, 1974. Citado na página 31.

KAWANA, S.; TAMURA, Y.; MATSUI, M. Study on Vibration Perception by Visual Sensation Considering Probability of Seeing. **International Journal of High-Rise Buildings**, v. 1, n. 4, p. 283–300, 2012. Citado na página 32.

KHAN, F. Service criteria for tall buildings. In: **Proceedings of the Third International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, Tokyo, 1971**. [S.l.: s.n.], 1971. Citado na página 37.

KWOK, K.; HITCHCOCK, P. Occupant comfort test using a tall building motion simulator. In: **The 4th International Conference on Advances in Wind and Structures (AWAS'08), 20-31 May, Jeju, Korea**. [S.l.: s.n.], 2008. Citado na página 44.

KWOK, K. C.; HITCHCOCK, P. A.; BURTON, M. D. Perception of vibration and occupant comfort in wind-excited tall buildings. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Elsevier, v. 97, n. 7-8, p. 368–380, 2009. ISSN 01676105. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2009.05.006>>. Citado na página 42.

KWOK, K. C. S.; BURTON, M. D.; ABDELRAZAQ, A. K. **Wind-Induced Motion of Tall Buildings**. Reston: American Society of Civil Engineers, 2015. 66 p. ISBN 9780784413852. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 77.

LACKNER, J. R. Motion sickness: More than nausea and vomiting. **Experimental Brain Research**, v. 232, n. 8, p. 2493–2510, 2014. ISSN 14321106. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 35.

Laird, M., Ware, J. Random-Effects Models for Longitudinal Data. **Biometrics**, v. 38, n. 38, p. 963–974, 1982. Citado na página 51.

LAMB, S.; KWOK, K. C. S. S. Sopite syndrome in wind-excited buildings: productivity and wellbeing impacts. **Building Research and Information**, v. 45, n. 3, p. 347–358, 2017. ISSN 14664321. Citado na página 35.

_____. The fundamental human response to wind-induced building motion. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Elsevier Ltd, v. 165, n. March, p. 79–85, 2017. ISSN 01676105. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2017.03.002>>. Citado 3 vezes nas páginas 34, 36 e 59.

LAMB, S.; KWOK, K. C.; WALTON, D. Occupant comfort in wind-excited tall buildings: Motion sickness, compensatory behaviours and complaint. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Elsevier, v. 119, p. 1–12, 2013. ISSN 01676105. Citado 4 vezes nas páginas 26, 33, 36 e 44.

_____. A longitudinal field study of the effects of wind-induced building motion on occupant wellbeing and work performance. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, Elsevier, v. 133, p. 39–51, 2014. ISSN 01676105. Citado 3 vezes nas páginas 34, 35 e 45.

LAMB, S.; KWOK, K. C. S. MSSQ-Short Norms May Underestimate Highly Susceptible Individuals. **Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society**, SAGE PublicationsSage CA: Los Angeles, CA, v. 57, n. 4, p. 622–633, jun 2015. ISSN 0018-7208. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0018720814555862>>. Citado na página 36.

LAWTHER, A.; GRIFFIN, M. A survey of the occurrence of motion sickness amongst passengers at sea. **Aviation Space and Environmental Medicine**, v. 59, n. 5, p. 399–406, 1988. ISSN 00956562. Cited By 82. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0023940905&partnerID=40&md5=fdaed006f4f1eed4382aa704986c6155>>. Citado na página 36.

LEE, B. The Perception of the Wind-Induced Vibration of a Tall Building: a Personal Viewpoint. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 12, p. 379–384, 1983. Citado na página 26.

MATSANGAS, P.; MCCAULEY, M. E.; BECKER, W. The effect of mild motion sickness and sopite syndrome on multitasking cognitive performance. In: **Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 57th Annual Meeting**. [S.l.: s.n.], 2013. v. 57, n. 1, p. 788–792. ISBN 9780945289432. ISSN 15478181. Citado na página 34.

MELBOURNE, W.; CHEUNG, J. Designing for serviceable accelerations in tall buildings. In: **Proceedings of the 4th International Conference on Tall Buildings, Hong Kong and Shanghai**. [S.l.: s.n.], 1988. p. 148–155. Citado na página 40.

MELBOURNE, W. H.; PALMER, T. R. Accelerations and Comfort Criteria for Buildings Undergoing Complex Motions. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 41-44, p. 105–116, 1992. Citado 4 vezes nas páginas 41, 81, 82 e 87.

MENG, J. A.; SABERI, K.; HSIEH, I. H. Velocity selective networks in human cortex reveal two functionally distinct auditory motion systems. **PLoS ONE**, v. 11, n. 6, p. 2–13, 2016. ISSN 19326203. Citado na página 31.

MORAVA, B.; HASKETT, T.; CHADWICK, A.; WATES, E. Assessment of Occupant Comfort in Wind-Sensitive Buildings Using a Six-Degree-of-Freedom Motion Simulator. **Structures Congress**, p. 2972–2980, 2010. Citado na página 44.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA. **NBCC: National building code of canada**. Ottawa, Canada, 2010. Citado na página 82.

NODA, C.; ISHIKAWA, T. Influence of the subjects' situation on perception threshold of horizontal vibration. **Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ)**, v. 64, n. 524, p. 9–14, 1999. Citado na página 32.

_____. Habitability Grade of Horizontal Vibration Based on Residents' Consciousness. **Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ)**, v. 75, n. 648, p. 131–137, 2010. Citado 3 vezes nas páginas 61, 62 e 85.

NOGUCHI, K.; HIWATASHI, K.; KOBAYASHI, A.; TSUJITA, O.; GOTO, T. Human response to horizontal motion of tall buildings. In: **International Colloquium, Structural Serviceability of Buildings, IABSE Reports**. [S.l.: s.n.], 1993. v. 69, p. 53–58. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 48.

NORMAND, S. L. T. Meta-Analysis: Formulating, Evaluating, Combining, and Reporting. **Statistics in Medicine**, v. 18, p. 321–359, 1999. ISSN 02776715. Citado 3 vezes nas páginas 48, 53 e 57.

PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, v. 58, n. 3, p. 545–554, 1971. ISSN 00063444. Citado na página 51.

RANKIN, C. H.; ABRAMS, T.; BARRY, R. J.; BHATNAGAR, S.; CLAYTON, D. F.; COLOMBO, J.; COPPOLA, G.; GEYER, M. A.; GLANZMAN, D. L.; MARSLAND, S.; MCSWEENEY, F. K.; WILSON, D. A.; WU, C. F.; THOMPSON, R. F. Habituation revisited: An updated and revised description of the behavioral characteristics of habituation. **Neurobiology of Learning and Memory**, Elsevier Inc., v. 92, n. 2, p. 135–138, 2009. ISSN 10747427. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.nlm.2008.09.012>>. Citado na página 35.

REASON, J. Motion sickness: Some theoretical and practical considerations. **Applied ergonomics**, v. 9, n. 3, p. 163–7, 1978. ISSN 0003-6870. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15677267>>. Citado na página 35.

REED, J. W. **Wind Induced Motion and Human Comfort**. [S.l.: s.n.], 1971. Citado na página 37.

RICHARD, J.; RICHARD, J.; PILLEMER, D. B. et al. **Summing up**. [S.l.]: Harvard University Press, 1984. Citado na página 54.

ROCHA, M. M.; LOREDO-SOUZA, A. M. Resposta estrutural de edifícios altos frente a ação dinâmica. In: **53 CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, Florianópolis, 2011**. [S.l.: s.n.], 2011. Citado na página 26.

ROSEMANN, S.; WEFEL, I. M.; ELIS, V.; FAHLE, M. Audio–visual interaction in visual motion detection: Synchrony versus Asynchrony. **Journal of Optometry**, Spanish General Council of Optometry, v. 10, n. 4, p. 242–251, 2017. ISSN 19891342. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.optom.2016.12.003>>. Citado na página 33.

SEKULER, R.; SEKULER, A. B.; LAU, R. **Sound alters visual motion perception**. 1997. 308–308 p. Disponível em: <<http://www.nature.com/doi/10.1038/385308a0>>. Citado na página 33.

SHINDO, S.; GOTO, T. Effects of long period torsional motion on human visual perception. **Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ)**, v. 67, n. 553, p. 23–28, 2002. Citado na página 32.

SHIOYA, K.; FUJII, K.; TAMURA, Y.; KANDA, J. Human Perception Thresholds of Two-dimensional Sinusoidal Motion in Horizontal Plane. **Journal Structures, Construction and Engineering**, v. 461, p. 29–36, 1994. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 61.

_____. Human perception thresholds of two dimensional random motion in horizontal plane. **Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ)**, v. 61, n. 485, p. 35–42, 1996. Citado na página 61.

SHIOYA, K.; KANDA, J. **Human perception tresholds of horizontal motion**. [S.l.], 1993. v. 69. Citado 4 vezes nas páginas 41, 61, 74 e 75.

SMITH, T. C.; SPIEGELHALTER, D. J.; THOMAS, a. Bayesian approaches to random-effects meta-analysis: a comparative study. **Statistics in medicine**, v. 14, n. 24, p. 2685–2699, 1995. ISSN 1097-0258. Citado na página 51.

STANDARDIZATION, I. O. for. **ISO 2631-2**: Evaluation of human exposure to whole-body vibration – part 2: Continuous and shock-induced vibrations in buildings (1 to 80 hz). Geneva, 1989. 11 p. Citado na página 42.

STANLEY, T. D. Beyond Publication Bias. v. 19, n. 3, p. 309–345, 2005. Citado 4 vezes nas páginas 54, 55, 56 e 65.

STANLEY, T. D.; JARRELL, S. B. Meta-regression analysis: A quantitative method of literature surveys. **Journal of Economic Surveys**, v. 3, n. 2, p. 161–170, 1989. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 55.

STOFFREGEN, T. Motion sickness considered as a movement disorder. **Science & Motricité**, EDP Sciences, n. 74, p. 19–30, 2011. Citado na página 35.

TAMURA, Y.; KAWANA, S.; NAKAMURA, O.; KANDA, J.; NAKATA, S. Evaluation perception of wind-induced vibration in buildings. **Structures & Buildings**, v. 159, n. 5, p. 283–293, 2006. ISSN 0965-0911. Citado 4 vezes nas páginas 43, 61, 74 e 75.

TUKEY, J. W. **Exploratory Data Analysis: Limited Preliminary Ed**. [S.l.]: Addison-Wesley Publishing Company, 1970. Citado na página 63.

VALLIS, M. B.; LOREDO-SOUZA, A. M.; WATRIN, L. C.; BÊNIA, M. C. D. Extreme Winds East of the Andes. In: **Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural**. [S.l.: s.n.], 2018. p. 13. Citado na página 87.

VANEY, D. I.; HE, S.; TAYLOR, W. R.; LEVICK, W. R. Direction-selective ganglion cells in the retina. In: ZANKE, J. M.; ZEIL, J. (Ed.). **Motion Vision - Computational, Neural, and Ecological Constraints**. New York: Springer Verlag, 2001. p. 13–56. ISBN 978-3-642-56550-2. Disponível em: <<http://www.springer.com/life+sciences/animal+sciences/book/978-3-540-65166-6>>. Citado na página 31.

VESWORDPRESSCOM. **VSimulators: Human factors simulation for motion and serviceability in the built environment**. 2018. Disponível em: <<https://veswordpresscom.wordpress.com/2017/03/21/vsimulators-human-factors-simulation-for-motion-and-serviceability-in-the-built-environment/>>. Acesso em: 4 ago. 2018. Citado na página 46.

- WEIGAND, T.; KIJEWski-CORREA, T. Automated habitability assessment and performance based design of tall buildings. In: **14th International Conference on Wind Engineering**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1–12. Citado na página 36.
- WONG, K.-s.; LUEN, C.; HAU, V.; KWOK, K. C. S. Effects of Wind-Induced Tall Building Vibrations on a Tracking Task. **The 12th Americas Conference on Wind Engineering (12ACWE)**, p. 4–7, 2013. Citado na página 40.
- WRIGHT, M. S.; BOSE, C. L.; STILES, A. D. The Incidence and Effects of Motion Sickness Among Medical Attendants During Transport. v. 13, n. 1, p. 15–20, 1995. Citado na página 34.
- WU, J.-C.; CHENG, C.-M.; CHEN, J.-T. Tentative Results on Wind-Induced Comfort Threshold Based on A Newly Constructed Motion Simulator. In: **Proceedings of Fourth International Conference on Advances in Wind and Structures**. Jeju: [s.n.], 2008. p. 28–30. Citado 2 vezes nas páginas 61 e 85.
- ZAJONC, R. B. Attitudinal Effects of Mere Exposure. **Journal of Personality and Social Psychology**, v. 9, n. 2, p. 1–27, 1968. ISSN 00223514. Citado na página 36.
- ZATTI, L. **Conforto Humano em Edifícios Altos Excitados pelo Vento : Metodologias de Determinação das Acelerações e Critérios de Conforto**. 177 p. Tese (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016. Citado na página 25.

Anexos

ANEXO A – TRABALHOS CADASTRADOS

ID	Primeiro Autor	Ano	Idioma	Tipo de Publicação	Fonte da Publicação	Título	Disponível
KF71	Khan, F.	1971	English	Proceedings	Conference on Wind Effects on Buildings and Structures	Service Criteria for Tall Buildings for Wind Loading	Não
RJ71	Reed, J. W.	1971	ND	Report	Research Report 71-42	Wind-Induced Motion and Human Discomfort in Tall Buildings	Não
CP72	Chen, Peter W	1972	English	Journal Paper	Journal of the Structural Division	Human Perception Thresholds of Horizontal Motion	Não
CF73	Chang, Fu-Kuei	1973	English	Journal Paper	Journal of the Structural Division	Human Response to Motions in Tall Buildings	Não
HR73	Hansen, Robert J.	1973	English	Journal Paper	Engineering Journal	Human Response To Wind-Induced Motion of Buildings.	Sim
GT75	Goto, Takeshi	1975	Japanese	Report	Transactions of the Architectural Institute of Japan	The Criteria to Motions in Tall Buildings (Part 1) Factors Affecting Human Perception and Tolerance of Motion	Sim
IA75	Irwin, A.W.	1975	ND	Journal Paper	Build International	Human reactions to oscillations of buildings – acceptable limits	Não
YM75	Yamada, M	1975	ND	Proceedings	Proceedings of Pan Pacific Tall Buildings Conference	The Criteria to Motions in Tall Buildings	Não
YM77	Yamada, M	1977	ND	Journal Paper	Human Response to Tall Buildings	Human Response to Tall Building Motion	Não

ID	Primeiro Autor	Ano	Idioma	Tipo de Publicação	Fonte da Publicação	Título	Disponível
IA78	Irwin, A.W.	1978	English	Journal Paper	Journal of Structural Engineering	Human Response to Dynamic Motion of Structures	Não
MW78	Melbourne, W H	1978	English	Journal Paper	Journal of Industrial Aerodynamics	Criteria for Environmental Wind Conditions	Sim
MR79	Morris, R.C.	1979	ND	Report	Plymouth Polytechnic, U.K.: B.R.E. Contract Report	Vibration in Tall Buildings: Performance Tests	Não
GM80	Griffin, M. J.	1980	English	Journal Paper	Journal of Acoustical Society of America	Discomfort produced by impulsive whole-body vibration	Sim
HK80	Hiramatsu, K	1980	ND	Proceedings	Proceedings of the 6th National Symposium on Wind Engineering	Full-scale measurement of pressure and vibration of a tall building due to typhoon 7920. Part 2: Building vibration and the effect of vibration on building occupants	Não
GT81	Goto, Takeshi	1981	ND	ND	Planning and Environmental Criteria for Tall Buildings, Monograph of Council on Tall Buildings and Urban Habitat	Human Perception and Tolerance of Motion	Não

ID	Primeiro Autor	Ano	Idioma	Tipo de Publicação	Fonte da Publicação	Título	Disponível
IA81	Irwin, A.W.	1981	English	Journal Paper	Journal of Sound and Vibration	Perception, Comfort and Performance Criteria for Human Beings Exposed to Whole body Pure yaw Vibration and Vibration Vontaining yaw and Translational Components	Sim
GT83	Goto, Takeshi	1983	English	Journal Paper	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics	Studies on wind-indeuced motion of tall buildings based on ocupants reaction	Sim
LB83	Lee, B.E.	1983	English	Journal Paper	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics	The Perception of the Wind-Induced Vibration of a Tall Building: a Personal Viewpoint	Sim
IA84	Irwin, A.W.	1984	English	Journal Paper	Journal of Sound and Vibration	Human Perception, Task Performance and Simulator Sickness in Single and Multi-Axis Low-Frequency Horizontal Linear and Rotational Vibration	Não
HI86	Halvorson, R	1986	ND	Journal Paper	Building Motion in Wind	Comparison of predicted and measured dynamic behavior of Allied Bank Plaza	Não
IA86	Irwin, A.W.	1986	English	Proceedings	Proc. of Conf. on Tall Buildings	Motion in Tall Buildings	Sim

ID	Primeiro Autor	Ano	Idioma	Tipo de Publicação	Fonte da Publicação	Título	Disponível
FM88	Fujimoto, M	1988	ND	Proceedings	Proceedings, I, Symposium/Workshop on Serviceability of Buildings (Movements, Deformations, Vibrations)	Human response to wind-induced vibration of tall-buildings	Não
KJ88	Kanda, J.	1988	ND	Proceedings	Proceedings, Symposium/ Workshop on Serviceability of Buildings	Probabilistic Criteria for Human Perception of Low-Frequency Horizontal Motions	Não
MW88	Melbourne, W.H.	1988	ND	Proceedings	Proceedings of the Fourth International Conference	Designing for serviceable accelerations in tall buildings	Não
JA88	Jeary, A.P	1988	English	Journal Paper	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics	Perception of vibration-tests in a tall building	Sim
FK90	Fuji, K	1990	English	Journal Paper	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics	Wind-induced vibration of tall towers and practical applications of tuned sloshing damper	Sim
GT90	Goto, Takeshi	1990	ND	Proceedings	Proceedings of Tall Buildings: 2000 and Beyond	An Experimental Study on the Relationship between Motion and Habitability in a Tall Residential Building.	Não

ID	Primeiro Autor	Ano	Idioma	Tipo de Publicação	Fonte da Publicação	Título	Disponível
KJ90	Kanda, J.	1990	ND	Proceedings	Proceedings of the Conference with International Participation, Serviceability of Steel and Composite Structures	Probabilistic Perception Limits of Low-Frequency Horizontal Motions.	Não
KT90	Kanda, J.	1990	ND	Proceedings	Proceedings of Serviceability of Steel and Composite Structures	Relationship between probabilistic criteria and deterministic criteria for human perception to wind induced motions	Não
YM90	Yoshida, M	1990	ND	Proceedings	Proceedings of the 11th National Symposium on Wind Engineering	Vibration of tall buildings and human responses during a typhoon	Não
MW92	Melbourne, W. H.	1992	English	Journal Paper	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics	Accelerations and Comfort Criteria for Buildings Undergoing Complex Motions.	Sim
SK92	Shioya, Kiyoto	1992	ND	Proceedings	Proceedings of Structures Congress '92	Human perception thresholds of two dimensional horizontal motion	Não
IN93	Isyumov, N.	1993	ND	Proceedings	Proceedings of International Conference on Tall Buildings	Criteria for Acceptable Wind-Induced Motions of Tall Buildings	Não

ID	Primeiro Autor	Ano	Idioma	Tipo de Publicação	Fonte da Publicação	Título	Disponível
KJ93	Kanda, J.	1993	English	Proceedings	Proceedings of an International Colloquium, Structural Serviceability of Buildings	Probabilistic criteria for serviceability limit of wind response	Sim
NS93	Nakata, S	1993	ND	Proceedings	Proceedings of an International Colloquium, Structural Serviceability of Buildings	Study on habitability of horizontal vibration of low rise buildings	Não
NK93	Noguchi, Kenichi	1993	English	Report	International Colloquium, Structural Serviceability of Buildings, IABSE Reports	Human response to horizontal motion of tall buildings	Sim
SK93	Shioya, Kiyoto	1993	English	Report	IABSE reports	Human perception tresholds of horizontal motion	Sim
IT93	Ishiwaka, Takashige	1993	Japanese	Report	Summaries of Technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan	A study on vibration sensation considering habitability of high rise dwelling -Part 1 Outline of the research and the result	Não
SK94	Shioya, Kiyoto	1994	Japanese	Journal Paper	Journal of Structural and Construction Engineering	Human Perception Thresholds of Two-dimensional Sinusoidal Motion in Horizontal Plane	Sim

ID	Primeiro Autor	Ano	Idioma	Tipo de Publicação	Fonte da Publicação	Título	Disponível
IT94	Ishikawa, T	1994	Japanese	Report	Annual Report No.21	Habitability evaluation by stochastic method based on human sense of horizontal vibration target (2) - Analysis on the effect of verification and visual stimulation on the expression of linguistic view by difference of visual object	Sim
KJ95	Kanda, J.	1995	ND	Proceedings	Proc. ASCE Structures Congress 95	Probabalistic evaluation of human perception threshold of horizontal vibration of buildings	Não
IN95	Isyumov, N.	1995	ND	Proceedings	Proceedings of Fifth World Congress of the Council of Tall Buildings and Urban Habitat	Motion perception, tolerance and rnitigation	Não
IN96	Isyumov, N.	1996	ND	Proceedings	Proceedings of 67th Regional Conference Council on Tall Buildings and Urban Habitat	Full-scale Experience With Wind-Induced Motions of Tall Buildings	Não
KJ96	Kilpatrick, John	1996	English	Thesis	PhD Thesis	The Influence of Wind-Induced Motions on the Performance of Tall Buildings.	Sim
SK96	Shioya, Kiyoto	1996	Japanese	Journal Paper	Journal of Structural and Construction Engineering	Human perception thresholds of two dimensional random motion in horizontal plane	Sim

ID	Primeiro Autor	Ano	Idioma	Tipo de Publicação	Fonte da Publicação	Título	Disponível
GT96	Goto, Takeshi	1996	ND	Proceedings	Proceedings of the 67th Regional Conference	Effects of visual Views on the Perception threshold of Building Motion	Não
NC96	Noda, Chizuko	1996	Japanese	Journal Paper	Urban housing sciences	Assessment of habitability and inhabitants' response to horizontal vibration in urban high-rise apartment building	Sim
SK98	Shioya, Kiyoto	1998	Japanese	Journal Paper	Journal of Structural and Construction Engineering	Human comfort evaluation of wind-induced tall building motions in consideration of motion perception dispersion	Sim
IT98	Ishikawa, T	1998	Japanese	Journal Paper	Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ)	Sensory assessment of horizontal vibration over a wide frequency range	Sim
DR99	Denoon, R. O.	1999	English	Proceedings	Proceedings of 10th International Conference on Wind Engineering	Field Measurements of Human Reaction to Wind-Induced Building Motion	Não
SS99	Shindo, S.	1999	ND	Proceedings	Proceedings of International Conference on Tall Buildings 99	Effect of window view on the human perception to tall building's wind-induced torsional motion	Não

ID	Primeiro Autor	Ano	Idioma	Tipo de Publicação	Fonte da Publicação	Título	Disponível
NC99	Noda, Chizuko	1999	Japanese	Journal Paper	Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ)	Influence of the subjects' situation on perception threshold of horizontal vibration	Sim
NI99	Noda, Chizuko	1999	Japanese	Journal Paper	Journal of Architecture and Planning (Transactions of AIJ)	Influence of visual sensation on sense of horizontal vibration	Sim
DR00	Denoon, R. O.	2000	English	Report	Research Report No. R803	Field Experiments to Investigate Occupant Perception and Tolerance of Wind-Induced Building Motion	Não
DL00	Denoon, R. O.	2000	English	Report	Research Report No. R804	Effects of Wind-Induced Tall Building Motion on Cognitive Performance	Não
DR01	Denoon, R. O.	2001	English	Thesis	PhD Thesis	Designing for Wind-Induced Serviceability Accelerations in Buildings	Não
KS02	Kawana, S.	2002	Japanese	Thesis	Proceedings of Master's thesis at KOGAKUIN University in 2002	Study on habitability in high rise buildings during wind-induced vibration	Não
SS02	Shindo, S.	2002	Japanese	Journal Paper	Journal of Architecture Panning Environment and Engineering	Effect of long period torsional motion on human visual perception	Sim

ID	Primeiro Autor	Ano	Idioma	Tipo de Publicação	Fonte da Publicação	Título	Disponível
IT03	Ishikawa, T	2003	ND	Report	Summaries of Technical Papers of Annual Meeting	Evaluation curve and material to explain habitability of horizontal vibration	Não
IK03	Inoue, K	2003	Japanese	Report	Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, AIJ	Evaluation curve and material to explain habitability of horizontal vibration - Part 1 Evaluation curve based on perception by physical and visual feeling	Não
BM04	Burton, Melissa D.	2004	English	Proceedings	Proceedings of 11th Australasian Wind Engineering Society Workshop	Effects of Uni-axial and Bi-directional Random Motion on Cognitive Performance.	Não
BK04	Burton, Melissa D.	2004	English	Proceedings	Proceedings of 11th Australasian Wind Engineering Society Workshop	Frequency Dependence of Human Response to Uni-axial Sinusoidal Motion.	Sim
BR04	Burton, Melissa D.	2004	English	Proceedings	Proceedings of 11th Australasian Wind Engineering Society Workshop	Narrow-band random motion: preliminary perception and performance effects	Sim

ID	Primeiro Autor	Ano	Idioma	Tipo de Publicação	Fonte da Publicação	Título	Disponível
BM05	Burton, Melissa D.	2005	ND	Proceedings	10th America's Conference on Wind Engineering	Acceptability Curves Derived from Motion Simulator Investigations and Previous Experience with Building Motion	Não
KK05	Kwok, Kenny C. S.	2005	ND	Proceedings	Proceedings of the 6th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering	Human perception of tall building motions in strong wind environments	Não
BM06	Burton, Melissa D.	2006	English	Thesis	PhD Thesis	Effects of Low Frequency Wind-Induced Building Motion on Occupant Comfort	Sim
BK06	Burton, Melissa D.	2006	English	Journal Paper	Journal of Structural Engineering	Frequency Dependence of Human Response to Wind-Induced Building Motion	Sim
TY06	Tamura, Yukio	2006	English	Journal Paper	Structures & Buildings	Evaluation perception of wind-induced vibration in buildings	Sim
BH06	Burton, Melissa D.	2006	English	Proceedings	Proceedings of the 12th AWES Workshop	Proposed Occupant Comfort Criteria for Tall Buildings Subjected to Wind-Induced Vibration	Sim
BM07	Burton, Melissa D.	2007	ND	Proceedings	Proceedings of 12th International Conference on Wind Engineering	Occupant Comfort Criteria for Wind-Excited Buildings: Based on Motion Duration	Não

ID	Primeiro Autor	Ano	Idioma	Tipo de Publicação	Fonte da Publicação	Título	Disponível
BR07	Bashor, R.	2007	English	Proceedings	Proceedings of 12th International Conference on Wind Engineering	Probabilistic performance evaluation of buildings: an occupant comfort perspective.	Sim
KK08	Kwok, Kenny C. S.	2008	ND	Proceedings	Proceedings of Fourth International Conference on Advances in Wind and Structures	Occupant Comfort Test Using a Tall Building Motion Simulator	Não
WJ08	Wu, J. C.	2008	English	Proceedings	Proceedings of Fourth International Conference on Advances in Wind and Structures	Tentative Results on Wind-Induced Comfort Threshold Based on a Newly Constructed Motion Simulator	Sim
BM08	Burton, Melissa D.	2008	ND	Proceedings	Proceedings of Fourth International Conference on Advances in Wind and Structures	Visual cues influencing the perception of wind-induced tall building motion	Não
KS08	Kawana, S.	2008	English	Journal Paper	Advances in Structural Engineering	Study on visual vibration perception -Measurement and statistical analysis of length of time to see visual cues	Sim
KT08	Kawana, S.	2008	English	Proceedings	Proceeding of the 4th International Conference on Advances in Wind and Structures (AWAS'08)	Study on visual vibration perception -Full-scale measurement of vibration perception and time to see visual cues	Não

ID	Primeiro Autor	Ano	Idioma	Tipo de Publicação	Fonte da Publicação	Título	Disponível
KK09	Kwok, Kenny C. S.	2009	English	Journal Paper	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics	Perception of vibration and occupant comfort in wind-excited tall buildings	Sim
MM10	Michaels, M. N.	2010	English	Thesis	Master Thesis	Factors Influencing Complaint Behaviour in Humans Subjected to Low Frequency Random Building Motion	Sim
NC10	Noda, Chizuko	2010	Japanese	Journal Paper	Journal of Environmentak Engineering (AIJ)	Habitability Grade of Horizontal Vibration Based on Residents' Consciousness	Sim
BM11	Burton, Melissa D.	2011	ND	Journal Paper	Wind and Structures	Effect of Low-Frequency Motion on the Performance of a Dynamic Manual Tracking Task	Não
KS12	Kawana, S.	2012	English	Proceedings	Proceedings of the First International Conference on Performance-based and Life-cycle Structural Engineering	A study on vibration perception by visual sensation alone considering probability of seeing visual cues	Sim
KD13	Kwon, Dae Kun	2013	English	Journal Paper	Engineering Structures	Comparative study of major international wind codes and standards for wind effects on tall buildings	Sim

ID	Primeiro Autor	Ano	Idioma	Tipo de Publicação	Fonte da Publicação	Título	Disponível
LK13	Lamb, S.	2013	English	Journal Paper	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics	Occupant comfort in wind-excited tall buildings: Motion sickness, compensatory behaviours and complaint	Sim
LS13	Lamb, S.	2013	English	Thesis	PhD Thesis	The Effect of Wind-Induced Tall Building Motion on Occupant Comfort, Wellbeing, Wellbeing, and Work Performance	Sim
LS14	Lamb, S.	2014	English	Journal Paper	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics	A longitudinal field study of the effects of wind-induced building motion on occupant wellbeing and work performance	Sim
BM15	Burton, Melissa D.	2015	English	Journal Paper	International Journal of High-Rise Buildings	Wind-Induced Motion of Tall Buildings: Designing for Occupant Comfort	Sim
FJ15	Ferrareto, J. A.	2015	English	Journal Paper	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics	Wind-induced motion on tall buildings: A comfort criteria overview	Sim
LS16	Lamb, S.	2016	English	Proceedings	Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings	Occupant response to wind-excited buildings: a multidisciplinary perspective	Sim

ID	Primeiro Autor	Ano	Idioma	Tipo de Publicação	Fonte da Publicação	Título	Disponível
FJ17	Ferrareto, J. A.	2017	English	Thesis	PhD Thesis	Human comfort in tall buildings subjected to wind-induced motion “ Conforto em edifícios altos sob ação do vento ”	Sim
LS17	Lamb, S.	2017	English	Journal Paper	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics	The fundamental human response to wind-induced building motion	Sim

ANEXO B – DADOS EXTRAÍDOS

ID	N	Frequência (Hz)	Média - Aceleração de Pico (m/s ²)	Desvio Padrão	Desvio Padrão +	Desvio Padrão -	Erro Padrão
TY06A	47	0.125	0.073796	0.036168	0.107264	0.034929	0.005276
TY06A	47	0.160	0.064139	0.028073	0.091074	0.034929	0.004095
TY06A	47	0.200	0.059795	0.032947	0.091074	0.025180	0.004806
TY06A	47	0.250	0.051971	0.024883	0.075541	0.025776	0.003629
TY06A	47	0.315	0.042111	0.022104	0.064139	0.019932	0.003224
TY06B	47	0.125	0.065171	0.014977	0.065171	0.035217	0.002185
TY06B	47	0.160	0.065171	0.014307	0.064305	0.035692	0.002087
TY06B	47	0.200	0.055504	0.013357	0.054766	0.028053	0.001948
TY06B	47	0.250	0.048553	0.010802	0.048553	0.026949	0.001576
TY06B	47	0.315	0.042473	0.008801	0.042473	0.024870	0.001284
TY06C	47	0.125	0.063447	0.034100	0.098410	0.030211	0.004974
TY06C	47	0.160	0.057376	0.030256	0.089001	0.028488	0.004413
TY06C	47	0.250	0.049514	0.019441	0.067043	0.028160	0.002836
TY06C	47	0.315	0.047698	0.020388	0.067342	0.026566	0.002974
TY06D	47	0.125	0.055849	0.030209	0.085544	0.025127	0.004406
TY06D	47	0.160	0.056524	0.026691	0.081043	0.027661	0.003893
TY06D	47	0.250	0.045534	0.019572	0.064121	0.024976	0.002855
TY06D	47	0.315	0.039660	0.014965	0.055515	0.025584	0.002183
TY06E	47	0.125	0.054879	0.029333	0.084189	0.025523	0.004279
TY06E	47	0.160	0.056348	0.025642	0.081389	0.030104	0.003740
TY06E	47	0.250	0.045876	0.020330	0.065466	0.024807	0.002965
TY06E	47	0.315	0.037699	0.015875	0.053796	0.022046	0.002316
TY06F	6	0.330	0.286167				
TY06F	6	0.500	0.282105				
TY06F	6	0.800	0.167003				
TY06F	6	1.250	0.118776				
TY06F	6	2.000	0.117649				
TY06H	122	0.330	0.184144				
TY06H	122	0.500	0.200639				
TY06H	122	0.800	0.196850				
TY06H	122	1.250	0.131593				
TY06H	122	2.000	0.117649				
TY06G	6	0.330	0.185076				
TY06G	6	0.500	0.199178				
TY06G	6	0.800	0.112145				
TY06G	6	1.250	0.091429				
TY06G	6	2.000	0.100386				
TY06I	122	0.330	0.200450				
TY06I	122	0.500	0.116681				

ID	N	Frequência (Hz)	Média - Aceleração de Pico (m/s ²)	Desvio Padrão	Desvio Padrão +	Desvio Padrão -	Erro Padrão
TY06I	122	0.800	0.125138				
TY06I	122	1.250	0.100043				
TY06I	122	2.000	0.081577				
IA81Z	10	0.063	0.072819				
IA81Z	10	0.125	0.052229				
IA81Z	10	0.160	0.046613				
IA81Z	10	0.200	0.042338				
IA81Z	10	0.250	0.038456				
IA81Z	10	0.315	0.034928				
IA81Z	10	0.500	0.028067				
IA81Z	10	0.800	0.022954				
IA81Z	10	1.000	0.020664				
IA81Z	10	1.250	0.020664				
IA81Z	10	2.000	0.020664				
IA81Z	10	3.000	0.020664				
IA81Z	10	10.000	0.090177				
SK93A2	61	0.125	0.091469	0.021790	0.112350	0.068771	0.002790
SK93A2	61	0.160	0.099706	0.039544	0.138917	0.059829	0.005063
SK93A2	61	0.200	0.107967	0.030195	0.138917	0.078527	0.003866
SK93A2	61	0.250	0.110870	0.035732	0.148444	0.076980	0.004575
SK93A2	61	0.315	0.104445	0.023401	0.127440	0.080638	0.002996
SK93B2	61	0.125	0.087121	0.021650	0.107926	0.064627	0.002772
SK93B2	61	0.160	0.088109	0.036975	0.124956	0.051006	0.004734
SK93B2	61	0.200	0.094273	0.029614	0.124956	0.065729	0.003792
SK93B2	61	0.250	0.094273	0.036327	0.130719	0.058065	0.004651
SK93B2	61	0.315	0.098621	0.032297	0.132200	0.067607	0.004135
SK93A1	61	0.125	0.065952	0.025383	0.091477	0.040712	0.003250
SK93A1	61	0.160	0.049262	0.029157	0.078489	0.020174	0.003733
SK93A1	61	0.200	0.067362	0.024589	0.092407	0.043228	0.003148
SK93A1	61	0.250	0.062837	0.039274	0.102358	0.023810	0.005029
SK93A1	61	0.315	0.060588	0.025705	0.085443	0.034033	0.003291
SK93B1	61	0.125	0.059145	0.022661	0.082230	0.036908	0.002901
SK93B1	61	0.160	0.087533	0.037592	0.125918	0.050734	0.004813
SK93B1	61	0.200	0.095320	0.029861	0.124496	0.064773	0.003823
SK93B1	61	0.250	0.039065	0.027598	0.066262	0.011067	0.003534
SK93B1	61	0.315	0.055878	0.026137	0.082698	0.030425	0.003346
NK93A	20	0.100	0.117106				
NK93A	20	0.125	0.102573				
NK93A	20	0.200	0.058475				
NK93B	20	0.100	0.103603				
NK93B	20	0.160	0.051211				
NK93B	20	0.200	0.061172				
NK93C	20	0.125	0.076246				

ID	N	Frequência (Hz)	Média - Aceleração de Pico (m/s ²)	Desvio Padrão	Desvio Padrão +	Desvio Padrão -	Erro Padrão
NK93C	20	0.160	0.040341				
NK93C	20	0.200	0.044598				
NK93D	20	0.100	0.077503				
NK93D	20	0.125	0.066165				
NK93D	20	0.160	0.064179				
NK93D	20	0.200	0.024485				
BR04A	250	0.125	0.042494				
BR04A	250	0.250	0.033525				
BR04A	250	0.500	0.026569				
BM06A	250	0.125	0.039227	0.092281			0.005836
BM06A	250	0.160	0.033048	0.052760			0.003337
BM06A	250	0.200	0.030989	0.034225			0.002165
BM06A	250	0.250	0.027557	0.024320			0.001538
BM06A	250	0.315	0.028341	0.033441			0.002115
BM06A	250	0.400	0.024713	0.029910			0.001892
BM06A	250	0.500	0.020790	0.010101			0.000639
BM06B	250	0.125	0.038050	0.039815			0.002518
BM06B	250	0.250	0.028635	0.019123			0.001209
BM06B	250	0.500	0.021673	0.010297			0.000651
BM06C	250	0.125	0.040207	0.065116			0.004118
BM06C	250	0.250	0.031577	0.038932			0.002462
BM06C	250	0.500	0.021771	0.013337			0.000844
SK94A1	47	0.125	0.076184	0.038197	0.113278	0.036884	0.005572
SK94A1	47	0.160	0.065006	0.028375	0.093426	0.036675	0.004139
SK94A1	47	0.200	0.060048	0.034806	0.095568	0.025956	0.005077
SK94A1	47	0.250	0.052115	0.024316	0.077052	0.028420	0.003547
SK94A1	47	0.315	0.042982	0.022889	0.066120	0.020343	0.003339
SK94A2	47	0.125	0.101163	0.027049	0.128604	0.074506	0.003945
SK94A2	47	0.160	0.094894	0.027395	0.121772	0.066983	0.003996
SK94A2	47	0.200	0.084540	0.034010	0.118633	0.050612	0.004961
SK94A2	47	0.250	0.071852	0.025807	0.097563	0.045949	0.003764
SK94A2	47	0.315	0.060208	0.025932	0.086094	0.034230	0.003783
SK94B1	47	0.125	0.063884	0.030533	0.094472	0.033406	0.004454
SK94B1	47	0.160	0.063369	0.028214	0.091669	0.035242	0.004115
SK94B1	47	0.200	0.050909	0.024951	0.076969	0.027068	0.003639
SK94B1	47	0.250	0.044960	0.020001	0.065003	0.025001	0.002917
SK94B1	47	0.315	0.039476	0.015097	0.054879	0.024686	0.002202
SK94B2	47	0.125	0.089930	0.028799	0.118792	0.061194	0.004201
SK94B2	47	0.160	0.086751	0.031278	0.118903	0.056347	0.004562
SK94B2	47	0.200	0.075512	0.029392	0.104964	0.046180	0.004287
SK94B2	47	0.250	0.071787	0.024323	0.096155	0.047510	0.003548
SK94B2	47	0.315	0.068267	0.029266	0.097119	0.038587	0.004269
SK94C1	47	0.125	0.065190	0.034189	0.099798	0.031419	0.004987

ID	N	Frequência (Hz)	Média - Aceleração de Pico (m/s ²)	Desvio Padrão	Desvio Padrão +	Desvio Padrão -	Erro Padrão
SK94C1	47	0.160	0.059259	0.031231	0.091562	0.029101	0.004555
SK94C1	47	0.250	0.049865	0.021157	0.071158	0.028844	0.003086
SK94C1	47	0.315	0.049070	0.021117	0.070355	0.028121	0.003080
SK94C2	47	0.125	0.096117	0.034602	0.131625	0.062421	0.005047
SK94C2	47	0.160	0.096390	0.030622	0.126541	0.065297	0.004467
SK94C2	47	0.250	0.079191	0.026519	0.105934	0.052895	0.003868
SK94C2	47	0.315	0.073316	0.026318	0.102301	0.049665	0.003839
SK94D1	47	0.125	0.056030	0.030640	0.086280	0.024999	0.004469
SK94D1	47	0.160	0.056455	0.026964	0.083336	0.029409	0.003933
SK94D1	47	0.250	0.044467	0.021005	0.065946	0.023935	0.003064
SK94D1	47	0.315	0.040782	0.015333	0.056905	0.026238	0.002237
SK94D2	47	0.125	0.081177	0.028057	0.109595	0.053481	0.004093
SK94D2	47	0.160	0.083992	0.032285	0.116632	0.052061	0.004709
SK94D2	47	0.250	0.067908	0.024724	0.092540	0.043091	0.003606
SK94D2	47	0.315	0.059360	0.019312	0.077913	0.039289	0.002817
SK94E1	47	0.125	0.055348	0.029524	0.085095	0.026046	0.004307
SK94E1	47	0.160	0.057494	0.026222	0.084398	0.031953	0.003825
SK94E1	47	0.250	0.046957	0.021676	0.069571	0.026218	0.003162
SK94E1	47	0.315	0.038509	0.015571	0.053979	0.022837	0.002271
SK94E2	47	0.125	0.090745	0.038370	0.129562	0.052823	0.005597
SK94E2	47	0.160	0.085450	0.033438	0.119213	0.052337	0.004877
SK94E2	47	0.250	0.064148	0.020364	0.085450	0.044721	0.002970
SK94E2	47	0.315	0.059024	0.023592	0.082346	0.035162	0.003441
SK96A1	61	0.125	0.062600	0.031140	0.094950	0.032671	0.003987
SK96A1	61	0.160	0.040442	0.022080	0.062283	0.018123	0.002827
SK96A1	61	0.200	0.062600	0.021502	0.084909	0.041906	0.002753
SK96A1	61	0.250	0.058898	0.044506	0.104572	0.015561	0.005698
SK96A1	61	0.315	0.056552	0.027646	0.082780	0.027488	0.003540
SK96A2	61	0.125	0.091036	0.026853	0.117438	0.063733	0.003438
SK96A2	61	0.160	0.081226	0.047208	0.129114	0.034698	0.006044
SK96A2	61	0.200	0.101396	0.034714	0.134865	0.065436	0.004445
SK96A2	61	0.250	0.102203	0.043881	0.145241	0.057479	0.005618
SK96A2	61	0.315	0.094484	0.028973	0.123760	0.065814	0.003710
SK96B1	61	0.125	0.067992	0.027013	0.094280	0.040255	0.003459
SK96B1	61	0.160	0.051959	0.029456	0.079518	0.020605	0.003772
SK96B1	61	0.200	0.070487	0.026227	0.094187	0.041733	0.003358
SK96B1	61	0.250	0.065644	0.041136	0.107512	0.025239	0.005267
SK96B1	61	0.315	0.063036	0.025562	0.086868	0.035745	0.003273
SK96B2	61	0.125	0.092742	0.021344	0.115933	0.073245	0.002733
SK96B2	61	0.160	0.103419	0.038866	0.140866	0.063134	0.004976
SK96B2	61	0.200	0.110987	0.030865	0.141141	0.079412	0.003952
SK96B2	61	0.250	0.113614	0.037945	0.152772	0.076882	0.004858
SK96B2	61	0.315	0.106729	0.022312	0.128910	0.084286	0.002857

ID	N	Frequência (Hz)	Média - Aceleração de Pico (m/s ²)	Desvio Padrão	Desvio Padrão +	Desvio Padrão -	Erro Padrão
SK96C1	61	0.125	0.055059	0.025434	0.079760	0.028892	0.003256
SK96C1	61	0.160	0.036754	0.023438	0.059532	0.012655	0.003001
SK96C1	61	0.200	0.061206	0.026023	0.086883	0.034838	0.003332
SK96C1	61	0.250	0.034918	0.026174	0.061349	0.009002	0.003351
SK96C1	61	0.315	0.051735	0.028287	0.079652	0.023077	0.003622
SK96C2	61	0.125	0.083730	0.030022	0.113266	0.053223	0.003844
SK96C2	61	0.160	0.071912	0.046471	0.119809	0.026868	0.005950
SK96C2	61	0.200	0.087159	0.028396	0.115454	0.058662	0.003636
SK96C2	61	0.250	0.086211	0.044350	0.129416	0.040716	0.005678
SK96C2	61	0.315	0.087047	0.037033	0.123405	0.049338	0.004742
SK96D1	61	0.125	0.060021	0.023076	0.082646	0.036494	0.002955
SK96D1	61	0.160	0.040270	0.026317	0.066569	0.013936	0.003369
SK96D1	61	0.200	0.064719	0.024532	0.088216	0.039151	0.003141
SK96D1	61	0.250	0.038845	0.027699	0.066539	0.011141	0.003546
SK96D1	61	0.315	0.057847	0.027242	0.084229	0.029745	0.003488
SK96D2	61	0.125	0.089290	0.021175	0.108545	0.066196	0.002711
SK96D2	61	0.160	0.090376	0.038785	0.128990	0.051420	0.004966
SK96D2	61	0.200	0.098102	0.030152	0.127272	0.066969	0.003861
SK96D2	61	0.250	0.097213	0.037911	0.134594	0.058771	0.004854
SK96D2	61	0.315	0.102794	0.033927	0.139255	0.071402	0.004344
IT98Z	43	0.160	0.100000				
IT98Z	43	0.250	0.101727				
NC10X	40	0.250	0.021114	0.014297			0.002261
NC10X	40	0.630	0.020055	0.011057			0.001748
NC10X	40	1.600	0.015413	0.017499			0.002767
IT98Z	43	0.400	0.128061	0.414183			0.063162
IT98Z	43	0.630	0.142493	0.306079			0.046677
IT98Z	43	1.000	0.138878	0.504997			0.077011
IT98Z	43	1.600	0.087609	0.523191			0.079786
IT98Z	43	2.500	0.042083	0.551922			0.084167
IT98Z	43	4.000	0.035847	0.769994			0.117423
IT98Z	43	6.300	0.030143	1.087065			0.165776
IT98Z	43	10.000	0.034598	1.243714			0.189665
NC99A	32	0.160	0.101763				
NC99A	32	0.250	0.082569				
NC99A	32	0.400	0.053902				
NC99A	32	0.630	0.036608				
NC99A	32	1.000	0.024618				
NC99A	32	1.600	0.019583				
NC99A	32	2.500	0.022234				
NC99A	32	4.000	0.020716				
NC99A	32	6.300	0.026746				
NC99A	32	10.000	0.084864				

ID	N	Frequência (Hz)	Média - Aceleração de Pico (m/s ²)	Desvio Padrão	Desvio Padrão +	Desvio Padrão -	Erro Padrão
NC99B	32	0.160	0.076406				
NC99B	32	0.250	0.039348				
NC99B	32	0.400	0.039679				
NC99B	32	0.630	0.042458				
NC99B	32	1.000	0.021650				
NC99B	32	1.600	0.021403				
NC99B	32	2.500	0.018067				
NC99B	32	4.000	0.028988				
NC99B	32	6.300	0.029816				
NC99B	32	10.000	0.041660				
NC99C	32	0.160	0.040727				
NC99C	32	0.250	0.040345				
NC99C	32	0.400	0.040293				
NC99C	32	0.630	0.039586				
NC99C	32	1.000	0.018250				
NC99C	32	1.600	0.022021				
NC99C	32	2.500	0.017186				
NC99C	32	4.000	0.024046				
NC99C	32	6.300	0.034486				
NC99C	32	10.000	0.115371				
NC99D	32	0.160	0.040727				
NC99D	32	0.250	0.021418				
NC99D	32	0.400	0.020528				
NI99A	45	0.100	0.019060				
NI99A	45	0.160	0.020310				
NI99A	45	0.250	0.021784				
NI99A	45	0.400	0.023824				
NI99A	45	0.630	0.031442				
NI99A	45	1.000	0.022415				
NI99A	45	1.600	0.022973				
NI99A	45	2.500	0.018888				
NI99A	45	4.000	0.022766				
NI99A	45	6.300	0.034429				
NI99A	45	10.000	0.055554				
NI99B	45	0.160	0.040121				
NI99B	45	0.250	0.039553				
NI99B	45	0.400	0.039758				
NI99B	45	0.630	0.039450				
NI99B	45	1.000	0.018098				
NI99B	45	1.600	0.021671				
NI99B	45	2.500	0.016700				
NI99B	45	4.000	0.023212				
NI99B	45	6.300	0.033115				

ID	N	Frequência (Hz)	Média - Aceleração de Pico (m/s ²)	Desvio Padrão	Desvio Padrão +	Desvio Padrão -	Erro Padrão
NI99B	45	10.000	0.113356				
WJ08A	28	0.100	0.122000	0.001692			0.000320
WJ08A	28	0.200	0.070000	0.001853			0.000350
WJ08A	28	0.400	0.040000	0.002583			0.000488
WJ08A	28	0.600	0.032000	0.003297			0.000623
WJ08A	28	0.800	0.027000	0.002401			0.000454
WJ08A	28	1.000	0.025000	0.002898			0.000548
JA88A	24	1.600	0.016676	0.017419			0.003556
JA88B	24	1.600	0.016676				