

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA VARIÁVEL TEMPO DE CONTATO EM ATIVIDADES DE SALTO

Renata G. Faisca¹, Diane P. Coutinho²

¹ Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, Brasil, refaisca@vm.uff.br

² Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, Brasil, diane.coutinho@gmail.com

Resumo: A compreensão de parâmetros experimentais, tais como o período de tempo, o coeficiente de impacto e o tempo de contato entre pessoa-estrutura que compõem um carregamento humano tornam-se fundamental para representação de um modelo matemático. Este artigo apresenta os resultados de análises de dados estatísticos obtidos a partir de testes experimentais com um grupo de quinze voluntários saltando sobre uma estrutura rígida instrumentada. Uma estrutura, com frequência natural em torno de 18 Hz, foi projetada e construída para a realização de testes de saltos. Isto se fez necessário, uma vez que estas frequências naturais não interagem com as frequências fundamentais da atividade saltar, as quais se encontram em torno de 1,5 e 3,5 Hz. Testes de saltos controlados e não controlados foram realizados para entender as mudanças significativas que podem ocorrer com as variáveis que compõem esta atividade. Um estudo que envolve análise de variância (ANOVA) é apresentado e os resultados obtidos mostram como o tempo de contato entre pessoa-estrutura pode, ou não, influenciar no modelo da atividade saltar.

Palavras chave: projeto estrutural, instrumentação, estatística aplicada, análise de variância.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as estruturas estão tornando-se cada vez mais esbeltas devido às exigências estéticas de projeto e uso de novos materiais estruturais que estão em constante desenvolvimento. Como consequência, algumas estruturas apresentam suas primeiras frequências naturais abaixo de 5 Hz. Estas estruturas podem gerar altos níveis de vibrações, altos níveis de tensões e deslocamentos, bem como desconforto humano. Estes problemas tornam-se mais graves devido às cargas dinâmicas induzidas por pessoas em atividades, tais como: dançar, andar e saltar que atuam em uma faixa de frequência fundamental entre 1,5 e 3,5 Hz [1]. Para exemplificar este problema pode-se citar o fato que ocorreu durante a inauguração de uma estrutura inglesa que marcaria a entrada do novo milênio, a Millennium Footbridge. No dia em que a passarela metálica foi inaugurada, começou a apresentar oscilações laterais com amplitude da ordem de 20 cm, ao longo de seus 345 m de comprimento, devido à ação de pessoas se movimentando sobre a mesma [2]. No Brasil, devido aos problemas

ocorridos nas estruturas dos Estádios, Maracanã/RJ [3], Nilson-Nelson/DF [4] e Mangueirão/PA [5], iniciaram-se preocupações com este tipo de carregamento.

Pesquisas sobre o carregamento humano têm vital importância para o estudo do comportamento de estruturas esbeltas. Brownjohn [6] verificou por meio de testes experimentais de interação homem-estrutura que algumas posições podem fazer com que o corpo humano atue dinamicamente com a estrutura, de forma a modificar a sua frequência natural e/ou aumentar a taxa de amortecimento, mesmo quando as pessoas encontram-se sentadas sobre uma estrutura.

Alguns ensaios experimentais com um grupo de até 20 pessoas foram realizados por Faisca [7], que observou um aumento na taxa de amortecimento devido ao aumento do número de pessoas sobre uma estrutura flexível.

Sachse, Pavic e Reynolds [8] modelaram um sistema massa-mola-amortecedor com dois graus de liberdade (2 GL) para simular uma multidão sobre estruturas de estádios. Os pesquisadores observaram a influência do carregamento de multidão nas propriedades dinâmicas da estrutura (frequência natural, massa modal, rigidez modal e amortecimento modal).

Um modelo baseado em probabilidade foi desenvolvido por Živanović [9]. O autor constatou que algumas estruturas, mesmo com configurações muito simples, respondem a vibração induzida por indivíduos em vários modos de vibração simultaneamente, com mais de uma delas sendo importante. Estas vibrações podem ser frequentemente provocadas por energia em torno de diferentes forças harmônicas. Portanto, é necessário levar em consideração todos os harmônicos relevantes da carga gerada pela atividade realizada.

Živanović, Pavic e Reynolds [10] formularam um modelo de força multi-harmônica para calcular a resposta da estrutura para uma única pessoa andando sobre uma passarela. Este modelo foi baseado em probabilidades encontradas em pesquisas anteriores. Os autores mostraram que um modelo de força harmônica única pode ser estendido para um modelo de força multi-harmônica. Este novo modelo contém, não só os principais harmônicos, geralmente tratados na literatura, como também sub-

harmônicos que aparecem entre os principais harmônicos do espectro [11].

O principal objetivo deste artigo é entender o carregamento gerado por atividades humanas realizadas em estruturas. Isto pode ser feito por meio de análises de testes de saltos realizados com um grupo de quinze voluntários saltando individualmente sobre uma estrutura rígida. A utilização de uma estrutura com frequências naturais altas se torna conveniente, pois não interagem com o carregamento humano. Neste caso a frequência natural da estrutura encontrava-se em torno de 18 Hz e os saltos realizados apresentavam-se em uma faixa entre 2 e 3 Hz.

As atividades de salto foram feitas com e sem controle das frequências do salto. Nos saltos com controle, utilizou-se um equipamento conhecido como metrônomo. Estes testes foram realizados a fim de compreender as mudanças significativas que podem ocorrer nas variáveis que compõem um salto, as quais são definidas como: o período T , a amplitude do sinal dividida pelo peso estático de cada indivíduo, chamado de coeficiente de impacto Kp e o tempo de contato da pessoa com a estrutura Tc . Neste artigo, será dada ênfase ao estudo da variável Tc , uma vez que durante os testes experimentais observou-se que os indivíduos apresentam características próprias ao realizar a atividade de salto, influenciando na resposta do carregamento, ou seja, o Tc de cada indivíduo pode contribuir de forma direta no valor do carregamento. Este artigo apresenta o resultado das análises de variâncias de Tc para saltos com e sem controle. Por meio da aplicação desta análise, é possível compreender o comportamento da força humana que atua em passarelas, arquibancadas, salões de dança e outras estruturas.

2. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA E INSTRUMENTAÇÃO

Os testes experimentais foram realizados em uma estrutura mista com vigas metálicas, em perfil I, para as longarinas e transversinas e um tabuleiro de concreto armado com 12,20 m de comprimento, 2,20 m de largura e 0,10 m de espessura [7]. A aquisição da resposta estrutural foi realizada através de acelerômetros resistivos, flexímetros elétricos e extensômetros elétricos de resistência. Estes sensores mediam, respectivamente, as acelerações e as deflexões no tabuleiro e as deformações na mesa inferior das longarinas. A figura 1 apresenta uma fotografia da estrutura e os detalhes do posicionamento dos acelerômetros, flexímetros e extensômetros (Ac , F , E , respectivamente) podem ser observados na figura 2.



Fig. 1. Fotografia da estrutura.

A estrutura pode ser montada com apenas quatro apoios, sendo dois em cada extremidade, com um vão livre máximo de 11,50 m de comprimento, permitindo o estudo de estruturas bem flexíveis, como é o caso 1 mostrado na figura 3. Aumentando-se o número de apoios e/ou modificando suas posições, é possível variar a rigidez da estrutura. A figura 3 apresenta de forma esquemática três casos distintos que podem ser investigados a partir da mudança e/ou acréscimo de apoios na estrutura.

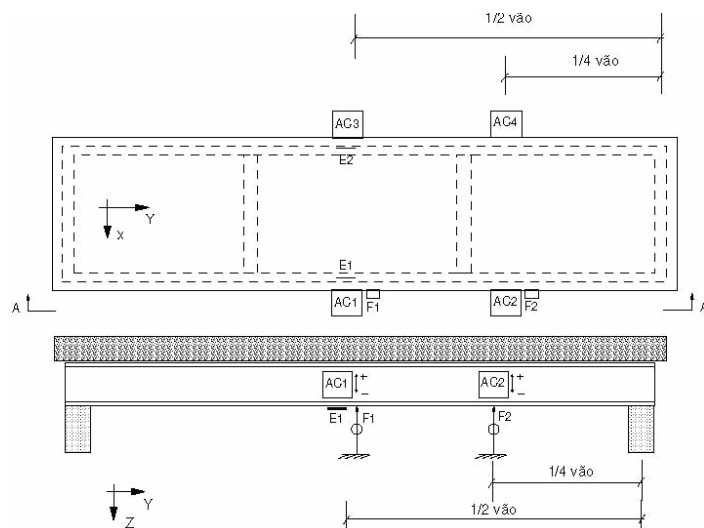


Fig. 2. Detalhe do posicionamento dos sensores de resposta.

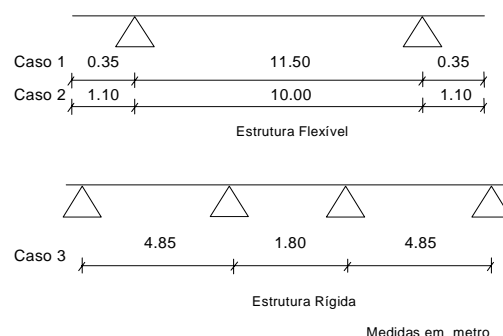


Fig. 3. Variação do vão da estrutura [7].

Foram realizados testes experimentais para obtenção das frequências naturais nas direções x , y e z da estrutura (vide figura 2). A estrutura foi excitada através de saltos verticais consecutivos, realizados por um voluntário e a sua resposta foi medida através de 2 acelerômetros do tipo resistivo, que se encontravam a $1/4$ (um quarto) e no $1/2$ (meio) do vão da estrutura, conforme indicado na figura 2. O sistema de aquisição de dados utilizado é mostrado esquematicamente na figura 4. Neste trabalho foram considerados apenas os testes com a estrutura rígida, que é o caso 3 da figura 3, ou seja, a inserção dos apoios na região central da estrutura. Isto fez com que a frequência natural da estrutura ficasse em torno de 18 Hz.

Para a medição das forças de excitação foram construídas plataformas de cargas instrumentadas com strain-gages, que foram posicionadas sobre a estrutura. Nos testes experimentais apenas as plataformas centrais (L9 a L18) foram instrumentadas, conforme indicado na figura 5.

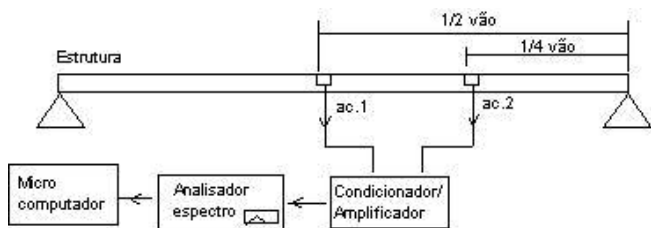


Fig. 4. Esquema da instrumentação da estrutura para obtenção dos parâmetros modais [7].

L2	L4	L6	L8	L10	L12	L14	L16	L18	L20	L22	L24	L26
L1	L3	L5	L7	L9	L11	L13	L15	L17	L19	L21	L23	L25

Fig. 5. Localização das plataformas instrumentadas sobre a estrutura (L9 a L18).

3. MODELO DO CARREGAMENTO

Observa-se através da figura 6, os movimentos que ocorrem com o corpo humano durante a realização da atividade de salto. Observa-se a modificação da posição do centro de massa do indivíduo, que se localiza na região abdominal, durante os principais movimentos que ocorrem com o corpo ao realizar um salto. A primeira etapa mostra a pessoa na posição inicial, seguida da flexão dos joelhos, preparando-se para dar o impulso do salto. Então, ocorre o período em que o indivíduo encontra-se no ar, seguida da aterrissagem, ocorrendo nova flexão nos joelhos. Volta-se a primeira posição, iniciando-se um novo salto [12].

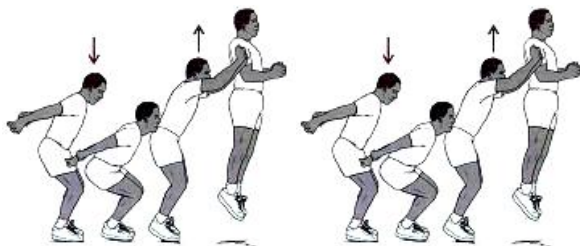


Fig. 6. Movimentos do corpo durante um salto, ilustração obtida em [12].

A carga gerada por atividades de salto pode ser descrita como uma função harmônica, com dois intervalos de tempo significativos, T_c que é o tempo de contato da pessoa com a estrutura (aterrissando+impulsionando) e T_s que é o tempo sem contato (no ar), como pode ser visto através do gráfico de força x tempo da Figura 7, que representa o salto de um indivíduo.

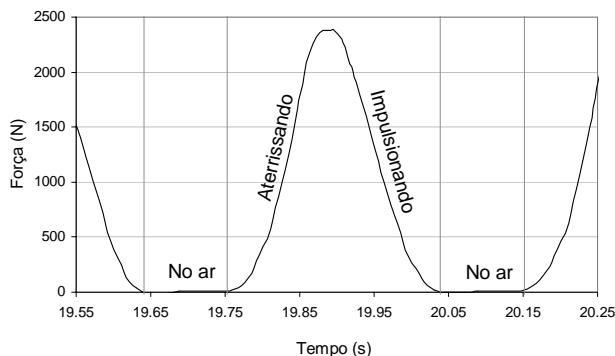


Fig. 7. Gráfico força x tempo durante os movimentos do salto.

O tempo total da carga T , em outras palavras, o período da atividade de salto é dado pela soma de T_c e T_s , que pode ser visto na equação 1:

$$T = T_c + T_s \quad (1)$$

No entanto, as variáveis da função podem sofrer mudanças para cada pessoa, ou mesmo durante o desenvolvimento da atividade pela mesma pessoa. Por meio dos dados de carregamento humano analisados por Faisca [7], verificou-se que, a atividade de salto com e sem controle, tem as mesmas características para as variáveis da função. Nestes casos, as atividades podem ser representadas pelas funções das equações 2 e 3 [13].

$$F(t) = P \cdot Kp [0.5 - 0.5 \cos(\omega t)], \text{ para } t \leq T_c \quad (2)$$

$$F(t) = 0, \text{ para } T_c < t \leq T \quad (3)$$

onde, t é o tempo e Kp é a amplitude do sinal dinâmico dividido pelo peso estático do indivíduo e

$$\omega = \frac{\pi}{T_c} \quad (4)$$

4. METODOLOGIA DOS TESTES EXPERIMENTAIS

Um grupo de quinze voluntários foi constituído de homens e mulheres com idades entre 18 e 45 anos. Para cada participante, foi medida a altura H e o peso P . A média do peso dos voluntários foi de 611.77N com desvio padrão de 108.73N. Este valor é muito próximo aos encontrados nos códigos que tratam este assunto [1] e [14-15]. A maioria dos voluntários, alunos de graduação do curso de Educação Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), possui uma alimentação balanceada e praticam exercícios físicos. Devido a estes aspectos, existe uma maior concentração de pessoas na faixa de estado nutricional normal. Estas características do grupo explicam a não existência de voluntários obesos.

Os testes de salto foram realizados com e sem batidas rítmicas, durante um período entre 30 e 60 segundos. Os testes experimentais com atividades controladas foram utilizados para observar o limite máximo e mínimo de cada indivíduo durante os saltos. Isto foi feito com a finalidade de verificar se o voluntário consegue manter o ritmo durante a atividade. Os saltos realizados sem o controle da atividade permitem verificar a faixa de frequência do desempenho dos indivíduos.

O som controlado foi criado por um metrônomo, que geraram batidas rítmicas em uma faixa de frequência que variava entre 1.5 e 3.0 Hz com incremento de 0.5 Hz. Para a criação destas batidas, levou-se em conta a faixa de frequência da atividade realizada pelas pessoas sobre as estruturas de acordo com o CEB [1].

Durante os testes controlados e não controlados, cada voluntário desenvolveu individualmente as atividades sobre a estrutura rígida instrumentada, a fim de evitar a interação homem-estrutura.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O gráfico de distribuição do tempo de contato pessoa-estrutura, T_c , para ambas as atividades de salto, sem controle e com controle realizados pelos quinze voluntários é apresentado na figura 8. Observa-se uma tendência a distribuição de Gauss para as atividades controladas e não controladas. Além disso, observa-se que a região de T_c , durante a atividade não controlada, é mais ampla do que para a atividade controlada, atuando entre 0,22 s e 0,44 s, embora a atividade controlada ocorra entre 0,21 s e 0,39 s. Isto mostra uma pequena diferença que existe nos valores de T_c para o uso ou não de controle, o que já era esperado, uma vez que as pessoas sentem-se mais à vontade para realizar a atividade sem a presença de um estímulo.

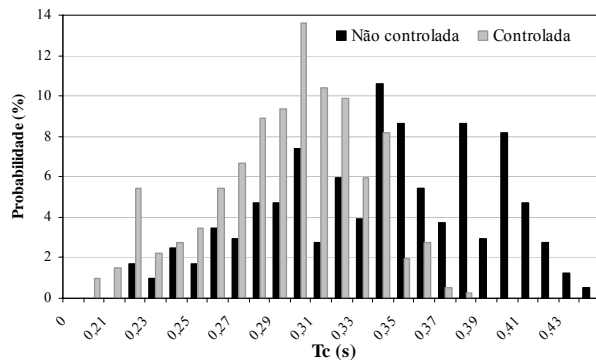


Fig. 8. Histograma do tempo de contato (T_c) para atividade com controle e sem controle.

As 15 amostras foram geradas a partir de 27 observações de saltos de cada um dos voluntários, totalizando 405 observações. A Tabela 1 apresenta as médias e as variâncias de cada tratamento (cada voluntário) de T_c obtidas durante as atividades com e sem controle.

Tabela 1. Médias e variâncias da variável T_c (s).

Voluntário	Sem estímulo		Com estímulo	
	Média	Variância	Média	Variância
1	0,404	0,00032	0,284	0,00032
2	0,370	0,00043	0,264	0,00027
3	0,309	0,00045	0,315	0,00023
4	0,329	0,00029	0,233	0,00013
5	0,320	0,00038	0,324	0,00043
6	0,352	0,00042	0,310	0,00020
7	0,293	0,00018	0,290	0,00020
8	0,239	0,00023	0,217	0,00011
9	0,277	0,00026	0,281	0,00022
10	0,404	0,00026	0,345	0,00016
11	0,287	0,00106	0,303	0,00037
12	0,350	0,00020	0,313	0,00017
13	0,377	0,00023	0,306	0,00051
14	0,403	0,00018	0,331	0,00041
15	0,349	0,00019	0,275	0,00032

Devido à simetria verificada entre a média e o desvio padrão e a forma platicurtose da distribuição (vide figura 8), tornou-se possível o uso da análise de variância nos dados

obtidos. Como o delineamento experimental seguiu os procedimentos de testes de salto com e sem controle, efetuou-se a análise de variância seguindo o modelo do experimento que indica as respostas de unidades experimentais ao tratamento [16]:

$$Resposta = média\ tratamento + erro$$

A resposta das diferentes unidades a um mesmo tratamento, ou seja, as diferentes médias (vide tabela 1) variam ao acaso devido aos fatores, que podem ser conhecidos ou desconhecidos, que não foram controlados no experimento. Neste caso, houve variações por serem pessoas saltando. A aleatoriedade encontra-se no fato de cada indivíduo saltar de maneira diferente e que cada salto gerado pelo indivíduo apresenta diferenças devido aos movimentos realizados pelo corpo, ou até mesmo devido ao modo da aterrissagem [12].

A estimativa de erro também conhecida como resíduo é obtida através de:

$$\varepsilon_{ij} = Y_{ij} - \bar{y}_i \quad (5)$$

onde, Y_{ij} = cada valor de observação de uma amostra, \bar{y}_i = média do tratamento a que Y_{ij} pertence.

As figuras 9 e 10 apresentam, respectivamente, os gráficos dos voluntários x resíduos de T_c para a atividade sem controle e com controle. Os resíduos foram padronizados em relação ao quadrado médio do resíduo que é $QMR = 0,00034$ para o caso sem controle e $QMR = 0,00027$ para o caso com controle. Observa-se que, para os dois casos, não ocorrem discrepâncias em seus valores, sendo que 95% dos dados encontram-se no intervalo $[-2,2]$. Além de não ocorrer valores acima do intervalo $[-3,3]$. A partir da análise dos resíduos, verificou-se que todos os dados podem ser utilizados na análise de variância.

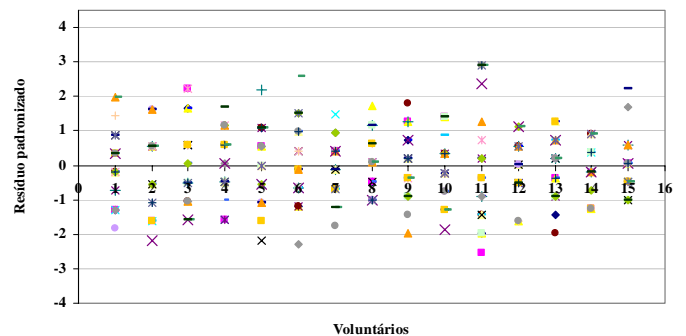


Fig. 9. Resíduos padronizados da variável T_c da atividade sem controle.

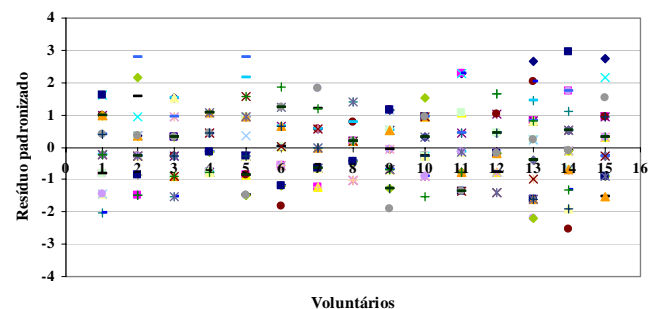


Fig. 10. Resíduos padronizados da variável T_c da atividade com controle.

A análise de variância pode ser utilizada para determinar se as médias amostrais sugerem diferenças efetivas entre as observações, ou se tais diferenças decorrem apenas da variabilidade amostral. Para tanto, a formulação do teste de hipóteses para um nível de significância de 5% é dada por:

H_0 : As médias das populações são iguais.

H_1 : As médias das populações não são iguais.

Em outras palavras, se H_0 for aceita, as diferenças são devidas a variações aleatórias na amostra. Porém, se H_1 for aceita, pode-se concluir que as diferenças entre as médias amostrais são grandes para serem devidas à chance e, portanto, as médias amostrais não são iguais. A análise de variância utiliza dois processos diferentes para estimar as variâncias das populações. Se as duas estimativas são aproximadamente iguais, isto tende a confirmar H_0 ; se uma das estimativas é muito maior que a outra, isto tende a confirmar H_1 .

A tabela 2 apresenta, de forma simbólica, as quantidades calculadas em uma análise de variância.

Tabela 2. Quantidades calculadas em uma ANOVA [16].

Causa de Variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	$(k-1)$	SQ_{Tr}	QM_{Tr}	$\frac{QM_{Tr}}{QMR}$
Resíduos	$(n-k)$	SQR	QMR	
Total	$(n-1)$	SQT		

Nomenclatura: GL – grau de liberdade, SQ – soma dos quadrados, QM – quadrado médio, k – número de amostras e n – número total observações.

A soma dos quadrados total (SQT) mede a variação total, ou seja, a variação dos valores observados em torno da média geral, que neste caso foi obtida a partir das 405 observações. A soma dos quadrados dos tratamentos (SQ_{Tr}) mede a variação devida aos tratamentos e a soma dos quadrados dos resíduos (SQR) mede a variação aleatória [16].

Cada variância amostral reflete apenas o quadrado médio de resíduo (QMR) da amostra em particular. A estimativa do QMR serve como padrão de comparação para a estimativa do quadrado médio de tratamento (QM_{Tr}). A estimativa do QM_{Tr} focaliza a variância entre as médias amostrais, relacionando-a com uma estimativa da variância populacional em termos de uma distribuição amostral das médias. A análise de variância utiliza a razão entre as duas estimativas, dividindo o QM_{Tr} pelo QMR , essa razão é chamada de Razão F . O valor calculado associado a um nível de significância é comparado aos valores tabelados da distribuição F , que indica o valor máximo da estatística, no caso, H_0 ser verdadeira [16].

Primeiramente, foram realizados os cálculos da variância para T_c para uma atividade não controlada, onde os indivíduos saltavam aleatoriamente. Torna-se importante a investigação de T_c , pois esta variável indica o tempo de contato pessoa-estrutura. Então, como a análise de variância é utilizada para mostrar se as médias das populações são iguais, neste caso será possível apontar se os indivíduos saltam de maneira semelhante ou não.

Na tabela 3 encontra-se os valores calculados para os graus de liberdade (GL), quadrados médios (QM), somas de quadrados (SQ), e razão F (F), para a atividade não controlada.

Tabela 3. Resultados da ANOVA da atividade não controlada.

Causa de Variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	0,95876	0,06848	201,7
Resíduos	390	0,13242	0,00034	
Total	404	1,09118		

O valor de F calculado mede a variabilidade do tratamento por unidade de variabilidade do resíduo, o que significa quantas vezes a variabilidade das médias das amostras é maior que a variabilidade amostral. Na tabela 3 o valor de F calculado é 201,7. Esse valor é comparado ao valor tabelado da distribuição F_α a um nível de significância de 5%, que é 1,72. Pode-se observar que o valor encontrado para a razão F é bem maior que o tabelado, portanto a hipótese nula (H_0) deve ser rejeitada. A partir daí, pode-se concluir que provavelmente as médias amostrais não provêm de populações com médias iguais. Isso comprova que cada pessoa salta de uma maneira singular, com tempos de contatos diferentes com a estrutura.

A fim de corroborar a análise anterior, foi feita uma nova análise de variância utilizando-se os dados de T_c da atividade controlada. Os resultados da análise encontram-se na tabela 4.

Tabela 4. Resultados da ANOVA da atividade controlada.

Causa de Variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	0,46908	0,03351	123,5
Resíduos	390	0,10578	0,00027	
Total	404	0,57486		

Através da tabela 4 verifica-se que o valor de F calculado é 123,5. Isto mostra que este valor, apesar da grande variabilidade entre o tratamento por unidade de variabilidade do resíduo, é bem inferior ao valor obtido para a atividade sem controle que foi de 201,7. Ao comparar estes resultados, pode-se verificar uma pequena influência no valor de T_c devido ao controle da atividade. No entanto, ao comparar o valor de F calculado da tabela 4 com o valor obtido na tabela de distribuição $F_\alpha=1,72$ para um nível de significância de 5%, verificou-se que H_0 também foi rejeitada. Mostrando que a média das amostras novamente não deriva de populações com médias iguais.

6. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou os resultados de análises de variâncias do tempo de contato pessoa-estrutura, T_c , na tentativa de compreender uma das variáveis que compõem o modelo matemático de carregamento humano atuante em estruturas do tipo passarelas, arquibancadas de estádios, salões de dança, etc.

A partir da ANOVA realizada pode-se concluir que provavelmente as médias amostrais não provêm de populações com médias iguais, pois não comprovou-se que as diferenças são devidas às variações aleatórias na amostra. Isso mostra que cada pessoa salta de uma maneira singular, com tempos de contatos diferentes com a estrutura.

Pôde-se observar também que, as atividades com e sem controle, apresentam características próprias. Verificou-se a ocorrência de diferenças significativas nas respostas dos testes de salto que utilizaram, ou não, o metrônomo. Observou-se que essas diferenças tornam-se ainda maiores nos saltos sem o controle do metrônomo. Isto se deve ao fato de que é mais fácil perder um movimento quando não há controle da frequência, mas também, pelo fato dos indivíduos saltarem em diferentes faixas de frequência.

De um modo geral, verificou-se que a variável tempo de contato é muito influenciada pela maneira como as pessoas realizam os saltos, tanto com o uso de estímulo, quanto sem o uso de estímulo sonoro. Ainda assim, percebe-se que outras variáveis precisam ser investigadas, como é o caso do período de tempo T e o coeficiente de impacto Kp . Ressalta-se, porém, que essas análises permanecem em estudo pelos autores e que por isso não foi possível registrar os resultados definitivos neste artigo.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj) pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CEB – Comité Euro-International du Beton, “Vibration Problems in Structures – Practical Guidelines”, Bulltin d’information, No. 209, 1991.
- [2] New Scientist Magazine, 2000, publicado em 19 de Dezembro. Disponível em: <<http://newscientist.com/news/news.jsp?id=ns9999269>>. Acesso em: 21 Dez. 2000.
- [3] N. Roitman, “Structural Analysis of Maracanã Stadium”, In: Proceedings of The International Conference on Structural Dynamics Modelling-Test, Analysis and Correlation, pp.119-128, Glasgow, England, 1993.
- [4] R. C. Battista, “Estrutura Metálica Reticulada Espacial na forma de Domo Esférico do Ginásio Nilson-Nélson”, Trabalho Técnico: Verificação da Estabilidade, Análise Dinâmica (sob ação do vento, pessoas e equipamentos) e Projeto de Reforço Estrutural, Brasília, DF, Brasil, 1996.
- [5] C. Magluta, “Sistemas Dinâmicos Passivos para Absorção de Vibrações Estruturais”, Tese de D. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1993.
- [6] J. M. W. Brownjohn, “Energy Dissipation from Vibrating Floor Slabs due to Human-Structure Interaction”, Journal of Shock and Vibration, Vol. 8, No. 6, pp. 315-323, 2001.
- [7] R. G. Faisca, “Caracterização de Cargas Dinâmicas Geradas por Atividades Humanas”, Tese de D. Sc., COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2003.
- [8] R. Sachse, A. Pavic and P. Reynolds, “Parametric Study of Modal Properties of Damped 2-DOF Crowd-Structure Dynamic Systems”, Journal of Sound and Vibration, Vol. 274, No. 3-5, pp. 461-480, 2004.
- [9] S. Živanović, “Probability-based estimation of vibration response of footbridges”, Ph.D. thesis, University of Sheffield; United Kingdom, 2006.
- [10] S. Živanović, A. Pavic and P. Reynolds, “Probability-based prediction of multi-mode vibration response to walking excitation”, Engineering Structures, Vol. 29, No. 6, pp. 942-954, 2007.
- [11] C. Sahnaci and M. Kasperski, “Random loads induced by walking”, Proceedings of the sixth European conference on structural dynamics, Vol. 1, pp. 441-446, 2005.
- [12] J. Hamill and K. M. Knutzen, “Biomechanical Basis of Human Movement”, Lippincott Williams & Wilkins, USA, 1999.
- [13] R. G. Faisca, N. Roitman e C. Magluta, “Proposta de Carregamento de Multidão para Projetos Estruturais”, Proceedings of the XXVIII CILAMCE - Congresso Ibero Latino-Americano Sobre Métodos Computacionais em Engenharia, Porto, Portugal, 2007.
- [14] ANSI AS8.1 American National Standards Institute, “Building Code Requirements for Minimum Design Loads in Buildings and Other Structures”, New York, USA, 1982.
- [15] BOCA Basic National Building Code, Bldg. Officials and Code Administers, “Uniformly Distributed Live Loads”, Chicago, III, USA, 1984.
- [16] S. Vieira, “Análise de Variância: ANOVA”, Ed. Atlas S.A., São Paulo, SP, Brasil, 2006.