



Elderly man balance on unstable base: an accelerometric analysis

ISSN: 2178-7514

Vol. 15 | Nº. 3 | Ano 2023

Guanis de Barros Vilela Junior^{1,2}; Bráulio Nascimento Lima²; Anderson dos Santos Carvalho^{2,3};
Klebson da Silva Almeida^{2,6}; Victor Marques da Fonseca Neto²; Bernardo de Oliveira Reis²;
Roberta Freitas Garcia Lima²; Bruno de Souza Vespasiano^{2,7}; Carlos Henrique Prevital Fileni²;
Gustavo Celestino Martins^{2,4,5}; Adriano de Almeida Pereira²; Ricardo Pablo Passos^{1,2}

RESUMO

A capacidade neuromotora de manter-se em equilíbrio dinâmico na posição ortostática é vital para um envelhecimento saudável. Esse equilíbrio depende do ajuste fino da projeção vertical do centro de massa (CM) e dos ajustes que a musculatura da perna faz para manter o centro de pressão (COP) em trajetórias que permitam torques adequados para o equilíbrio durante a tarefa. O objetivo desta pesquisa foi analisar o comportamento das acelerações atuantes no centro de gravidade (CG) em uma condição de base instável. Para isso, um sujeito de 60 anos de idade, massa corporal 76 Kg e estatura de 1,79 m, ficou sobre uma base instável em formato de um disco de 37 cm de diâmetro e 8 cm de altura (no centro) com ambos os pés descalços, durante 21 segundos; dos sete segundos centrais desse intervalo de tempo foram extraídos os dados dessa pesquisa. A aquisição dos dados aconteceu com um acelerômetro, modelo SM-LSM6DSO, triaxial, com frequência de aquisição de 100 Hz e resolução de 0,002 m/s² fixado na coluna lombar (L5/S1) do voluntário na altura do centro de gravidade (CG) em posição ortostática. Testes de normalidade e homoscedasticidade foram realizados e os dados foram previamente tratados com FFT (Fast Fourier Transform), com frequência de corte de 6 Hz. A análise espectral no domínio da frequência e as correlações cruzadas (CCF) foram realizadas para investigar a existência de um padrão coordenativo, indicativo de movimento habilidoso, tanto nos eixos X, Y, Z, quanto nos planos frontal, sagital e transversal. Os resultados permitiram afirmar que a manutenção da posição em equilíbrio dinâmico sobre uma base instável, para esse sujeito, ocorreu sem a presença de características de sincronização dos movimentos com eficiência; isso foi corroborado pela análise espectral e pelas correlações cruzadas obtidas para as acelerações em cada eixo e nos três planos.

Palavras-chave: acelerometria, equilíbrio, idoso

ABSTRACT

The neuromotor ability to maintain dynamic balance in the orthostatic position is crucial for healthy aging. This balance relies on the fine adjustment of the vertical projection of the center of mass (CM) and the adjustments that the leg musculature makes to keep the center of pressure (COP) on trajectories that allow for adequate torques to maintain balance during the task. The aim of this research was to analyze the behavior of acting accelerations of the center of gravity (CG) in an unstable base condition. To do so, a 60-year-old subject with a body mass of 76 kg and a height of 1.79 m stood on an unstable disc-shaped base, 37 cm in diameter and 8 cm in height (at the center), with both feet bare, for 21 seconds; data for this research were extracted from the central seven seconds of this time interval. Data acquisition was performed using a triaxial accelerometer, model SM-LSM6DSO, with a sampling frequency of 100 Hz and a resolution of 0.002 m/s², fixed at the lumbar column (L5/S1) of the volunteer at the level of the center of gravity (CG) in an orthostatic position. Normality and homoscedasticity tests were conducted, and the data were preprocessed using Fast Fourier Transform (FFT) with a cutoff frequency of 6 Hz. In the field of frequency domain spectral analysis and cross-correlations (CCF), investigations were conducted to examine the existence of a coordinative pattern indicative of skilled movement, both in the X, Y, Z axes, and in the frontal, sagittal, and transverse planes. The results allowed us to assert that maintaining a dynamic balance position on an unstable base for this subject occurred without the presence of efficient movement synchronization characteristics. This was corroborated by the spectral analysis and cross-correlations obtained for the accelerations in each axis and the three planes.

Keywords: accelerometry, balance, elderly

- 1- International Society of Human Movement Sciences - ISHMS
- 2- Núcleo de Pesquisa em Biomecânica Ocupacional e Qualidade de Vida - NPBOQV
- 3- Universidade Paulista - UNIP
- 4- Centro Universitário Octávio Bastos - UNIFEOB
- 5- Universidade Brasil - UB
- 6- Centro Universitário Fibrá - Fibrá/Pa
- 7- Faculdade de Ciências Sociais e Agrárias de Itapeva. Fait

Autor de correspondência

Guanis de Barros Vilela Junior - guanis@gmail.com

INTRODUÇÃO

É no processo de envelhecimento que acontecem, em maior ou menor intensidade, dependendo da aptidão física e condição física dos sujeitos, alterações na capacidade de equilíbrio. É evidente, que rigorosamente falando, o processo de envelhecimento começa no nascimento, acontece em condições normais de maneira lenta na infância e juventude; entretanto, a partir dos quarenta anos, em média, começam a surgir alguns eventuais problemas que acometem milhões de pessoas que podem começar a prejudicar a capacidade de equilíbrio das pessoas. Por exemplo, um idoso, com degeneração macular, começa a ter alterações em sua capacidade de equilíbrio.

Nesse processo de envelhecimento, não raro, acontecem perdas significativas na qualidade de vida, pois, a perda da capacidade de realizar força e da flexibilidade, se manter em equilíbrio ortostático e caminhar com eficiência; tarefas que são consideradas essenciais para as demandas locomotoras cotidianas. Portanto, perdas na capacidade de equilíbrio acarretam um significativo aumento no risco de quedas, nas décadas subsequentes aos 60 anos de idade; Novaes et al.⁽¹⁾ reportam que cerca de 27 % dos idosos no Brasil sofram quedas (maiores de 60 anos) e que quase 2% precisam de cirurgias para colocação de próteses. Burns et al.⁽²⁾ afirmam que nos Estados Unidos as quedas com lesões não fatais totalizaram um aporte de mais de 30 bilhões de dólares para tratamento desses idosos no ano

de 2015. Fica patente que envelhecer com saúde é importante para a prevenção de quedas, afinal, isso significa melhor qualidade de vida para essa população e também uma economia importante para os cofres públicos e privados.

O equilíbrio ortostático é mantido pela constante adaptação da atividade muscular devido à mudança do centro de massa (COM) em relação à base de sustentação⁽³⁾. As respostas a essas mudanças podem ser voluntárias ou involuntárias, pois esse processo ocorre sob o processamento dos sistemas, visual vestibular e somatossensorial, sendo que com o envelhecimento, eles apresentam em algum nível, limitações e começam a ficar ineficientes, podendo inibir várias etapas do controle postural, diminuindo a capacidade compensatória do organismo e aumentando a instabilidade na posição ortostática. A diminuição da sensibilidade auditiva e visual também contribui para o déficit do equilíbrio e da locomoção.

Estima-se que 85% das queixas reportadas por pessoas com mais de 60 anos se relacionem ao equilíbrio; considerando-se que esta habilidade motora é fundamental para a mobilidade, capacidade de caminhar com desenvoltura e colocando o idoso em uma situação de perda da autonomia e da qualidade de vida; nesse sentido, Dunsky et al.⁽⁴⁾ reportam a importância de exercícios de equilíbrio e de controle postural para garantir a cognição espacial, ou seja, um repertório de controle neuromotor, suficiente para que o processo de envelhecimento seja o melhor possível.

A diminuição da capacidade de exercer força no envelhecimento, associada com a diminuição do controle postural e do equilíbrio, promovem efeitos deletérios na vida dessas pessoas, inclusive, com um importante aumento no risco de quedas ^(1, 2).

Uma boa capacidade de equilíbrio ortostático é crucial para uma velhice saudável, dado seu impacto em suas atividades cotidianas. A capacidade de equilíbrio pode ser definida como um processo de manutenção da projeção vertical do centro de gravidade (CG) dentro da base de apoio formada por ambos os pés. Tal tarefa pressupõe musculatura e articulações, dentro de limites funcionais satisfatórios para que o equilíbrio aconteça, ou seja, com o envelhecimento, o controle do equilíbrio é comprometido pelas perdas de força, coordenação, e da parametrização da velocidade e aceleração, que influenciam na execução de movimentos que requeiram mudança de direção, posicionamento corporal em diferentes planos de ação (sagital, horizontal e frontal). Entretanto, Hwang et al. ⁽⁵⁾ em pesquisa sobre equilíbrio de idosos em condições de base instável, mostram uma substancial mudança de fase do controle postural do padrão quadril – perna, para o padrão perna – quadril. Morat et al. ⁽⁶⁾ mostraram como *exergames* com exercícios de passo intencional em superfícies instáveis, melhoram a capacidade de equilíbrio de idosos, quando comparados com os mesmos exercícios realizados em base estável. Kędziorek et al. ⁽⁷⁾ em sua pesquisa mostraram

que os idosos tinham como estratégia primária de controle postural em uma base instável a articulação do tornozelo; e como estratégia secundária movimentos da pélvis; eles ressaltam que os idosos pesquisados não utilizaram os joelhos em suas estratégias de controle postural.

Essa capacidade de equilíbrio ortostático está relacionada com a diminuição da capacidade de integrar os sistemas vestibulares, proprioceptivos e visuais na execução de uma postural corporal no espaço tridimensional onde nos movimentamos ⁽³⁾.

A composição corporal obviamente influencia na distribuição de massa e nas ações motoras que o sujeito é capaz de controlar, influenciando assim em seus limites de estabilidade postural. O aumento excessivo da massa corporal afeta a estabilidade corporal e a dinâmica da marcha das pessoas e idosos obesos sofrem maior impacto dessa instabilidade. Williams III et al. ⁽⁸⁾ ao compararem o controle postural de atletas de modalidades esportivas que acontecem em superfícies estáveis (basquetebol) com atletas de modalidades que acontecem em superfícies instáveis (surf), concluíram que esses últimos, apresentam estratégias de controles motores divergentes. Ou seja, os surfistas aprendem, ao longo dos anos de prática, a tratar a instabilidade do ambiente de maneira que acionam todos os complexos articulares do corpo para a execução da tarefa.

Mademli et al. ⁽⁹⁾ pesquisaram a manutenção do equilíbrio em diferentes contextos

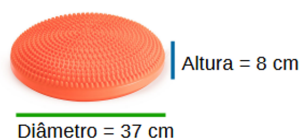
de instabilidade (periódico estável; periódico instável; caótico estável e caótico instável) recorrendo a análise espectral e a determinação dos coeficientes de Lyapunov. Esses coeficientes são indicadores do nível de acoplamento visual-motor que são maiores em sistemas caóticos instáveis. Assim, o aumento da complexidade da tarefa induz a um incremento dos mecanismos de ativação e coativação muscular, na tentativa de garantir um controle motor mais robusto.

Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi analisar o comportamento da capacidade de equilíbrio de um idoso submetido a uma condição de instabilidade da base de apoio na posição ortostática.

MÉTODOS

Estudo de caso, com sujeito de 60 anos de idade, 76 Kg de massa corporal; 1,79 metro de estatura, fisicamente ativo, de acordo com as normativas da Organização Mundial da Saúde (OMS). Sem lesões músculos esqueléticas dolorosas ou incapacitantes para a tarefa. O mesmo foi solicitado a manter-se em equilíbrio, descalço, com os eixos longitudinais mediais dos pés, separados por uma distância de 10 cm, a ficar em posição ortostática sobre uma base instável. Esta base de material plástico flexível e resistente, em formato de um disco com diâmetro de 37 cm e altura (no centro) de 8 cm, com ar em seu interior, sendo o mesmo hermeticamente lacrado. A figura 1, mostra esse disco e suas dimensões.

Figura 1 – Dimensões do disco gerador de instabilidade



Tais características, fazem com que o mesmo sofra deformações quando o sujeito fica de pé sobre ele, pois as forças de contato exercidas pelos pés do sujeito causam uma ampla e dinâmica variação no deslocamento do ar em seu interior, acarretando uma sequência estocástica (não controlável e não previsível) da instabilidade oferecida. Testes preliminares com o sujeito sobre essa base instável, mostraram que a mesma possui amplitude de inclinação de até 9,4 graus em relação ao seu plano horizontal superior, oferecendo infinitas

possibilidades de diferentes ângulos nos quadrantes formados pelos seus eixos vertical, médio lateral e ântero-posterior. As acelerações resultantes nos planos definidos por XY (frontal); XZ (horizontal) e YZ (sagital) foram calculadas e realizada a análise espectral nesses três planos de movimento.

No corpo do sujeito foi fixado na coluna lombar (S5/L1) um acelerômetro, modelo SM-LSM6DSO, triaxial, com frequência de aquisição de dados de 100 Hz e resolução de 0,002 m/s²; o mesmo teve cinco minutos prévios de familiarização com

o protocolo, antes da aquisição de dados. O sujeito ficou sobre o disco durante 21 segundos, sendo considerados nessa pesquisa, os sete segundos centrais desse tempo total. Essa pesquisa, parte de um projeto integrado de biomecânica com aprovação do Comitê de Ética da Unimep sob protocolo no 4126546; o sujeito leu, concordou e assinou o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) dentro das normativas do Conselho Nacional de Saúde.

Os dados foram previamente filtrados com FFT (Fast Fourier Transform), com frequência de corte de 6 Hz. Todo o tratamento dos dados e análise estatística foi realizada no software SPSS 27.0, com testes paramétricos (para distribuição normal) e não paramétricos (em distribuições não gaussianas). Foi realizado o teste de Kolmogorov Smirnov para identificar a distribuição dos dados e o teste de Bartlett para avaliar a homogeneidade das variâncias. A análise espectral foi realizada por FFT para analisar as magnitudes das acelerações em diferentes frequências.

Para averiguar a possibilidade de algum nível de sincronia e periodicidade que pudesse

caracterizar eventos coordenados e habilidosos, com algum atraso temporal que eles pudessem ter, foi calculada a correlação cruzada (CCF) entre as acelerações nos três eixos, todos os cálculos estatísticos adotaram que $p < 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram reportados a partir da estatística descritiva, seguido das correlações e comparações entre as variáveis. O resultado do teste Kolmogorov Smirnov (KS) mostrou que os dados não apresentam distribuição normal, sendo para a^x (KS=0,087; $p=0,00328$); a^y (KS=0,0112; $p<0,0001$); a^z (KS=0,069; $p=0,034$). O teste de Bartlett com ($\chi^2=45,092$; $p<0,001$) evidenciou que os dados não apresentaram homoscedasticidade, não obstante, optou-se por reportar além do gráfico *box plot* com a curva de distribuição dos dados, a mediana, a média, o desvio padrão, IC, mínimo e máximo.

A figura 2 mostra a tabela com resultados da estatística descritiva para o sujeito que ficou em apoio bipodal, e equilíbrio ortostático sobre o disco instável durante os sete segundos centrais do tempo total de 21 segundos.

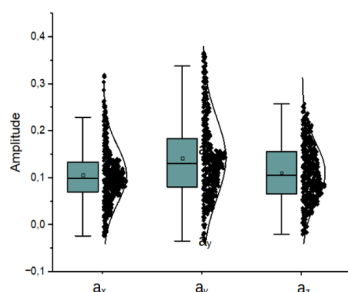
Figura 2 – estatística descritiva das acelerações durante a tarefa sobre base instável.

	a^x (m/s²)	a^y (m/s²)	a^z (m/s²)
Média	0,10641	0,14182	0,11104
Desvio Padrão	0,06145	0,08559	0,06233
IC (95%)	(0,10053 - 0,1123)	(0,13362 - 0,15002)	(0,10507 - 0,11701)
Mínimo	-0,02345	-0,03403	-0,02006
Mediana	0,09953	0,13127	0,10532
Máximo	0,31865	0,36642	0,25745

Na figura 2 observa-se as importantes diferenças entre as médias e medianas, portanto, deve-se considerar com ressalvas as médias e desvios padrões, pois os dados não tiveram distribuição normal. A maneira mais adequada de reportar o comportamento das acelerações, nesse

caso, é através da estatística não paramétrica, com suas medianas, intervalos entre quartis e gráfico *box plot*, conforme mostra a figura 3. As distribuições foram platicúrticas (achatadas) e com assimetrias positivas (médias > medianas).

Figura 3 – Box plot e curva da distribuição dos dados das acelerações nos 3 eixos.



A aceleração no sentido médio lateral (a^y) foi a que apresentou os menores intervalos entre o quartil 1, mediana e quartil 3, resultado que pode ser parcialmente explicado pelo fato de que o sujeito adotou a estratégia para controlar o equilíbrio durante a tarefa posicionando os membros superiores na posição crucifixo (flexão e abdução dos ombros; cotovelos em extensão, mantendo os membros superiores na horizontal); assim, esse eixo médio lateral foi o mais estável, fruto da compensação entre torques opostos exercidos pela oscilação dos membros superiores e os torques gerados nos tornozelos consequentes da instabilidade imposta pelo disco nesse eixo.

No eixo vertical (Y) ocorreram as maiores amplitudes interquartílicas, maior máximo e mínimo; um indício de que a natureza plástico elástica do disco pode ter influenciado nesses resultados, pois nela as forças dos pés contra o disco mudam à medida que as posições do COM e COP

se alteram. Ressalta-se que as ações sinérgicas dos dorsiflexores e flexores do complexo do tornozelo pé; dos flexores e extensores dos complexos articulares do joelho e quadril, são cruciais para esse controle.

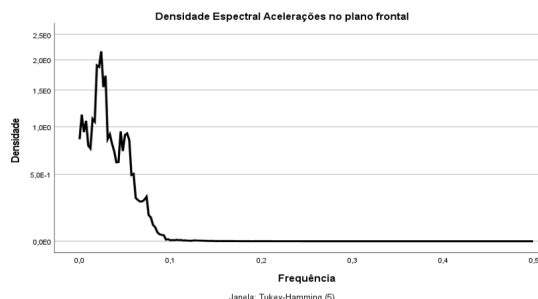
Na direção ântero posterior (eixo Z) as estratégias de equilíbrio adotadas pelo sujeito foram prioritariamente dependentes dos movimentos dos quadris e do tronco nos planos frontal e sagital, cujos torques tentavam neutralizar os torques contrários existentes no complexo articular tornozelo pé. As ações sinérgicas dos flexores e extensores do quadril são importantes nesse processo que integra também as ações dos dorsiflexores e flexores do complexo tornozelo pé.

Os resultados mostraram que (figura 4), no plano frontal aconteceu o maior pico (2,274) da densidade espectral em frequência menor que 2,0 Hz. Destaca-se que nesse plano o sujeito realizou movimentos de abdução e adução dos ombros,

mantendo os cotovelos em extensão, para exercer torques resultantes sobre o CG e conseguir executar a tarefa, sem essa movimentação se observou que o sujeito perdia o controle postural

exigido pela tarefa. A eversão e inversão dos tornozelos acontecem nesse plano, cujos torques resultantes também participam no controle médio lateral do corpo.

Figura 4 – Espectro aceleração em função das frequências no plano frontal



Os resultados mostraram que (figura 5) no plano horizontal aconteceu o maior pico da densidade espectral em frequência menor que 1,0 Hz. Nesse plano, as forças de contato entre os

pés e o disco são importantes durante a execução da tarefa, pois influenciam no deslocamento do COP nas superfícies plantares dos pés.

Figura 5 - Espectro aceleração em função das frequências no plano horizontal



Os resultados mostraram que (figura 6), no plano sagital aconteceu o maior pico da densidade

espectral em frequência menor que 4,7 Hz.

Figura 6 - Espectro aceleração em função das frequências no plano sagital



Destaca-se que os movimentos no plano sagital, são cruciais nas estratégias posturais nessa tarefa, sendo dependentes da mobilidade e força muscular

nos complexos articulares tornozelo-pé, joelho e quadril, portanto, nos movimentos flexão plantar e dorsiflexão, flexão e extensão no joelho e quadril.

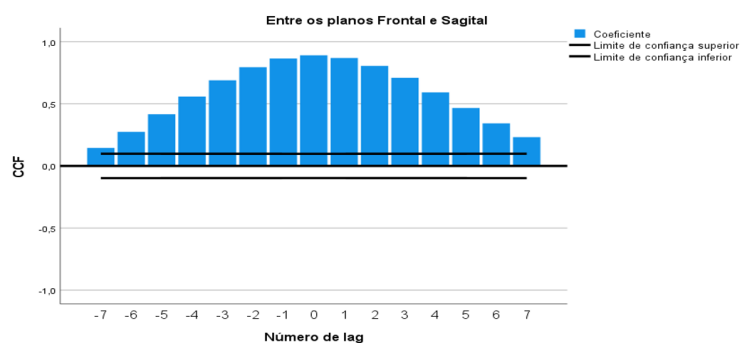
Uma das estratégias para averiguar, algum padrão de sincronia e periodicidade entre as acelerações é calcular as correlações cruzadas (CCF) entre elas. Elas foram calculadas entre as acelerações nos três eixos e entre as acelerações resultantes nos planos frontal, sagital e horizontal.

Os resultados mostraram que nos três eixos, em *zero lag*, as correlações foram baixas, isso é uma evidência da complexidade da tarefa na qual, os movimentos executados não estão em sincronia, sendo suas oscilações fruto das estratégias neuromotoras singulares diante das demandas do ambiente, sendo que entre a^x e a^y $CCF=-0,023$; entre a^x e a^z $CCF=0,068$ e entre a^y e a^z $CCF=0,000$, todas em *zero lag*, nas outras *lags* das correlações cruzadas,

foram encontradas valores superiores, corroborando a não existência de um padrão que seja indicativo de um movimento habilidoso para essa tarefa com esse sujeito. Esse resultado parece óbvio, pois a base instável e liberdade total do sujeito para desenvolver qualquer estratégia para manter-se em cima dela, acrescentam uma enorme variabilidade à tarefa. É evidente que, por exemplo, um surfista ou um skatista, provavelmente se identifique algum padrão no caso hipotético deles realizarem a mesma tarefa.

Quando analisadas as correlações cruzadas entre as acelerações resultantes nos três planos a $CCF=0,891$, para zero lag entre o plano frontal e sagital (figura 7).

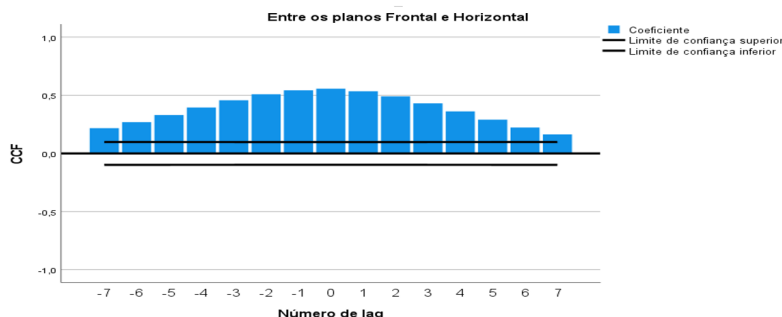
Figura 7 – correlações cruzadas entre o plano frontal e sagital



Esses gráficos tratam de CCFs para acelerações resultantes, por isso, os valores são modulares, isso explica porque todas são positivas.

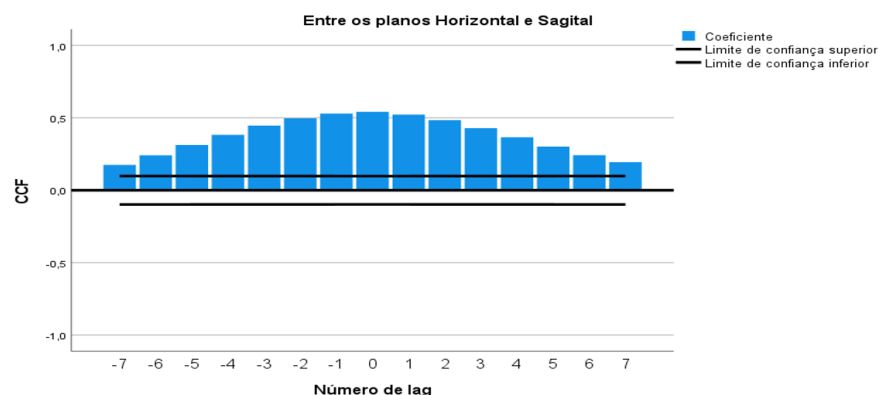
Entre os planos frontal e sagital (figura 8) a $CCF=0,557$, para *zero lag*, enquanto que para as outras *lags*, todas CCFs foram superiores ao limite de confiança.

Figura 8 - correlações cruzadas entre o plano frontal e horizontal



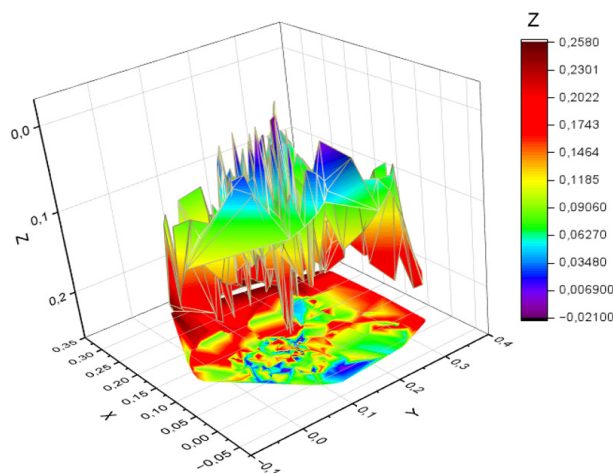
A figura 9, mostra que a CCF entre o plano horizontal e sagital, em *zero lag*, foi de 0,541, diminuindo simetricamente entre as *lags* positivas e negativas.

Figura 9 - correlações cruzadas entre o plano horizontal e sagital



A figura 10, mostra o gráfico 3D, das acelerações nos eixos X, Y, Z, destacadas num gradiente de cores que vai do vermelho-escuro (maiores magnitudes), passando pelo amarelo (valores próximos das medianas e médias), até o azul-escuro e roxo (para os valores mínimos). Esse gráfico é útil para mostrar a complexidade da variabilidade das acelerações do CG do sujeito durante o equilíbrio sobre o disco instável.

Figura 10 - Gráfico 3D, com as acelerações nos eixos X, Y, Z e suas magnitudes



Tais achados estão em concordância com pesquisas de Promsri et al.^(10, 11) que a partir de análise da complexidade dessa tarefa, mostraram que em superfícies instáveis, o sistema de controle postural tende a manter as características de coordenação entre os segmentos, especialmente, na musculatura do complexo articular do tornozelo; enquanto a adaptação fica restrita aos processos de integração sensorio-motora. Ou seja, as correlações cruzadas na presente pesquisa evidenciaram que o idoso pesquisado, delegou os movimentos do complexo quadril – pélvis como elementos centrais da manutenção do equilíbrio; fato pertinente, dado ser conhecida a perda de mobilidade articular no

tornozelo em idosos. É de se esperar que tais perdas aconteçam também no quadril, mas o corpo tende a enrijecer inicialmente as articulações mais instáveis, ou seja, biomecanicamente, esse aumento da rigidez equivale a uma redução dos graus de liberdade no complexo tornozelo-pé.

No mesmo sentido, Munoz-Martel et al.⁽¹²⁾ ao pesquisarem sujeitos em superfícies instáveis, identificaram um aumento da robustez do controle postural, ou seja, a capacidade do sistema em lidar com os erros impostos pela instabilidade. O idoso da presente pesquisa, apesar da natureza estocástica da superfície, conseguiu desenvolver estratégias com seu repertório neuromotor, para ficar 21 segundos sobre o disco, dos quais, analisamos os sete segundos centrais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elevada complexidade da tarefa, associada ao baixo tempo de familiarização (5 minutos), minimizou a chance de um aprendizado prévio, nesse sentido, coube ao sujeito utilizar de estratégias de controle neuromotor diante dos desafios da variabilidade imposta.

As evidências que podem sustentar essa afirmação estão associadas às densidades espectrais de baixa frequência, com alguns picos relativos nos três planos para frequências de até 5 Hz. Adicionalmente, as elevadas correlações cruzadas, especialmente entre os planos frontal e sagital, em todas as *lags*, mostram que não existe um acoplamento entre as estratégias.

REFERÊNCIAS

- 1-NOVAES, A. D. et al. Acidentes por quedas na população idosa: análise de tendência temporal de 2000 a 2020 e o impacto econômico estimado no sistema de saúde brasileiro em 2025. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 28, p. 3101-3110, 2023.
- 2- BURNS E. R. et al. The direct costs of fatal and non-fatal falls among older adults - United States. *J Safety Res.* 58:99-103, 2016.
- 3- WINTER, D. A. *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*, Fourth Edition. Hoboken, NJ: Wiley. 2009.
- 4-DUNSKY, Ayelet. The effect of balance and coordination exercises on quality of life in older adults: a mini-review. *Frontiers in aging neuroscience*, v. 11, p. 318, 2019.
- 5-HWANG, Sungjae et al. Identification of the unstable human postural control system. *Frontiers in systems neuroscience*, v. 10, p. 22, 2016.
- 6-MORAT, Mareike et al. Effects of stepping exergames under stable versus unstable conditions on balance and strength in healthy community-dwelling older adults: A three-armed randomized controlled trial. *Experimental gerontology*, v. 127, p. 110719, 2019.
- 7-KEDZIOREK, JUSTYNA; BŁĄŻKIEWICZ, MICHALINA; KACZMARCZYK, KATARZYNA. Using nonlinear measures to evaluate postural control in healthy adults during bipedal standing on an unstable surface. *Acta Bioeng Biomech*, v. 24, 2021.
- 8-WILLIAMS III, DS Blaise; MURRAY, Nicholas G.; POWELL, Douglas W. Athletes who train on unstable compared to stable surfaces exhibit unique postural control strategies in response to balance perturbations. *Journal of sport and health science*, v. 5, n. 1, p. 70-76, 2016.
- 9-MADEMLI, Lida et al. Standing on unstable surface challenges postural control of tracking tasks and modulates neuromuscular adjustments specific to task complexity. *Scientific reports*, v. 11, n. 1, p. 6122, 2021.
- 10-PROMSRI, Arunee; HAID, Thomas; FEDEROLF, Peter. Complexity, composition, and control of bipedal balancing movements as the postural control system adapts to unstable support surfaces or altered feet positions. *Neuroscience*, v. 430, p. 113-124, 2020.
- 11-PROMSRI, Arunee; MOHR, Maurice; FEDEROLF, Peter. Principal postural acceleration and myoelectric activity: Interrelationship and relevance for characterizing neuromuscular function in postural control. *Human Movement Science*, v. 77, p. 102792, 2021.
- 12-MUNOZ-MARTEL, Victor et al. Neuromuscular organisation and robustness of postural control in the presence of perturbations. *Scientific reports*, v. 9, n. 1, p. 12273, 2019.

Observação: os/(as) autores/(as) declaram não existir conflitos de interesses de qualquer natureza.