



EFFECTO DEL USO DE UN PROTOTIPO DE SOPORTE PARA MOTOCICLETA DE PODA HIDRÁULICA: DATOS PRELIMINARES DE VARIABLES CINÉTICAS Y CINEMÁTICAS EN UN ELECTRICISTA DE LÍNEA VIVA (ELV)

Samuel Bento da Silva^{1*}

Sandra Francisca Bezerra Gemma²

Rene Augusto Ribeiro³

Maria Stella Dias Barbosa⁴

Amanda Lopes Fernandes⁵

José Luiz Pereira Brittes⁶

Milton Shoiti Misuta⁷

Resumen

El estudio aborda el análisis de las actividades realizadas por los Electricistas de Línea Viva (ELV), destacando la importancia de la biomecánica y la ergonomía en la comprensión de los riesgos asociados al trabajo. Varios estudios previos han examinado las causas de los trastornos musculoesqueléticos en diferentes entornos laborales, destacando la prevalencia del trabajo manual en ciertas industrias, como las fundiciones de hierro en la India. Además, la investigación explora la carga muscular del hombro en electricistas, comparando el uso de escaleras con plataformas de trabajo móviles elevadas.

Sin embargo, existe un vacío en la literatura sobre las actividades diarias de los VFU, especialmente en relación con el comportamiento de los miembros inferiores durante sus tareas. Para llenar este vacío, el estudio investigó el comportamiento de las extremidades inferiores de un VFU durante la poda de vegetación, utilizando un prototipo de soporte para poda hidráulica. El experimento, llevado a cabo en un entorno de laboratorio controlado, analizó variables cinemáticas y cinéticas.

Los resultados indicaron que el soporte tuvo un impacto significativo en la estabilidad del desplazamiento del centro de masa (CoM) del VFU, particularmente en el eje mediolateral. Además, las fuerzas de reacción del suelo (FSR) mostraron una menor variabilidad cuando se utilizó el soporte, lo que sugiere un menor desgaste físico del VFU en estas condiciones. La investigación destaca la importancia de considerar factores biomecánicos y ergonómicos en el diseño de soportes y equipos para mejorar las condiciones de trabajo de los VFU.

Palabras clave: Electricista de línea viva; 2. Biomecánica; 3. Ergonomía.

¹ FCA/UNICAMP. * samuelbento@outlook.com.

² FCA/UNICAMP.

³ FCA/UNICAMP.

⁴ FCA/UNICAMP.

⁵ FCA/UNICAMP.

⁶ FCA/UNICAMP.

⁷ FCA/UNICAMP.



EFFECT OF USING A PROTOTYPE SUPPORT FOR HYDRAULIC PRUNING MOTOR: PRELIMINARY DATA FROM KINETIC AND KINEMATIC VARIABLES IN LIVE LINE ELECTRICIAN (ELV)

Abstract

The study examines the activities performed by Live Line Operators (LLE), highlighting the importance of biomechanics and ergonomics in understanding the risks associated with their work. Several previous studies have examined the causes of musculoskeletal injuries in different work contexts, highlighting the prevalence of manual labor in certain industries, such as iron foundries in India. In addition, the research explores shoulder muscle loading in linemen, comparing the use of ladders with elevated mobile work platforms.

However, there is a gap in the literature on the daily activities of LLEs, especially regarding the behavior of the lower limbs during their tasks. To fill this gap, the study investigated the behavior of the lower limbs of a LLE during vegetation pruning, using a prototype hydraulic power pruner support. The experiment, conducted in a controlled laboratory environment, analyzed kinematic and kinetic variables.

The results indicated that the support had a significant impact on the stability of the center of mass (CoM) displacement of the LLE, particularly in the medial lateral axis. Furthermore, ground reaction forces (GRFs) showed less variability when the support was used, suggesting less physical strain on the ELV under these conditions. The research highlights the importance of considering biomechanical and ergonomic factors when designing supports and equipment to improve the working conditions of ELVs.

Keywords: Live Line Electrician; 2. Biomechanics; 3. Ergonomics.

1. INTRODUCCIÓN

Muchos estudios que involucran las áreas de biomecánica y ergonomía tienen como objetivo verificar las causas de las lesiones y/o el dolor causados por la sobrecarga física y/o los movimientos repetitivos (Błaszczuk y Ogurkowska, 2022; Liu et al., 2022; Skovlund et al., 2022). El trabajo predominantemente manual ha sido el foco de otros estudios, en el ejemplo de la investigación realizada por (Kataria et al., 2022) refuerzan la idea de que en los países en desarrollo, muchas empresas carecen de equipos modernos y a menudo dependen en gran medida del trabajo manual. Por lo tanto, su objetivo era investigar la exposición de lesiones musculoesqueléticas relacionadas con el trabajo entre los empleados de las fundiciones de hierro en el norte de la India. Los resultados sugieren que factores como las exigencias del trabajo manual, la mala estructura del puesto de trabajo, las acciones repetitivas y las posturas inadecuadas mantenidas durante mucho tiempo pueden estar probablemente asociados con la gravedad del riesgo de lesiones musculoesqueléticas. El estudio mencionado puede guiar a los fabricantes de fundición en el análisis del desajuste entre los perfiles de trabajo de los trabajadores y en el rediseño *de los puestos* de trabajo en las fundiciones a pequeña escala a



partir de la minimización de la gravedad de los riesgos asociados a las tareas realizadas por los empleados. Para verificar la carga muscular del hombro en trabajadores que usan escaleras o plataformas de trabajo móviles elevadas (Phelan y O'Sullivan, 2014), evaluaron a electricistas experimentados en un sitio de construcción y encontraron que los trabajadores pasaban aproximadamente el 28% de su tiempo de trabajo en escaleras frente al 6% en plataformas. Sin embargo, la duración de las tareas individuales fue mayor en las plataformas (153 s) que en las escaleras (73 s). Los resultados en la actividad electromiográfica mostraron que en la plataforma la tarea tuvo un efecto significativo ($p < 0,05$) sobre el deltoides anterior y el trapecio superior. Para el deltoides, las amplitudes máximas fueron, en promedio, más altas para el trabajo en escalera que para el trabajo en plataforma. La implicación general fue que el trabajo en plataformas implica una menor carga muscular del hombro en comparación con el trabajo realizado en escaleras.

Pocos estudios han tenido como objetivo verificar el desempeño de los Electricistas de Línea Viva (VFU) realizando sus actividades diarias, algunos ejemplos de estos estudios fueron los realizados por (Bento da Silva et al., 2020; Bento da Silva et al., 2021; Traldi De Lima et al., 2020), quienes centraron sus esfuerzos en analizar las actividades que resultaban más exigentes física y mentalmente, específicamente por parte de los ELV.

Explorando las bases de datos de trabajos científicos, se observa que este tema es aún poco estudiado y por lo tanto es necesario que existan más estudios que involucren la biomecánica y la ergonomía actuando para comprender la actividad humana del VFU, con el objetivo de comprender estas actividades de manera sistémica, involucrando todos los procesos de la actividad.

Así, el **objetivo** del presente estudio fue verificar el comportamiento de las extremidades inferiores del VFU sin el uso de un prototipo de soporte y con el uso del prototipo de soporte para la poda hidráulica durante la poda de vegetación a partir de variables cinemáticas y cinéticas.

2. METODOLOGÍA

Participó del estudio un (01) ELV experimentado, varón, 38 años, diestro, que lleva 6 años trabajando directamente en el campo con una línea viva y es contratado por la concesionaria de energía que fue objeto del estudio. El Electricista firmó el Término de Consentimiento Libre y Esclarecido y este estudio fue aprobado por el Comité de Ética en



Investigación de la UNICAMP – Universidad Estadual de Campinas, CAAE: 33462920.3.0000.5404. Número de opinión: 4.151.017.

Debido a que es un trabajo riesgoso, la recolección en un entorno real no es factible, por lo que con la ayuda de un electricista experimentado, se construyó una estructura ("árbol") sobre un poste con una cruceta utilizando mangos y tornillos de madera, dentro del laboratorio de biomecánica, con el objetivo de simular lo más fielmente posible la estructura de las ramas a podar. Las dos ramas superiores se colocaron a 85 cm de la pared y las inferiores a 65 cm, según el diagrama que se muestra en la figura 1.

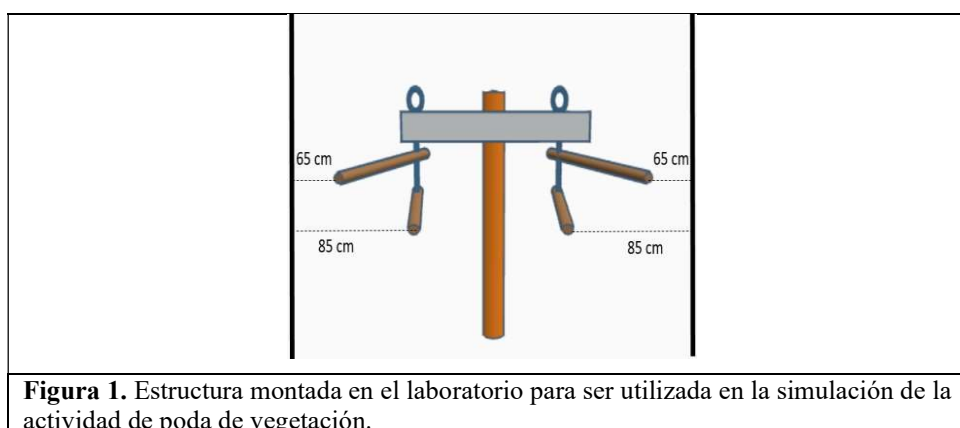


Figura 1. Estructura montada en el laboratorio para ser utilizada en la simulación de la actividad de poda de vegetación.

La recolección se dividió en dos días diferentes, se instruyó al ELV para realizar el movimiento de la manera más cercana a su realidad laboral diaria, comenzando con el corte en la parte inferior de la rama y terminando en la parte superior de la rama. En el segundo día de recolección, el VFU simuló la actividad de poda de vegetación similar a la primera recolección, sin embargo, en esta ocasión realizó los movimientos con la ayuda del prototipo de un soporte para soportar la sierra hidráulica (figura 2b). En ambos días, el ELV se colocó en dos plataformas de fuerza para obtener los datos de la fuerza de reacción del suelo (FRS). Las plataformas se conectaron y sincronizaron con el sistema *Optitrack* a través de *eSync* (figura 2a).

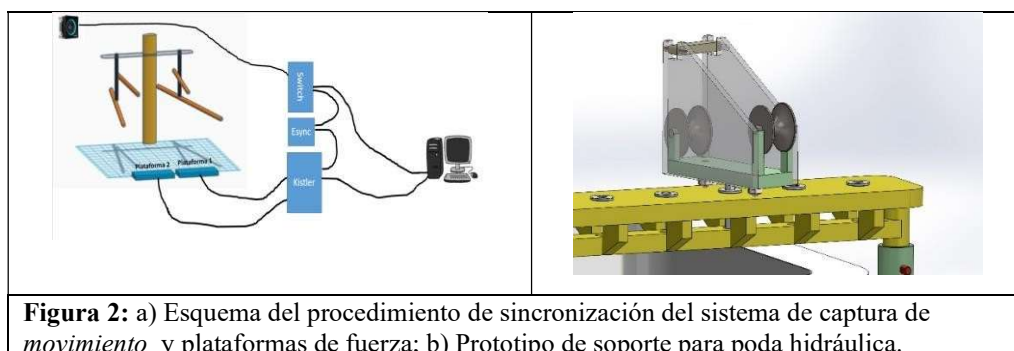
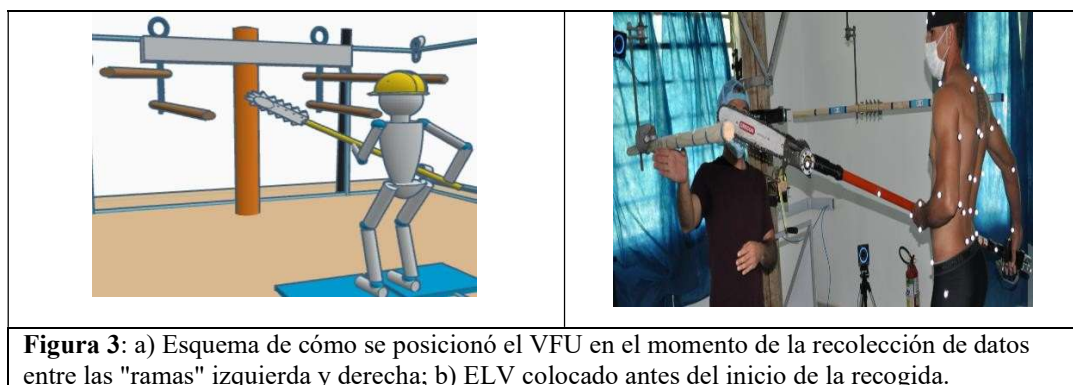


Figura 2: a) Esquema del procedimiento de sincronización del sistema de captura de movimiento y plataformas de fuerza; b) Prototipo de soporte para poda hidráulica.



Al realizar la operación de poda de vegetación con motor hidráulico, el VFU comienza cortando las ramas más pequeñas y por etapas, "dividiendo" la rama en zonas de corte proximales y distales, debidamente identificadas con marcas de cartón, zonas: (Lado izquierdo del VFU: E1; E2; E3; E4 y E5. Lado derecho: D1; D2; D3; D4 y D5, cada zona de corte mide 15cm y para el presente estudio el VFU realizó la operación en las zonas E3 y D3.



Durante la colecta, el ELV utilizó una poda hidráulica, Greenlee® de aproximadamente 4 kg de masa y 1,9 m de longitud y se le instruyó para realizar 11 series de movimientos completos que consistieron en simular los movimientos de poda de la vegetación tocando las ramas de abajo hacia arriba y de arriba hacia abajo en 10 zonas predeterminadas (15 cm) a lo largo de la rama.

Para la recolección de datos cinemáticos se utilizó el sistema de *captura de movimiento* (Optitrack), con 12 cámaras prime de 17W, las cuales se ajustaron a una frecuencia de adquisición de 200 Hz, con el fin de encuadrar toda el área de captura. El modelo de cuerpo entero utilizado fue propuesto por (Leardini et al., 2011) para las orientaciones de las extremidades superiores (Wu et al., 2005) e inferiores (Wu et al., 2002) que sigue la recomendación de la Sociedad Internacional de Biomecánica (ISB). Las plataformas de fuerza utilizadas son del modelo 9286B de la marca Kistler (1000hz). Los datos cinemáticos se filtraron con un filtro digital butterworth de 4° orden a 10 hz y los datos FRS a 5 hz. Para el cálculo de las variables cinéticas y cinemáticas se utilizó el software Visual3D®, el otro procesamiento se realizó en un entorno Matlab®.

3. RESULTADOS

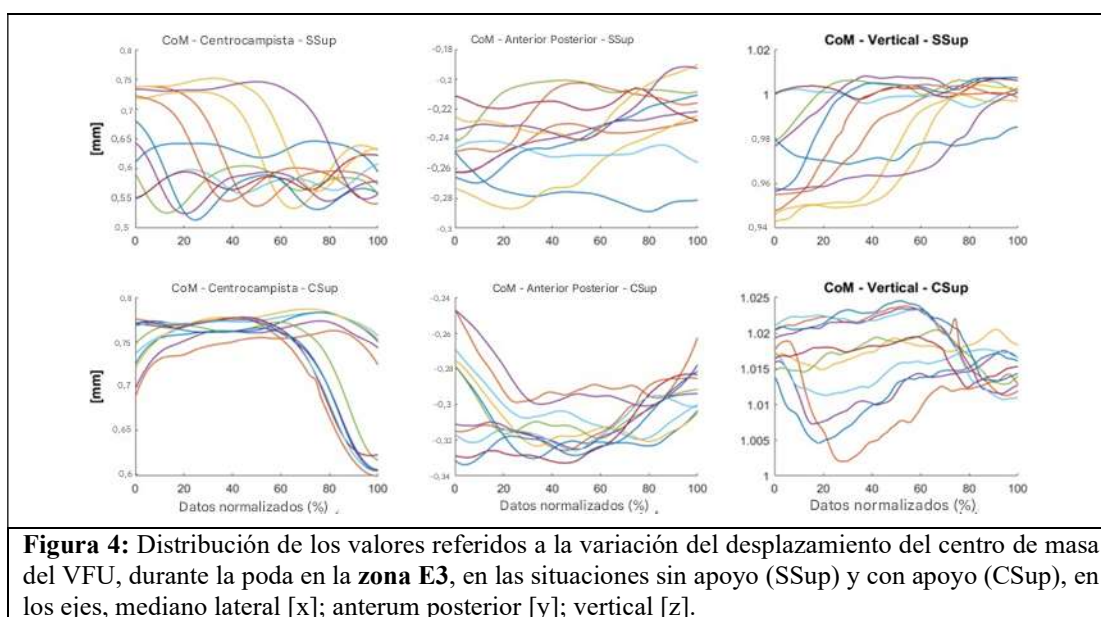
Los valores mostrados se refieren a: a) variación en el desplazamiento del centro de masa (CoM) del VFU en los ejes mediano lateral [x], anteroposterior [y] y vertical [z]; b) Fuerza de Reacción del Suelo (FRS) referida a las dos plataformas de fuerza en los ejes, lateral medio



[x] - FRSML; anteroposterior [y] - FRSAT; vertical [z] – FRSV. La actividad de simulación de poda de vegetación en las zonas E3 [Lado izquierdo] y D3 [Lado derecho]

a) Centro de Masas

Los resultados muestran que al simular la poda de vegetación en el lado izquierdo, el CoM indica un mayor equilibrio postural utilizando el apoyo, presentando una trayectoria con menor variabilidad, especialmente en el eje [x] – Lateral medio y [y] Anteroposterior (Figura 4).



Cuando el VFU realiza la simulación de poda de vegetación en el lado derecho (Zona D3), el CoM también indica un mayor equilibrio postural con el uso del apoyo en el eje [x] – Lateral medio (Figura 5). Por otro lado, en el eje anteroposterior [y], hay un patrón de movimiento (Figura 5).

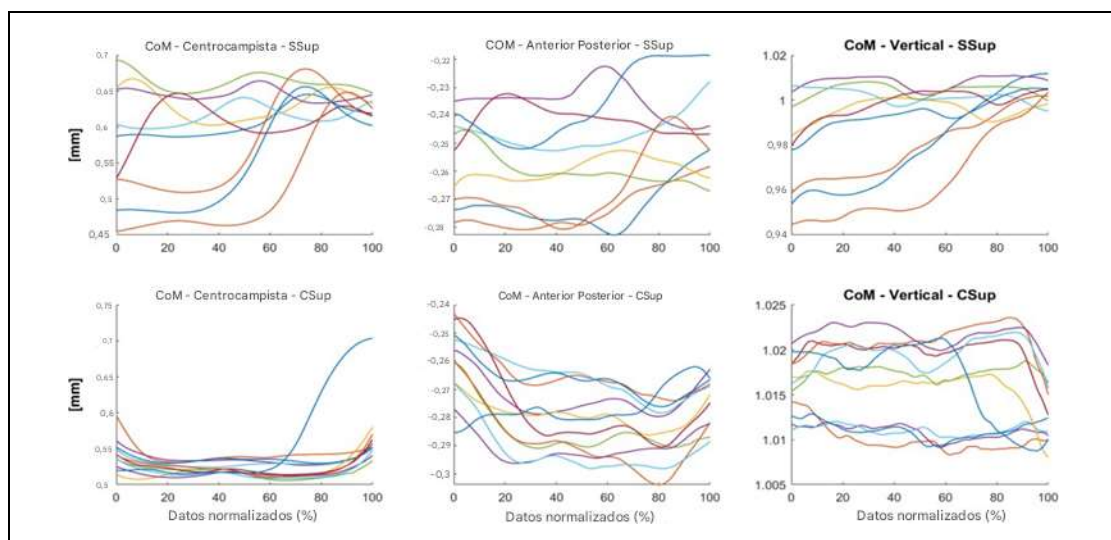
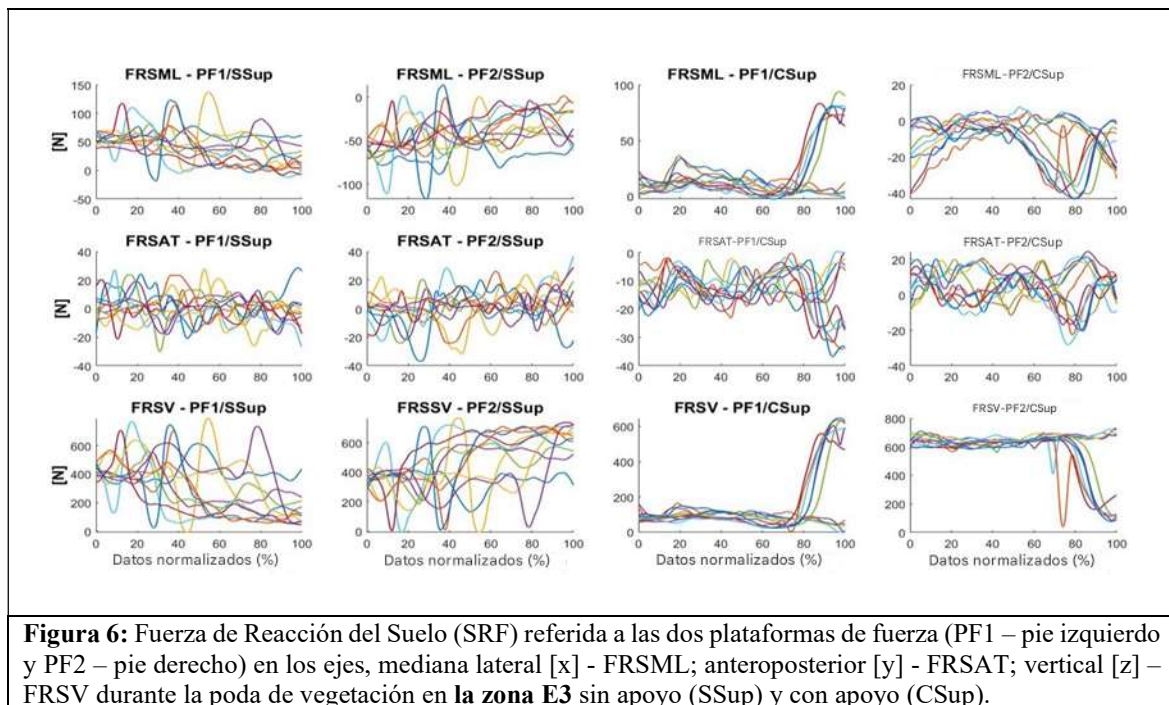




Figura 5: Distribución de los valores referidos a la variación del desplazamiento del centro de masa del VFU, durante la simulación de poda en la **zona D3**, en las situaciones sin apoyo (SSup) y con apoyo (CSup), en los ejes, mediano lateral [x]; anteroposterior [y]; vertical [z].

b) Fuerza de reacción del suelo (FRS)

Los resultados obtenidos con las plataformas de fuerza (FRS) se corroboran con los datos cinemáticos (CoM). Cuando el VFU realizó la simulación de poda de vegetación en el lado izquierdo (zona E3) con el uso del soporte, las fuerzas de reacción del suelo en los ejes [x – lateral medio; y – anteroposterior y z – vertical] mostraron valores con menor variación. En los resultados de la poda de VFU sin el uso de soporte, los valores muestran una mayor variabilidad y un mayor esfuerzo de los miembros inferiores que actúan en situación de isometría (Figura 6).



Al podar la vegetación en el lado derecho (zona D3) con el uso de soporte, las fuerzas de reacción al suelo en los ejes [x – lateral medio; y – anteroposterior y z – vertical] mostraron un comportamiento similar al encontrado en la zona E3, (Figura 7).

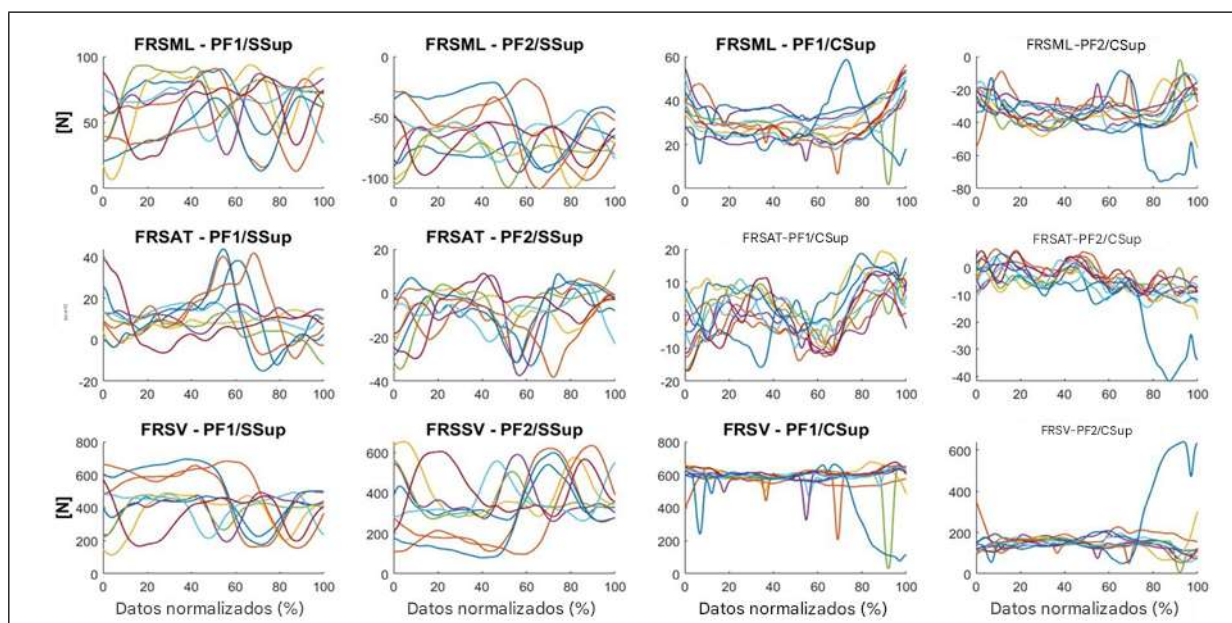


Figura 7: Fuerza de Reacción del Suelo (SRF) referida a las dos plataformas de fuerza (PF1 – pie izquierdo y PF2 – pie derecho) en los ejes, mediana lateral [x] - FRSML; anteroposterior [y] - FRSAT; vertical [z] – FRSV durante la simulación de poda de vegetación en **la zona D3** sin apoyo (SSup) y con apoyo (CSup).

4. CONCLUSIÓN

Partiendo del análisis del trabajo de campo del VFU, basado en la ergonomía de la actividad, que señalaba la actividad de poda de vegetación como prioridad y permitía conocer sus complejidades, esta investigación tuvo como objetivo verificar el comportamiento de las extremidades inferiores del VFU sin el uso de un prototipo de soporte y con el uso del prototipo de soporte para poda hidráulica durante la simulación de laboratorio de poda de vegetación a partir de variables Cinemática y cinética. Esta simulación de la actividad en un entorno de laboratorio trató de acercarse lo más posible, desde el punto de vista del gesto técnico realizado por el VFU asociado a la demanda física de esta operación en términos de base biomecánica, e integrado con la observación realizada por los ergonomistas en campo, excepto por la exposición a la intemperie. Al observar los resultados, se encontró que el soporte provocó un cambio en el movimiento del VFU, el desplazamiento del CoM fue más estable, especialmente en el eje medio lateral. Las fuerzas de reacción ayudaron a comprender y corroborar con los datos cinemáticos que muestran que el ELV tiende a sufrir menos desgaste cuando utiliza el soporte.



GRACIAS

Agradecimientos a P&D PA 3036: Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) - Financiamento ANEEL.

REFERENCIAS

- Bento da Silva, S., Bezerra Gemma, S. F., Stella Dias Barbosa, M., Augusto Ribeiro, R., Rizzo Mattiuzzo, M., Silva Franco, E., Luis Pereira Brittes, J., & Shoiti Misuta, M. (n.d.). TRABALHO MUSCULAR ESTÁTICO DOS MEMBROS INFERIORES DURANTE A OPERAÇÃO DE DECAPAGEM DE CABOS COM FERRAMENTA CONVENCIONAL NO TRABALHO DE ELETRICISTAS DE LINHA VIVA: UM ESTUDO DE CASO.
- Bento da Silva, S., Brittes, J. L. P., Ribeiro, R. A., Barbosa, M. S. D., Franco, E. S., Mattiuzzo, M. R., Gemma, S. F. B., & Misuta, M. S. (2021). *Estudo de um protótipo de suporte de apoio da serra hidráulica (SSH) para operação de poda de vegetação (PV) por um electricista de linha viva (ELV)*. 257–257.
- Błaszczuk, A., & Ogurkowska, M. B. (2022). The use of electromyography and kinematic measurements of the lumbar spine during ergonomic intervention among workers of the production line of a foundry. *PeerJ*, 10, e13072. <https://doi.org/10.7717/peerj.13072>
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155–159. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.155>
- Kataria, K. K., Sharma, M., Kant, S., Suri, N. M., & Luthra, S. (2022). Analyzing musculoskeletal risk prevalence among workers in developing countries: an analysis of small-scale cast-iron foundries in India. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 77(6), 486–503. <https://doi.org/10.1080/19338244.2021.1936436>
- Leardini, A., Biagi, F., Merlo, A., Belvedere, C., & Benedetti, M. G. (2011). Multi-segment trunk kinematics during locomotion and elementary exercises. *Clinical Biomechanics*, 26(6), 562–571. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2011.01.015>
- Liu, J., Qu, X., & Liu, Y. (2022). Influence of Load Knowledge on Biomechanics of Asymmetric Lifting. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6), 3207. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063207>
- Phelan, D., & O’Sullivan, L. (2014). Shoulder muscle loading and task performance for overhead work on ladders versus Mobile Elevated Work Platforms. *Applied Ergonomics*, 45(6), 1384–1391. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.03.007>
- R Core Team (2020). R: *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Skovlund, S. V., Bláfoss, R., Skals, S., Jakobsen, M. D., & Andersen, L. L. (2022). The Importance of Lifting Height and Load Mass for Muscular Workload during Supermarket Stocking: Cross-Sectional Field Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 3030. <https://doi.org/10.3390/ijerph19053030>
- Traldi De Lima, F., Bento Da Silva, S., & Linha, V. ; (n.d.). *ANÁLISE POSTURAL DE PODA DE VEGETAÇÃO EXECUTADA POR ELETRICISTAS DE LINHA VIVA: ESTUDO A PARTIR DA ERGONOMIA, BIOMECÂNICA E CIBERNÉTICA* Palavras-chave.



- Wu, G., Siegler, S., Allard, P., Kirtley, C., Leardini, A., Rosenbaum, D., Whittle, M., D'Lima, D. D., Cristofolini, L., Witte, H., Schmid, O., & Stokes, I. (2002). ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion—part I: ankle, hip, and spine. *Journal of Biomechanics*, 35(4), 543–548. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(01\)00222-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(01)00222-6)
- Wu, G., van der Helm, F. C. T., (DirkJan) Veeger, H. E. J., Makhsous, M., van Roy, P., Anglin, C., Nagels, J., Karduna, A. R., McQuade, K., Wang, X., Werner, F. W., & Buchholz, B. (2005). ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. *Journal of Biomechanics*, 38(5), 981–992. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.05.042>