



## ACTIVIDAD DE PODA DE VEGETACIÓN REALIZADA POR UN ELECTRICISTA DE LÍNEA VIVA: UNA INTEGRACIÓN DE ANÁLISIS DE TRABAJO, ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS Y BIOMECÁNICA

\*Samuel Bento da Silva<sup>1</sup>, Sandra Francisca Bezerra Gemma<sup>1</sup>, Flavia Traldi de Lima<sup>1</sup>, Amanda Lopes Fernandes<sup>2</sup>, José Luiz Pereira Brittes<sup>1</sup>, Milton Shoiti Misuta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Aplicadas – FCA/UNICAMP, Limeira, SP, Brasil

<sup>2</sup>Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL, Campinas, SP, Brasil

\*Correo electrónico: samuelbento.silva@outlook.com

### RESUMEN

Este estudio consistió en comprender la actividad de la poda convencional (poda\_Conv) y la poda con el prototipo de apoyo (poda\_ProtSup) con poda hidráulica de vegetación de Electricistas de Línea Viva (ELV) de manera integrada entre análisis de trabajo, análisis de conglomerados y biomecánica. El análisis se llevó a cabo en un entorno de laboratorio. El *análisis de conglomerados* del presente estudio se realizó mediante el método *k-means*. Durante la poda con el prototipo de soporte (poda\_ProtSup), los valores de ángulo relacionados con los movimientos de la articulación del cuello (plano sagital) fueron más bajos, lo que sugiere una postura más adecuada durante la actividad de poda. El análisis de conglomerados indicó la formación de dos grupos (Índice de Silueta de 0,7874), uno asociado a la poda convencional (poda\_Conv) y otro a la poda con el prototipo de soporte (poda\_ProtSup). El análisis de conglomerados proporcionó una comprensión refinada de los patrones de movimientos de las articulaciones del cuello y demostró ser una herramienta eficaz para identificar patrones intrínsecos a partir de los datos biomecánicos y ergonómicos de la actividad de poda de vegetación. Fundamentalmente, el prototipo de soporte actúa para reducir la carga del implemento (motociruela), por otro lado reduce el rango angular de la articulación del cuello, evidenciando su relevancia para la salud y seguridad de los electricistas que realizan esta actividad.

**Palabras clave:** Ergonomía de la Actividad, Biomecánica, Electricista de Línea Viva.

# VEGETATION PRUNING ACTIVITY PERFORMED BY LIVE LINE ELECTRICIANS: AN INTEGRATION OF WORK ANALYSIS, CLUSTER ANALYSIS AND BIOMECHANICS

## ABSTRACT

---

This study aimed to understand the activity of conventional pruning (pruning\_Conv) and pruning with the support of a prototype (pruning\_ProtSup) using hydraulic pruning of vegetation by Live Line Electricians (ELV), in an integrated way involving work analysis, analysis of cluster and biomechanics. The analysis was carried out in a laboratory environment. Cluster analysis in this study was performed using the k-means method. During pruning with the prototype support, lower angle values were observed, suggesting a more adequate posture during the pruning activity. Cluster analysis indicated the formation of two groups (Silhouette Index of 0.7874), one associated with conventional pruning and the other with pruning using the prototype support. Cluster analysis provided a refined understanding of cervical movement patterns and proved to be an effective tool for identifying intrinsic patterns from biomechanical and ergonomic data from vegetation pruning activities. Fundamentally, the support prototype acts to reduce the load on the implement (pruning tool); on the other hand, it reduces the angular amplitude of the cervical joint, highlighting its relevance for the health and safety of electricians who carry out this activity.

**Keywords:** Activity Ergonomics; Biomechanics; Live-Line Electrical Worker

## 1. INTRODUCCIÓN

La investigación presenta resultados parciales de un Programa de Investigación y Desarrollo (I&D). Se sabe que este tipo de iniciativas se destacan como un motor esencial para conducir el ciclo completo de la cadena de investigación, desarrollo e innovación en el escenario del sector eléctrico brasileño (Traldi et al., 2022). Su visión va más allá de la simple búsqueda del conocimiento, abarcando la materialización de ideas innovadoras, experimentos de laboratorio exitosos y la aplicación práctica de modelos matemáticos, todo ello convergiendo en resultados tangibles. De esta manera, los Programas de Investigación y Desarrollo juegan un papel clave en el impulso de la colaboración entre empresas, proporcionando una escala adecuada para transformar los conceptos en mejoras tangibles, tanto en el desempeño organizacional como en la calidad de vida de las personas (ANEEL, 2022).

En este contexto, el análisis de conglomerados surge como una herramienta valiosa. A lo largo de las décadas, esta técnica de estadística multivariante ha desempeñado un papel cada vez más importante en varias disciplinas. Durante la década de 1950, estadísticos como Robert R. Sokal y Edward F. Sneath introdujeron métodos de clasificación numérica y visualización de datos, sentando las bases iniciales de este enfoque (Sokal, 1963). A medida que se avanzaba en la década de 1960, el análisis de conglomerados se estableció como una técnica estadística multivariada preeminente, que impregnaba áreas tan diversas como la biología, la taxonomía y la psicología. Durante este período, se desarrollaron el enfoque jerárquico y el método de vinculación aglomerante, proporcionando la construcción de dendrogramas que representan la estructura de la agrupación de datos (Sokal, 1963). Este avance en el tiempo no solo esboza la evolución del análisis de *conglomerados*, sino que también destaca su creciente relevancia como una herramienta importante en varias áreas de estudio, incluidas las investigaciones ergonómicas como la presente.

En las décadas transcurridas desde entonces, el *análisis de conglomerados* se ha expandido a áreas como la informática y el reconocimiento de patrones. Se introdujeron métodos de partición, como *k-means*, para crear particiones fijas de datos en *clústeres*, con esto, el método se volvió más accesible y, con el avance de la informática, los algoritmos de *agrupación* se volvieron más sofisticados. En la década de 1990, hubo un aumento del interés en la minería de datos y el aprendizaje automático, y el análisis de *clústeres* se convirtió en una técnica central para el descubrimiento de conocimientos en grandes conjuntos de datos. Desde entonces, *la analítica de clústeres* ha seguido siendo ampliamente utilizada en diversas áreas, impulsada por el crecimiento de los datos y los avances en la informática (Geng y Hamilton, 2006; Jain, 2010).

El análisis de conglomerados se define como una técnica estadística utilizada para identificar patrones y estructuras en conjuntos de datos complejos, con el objetivo de agrupar objetos similares en grupos o *conglomerados*. Es una técnica de aprendizaje no supervisado, lo que significa que no hay etiquetas o categorías predefinidas para los datos, y el algoritmo se encarga de identificar patrones y agruparlos en función de sus características (Jain et al., 1999).

El campo de la medicina ya hace uso de esta técnica porque los conjuntos de datos biomédicos grandes y complejos presentan desafíos para los enfoques analíticos convencionales basados en hipótesis. Dado que el aprendizaje no supervisado basado en datos puede identificar patrones intrínsecos en estos conjuntos de datos (Eckardt et al., 2023). Muchos de estos estudios utilizan el análisis de *conglomerados* como herramienta para explorar patrones con enfermedades cardiovasculares y esto puede contribuir a mejorar la estratificación del riesgo y el manejo de estos pacientes (Guedon et al., 2023; Kim et al., 2023; Lee et al., 2023; Mohammadi et al., 2023).

En el contexto de la ergonomía, el análisis de *conglomerados* se ha utilizado para identificar patrones, grupos y características relevantes en la mejora de las condiciones ergonómicas en los entornos de trabajo.

El estudio de Jacquier-Bret et al., (2023) aplicó esta técnica para analizar el masaje linfático realizado por fisioterapeutas, descomponiéndolo en posturas genéricas (PG). Se identificaron siete PG en función de los ángulos articulares, la variabilidad y la frecuencia relativa. Las posturas más comunes fueron PG6, PG4 y PG2, y se observó que la región del tronco y el cuello tenían predominio de la flexión, mientras que la flexión del hombro y la abducción variaban. El análisis de la puntuación RULA también mostró diferencias entre las posturas genéricas. Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de controlar los masajes y asegurar el uso de posturas adecuadas para prevenir los trastornos musculoesqueléticos. Así, es posible evaluar los masajes rápidamente a través de una combinación de posturas genéricas para el análisis ergonómico (Jacquier-Bret et al., 2023)

Otro estudio, realizado por Andersen et al., (2021) analizó la importancia de las exposiciones ergonómicas combinadas en el trabajo para el desarrollo del dolor musculoesquelético. Utilizando el Estudio del Entorno de Trabajo y la Salud en Dinamarca, los investigadores investigaron a 18.905 empleados en el transcurso de cuatro años. A través de un *análisis de conglomerados* utilizando *k-medias*, identificaron nueve *conglomerados* basados en siete factores ergonómicos. Utilizando un modelo de regresión ponderada, observaron que los *grupos* con altas exposiciones ergonómicas combinadas mostraron el mayor aumento en la intensidad del dolor de cuello-hombro y espalda baja. Además, *los grupos* con alta exposición a factores ergonómicos específicos también aumentaron significativamente el dolor. Los resultados subrayan la importancia de las exposiciones laborales ergonómicas combinadas en el desarrollo del dolor musculoesquelético y ponen de manifiesto la necesidad de enfoques preventivos en el lugar de trabajo (Andersen et al., 2021).

En el estudio de Hu et al., (2022), se investigaron los patrones de recuperación del equilibrio después de resbalones y su asociación con la probabilidad de caídas inducidas por resbalones. En el estudio participaron sesenta jóvenes, que sufrieron resbalones inesperados mientras caminaban por una pasarela. Se utilizó el análisis de *conglomerados* jerárquicos para clasificar los patrones de recuperación del equilibrio en función de las mediciones cinemáticas de ambos pies durante el período de 100 a 300 ms después del contacto del talón con el pie resbaladizo. Se identificaron tres patrones distintos de recuperación del equilibrio, que se relacionaron con diferentes niveles de probabilidad de caída. Estos hallazgos contribuyen a una mejor comprensión de los mecanismos de recuperación del equilibrio en situaciones de resbalón y pueden ayudar en el desarrollo y evaluación de intervenciones de prevención de caídas.

El análisis de *conglomerados* se ha explorado cada vez más como una herramienta sólida en el área de la biomecánica. Así, el uso de esta herramienta junto con el área de ergonomía apunta a una forma de abordar un problema determinado de forma interdisciplinaria. Así, el objetivo del estudio fue comprender la actividad de la poda convencional (poda\_Conv) y la poda utilizando el prototipo de soporte (poda\_ProtSup) con poda hidráulica de vegetación de Electricistas de Línea Viva (ELV) de manera integrada considerando el análisis de la obra, análisis de conglomerados y biomecánica.

## 2. METODOLOGÍA

El estudio presenta datos parciales de un Proyecto de Investigación y Desarrollo (I&D), realizado en asociación entre una empresa privada de energía eléctrica ubicada en el interior de São Paulo, la Facultad de Ciencias Aplicadas (FCA) de la Unicamp y un fabricante de herramientas para el sector.

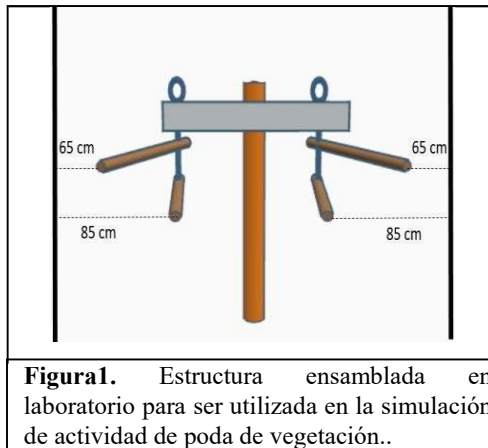
En la investigación participó un electricista diestro de 38 años, que lleva 6 años trabajando directamente en una línea eléctrica y que pertenece al propio personal de la empresa de energía eléctrica. El Electricista aceptó participar voluntariamente en la investigación a través de un Formulario de Consentimiento Informado. El 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.

En primer lugar, se utilizó la aplicación del Análisis Ergonómico del Trabajo (AET) (Guérin, et al., 2001) como método para comprender la naturaleza de la actividad realizada por el ELV. A través de un encuentro colectivo realizado con 12 ELVs, se identificó que la poda de vegetación fue considerada la más crítica en términos de dificultad, duración y frecuencia. A partir de ello, se realizaron observaciones globales y abiertas de la actividad en una situación real, registradas en un cuaderno de campo y validadas a través de una entrevista posterior a la realización de la tarea, debido al grado de peligrosidad de interacción con los trabajadores durante su ejecución.

Para el análisis biomecánico de los movimientos realizados en la actividad, la recolección de datos se realizó con un ELV experimentado, en ambiente controlado, en el laboratorio de biomecánica de la FCA/UNICAMP. En el laboratorio se habilitó un entorno que posibilitó la actividad de poda de vegetación de forma simulada por parte del electricista. Para ello, se ensambló una estructura<sup>1</sup> que se asemeja a un poste con una cruceta y ramas de árbol, utilizando manijas y tornillos de madera (Figura 1).

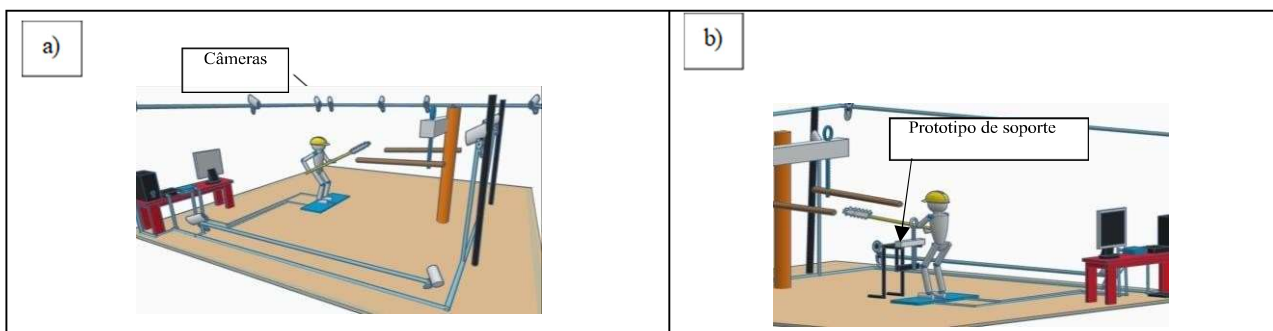
---

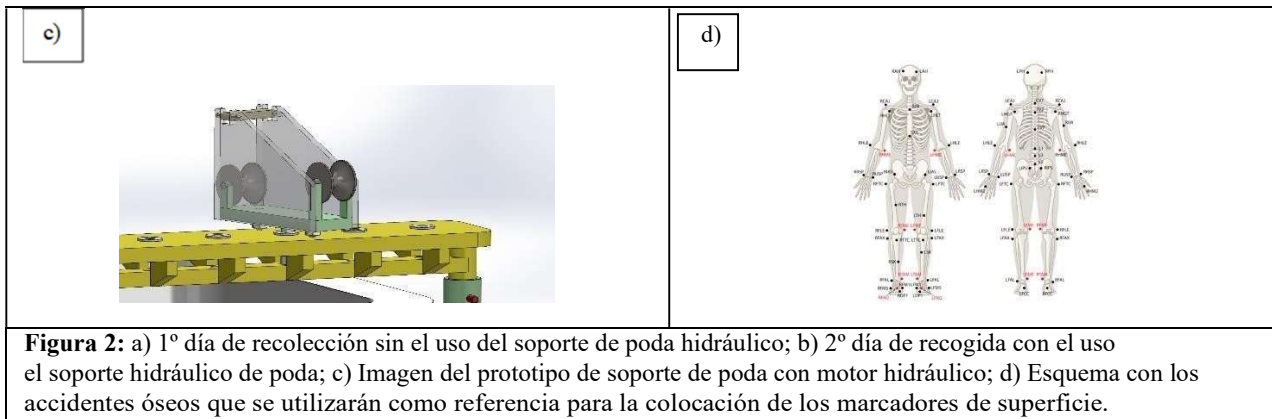
<sup>1</sup> La construcción de esta estructura se basó en los conocimientos previamente desarrollados en la fase anterior, por el campo de la ergonomía, a través del análisis del estudio de la ergonomía de la actividad.



La recolección de datos se dividió en dos momentos distintos. Al principio, se instruyó al ELV para que realizara los movimientos de poda de vegetación de acuerdo con su rutina de trabajo de poda convencional (poda\_Conv) iniciando el movimiento de poda en la parte inferior de la rama y avanzando hacia la parte superior (Figura 2a). En el segundo momento de la recolección, el VFU realizó una simulación de la actividad de poda de vegetación similar a la primera recolección, pero esta vez realizó los movimientos con la ayuda de un prototipo de soporte (poda\_ProtSup) para la poda hidráulica (Figura 2b). Durante la operación de poda de vegetación con poda hidráulica, el VFU realizó cortes en las ramas por etapas, de manera que la rama pudo ser podada en las zonas de corte proximal y distal, con las zonas E1 y E2 (lado izquierdo del VFU) y D1 y D2 (lado derecho). Cada zona de corte (15 cm de largo) consiste en la ubicación de la rama a podar que ha sido debidamente identificada para una estandarización de la ubicación de corte y una fácil visualización. A lo largo de la colección, el ELV realizó 11 series de movimientos completos, simulando los movimientos de la poda de la vegetación tocando las ramas de abajo hacia arriba y de arriba hacia abajo, en 04 zonas predeterminadas a lo largo de la rama, cada una de 15 cm.

Para la recolección de datos se utilizó un sistema de captura de movimiento (*Optitrack*), compuesto por 12 cámaras prime de 17W, configuradas con una tasa de adquisición de 200 Hz, para cubrir toda el área de captura (Figura 2a; 2b). El modelo de cuerpo entero utilizado fue propuesto por (Leardini et al., 2011), para la orientación de las extremidades superiores (Wu et al., 2002) y las extremidades inferiores (Wu et al., 2005), siguiendo la recomendación de la Sociedad Internacional de Biomecánica (ISB) (Figura 2d).





**Figura 2:** a) 1º día de recolección sin el uso del soporte de poda hidráulico; b) 2º día de recogida con el uso el soporte hidráulico de poda; c) Imagen del prototipo de soporte de poda con motor hidráulico; d) Esquema con los accidentes óseos que se utilizarán como referencia para la colocación de los marcadores de superficie.

Para el proceso de suavizado de los datos cinemáticos se utilizó el filtro digital Butterworth de 4º orden, con una frecuencia de corte de 10 Hz. Para el cálculo de las variables cinemáticas se utilizó el software Visual3D®, mientras que el resto del procesamiento se llevó a cabo en el entorno Matlab®.

El análisis de *conglomerados* del presente estudio se realizó mediante el método *de k-medias* y el número de *conglomerados* se definió mediante el método de *la silueta* (Hair et al., 2005; Rousseeuw, 1987). Software RStudio (versión 4.1.2; RStudio Team, 2021) para el análisis multivariante.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 La tarea de podar la vegetación

La tarea de podar la vegetación consiste, precisamente, en cortar diferentes especies vegetales que pueden atravesar las redes eléctricas, perjudicando su funcionamiento. Esta tarea es realizada por ELV de la compañía eléctrica y utiliza una poda hidráulica. Los VFU son operadores que trabajan directamente en redes energizadas, lo que les da riesgos aún mayores de descargas eléctricas y accidentes que pueden ser fatales.

Como resultado, es obligatorio que los electricistas de la empresa estudiada utilicen diversos Equipos de Protección Personal (EPP) como ropa especial, botas, guantes y otros para protegerse contra riesgos (Figura 3).



**Figura3:** ELV paramentado com os EPIs para a realização da atividade de poda de árvores

El trabajo que realizan estos electricistas se realiza siempre en parejas. El electricista ejecutor es quien se sube al camión grúa para realizar la operación de poda de vegetación. El segundo electricista trabaja sobre el terreno, observando la actividad realizada por el ejecutor y advirtiéndolo de cualquier riesgo que pueda surgir en la operación.



**Figura 4:** ELV executor na atividade de poda de vegetação.

A través de entrevistas realizadas colectiva e individualmente con los VFU, se identificó que la actividad confiere un alto grado de esfuerzo físico. En primer lugar, porque, en cuanto a la duración, esta es una actividad que puede durar de 1 a 3 horas o incluso días, dependiendo del árbol.

En cuanto a los esfuerzos físicos, los VFU relataron que se asocian a la intensificación y repetición de movimientos, datos que corroboran el estudio de Moriguchi et al., (2009). En relación con el ELV de la encuesta, este factor incide en una mayor sobrecarga, especialmente en situaciones en las que la empresa incluye la poda como actividad diaria en la programación semanal.

En el caso de los VFU, los movimientos de las manos y los brazos se ven obstaculizados por el EPI utilizado, como el grosor del guante y las mangueras de protección. También refieren un gran esfuerzo físico en relación con los movimientos con un brazo extendido y el otro flexionado, o ambos extendidos o ambos flexionados, por encima del nivel de los hombros y la flexión del tronco. En el momento de la investigación, todos los entrevistados por VFU mencionaron lesiones y dolores en brazos, antebrazos, muñecas, codos y hombros asociados a la poda de vegetación, como también señalaron Gonçalves et al., (2021).

A este factor se suman las implicaciones físicas para el organismo como consecuencia de la exposición constante a condiciones climáticas de alta temperatura, calor, humedad, viento y otros, potenciando la sobrecarga de trabajo (Traldi, 2022).

A pesar de que existe un paso estándar, como norma organizacional que describe cómo debe ocurrir la ejecución de la tarea, se identificó que las posturas adoptadas por los electricistas se deben a las variabilidades contextuales del trabajo, como el tipo de vegetación – ramas y troncos gruesos, delgados, más largos o más cortos, alcance de la vegetación, alcance de la grulla, presencia de animales venenosos o nidos de aves, desniveles del asfalto, potencia de la poda, otros. Dentro de este análisis del trabajo real (Guérin, et al., 2001), también es posible considerar variabilidades humanas que se centran en la edad del trabajador, la fatiga por exposición a factores de sobrecarga, la experiencia y otros.

La investigación de Traldi et al., (2023) realizada en el sector eléctrico señala que la adaptación de las posturas y la forma de realizar el trabajo ELV en trabajos como este son fundamentales para la calidad del trabajo y la preservación de la salud y la seguridad.

### 3.2 Análisis de conglomerados

Los ELV relataron las dificultades inherentes a la actividad de poda de vegetación y la ocurrencia de lesiones directamente relacionadas con esta actividad. Sin embargo, otras partes del cuerpo pueden verse muy afectadas sin que se perciba una relación directa teniendo en cuenta esta actividad. En este contexto, los datos cinemáticos, especialmente en la articulación del cuello, apuntaron a una influencia importante a la hora de utilizar el prototipo de soporte.

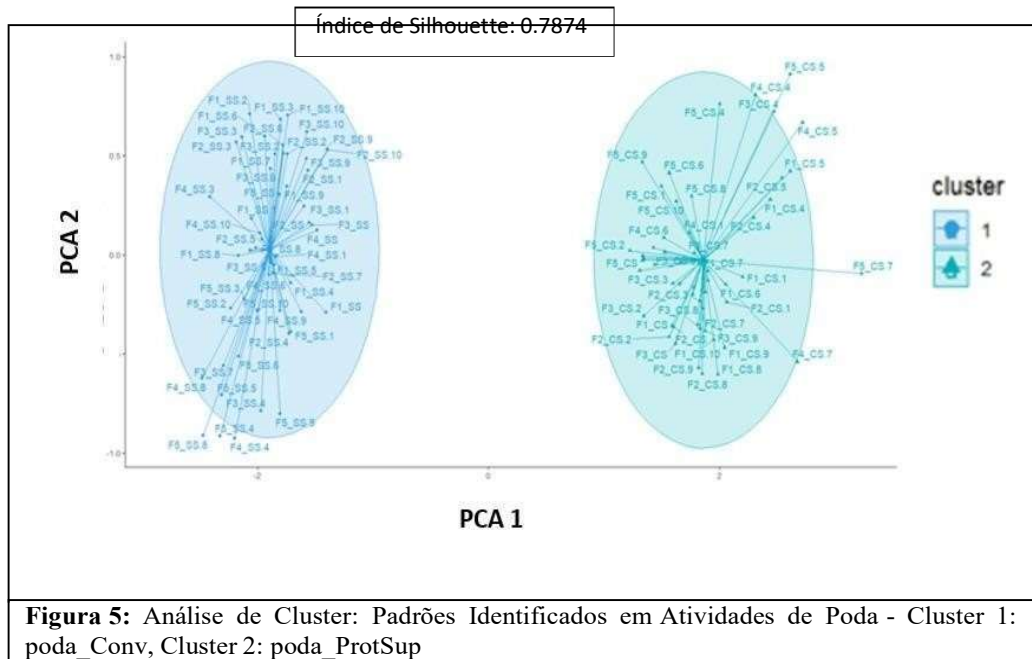
Al realizar el análisis de *conglomerados*, se identificaron dos conglomerados distintos. Estos *grupos* se denominaron *Cluster 1* y *Cluster 2* y el análisis se centró en los ángulos de la articulación del cuello en el plano sagital.

**Cluster 1: "poda\_Conv"** Este cluster reúne observaciones asociadas a la poda convencional con poda hidráulica. Los valores de ángulos agrupados en este clúster se caracterizan por la ejecución de podas convencionales. Estas observaciones presentan características y comportamientos de la poda convencional que se acercan a la poda convencional en una situación real, según lo reportado por la propia ELV.



**Cluster 2: "poda\_ProtoSup"** En este cluster se agrupan los valores de los ángulos en los que se utilizó el prototipo de soporte. Las observaciones en este cluster presentan características comunes que indican el uso del prototipo de soporte de poda hidráulica.

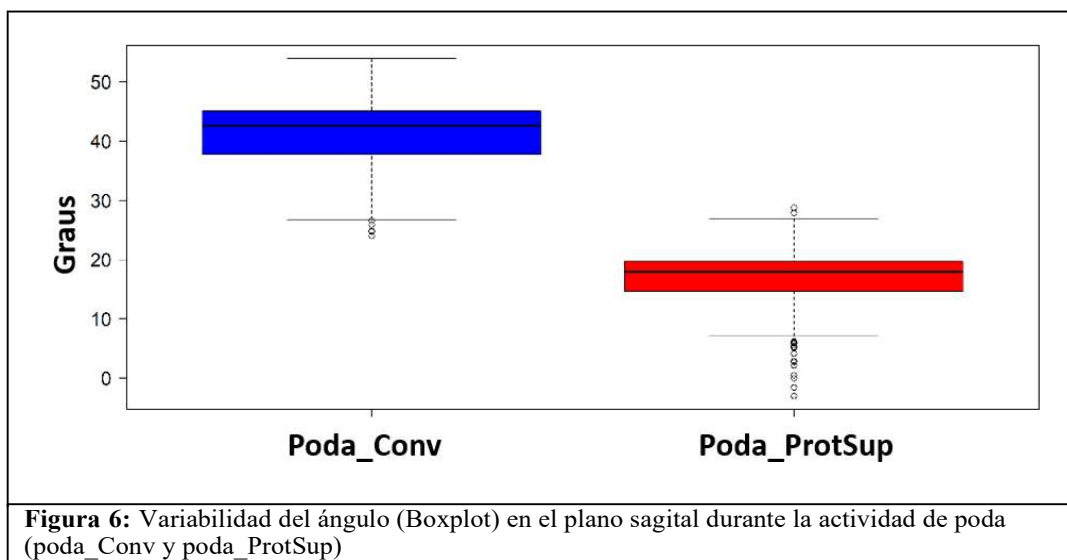
Con la aplicación del análisis de *conglomerados*, la identificación de estos dos *conglomerados* ofrece un enfoque para comprender diferentes tendencias o patrones en los datos, asociados a la adopción o no del prototipo de soporte. Este análisis desempeña un papel importante en el apoyo a las decisiones objetivas para la identificación de distintos subgrupos dentro de la población de estudio (Figura 5).



El análisis de *conglomerados* aplicado a los datos dio como resultado la formación de dos *conglomerados* distintos, con un índice de silueta de 0,7874. Este valor indica una buena separación y compactación de los *conglomerados*, lo que refleja la similitud de las observaciones dentro de cada *conglomerado* y la disimilitud entre los *conglomerados*. El alto valor del Índice de Silueta sugiere que los datos se agruparon de manera coherente y que el análisis de *conglomerados* fue eficaz para identificar patrones y estructuras en los datos. Estos resultados permiten una comprensión más profunda y refinada de las relaciones y características presentes en el conjunto de datos en estudio, contribuyendo a futuras investigaciones y a la toma de decisiones basadas en los hallazgos obtenidos a través del análisis de *conglomerados*.

Los resultados mostraron que cuando se utiliza el prototipo de soporte (poda\_ProtoSup), el ELV

(a) realizaron la actividad de acuerdo con el protocolo de poda y (b) durante este procedimiento los valores de ángulos (Figura 6) fueron menores en relación a la poda convencional (poda\_Conv). Así, teniendo en cuenta que la función principal del prototipo es reducir la carga del instrumento de poda, la mayor permanencia en estas condiciones ('a' y 'b') indica que el VFU tendrá un menor desgaste físico, así como la reducción de la ocurrencia de lesiones.



Se encontró que los valores del ángulo de la articulación del cuello (mediana, figura 6) en el poda\_Conv fueron aproximadamente un 147% superiores a los valores obtenidos con el poda\_ProtSup. Esta discrepancia pone de manifiesto la importancia del prototipo de soporte en la reducción de los ángulos de la articulación del cuello y destaca su relevancia en el contexto de la ergonomía y la seguridad de los trabajadores que utilizan la poda hidráulica. Los resultados de este estudio proporcionan una base sólida para la implementación de medidas preventivas y estrategias de intervención destinadas a minimizar los riesgos asociados a posturas perjudiciales para la salud durante la operación de poda hidráulica.

El estudio (Jacquier-Bret et al., 2023) empleó la técnica *de análisis de conglomerados* para examinar las posturas comunes durante las sesiones de masaje linfático realizadas por profesionales de la fisioterapia. Al discernir diferentes posturas en función de los ángulos articulares, las variaciones y la frecuencia relativa, se hizo posible una evaluación ergonómica más precisa, lo que resultó en la mitigación de posibles problemas musculoesqueléticos. Los hallazgos resaltan la efectividad del análisis de *conglomerados* en la identificación de patrones y conglomerados significativos, con aplicabilidad para optimizar las condiciones ergonómicas en escenarios de trabajo.

Del mismo modo, otro estudio (Andersen et al., 2021) investigaron los efectos de las exposiciones ergonómicas combinadas en el desarrollo de dolor musculoesquelético. A través del análisis de *conglomerados* utilizando *k-means*, los investigadores identificaron nueve *conglomerados* basados en factores ergonómicos y observaron que los conglomerados *con altas exposiciones ergonómicas combinadas tenían una mayor intensidad de dolor*. La identificación de estos *conglomerados* proporciona una forma de comprender las diferentes tendencias y patrones relacionados con el uso o no del prototipo de soporte, contribuyendo a una toma de decisiones más robusta y a la identificación de distintos grupos dentro de la población de interés (Andersen et al., 2021). Por lo tanto, subrayan la importancia de las exposiciones laborales ergonómicas combinadas y destacan la necesidad de enfoques preventivos en el lugar de trabajo. Estos resultados son consistentes con los hallazgos del presente estudio, que identificó dos *grupos* distintos a partir de los ángulos de la articulación del cuello durante la poda de vegetación, la poda convencional y el uso del prototipo de soporte.

En el contexto de otro estudio (Hu et al., 2022), se llevó a cabo un examen de los patrones de restablecimiento del equilibrio después de resbalones, y su relación con la posibilidad de caídas resultantes de estos resbalones. Utilizando el enfoque de análisis de conglomerados jerárquicos, los investigadores pudieron discernir tres patrones discretos de recuperación del equilibrio, asociados con diferentes niveles de riesgo de caídas. Estos hallazgos amplían la comprensión de mecanismos subyacentes a la recuperación del equilibrio

en escenarios de deslizamiento, y tienen el potencial de informar la creación de estrategias de prevención de caídas. (Hu et al., 2022).

Del mismo modo, los resultados del presente estudio muestran la existencia de dos agrupaciones distintas en función de los ángulos de la articulación del cuello durante la actividad de poda de vegetación. Estas agrupaciones sugieren la presencia de comportamientos y características variadas, posiblemente relacionadas con la adopción o no de un dispositivo de apoyo en desarrollo. El uso del análisis de *conglomerados* en este contexto proporciona una aprehensión más precisa de las relaciones y rasgos intrínsecos a los datos, lo que contribuye a la identificación de patrones y estructuras relevantes.

Desde un punto de vista metodológico, el análisis de *conglomerados* demostró ser un enfoque eficaz para identificar patrones intrínsecos y grupos relevantes en los conjuntos de datos analizados, contribuyendo a una mejor comprensión de los fenómenos estudiados y proporcionando información importante para la prevención de trastornos musculoesqueléticos y la toma de decisiones informadas. En cuanto a los resultados, el presente estudio presentó datos que corroboran estudios en la literatura, que utilizaron el análisis de *conglomerados* en diferentes contextos, como el análisis de posturas genéricas en el masaje linfático y la investigación de los efectos de las exposiciones ergonómicas combinadas y los patrones de recuperación del equilibrio.

#### 4. CONCLUSIÓN

La tarea de poda de vegetación, tal y como se realiza en la empresa eléctrica estudiada, tiene impactos considerables sobre el VFU, especialmente en términos de sobrecarga física debido a la frecuencia, intensidad y repetitividad con la que se produce. La investigación presenta cómo el trabajo real de los electricistas y las posturas y movimientos adoptados por ellos en la ejecución del trabajo resultan de las variabilidades contextuales y humanas presentes en las situaciones de trabajo.

El análisis de *conglomerados* reveló la existencia de dos grupos distintos. Uno compuesto por acciones en el poda\_Conv y el otro con el uso del prototipo de soporte (poda\_ProtSup). La identificación de *clústeres* proporcionó información sólida sobre las tendencias y patrones presentes en los datos, lo que permitió una comprensión más profunda de las características y comportamientos relacionados con la utilización del prototipo de soporte. Estos hallazgos pueden servir de base para la adopción de medidas preventivas y estrategias de intervención destinadas a minimizar los riesgos asociados a las posturas perjudiciales para la salud durante la operación de la poda hidráulica. Así, el análisis *de conglomerados* mediante el método K-means, con un Índice de Silueta de 0,7874, confirmó la efectividad en la identificación de patrones y estructuras en los datos, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y toma de decisiones basadas en los resultados obtenidos.

Los resultados de este estudio se centraron en los valores de los ángulos de articulación del cuello (plano sagital) durante la poda de vegetación. Al utilizar el prototipo de soporte (poda\_ProtSup), los valores de ángulo fueron menores en relación a la poda convencional, lo que indica una postura más adecuada y una menor sobrecarga en la articulación del cuello. Este hallazgo señala aspectos positivos del prototipo de soporte desde el punto de vista biomecánico y ergonómico, apuntando a la seguridad de los trabajadores que utilizan la poda hidráulica. <sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Agradecimientos: Agradecimientos a P&D PA 3036: Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) - Financiamiento ANEEL.

## Referencias

- Andersen, L. L., et al. (2021). Combined ergonomic exposures and development of musculoskeletal pain in the general working population: A prospective cohort study. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 47(4), 287–295.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. (2022). Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológica. Retrieved from <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/pesquisa-e-desenvolvimento/programa-de-pesquisa-e-desenvolvimento-tecnologico>
- Coltman, C. E., Steele, J. R., & McGhee, D. E. (2018). Effects of age and body mass index on breast characteristics: a cluster analysis. *Ergonomics*, 61(9), 1232–1245.
- Eckardt, J.-N., et al. (2023). Unsupervised meta-clustering identifies risk clusters in acute myeloid leukemia based on clinical and genetic profiles. *Communications Medicine*, 3(1), 68.
- Gemma, S. F. B., et al. (2022). Artefatos Tecnológicos e o Trabalho de Eletricistas de Linha Viva. *Revista Psicologia: Organizações e Trabalho*, 22(3), 2163-2170.
- Geng, L., & Hamilton, H. J. (2006). Interestingness measures for data mining. *ACM Computing Surveys*, 38(3), 9.
- Gonçalves, M. S. R., et al. (2021). A poda de vegetação no trabalho do electricista de linha viva sob a ótica da ergonomia e da psicodinâmica do trabalho. *Laboreal*, 17(Nº2).
- Guedon, A. F., et al. (2023). Identifying high-risk profile in primary antiphospholipid syndrome through cluster analysis: French multicentric cohort study. *RMD Open*, 9(1), e002881.
- Guérin, F., Laville, A., Daniellou, F., Duraffourg, J., & Kerguelen, A. (2001). *Compreender o trabalho para transformá-lo: a prática da ergonomia*. São Paulo: Edgard Blücher.
- Hair, J. F., et al. (n.d.). *Multivariate Data Analysis*.
- Hu, X., et al. (2022). Identification of balance recovery patterns after slips using hierarchical cluster analysis. *Journal of Biomechanics*, 143, 111281.
- Jacquier-Bret, J., Gorce, P., & Rouvière, E. (2023). Ergonomic risk assessment during massage among physiotherapists: Introduction of generic postures notion. *Work*, 1–9.
- Jain, A. K. (2010). Data clustering: 50 years beyond K-means. *Pattern Recognition Letters*, 31(8), 651–666.
- Jain, A. K., Murty, M. N., & Flynn, P. J. (1999). Data clustering: a review. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 31(3), 264-323.
- Kim, H. J., et al. (2023). Subgrouping patients with zoster-associated pain according to sensory symptom profiles: A cluster analysis. *Frontiers in Neurology*, 14, 17.
- Leardini, A., et al. (2011). Multi-segment trunk kinematics during locomotion and elementary exercises. *Clinical Biomechanics*, 26(6), 562–571.
- Lee, H., et al. (2023). Cluster analysis of autoencoder-extracted FDG PET/CT features identifies multiple myeloma patients with poor prognosis. *Scientific Reports*, 13(1), 7881.

- Mohammadi, T., et al. (2023). Unsupervised Machine Learning with Cluster Analysis in Patients Discharged after an Acute Coronary Syndrome: Insights from a 23,270-Patient Study. *The American Journal of Cardiology*, 193, 44–51.
- Moriguchi, C. S., Alencar, J. F., Miranda-Junior, L. C., & Coury, H. J. C. G. (2009). Sintomas musculoesqueléticos em eletricitistas de rede de distribuição de energia. *Rev. bras. fisioter.*, 13(2).
- Rousseeuw, P. J. (n.d.). Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*.
- Sokal, R. R. (1963). *The principles and practice of numerical taxonomy*. *Taxon*, 12(5), 190–199.
- Traldi, F. L. (2022). Vivências relacionadas ao trabalhar na produção de semijoias: contribuições da ergonomia e da psicodinâmica do trabalho [Dissertação de Mestrado em Ciências Humanas e Sociais Aplicadas]. Universidade Estadual de Campinas, Limeira, SP, Brasil.
- Traldi, F., Heloani, J. R. M., & Gemma, S. F. B. (2023). Zelo e cooperação como mobilizações subjetivas fundamentais para preservação da saúde e segurança no trabalho: estudo sobre o trabalho de eletricitistas de linha viva. *Trabalho (En) Cena*, 8(Contínuo), e023022-e023022.
- Traldi, F. L., Gemma, S. F. B., Misuta, M. S., da Silva, S. B., & Brittes, J. L. P. (2022). Métodos e Práticas Integrativas em P&D: Contribuições para a Saúde, Segurança e Qualidade de Vida (SSQV) de Eletricitistas de Linha Viva. *Desenvolvimento em Questão*, 20(58), e12318-e12318.
- Wu, G., et al. (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.
- Wu, G., et al. (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.