



ATIVIDADE DE PODA DE VEGETAÇÃO REALIZADA POR ELETRICISTA DE LINHA VIVA: UMA INTEGRAÇÃO DA ANÁLISE DO TRABALHO, ANÁLISE DE CLUSTER E BIOMECÂNICA

*Samuel Bento da Silva¹, Sandra Francisca Bezerra Gemma¹, Flavia Traldi de Lima¹, Amanda Lopes Fernandes², José Luiz Pereira Brittes¹, Milton Shoiti Misuta¹

¹Faculdade de Ciências Aplicadas – FCA/UNICAMP, Limeira, SP, Brasil

²Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL, Campinas, SP, Brasil

*e-mail: samuelbento.silva@outlook.com

RESUMO

Este estudo consistiu em compreender a atividade de poda convencional (poda_Conv) e poda com o protótipo de suporte (poda_ProtSup) com motopoda hidráulica de vegetação de Eletricistas de Linha Viva (ELV) de forma integrada entre análise do trabalho, análise de cluster e biomecânica. A análise foi conduzida em ambiente de laboratório. A análise de *cluster* do presente estudo foi realizada utilizando o método *k-means*. Durante a poda com o protótipo de suporte (poda_ProtSup), os valores de ângulo relativos aos movimentos da articulação do pescoço (plano sagital) apresentaram-se menores, que sugere uma postura mais adequada durante a atividade de poda. A análise de cluster apontou a formação de dois grupos (Índice de Silhouette de 0.7874), um associado à poda convencional (poda_Conv) e outro à poda com o protótipo de suporte (poda_ProtSup). A análise de cluster proporcionou uma compreensão refinada dos padrões de movimentos da articulação do pescoço e mostrou-se uma ferramenta eficaz para identificar padrões intrínsecos a partir dos dados biomecânicos e ergonômicos da atividade de poda de vegetação. Fundamentalmente, o protótipo de suporte atua na redução da carga do implemento (motopoda), por outro lado diminui a amplitude angular da articulação do pescoço, evidenciando sua relevância para a saúde e segurança dos eletricistas que realizam essa atividade.

Palavras-chave: Ergonomia da Atividade; Biomecânica; Eletricista de Linha 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. INTRODUÇÃO

A pesquisa apresenta resultados parciais de um Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Sabe-se que esse tipo de iniciativa se destaca como uma força motriz essencial na condução do ciclo completo da cadeia de pesquisa, desenvolvimento e inovação no cenário do setor elétrico brasileiro (Traldi et al., 2022). Sua visão vai além da simples busca por conhecimento, abrangendo a materialização de ideias inovadoras, experimentos laboratoriais bem-sucedidos e a aplicação prática de modelos matemáticos, todos convergindo para resultados palpáveis. Deste modo, os Programas de P&D assumem um papel fundamental ao impulsionar a colaboração entre empresas, proporcionando uma escala apropriada para transformar conceitos em melhorias tangíveis, tanto no desempenho organizacional quanto na qualidade de vida das pessoas (ANEEL, 2022).

Neste contexto, a análise de cluster emerge como uma ferramenta valiosa. Ao longo das décadas, esta técnica de estatística multivariada tem desempenhado um papel crescente em diversas disciplinas. Durante a década de 1950, estatísticos como Robert R. Sokal e Edward F. Sneath introduziram métodos de classificação numérica e visualização de dados, estabelecendo as bases iniciais dessa abordagem (Sokal, 1963). À medida que se avança para a década de 1960, a análise de cluster consolidou-se como uma técnica de estatística multivariada proeminente, permeando áreas tão distintas quanto biologia, taxonomia e psicologia. Nesse período, a abordagem hierárquica e o método de ligação aglomerativa foram desenvolvidos, proporcionando a construção de dendrogramas que representam a estrutura de agrupamento dos dados (Sokal, 1963). Esse avanço temporal delinea não apenas a evolução da análise de *cluster*, mas também destaca sua relevância crescente como uma ferramenta importante em diversas áreas de estudo, incluindo investigações ergonômicas como a presente.

Nas décadas seguintes, a análise de *cluster* expandiu-se para áreas como ciência da computação e reconhecimento de padrões. Os métodos de particionamento, como o *k-means*, foram introduzidos para criar partições fixas dos dados em *clusters*, com isso, o método se tornou mais acessível e com o avanço da computação os algoritmos de *clustering* ficaram mais sofisticados. Na década de 1990 houve um aumento do interesse em mineração de dados e aprendizado de máquina e a análise de *cluster* tornou-se uma técnica central para descoberta de conhecimento em grandes conjuntos de dados. Desde então, a análise de *cluster* continua a ser amplamente utilizada em várias áreas, impulsionada pelo crescimento de dados e avanços na computação (Geng & Hamilton, 2006; Jain, 2010).

Define-se análise de *cluster* como uma técnica estatística utilizada para identificar padrões e estruturas em conjuntos de dados complexos, com o objetivo de agrupar objetos similares em grupos ou "*clusters*". É uma técnica de aprendizado não supervisionado, o que significa que não há rótulos ou categorias pré-definidas para os dados, e o algoritmo é responsável por identificar padrões e agrupá-los com base em suas características (Jain et al., 1999).

A área médica já faz uso dessa técnica devido aos conjuntos de dados biomédicos grandes e complexos apresentarem desafios para as abordagens analíticas convencionais baseadas em hipóteses. Uma vez que, a aprendizagem não supervisionada baseada em dados pode identificar padrões intrínsecos nesses conjuntos de dados (Eckardt et al., 2023). Muitos desses estudos utilizam a análise de *cluster* como uma ferramenta para exploração de padrões com doenças cardiovasculares e isso pode contribuir para melhorar a estratificação de risco e manejo desses pacientes (Guedon et al., 2023; Kim et al., 2023; Lee et al., 2023; Mohammadi et al., 2023).

No contexto da ergonomia, a análise de *cluster* tem sido utilizada para identificar padrões, grupos e características relevantes na melhoria das condições ergonômicas nos ambientes de trabalho.

O estudo de Jacquier-Bret et al., (2023) aplicou essa técnica para analisar a massagem linfática realizada por fisioterapeutas, decompondo-a em posturas genéricas (PG). Foram identificadas sete PG com base nos ângulos articulares, variabilidade e frequência relativa. As posturas mais comuns foram PG6, PG4 e PG2, sendo observado que a região do tronco e do pescoço apresentavam flexão predominante, enquanto a flexão e abdução do ombro variavam. A análise do escore RULA também mostrou diferenças entre as posturas genéricas. Esses resultados destacam a importância de monitorar as massagens e garantir o uso de posturas adequadas para prevenir distúrbios musculoesqueléticos. Assim, é possível avaliar as massagens de forma rápida por meio de uma combinação de posturas genéricas para análise ergonômica (Jacquier-Bret et al., 2023)

Outro estudo, conduzido por Andersen et al., (2021) analisou a importância das exposições ergonômicas combinadas no trabalho para o desenvolvimento de dor musculoesquelética. Utilizando o Estudo do Ambiente de Trabalho e Saúde na Dinamarca, os pesquisadores investigaram 18.905 funcionários ao longo de quatro anos. Através de uma análise de *cluster* utilizando o *k-means*, eles identificaram nove *clusters* com base em sete fatores ergonômicos. Usando um modelo de regressão ponderada, eles observaram que os *clusters* com altas exposições ergonômicas combinadas apresentaram maior aumento na intensidade da dor no pescoço-ombro e na região lombar. Além disso, *clusters* com alta exposição a fatores ergonômicos específicos também aumentaram significativamente a dor. Os resultados ressaltam a importância das exposições ocupacionais ergonômicas combinadas no desenvolvimento da dor musculoesquelética e destacam a necessidade de abordagens preventivas no local de trabalho (Andersen et al., 2021).

No estudo de Hu et al., (2022), foram investigados os padrões de recuperação de equilíbrio após escorregões e sua associação com a probabilidade de queda induzida por escorregamento. Participaram do estudo sessenta jovens, que foram submetidos a escorregões inesperados enquanto caminhavam em uma passarela. A análise de *cluster* hierárquico foi usada para classificar os padrões de recuperação do equilíbrio com base nas medidas cinemáticas de ambos os pés durante o período de 100 a 300 ms após o contato do calcanhar do pé escorregado. Foram identificados três padrões distintos de recuperação de equilíbrio, os quais estavam relacionados a diferentes níveis de probabilidade de queda. Esses achados contribuem para uma melhor compreensão dos mecanismos de recuperação de equilíbrio em situações de escorregões e podem auxiliar no desenvolvimento e avaliação de intervenções de prevenção de quedas.

A análise de *cluster* tem sido cada vez mais explorada como uma ferramenta robusta na área da biomecânica. Deste modo, o uso desta ferramenta juntamente com a área da ergonomia aponta para uma forma de se olhar interdisciplinarmente um dado problema. Desta forma, objetivo do estudo consistiu em compreender a atividade de poda convencional (poda_Conv) e poda utilizando o protótipo de suporte (poda_ProtSup) com motopoda hidráulica de vegetação de Eletricistas de Linha Viva (ELV) de forma integrada considerando a análise do trabalho, análise de cluster e biomecânica.

2. METODOLOGIA

O estudo apresenta dados parciais de um Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), realizado em parceria entre uma empresa privada de energia elétrica localizada no interior de São Paulo, a Faculdade de Ciências Aplicadas (FCA) da UNICAMP e uma fabricante de ferramentas para o setor.

Participou da pesquisa um Eletricista de Linha Viva (ELV) do sexo masculino, de 38 anos de idade, destro, que trabalha há 6 anos diretamente em linha viva e pertencente ao quadro próprio da empresa de energia elétrica. O Eletricista concordou em participar voluntariamente da pesquisa por meio de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. O estudo foi aprovado pelo comitê de ética e pesquisa da UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas, CAAE: 33462920.3.0000.5404. Parecer número: 4.151.017.

Primeiramente, utilizou-se como método a aplicação da Análise Ergonômica do Trabalho (AET) (Guérin, et al., 2001) para compreender a natureza da atividade realizada pelo ELV. Por meio de reunião coletiva realizada com 12 ELV, identificou-se que a poda de vegetação era a considerada mais crítica em termos de dificuldade, duração e frequência. A partir disso, foram realizadas observações globais e abertas da atividade em situação real, registradas em caderno de campo e validadas por meio de entrevista posteriormente à realização da tarefa, devido ao grau de periculosidade de interação com os trabalhadores durante a sua execução.

Para a análise biomecânica dos movimentos realizados na atividade, a coleta de dados foi realizada com um ELV experiente, em ambiente controlado, no laboratório de biomecânica da FCA/UNICAMP. No laboratório foi montado um ambiente para viabilizar a atividade de poda de vegetação de forma simulada pelo eletricista. Para isso, foi montada uma estrutura¹ que se assemelha a um poste com uma cruzeta e galhos de árvore, utilizando cabos de madeira e parafusos (Figura 1).

¹ A construção desta estrutura foi fundamentada no conhecimento previamente desenvolvido na fase anterior, pelo campo da ergonomia, através da análise do estudo da ergonomia da atividade.

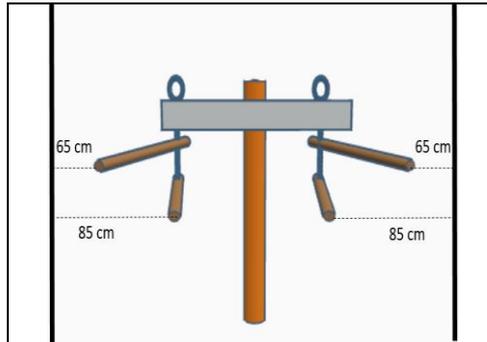
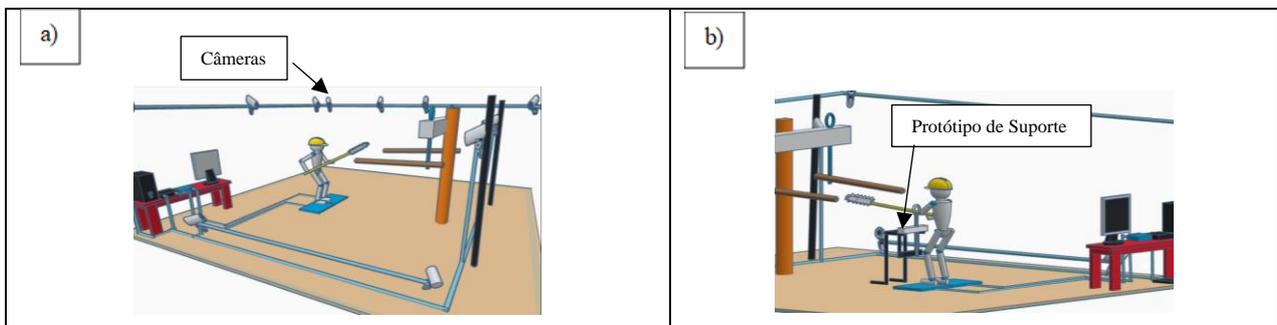


Figura1. Estrutura montada em laboratório para ser utilizada na simulação da atividade de poda de vegetação.

A coleta de dados foi dividida em dois momentos distintos. No primeiro momento, o ELV foi instruído a realizar os movimentos de poda de vegetação de acordo com sua rotina de trabalho de poda convencional (poda_Conv) iniciando o movimento de poda na parte inferior do galho e avançando em direção à parte superior (Figura 2a). No segundo momento de coleta, o ELV realizou uma simulação da atividade de poda de vegetação semelhante à primeira coleta, porém, dessa vez, realizou os movimentos com o auxílio de um protótipo de suporte (poda_ProtSup) para motopoda hidráulica (Figura 2b). Durante a operação de poda de vegetação com a motopoda hidráulica, o ELV realizou cortes nos galhos em etapas, para que o galho fosse podado nas zonas de corte proximais e distais, com as zonas E1 e E2 (lado esquerdo do ELV) e D1 e D2 (lado direito). Cada zona de corte (15 cm de comprimento) consiste no local do galho a ser podado que foi devidamente identificado para uma padronização do local de corte e de fácil visualização. Ao longo da coleta, o ELV executou 11 séries de movimentos completos, simulando os movimentos de poda de vegetação tocando os galhos de baixo para cima e de cima para baixo, em 04 zonas pré-determinadas ao longo do galho, cada uma medindo 15 cm.

Para a coleta de dados, foi utilizado um sistema de captura de movimento (*Optitrack*) composto por 12 câmeras prime 17W, configuradas com uma taxa de aquisição de 200 Hz, para abranger toda a área de captura (Figura 2a;2b). O modelo de corpo inteiro utilizado foi proposto por (Leardini et al., 2011), para as orientações de membros superiores (Wu et al., 2002) e inferiores (Wu et al., 2005), seguindo a recomendação da Sociedade Internacional de Biomecânica (ISB) (Figura 2d).



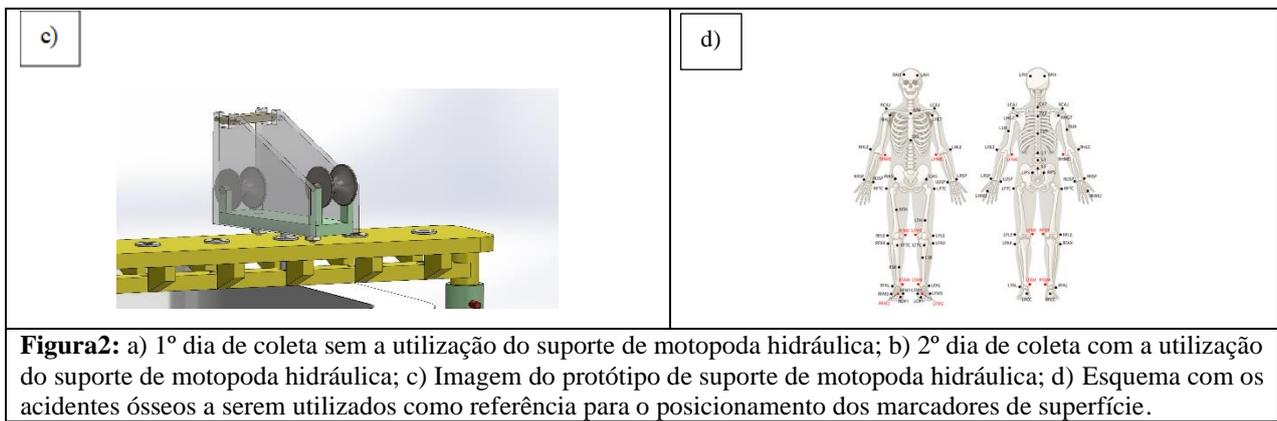


Figura2: a) 1º dia de coleta sem a utilização do suporte de motopoda hidráulica; b) 2º dia de coleta com a utilização do suporte de motopoda hidráulica; c) Imagem do protótipo de suporte de motopoda hidráulica; d) Esquema com os acidentes ósseos a serem utilizados como referência para o posicionamento dos marcadores de superfície.

O filtro digital Butterworth de 4ª ordem, com frequência de corte de 10 Hz, foi utilizado para o processo de suavização dos dados cinemáticos. O software Visual3D® foi utilizado para o cálculo das variáveis cinemáticas, enquanto os demais processamentos foram realizados no ambiente Matlab®.

A análise de *cluster* do presente estudo foi realizada utilizando o método *k-means* e o número de *clusters* foi definido pelo método de *silhouette* (Hair et al., 2005; Rousseeuw, 1987). O software RStudio (versão 4.1.2; RStudio Team, 2021) foi utilizado para a análise multivariada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 A tarefa de poda de vegetação

A tarefa de poda de vegetação consiste exatamente no corte de diferentes espécies vegetais que possam cruzar as redes de energia elétrica, prejudicando o seu funcionamento. Essa tarefa é realizada por ELV da companhia de energia elétrica e o mesmo utiliza uma motopoda hidráulica. Os ELV são operadores que atuam diretamente em redes energizadas, que lhes conferem riscos ainda maiores de choque elétrico e acidentes que podem ser fatais.

Em decorrência disso, é obrigatório o uso de diversos Equipamentos de Proteção Individual (EPI) como roupas especiais, botas, luvas e outros para a proteção dos riscos (Figura 3) pelos eletricitistas da companhia estudada.



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

O trabalho executado por esses eletricitistas sempre é realizado em duplas. O eletricitista executor é aquele que sobe no caminhão guindauto para realizar a operação de poda de vegetação. O segundo eletricitista atua no solo, observando a atividade realizada pelo executor e alertando sobre qualquer risco que possa emergir na operação.



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

Por meio das entrevistas realizadas de forma coletiva e individual com os ELV, identificou-se que a atividade confere alto grau de esforço físico. Primeiramente porque, em

termos de duração, essa é uma atividade que pode levar de 1 a 3 horas ou até dias, a depender da árvore.

Sobre os esforços físicos, os ELV relataram que estão associados a intensificação e repetição dos movimentos, dados que corroboram com o estudo de Moriguchi et al., (2009). Em relação aos ELV da pesquisa, esse fator incide em maior sobrecarga, principalmente em situações em que a empresa inclui a poda como atividade diária na programação semanal.

Para os ELV, os movimentos das mãos e braços são dificultados pelos EPIs utilizados, como espessura da luva e mangotes de proteção. Também relatam grandes esforços físicos em relação a movimentos com um braço estendido e outro flexionado, ou ambos estendidos ou ambos flexionados, acima do nível dos ombros e flexão de tronco. No momento da pesquisa, todos os ELV entrevistados mencionaram lesões e dores nos braços, antebraços, punhos, cotovelos e ombros associados à poda de vegetação, assim como também apontado por Gonçalves et al., (2021).

Adiciona-se a esse fator as implicações físicas para o corpo em decorrência da exposição constante a condições climáticas de alta temperatura, calor, umidade, vento e outros, potencializando a sobrecarga de trabalho (Traldi, 2022).

Embora exista um passo-padrão, como norma organizacional que descreve como a execução da tarefa deve ocorrer, identificou-se que as posturas adotadas pelos eletricitistas dão-se pelas variabilidades contextuais do trabalho, tais quais tipo de vegetação – galhos e troncos espessos, finos, mais longos ou mais curtos, alcance da vegetação, alcance do guindauto, presença de animais peçonhentos ou ninhos de pássaros, desnível do asfalto, potência da motopoda, outros. Dentro dessa análise do trabalho real (Guérin, et al., 2001), também é possível considerar as variabilidades humanas que se centram na idade do trabalhador, cansaço pela exposição aos fatores de sobrecarga, experiência e outros.

A pesquisa de Traldi et al., (2023) realizadas no setor elétrico apontam que a adaptação das posturas e da forma de execução do trabalho de ELV em trabalhos como esse, são fundamentais para a qualidade do trabalho e a preservação da saúde e da segurança.

3.2 Análise de cluster

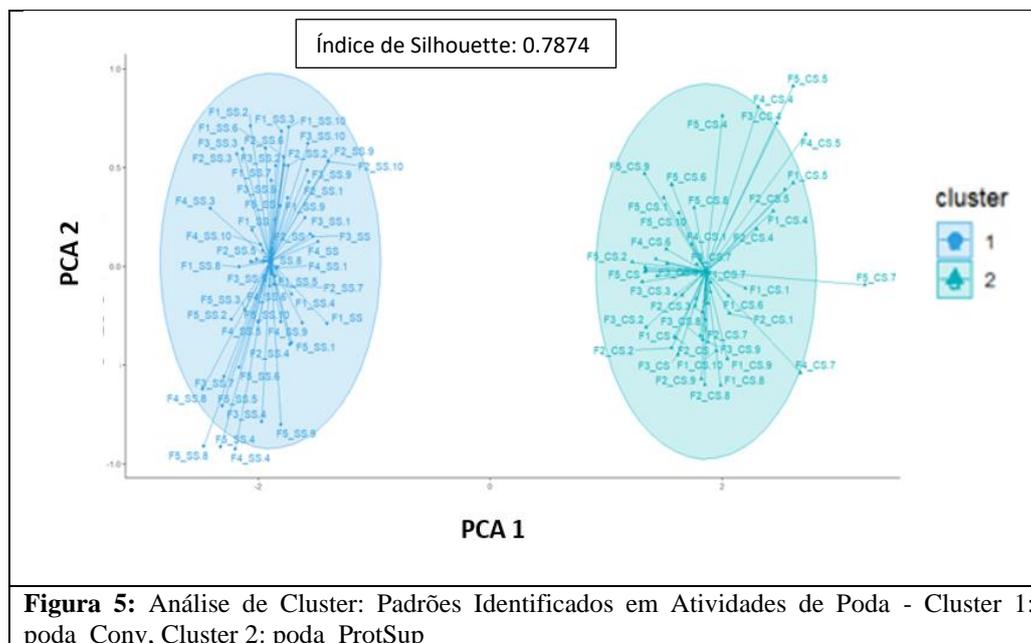
Os ELV relataram as dificuldades inerentes à atividade de poda de vegetação e as ocorrências de lesões diretamente relacionadas a esta atividade. No entanto, outras partes corporais podem ser bastante afetadas sem que se perceba uma relação direta considerando esta atividade. Neste contexto, os dados cinemáticos em especial sobre a articulação do pescoço apontaram uma influência importante ao utilizar o protótipo de suporte.

Ao realizar a análise de *cluster*, foram identificados dois *clusters* distintos. Estes *clusters* foram nomeados como *Cluster 1* e *Cluster 2* e a análise foi focada nos ângulos da articulação do pescoço no plano sagital.

Cluster 1: "poda_Conv" Este cluster reúne observações associadas à poda convencional com motopoda hidráulica. Os valores de ângulos agrupados neste cluster caracterizam-se pela execução da poda convencional. Estas observações apresentam características e comportamentos da poda convencional que se aproxima da poda convencional em situação real, conforme relato do próprio ELV.

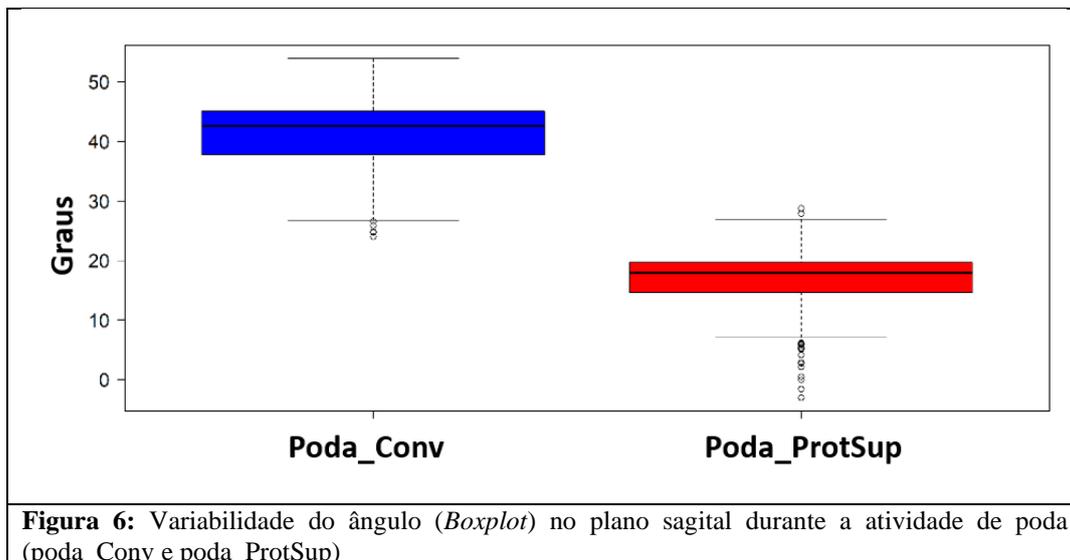
Cluster 2: "poda_ProtSup" Neste cluster, encontram-se agrupados valores de ângulos em que o protótipo de suporte foi empregado. As observações neste cluster apresentam características comuns que indicam a utilização do protótipo de suporte de motopoda hidráulica.

Com a aplicação da análise de *cluster*, a identificação destes dois *clusters* oferece uma abordagem para compreender tendências ou padrões diversos nos dados, associados à adoção ou não do protótipo de suporte. Esta análise assume um papel importante ao embasar decisões objetivas para a identificação de subgrupos distintos dentro da população em estudo (Figura 5).



A análise de *cluster* aplicada aos dados resultou na formação de dois *clusters* distintos, com um Índice de Silhouette de 0.7874. Este valor indica uma boa separação e compactação dos *clusters*, refletindo a semelhança das observações dentro de cada *cluster* e a dissimilaridade entre os *clusters*. O alto valor do Índice de *Silhouette* sugere que os dados foram agrupados de forma coerente e que a análise de *cluster* foi eficaz na identificação de padrões e estruturas nos dados. Esses resultados possibilitam uma compreensão mais profunda e refinada das relações e características presentes no conjunto de dados em estudo, contribuindo para futuras investigações e tomada de decisões embasadas nas descobertas obtidas através da análise de *cluster*.

Os resultados mostraram que ao utilizar o protótipo de suporte (poda_ProtSup), o ELV (a) realizou a atividade conforme o protocolo de poda e (b) durante este procedimento os valores de ângulos (figura 6) apresentaram-se menores em relação à poda convencional (poda_Conv). Com isto, considerando que a principal função do protótipo está em diminuir a carga do instrumento de poda, a maior permanência nestas condições ('a' e 'b') indicam que o ELV terá um menor desgaste físico, bem como a diminuição de ocorrências de lesão.



Verificou-se que valores de ângulo da articulação do pescoço (mediana, figura 6) na poda_Conv foi aproximadamente 147% maior do que os valores obtidos com a poda_ProtSup. Essa discrepância ressalta a importância do protótipo de suporte na redução dos ângulos da articulação do pescoço e destaca a sua relevância no contexto da ergonomia e segurança dos trabalhadores que utilizam motopodas hidráulicas. Os resultados deste estudo fornecem uma base sólida para a implementação de medidas preventivas e estratégias de intervenção visando a minimização dos riscos associados a posturas prejudiciais à saúde durante a operação de motopodas hidráulicas.

O estudo (Jacquier-Bret et al., 2023) empregou a técnica de análise de *cluster* para examinar posturas comuns durante sessões de massagem linfática executadas por profissionais de fisioterapia. Ao discernir distintas posturas com base em ângulos articulares, variações e frequência relativa, foi viabilizada uma avaliação ergonômica mais precisa, resultando na mitigação de potenciais problemas musculoesqueléticos. Os achados ressaltam a eficácia da análise de *cluster* na identificação de padrões e agrupamentos significativos, com aplicabilidade para otimizar as condições ergonômicas em cenários laborais.

Da mesma forma, outro estudo (Andersen et al., 2021) investigou os efeitos das exposições ergonômicas combinadas no desenvolvimento da dor musculoesquelética. Através da análise de *cluster* utilizando o *k-means*, os pesquisadores identificaram nove *clusters* com base em fatores ergonômicos e observaram que os *clusters* com altas exposições ergonômicas combinadas apresentavam maior intensidade de dor. A identificação destes *clusters* fornece uma maneira de compreender as diferentes tendências e padrões relacionados à utilização ou não do protótipo de suporte, contribuindo para a tomada de decisões mais robustas e para a identificação de grupos distintos dentro da população de interesse (Andersen et al., 2021). Assim, ressaltam a importância das exposições ocupacionais ergonômicas combinadas e destacam a necessidade de abordagens preventivas no local de trabalho. Esses resultados são consistentes com os achados do presente estudo, que identificou dois *clusters* distintos com base nos ângulos da articulação do pescoço durante a poda de vegetação, convencional e o com a utilização do protótipo de suporte.

No contexto de um outro estudo (Hu et al., 2022), foi realizado um exame dos padrões de restabelecimento do equilíbrio após deslizamentos, e sua ligação com a possibilidade de quedas resultantes desses escorregamentos. Utilizando a abordagem de análise de *cluster* hierárquico, os investigadores conseguiram discernir três padrões discretos de recuperação de equilíbrio, associados a diferentes níveis de risco de queda. Essas descobertas ampliam a compreensão dos

mecanismos subjacentes à recuperação de equilíbrio em cenários de escorregões, e têm potencial para informar a criação de estratégias de prevenção de quedas. (Hu et al., 2022).

De maneira similar, os resultados do presente trabalho evidenciam a existência de dois agrupamentos distintos com base nos ângulos da articulação do pescoço durante a atividade de poda de vegetação. Estes agrupamentos sugerem a presença de comportamentos e características variados, possivelmente relacionados à adoção ou não de um dispositivo de suporte em desenvolvimento. O emprego da análise de *cluster* neste contexto proporciona uma apreensão mais precisa das relações e traços intrínsecos aos dados, contribuindo para a identificação de padrões e estruturas pertinentes.

Do ponto de vista metodológico, a análise de *cluster* mostrou-se uma abordagem eficaz na identificação de padrões intrínsecos e grupos relevantes nos conjuntos de dados analisados, contribuindo para uma melhor compreensão dos fenômenos estudados e fornecendo percepções importantes para a prevenção de distúrbios musculoesqueléticos e a tomada de decisões embasadas. Em termos dos resultados o presente estudo apresentou dados que corroboram com os estudos da literatura, que utilizaram a análise de *cluster* em diferentes contextos, como a análise de posturas genéricas na massagem linfática e a investigação dos efeitos das exposições ergonômicas combinadas e dos padrões de recuperação de equilíbrio.

4. CONCLUSÃO

A tarefa de poda de vegetação, da forma como é realizada na companhia de energia elétrica estudada, apresenta impactos consideráveis para os ELV, sobretudo em termos de sobrecarga física pela frequência, intensidade e repetitividade como ocorre. A pesquisa apresenta como o trabalho real dos eletricitistas e as posturas e movimentos adotados por estes na execução do trabalho decorrem das variabilidades contextuais e humanas presentes nas situações de trabalho.

A análise de *cluster* revelou a existência de dois grupos distintos. Um composto por ações na poda_Conv e outro com a utilização do protótipo de suporte (poda_ProtSup). A identificação de *clusters* forneceu informações robustas sobre as tendências e padrões presentes nos dados, permitindo uma compreensão mais aprofundada das características e comportamentos relacionados à utilização do protótipo de suporte. Estas descobertas podem fundamentar o embasamento para medidas preventivas e estratégias de intervenção que visem minimizar os riscos associados a posturas prejudiciais à saúde durante a operação de motopodas hidráulicas. Assim, a análise de *cluster* utilizando o método K-means, com um Índice de Silhouette de 0.7874, confirmou a eficácia na identificação de padrões e estruturas nos dados, fornecendo uma base sólida para futuras investigações e tomada de decisões embasadas nos resultados obtidos.

Os resultados deste estudo tiveram foco nos valores de ângulos da articulação do pescoço (plano sagital), durante a poda de vegetação. Ao utilizar o protótipo de suporte (poda_ProtSup), os valores de ângulo apresentaram-se menores em relação à poda convencional apontando uma postura mais adequada e menor sobrecarga na articulação do pescoço. Esta constatação aponta aspectos positivos do protótipo de suporte do ponto de vista da biomecânica e da ergonomia visando a segurança dos trabalhadores que utilizam motopodas hidráulicas.²

² Agradecimentos: Agradecimentos ao P&D PA 3036: Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) - Financiamento ANEEL.

Referências

- 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 eletricista 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.