

Estado da publicação: O preprint não foi publicado em outro meio.

ANÁLISE ERGONÔMICA: AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DE MOVIMENTOS REPETITIVOS NO PROGRAMA KINOVEA. ESTUDO DE CASO COM OPERADORES DE CAIXA DE UMA REDE DE SUPERMERCADO NA CIDADE DE BELÉM - PARÁ/BRASIL

Michelle Nazaré Cunha; Eliane dos Santos da Silva, Rodrigo Antônio Pereira Júnior

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.12188>

Submetido em: 2025-06-09

Postado em: 2026-04-30 (versão 2)

(AAAA-MM-DD)

Justificativa da versão: Durante o processo de revisão interna, identificamos a necessidade de correções que aprimoraram a qualidade, clareza e precisão científica do trabalho.

Análise Ergonômica: Avaliação Biomecânica de Movimentos Repetitivos no Programa Kinovea - Estudo de Caso com Operadores de Caixa de uma Rede de Supermercado na Cidade de Belém - Pará/Brasil

Ergonomic Analysis: Biomechanical Evaluation of Repetitive Movements in the Kinovea Software - Case Study with Cashier of a Supermarket Chain in the Belém - Pará/Brazil

Michelle Nazaré Cunha 1

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Ananindeua, Pará, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9126-9573>

Eliane dos Santos da Silva 2

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Ananindeua, Pará, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9960-8312>

Rodrigo Antônio Pereira Júnior 3

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Ananindeua, Pará, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5931-7238>

Contato: michellenazarecunha@gmail.com

RESUMO

Promover a qualidade de vida, aliada à prevenção de doenças e acidentes no ambiente de trabalho é um dos propósitos da ergonomia. Nesse contexto, o operador de caixa exerce uma atividade laboral com alto índice de riscos ergonômicos devido as peculiaridades da função, relacionados principalmente às tarefas repetitivas e posturas inadequadas por longos períodos. Com base nesse cenário, realizou-se uma investigação, através da sistemática metodológica de cunho teórico-empírico, a respeito da avaliação ergonômica com foco na pesquisa biomecânica dos movimentos repetitivos de operadores de caixa de supermercado, para tal, a pesquisa foi pautada no estudo de caso em um supermercado na cidade de Belém - Pará/Brasil. Desse modo, o objetivo do trabalho estabeleceu-se na averiguação biomecânica dos movimentos repetitivos observados durante a realização de microtarefas requeridas no desempenho da atividade laboral. A investigação foi realizada através do programa Kinovea. Os resultados obtidos permitiram evidenciar as variáveis angulares, a partir do estudo cinemático das articulações do ombro, cotovelo e punho. Contribuindo assim para demonstrar os riscos e sugerir recomendações afim de

prevenir lesões a longo prazo, além disso, fornecendo fundamentação teórica sobre as condições de trabalho do grupo em estudo.

Palavras-chave: Avaliação Biomecânica, Movimentos Repetitivos, Riscos Ergonômicos, Operador de Caixa, Saúde e Segurança do Trabalho.

ABSTRACT

Promoting quality of life, combined with the prevention of diseases and accidents in the workplace, is one of the purposes of ergonomics. In this context, cashiers perform a work activity with a high rate of ergonomic risks due to injuries related mainly to repetitive tasks and exhausting postures for long periods. Based on this scenario, an investigation was carried out, through a systematic theoretical-empirical methodological approach, regarding the ergonomic evaluation with a focus on the biomechanical research of the repetitive movements of supermarket cashiers. For this purpose, the research was based on a case study in a supermarket in the city of Belém - Pará/Brazil. Thus, the objective of the localized work is the biomechanical investigation of the repetitive movements observed during the performance of microtasks required in the performance of the work activity. The investigation was carried out using the Kinovea program, and the results obtained allowed highlighting the angular variables from the cinematographic study of the shoulder, elbow and wrist joints. In this way, it contributes to demonstrating the risks and suggestions and recommendations in order to prevent long-term injuries, in addition, it provides theoretical basis on the working conditions of the group under study.

Keywords: Biomechanical Assessment; Repetitive Movements; Ergonomic Risks; Cashier; Occupational Safety and Health.

INTRODUÇÃO

O estudo acerca dos riscos ergonômicos no ambiente de trabalho desempenha um papel importante na identificação de condições que possam comprometer a saúde, a segurança e o desempenho dos trabalhadores. No Brasil a Norma Regulamentadora 17 (2022), estabelece as recomendações ergonômicas que visam adaptar as condições laborais de modo a promover conforto, eficiência e bem-estar do trabalhador (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2022).

Sanders e McCormick (1993), compreendem a definição de risco como a probabilidade ou chance de lesão ou morte, e no caso da conceituação de perigo como uma condição ou um conjunto de circunstâncias que têm o potencial de causar ou contribuir para uma lesão ou morte. Desse modo, a avaliação de riscos ergonômicos desempenha um papel importante na identificação de condições de trabalho que possam comprometer a saúde e a segurança do trabalhador.

A NR 17 visa adaptar as condições laborais às características físicas e cognitivas dos colaboradores, promovendo conforto, eficiência e bem-estar, sobretudo em ambientes de trabalho onde há evidências de exposição a fatores de risco que podem resultar em doenças ocupacionais ou em acidentes (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2022).

A proposta desta pesquisa tem como objetivo principal uma análise ergonômica do operador de caixa de supermercado, e como objetivos específicos investigar através do *software* Kinovea a biomecânica dos movimentos repetitivos, ações contínuas e estereotipadas, observados durante a realização de microtarefas requeridas no desempenho da atividade laboral, assim como evidenciar as mudanças muscoesqueléticas a partir do estudo cinemático das variáveis angulares em um estudo de caso com operadores de caixa de um supermercado na cidade de Belém-Pará/Brasil.

Contribuindo assim, para a reflexão dos resultados obtidos, fornecendo fundamentação teórica para investigações e recomendações na busca de melhorias das condições de trabalho, assegurando não apenas a conformidade legal, mas também a valorização do bem-estar humano no contexto organizacional.

MATERIAIS E MÉTODOS

Manzini (2011), tem a compreensão de que a pesquisa é pautada na dúvida, e a busca por respostas é constituída por meio da investigação, e essa apuração é realizada através de um processo desenvolvido por diversas etapas. O uso da fundamentação teórica foi baseado sobretudo em pesquisas bibliográficas, documental, estudos de caso e levantamentos de dados, que segundo Praia et al (2002) deve ser respaldado em material que fora elaborado como publicações de artigos científicos em periódicos acadêmicos.

Segundo Gil (2002), a observação é um procedimento metodológico de cunho teórico-empírico e a pesquisa de campo acaba sendo a forma mais adequada para conhecer a realidade, já que, de acordo com Fachin (2002), o pesquisador pode captar com precisão os aspectos essenciais e acidentais de um fenômeno no contexto de campo, tendo em vista que se caracteriza por uma mínima intervenção do mesmo na área de estudo.

Dessa forma, foi realizada visita técnica a uma filial de uma rede de supermercados na cidade de Belém-PA, para uma investigação científica *in loco*. Tal estudo foi pautado por meio da observação não participante, ou seja, foi realizado sem influência ou interferência na dinâmica da jornada de trabalho, a partir de uma visão externa do pesquisador acerca do comportamento natural dos acontecimentos.

Assim, foi possível uma pesquisa descritiva com levantamento de dados qualitativos obtidos através de filmagens e fotografias capturadas no local de trabalho do grupo exposição similar (GES), neste caso, os operadores de caixa de checkout de supermercado. Através das análises realizadas no *software* Kinovea, foi viável

quantificar o número de variáveis angulares dos movimentos ao longo do tempo em que as articulações foram sujeitas à sobrecarga.

PROTOCOLOS DE MEDIÇÃO NO PROGRAMA KINOVEA

O programa Kinovea (2023), possibilita medir e avaliar movimentos e ações executadas pelo corpo humano que dependem dos movimentos rotacionais produzidos pelas articulações, como observam Teixeira e Mota (2007). Tal como, permite mensurar os comportamentos angulares e variáveis cinemáticas, como o deslocamento angular, a velocidade e aceleração angular e a aceleração tangencial.

A versão do software utilizado nesta pesquisa foi o Kinovea-2023.1.2.exe. É uma ferramenta livre sob a licença GPL v2 (General Public License versão 2), com o código-fonte versionado usando git (Global Information Tracker) e hospedado no github. Os requisitos mínimos exigidos para uso é o sistema operacional Windows 7 a 11 com .NET 4.8 (Plataforma de código aberto para criação), CPU (Central Processing Unit) Intel ou AMD (Advanced Micro Devices), 64 bits (Binary digit) (x86-64) e resolução da tela 1024x600 pixels.

Importante ressaltar que o Kinovea não opera em computadores Mac com chips Apple Silicon (M1, M2, M3), mesmo por meio do Parallels Desktop. Os links para download .exe são instaladores e os links .zip são arquivos "portáteis" independentes.

Goethert (2001, 2003), estabelece que a mensuração de programas de software para tarefas específicas é importante para obtenção de resultados e resolução de diferentes problemas e a essência da coleta de dados deve ser direcionada a essa finalidade.

Araújo (2021) observa que uma investigação biomecânica durante a realização de tarefas é fundamental para evidenciar as mudanças muscoesqueléticas que variam de acordo com os ângulos do movimento e os ricos apresentados, portanto, a confiabilidade do software nesse tipo de análise foi um critério de escolha. Desta maneira, Puig-Divi (2019) em um estudo de validade e confiabilidade obteve resultados que sugerem o Kinovea como uma ferramenta válida, precisa e confiável.

Este estudo foi realizado a partir da captação de imagens dos operadores de caixa durante suas atividades laborais nas estações de trabalho. As características técnicas dos vídeos analisados foram de 720x1280 pixels HD (High Definition), H.264 (MPEG-4 Advanced Video Coding), 60 fps (frames por segundo).

Assim foi possível quantificar as variáveis dos movimentos ao longo do tempo em que as articulações foram sujeitas à sobrecarga em consequência de movimentos repetitivos dos ombros, cotovelos e punho, fornecendo um nível aceitável de precisão nas medições angulares e lineares obtidas por meio da digitalização de coordenadas dos eixos x e y, tal como a avaliação de postura, medindo o tempo de ciclo sincronizado com as atividades de trabalho, as velocidades e trajetórias.

ANÁLISE DA ESTAÇÃO DE TRABALHO DOS OPERADORES DE CAIXA

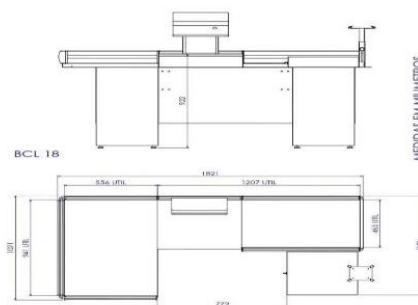
A Norma Regulamentadora 17 (2022) estabelece que os postos de trabalho devem ser ergonômicos e confortáveis e define requisitos mínimos para o mobiliário, a iluminação, a temperatura, a umidade e o conforto acústico. É importante ressaltar que para este estudo o foco da pesquisa foi delimitado no mobiliário que compõem as estações de trabalho dos operadores de caixa na frente de loja.

Segundo Maciukiewicz (2017), a padronização e requisitos devem ser atendidos a fim de evitar desconforto físico, já que qualquer desconformidade como a altura mais alta da estação de trabalho pode reduzir o esforço muscular do ombro, pois elevações mais baixas do braço seriam necessárias para levantar itens. Mas da mesma forma, a altura mais baixa reduz a distância total de elevação para mover itens da estação de trabalho, ou seja, dependendo do biotipo físico, poderá ser prejudicial ou não para o trabalhador.

Sluchak TJ (1992 apud ALGARNI, 2021, p.408), corrobora com esse entendimento quando afirma que os operadores de caixas de supermercado passam longas horas assumindo posturas relativamente estáticas, manuseando repetidamente de 500 a 1.000 itens/h de diferentes pesos e tamanhos.

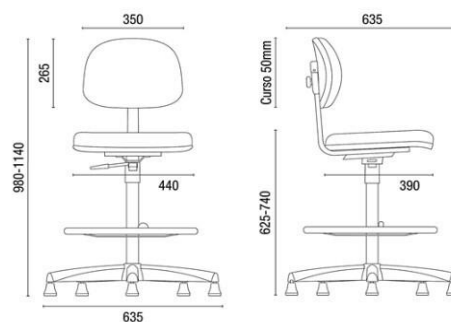
Nas Figuras 1 e 2, são apresentados os designs e especificações das cadeiras e dos balcões de checkout analisados no estudo de caso, são classificados como modelos padronizados nas linhas de fabricação das indústrias brasileiras e cumprem os critérios exigidos pela NR 17 e Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Figura 1 - Especificações técnicas do *checkout*.



Fonte: Innal (2025).

Figura 2 - Especificações das cadeiras.



Fonte: Cavaletti (2025)

Os equipamentos que compõem o espaço de trabalho do operador de caixa incluem um balcão (Figura 3), esteira (Figura 4), descanso para os pés (Figura 5), cadeira com encosto com regulação de altura e apoio de pés, scanner, leitor de código de barras, monitor, teclado, impressora de cupom fiscal, gaveta de dinheiro, máquina de transferência eletrônica de fundos, balança de checkout e nobreak.

Figura 3 - Balcão do caixa onde os produtos são embalados depois de registrados no caixa.



Figura 4 - Esteira interligada ao balcão de caixa por onde os produtos são dispostos pelos clientes para serem registrados.



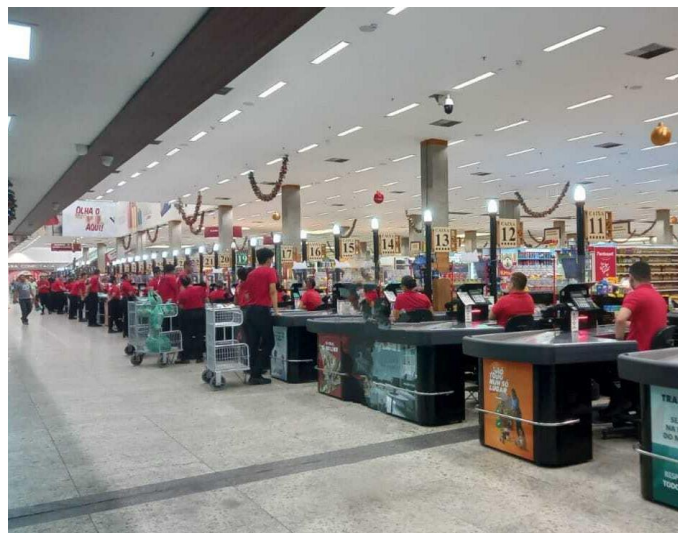
Figura 5 - Descanso para pés, com regulação de altura e inclinação.



Fonte: De autoria própria (2025).

Os itens listados obedecem aos parâmetros estabelecidos na legislação brasileira em relação aos requisitos mínimos de dimensões, estabilidade, resistência e conforto ergonômico. A Figura 6, mostra o layout padrão dos pontos de venda e as estações de trabalho, além disso, foi possível observar que a iluminação do ambiente estava distribuída de maneira homogênea e uniforme, adequada à atividade de trabalho interno, com lâmpadas de LED (Light Emitting Diode) de cores em tom branco azulado, sem variação de luz e presença de sombras no balcão de trabalho.

Figura 6 - Layout das estações de trabalho dos operadores de caixa.



Fonte: De autoria própria (2025).

Em relação ao ponto de vista antropométrico, no mínimo uma das alturas dos móveis e equipamentos deve ser regulável, a fim de facilitar a adaptação do posto a diferentes trabalhadores. Tendo em vista que o design ideal deve oferecer os mesmos meios de uso ou equivalente, além do que, devem ser de uso simples e com riscos mínimos, eficiente e confortável para uso de diferentes pessoas, apesar tamanho do corpo, postura ou mobilidade (The Principles of Universal Design, 2024). O layout dos pontos de venda das estações de trabalho analisados durante visita técnica, atendem a esses requisitos antropométricos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todo o processo de construção desta pesquisa permitiu comprovar diversas investigações a respeito da biomecânica e sua compreensão como uma ciência dedicada ao estudo físico-matemático de sistemas biológicos dos movimentos humanos. Desse ponto de vista, Hamill et al (2015) define movimento como uma mudança de lugar, posição ou postura em relação a um ponto no ambiente, assim como diferentes abordagens podem ser usadas para o estudo dessas mudanças através da observação e coleta de dados.

A abordagem utilizada neste estudo foi referente à análise dos movimentos repetitivos e as conseqüentes variações angulares exercidas pelas articulações e suas conseqüências na saúde e qualidade de vida dos operadores de caixa. Maciukiewicz (2017), faz uma observação a respeito da alta intensidade de carga de trabalho que combinada com vários outros fatores tendem a aumentar as demandas musculares. Como resultado da análise no software Kinovea, são exemplificados os registros de frames de vídeos dos movimentos e posturas que despertaram mais interesse devido a intensa repetição. A partir disso, foi realizada a pesquisa dos parâmetros cinemáticos das posições e amplitude de movimento na avaliação dinâmica dos movimento realizados.

As Figuras 7, 8 e 9 apresentam os resultados das avaliações posturais. Pode-se observar indivíduos de diferentes medidas antropométricas, em suas estações de trabalho padronizadas com modelos de cadeiras e balcões idênticos, mas adotaram posturas distintas, nas quais observa-se certo deslocamento no eixo de gravidade do corpo, resultando em pontos de sobrecarga dos músculos. As setas de cor laranja apontam áreas de fadiga da coluna cervical e torácica. De acordo com Megee (2010), a postura admitida como correta é a que produz o mínimo de estresse nas articulações do corpo em um dado momento.

Figura 7 - Avaliações posturais (Composta pelos frames de vídeo A, B e C).

Frame A - Postura com estresse nas regiões cervical e torácica. Frame B - Postura com sobrecarga nas regiões cervical, torácica e lombar. Frame C - Posição ereta, exige esforço mínimo da musculatura e ligamentos.



Fonte: De autoria própria (2025), obtida durante análise no *software* Kinovea.

Segundo Dangelo (2000), a articulação é definida como a conexão entre ossos ou cartilagens que permite que as partes do corpo se movimentem em resposta à contração muscular, portanto o estresse causado pelos movimentos repetitivos ao longo do tempo pode ocasionar lesões e danos permanentes.

A Figura 8 (composta pelos frames de vídeo D, E e F) mostram as variáveis angulares da articulação do ombro direito dentro da normalidade em uma amplitude de movimento que varia entre 180° de flexão, 60° de extensão. Mesmo dentro da normalidade, as atividades repetitivas com carregamento de diferentes cargas podem acarretar em problemas como sobrecarga e fadiga muscular, desgaste articular e lesões por esforço repetitivo.

Figura 8 - Variáveis angulares da articulação do ombro direito (Composta pelos frames D, E e F).

Frame D - Variável angular do ombro direito, 141,0°. Frame E - Variável angular do ombro direito, 119,9°. Frame F - Variável angular do ombro, 101,5°.



Fonte: De autoria própria (2025), obtida durante análise no *software* Kinovea.

Bjelle et al (1979), salienta que os maiores riscos enfrentados pelos operadores de caixa são referentes às posturas inadequadas ou estáticas, movimentos repetitivos, descanso mínimo e cargas manuais excessivas, o que contribui para o aumento das demandas musculares para o ombro e a parte inferior das costas. Pode-se observar como as imagens obtidas no software, Figura 9 (composta pelos frames de vídeo G, H e I), demonstram a variação angular de amplitude dos cotovelos esquerdo e direito durante a pega de produtos em movimentos de flexão, extensão e posição de descanso.

Figura 9 - Variação angular de amplitude, cotovelos esquerdo e direito (frames G, H e I).

Frame G - Variável angular cotovelo direito, 92,6°.

Frame H - Variável angular cotovelo direito, 73,6°.

Frame I - Variável angular cotovelo esquerdo, 104,7°.



Fonte: De autoria própria (2025), obtida durante análise no *software* Kinovea.

A variação angular do cotovelo direito (Frames G e H) é de aproximadamente 19° (92,6° - 73,6°), indicando uma amplitude de movimento moderada. O cotovelo esquerdo (Frame I) apresenta um ângulo de flexão maior (104,7°) em comparação com o cotovelo direito (92,6°), o que pode indicar uma assimetria no movimento ou uma adaptação para realizar a tarefa.

A importância da análise da variação angular ajuda a entender a biomecânica do movimento e identificar possíveis assimetrias ou sobrecargas articulares. A comparação entre os cotovelos esquerdo e direito pode indicar diferenças na forma como o trabalhador realiza a tarefa, o que pode ser útil para implementar ajustes ergonômicos ou treinamentos específicos.

Como os movimentos são realizados em um plano determinado e o eixo de movimento é perpendicular ao plano, do ponto de vista da cinemática angular das articulações, os resultados do estudo biomecânico de microtarefas expõe que a atividade repetitiva aliada ao levantamento de cargas de diferentes massas, ao longo do tempo podem ocasionar o desgaste articular. A Figura 10, composta pelos frames de vídeo J, K e L, apresenta a sequência angular do cotovelo direito após o registro dos produtos.

Figura 10 - Variação angular do cotovelo esquerdo (composta pelos frames de vídeo J, K e L).

Frame J - Variável angular cotovelo esquerdo, 84,3°.

Frame K - Variável angular cotovelo esquerdo, 108,9°.

Frame L - Variável angular cotovelo esquerdo, 135,6°.



Fonte: De autoria própria (2025), obtida durante análise no *software* Kinovea.

A análise da variação angular do cotovelo esquerdo é de 24,6° (108,9° - 84,3°) entre os Frames J e K e 26,7° (135,6° - 108,9°) entre os Frames K e L. A variação total é de 51,3° (135,6° - 84,3°) entre os Frames J e L. Essa compreensão ajuda a entender a biomecânica do movimento e identificar possíveis padrões de movimento.

A sequência de frames ilustra como o cotovelo esquerdo se move para realizar a tarefa após o registro dos produtos. A variação angular pode indicar a amplitude de movimento necessária para realizar a tarefa e possíveis sobrecargas articulares.

É relevante destacar os eventos biomecânicos observados a respeito das variáveis angulares da articulação radiocarpal do punho direito, o qual foi possível notar que se trata de um movimento extremamente repetitivo, originado durante o acionamento do botão da esteira que fica à frente do operador, abaixo do balcão.

Na Figura 11, composta pelos frames de vídeo M, N e O, constata-se as variáveis angulares obtidas durante este movimento. O ângulo ideal para reduzir o dano à saúde articular varia conforme a articulação e o tipo de movimento. No entanto, manter as articulações em posições neutras e evitar ângulos extremos pode ajudar a reduzir o estresse articular.

Figura 11 - Variação angular durante o acionamento do botão da esteira (frames M, N e O).

Frame M - Variável angular radiocarpal direita, 113,7°.

Frame N - Variável angular radiocarpal direita, 109,4°.

Frame O - Variável angular radiocarpal direita, 146,1°.



Fonte: De autoria própria (2025), obtida durante análise no *software* Kinovea.

Analisando a variação angular do punho direito é de $-4,3^{\circ}$ ($109,4^{\circ} - 113,7^{\circ}$) entre os Frames M e N (ligeira extensão), $36,7^{\circ}$ ($146,1^{\circ} - 109,4^{\circ}$) entre os Frames N e O (extensão mais acentuada). A variação total é de $32,4^{\circ}$ ($146,1^{\circ} - 113,7^{\circ}$) entre os Frames M e O.

A importância dessa análise se dá na compreensão de que manter as articulações em posições neutras e evitar ângulos extremos pode ajudar a reduzir o estresse articular. A extensão acentuada do punho (Frame O) pode aumentar o risco de lesões articulares e musculares. Além do que a análise da variação angular ajuda a identificar possíveis padrões de movimento que podem ser melhorados para reduzir o risco de lesões.

A variação dos ângulos de flexão e extensão do ombro e cotovelo, Figura 12 (composta pelos frames de vídeo P, Q e R) merecem destaque em uma análise cinemática aprofundada, pois são algumas das articulações mais utilizadas durante o movimento de pega dos produtos na esteira (ao lado direito do operador) para que sejam registrados no scanner e transferidos para o balcão de acondicionamento (ao lado esquerdo do operador).

Figura 12 - Variação dos ângulos de flexão e extensão do ombro e cotovelo (frames P, Q e R).

Frame P - Variáveis angulares ombro/cotovelo.

Frame Q - Variáveis angulares ombro/cotovelo.

Frame R - Variáveis angulares ombro/cotovelo.



Fonte: De autoria própria (2025), obtida durante análise no *software* Kinovea.

O ombro e o cotovelo são articulações fundamentais para o movimento de pega e transferência de objetos, a análise da variação angular dessas articulações ajuda a entender a biomecânica do movimento e identificar possíveis padrões de movimento que podem ser melhorados. O Frame P: Posição inicial do ombro e cotovelo, o Frame Q: Posição intermediária do ombro e cotovelo e o Frame R: Posição final do ombro e cotovelo.

A variação angular desse conjunto de imagens é importante para entender a amplitude de movimento necessária para realizar a tarefa, além de poder ajudar a identificar possíveis sobrecargas articulares ou padrões de movimento que podem ser melhorados.

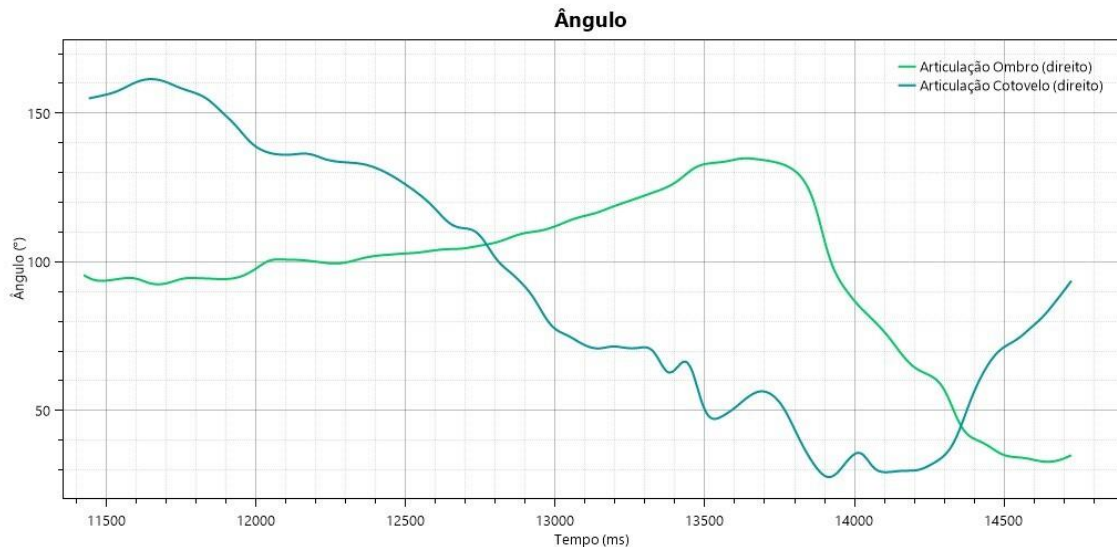
Analisando os dados cinemáticos é possível identificar padrões de movimento específicos e desenvolver estratégias para melhorar a biomecânica do movimento e reduzir o risco de lesões.

Na Figura 12, observa-se o conjunto de frames das microtarefas que compreendem os principais movimentos que são realizados de forma excessivamente repetitiva. Em vista disso mostrou-se necessário um estudo descritivo a partir do diagrama cinemático angular onde é possível observar os gráficos de linhas de todos os ângulos rastreados durante a atuação biomecânico das articulações do ombro e cotovelo direitos.

Portanto, os Gráficos de 1 a 6, são resultados dessas análises, onde é possível examinar e comparar o comportamento da progressão angular, a velocidade angular e a aceleração angular ao longo do tempo de execução desses movimentos. A partir dos dados rastreados nos vídeos, foram selecionadas algumas variáveis angulares das articulações do Ombro/Cotovelo (direitos) para elaboração da análise cinemática apresentadas a seguir.

O Gráfico 1 mostra as mudanças angulares das articulações (ombro, cotovelo e punho) ao longo do tempo durante o movimento de pega, observam-se a amplitude, ciclagem e a dinâmica dos movimentos repetitivos.

Gráfico 1 - Variáveis angulares das articulações do Ombro/Cotovelo (direito)



Fonte: De autoria própria (2025), obtido durante análise no *software* Kinovea.

Pode-se observar a amplitude, ou seja o quanto as articulações se movem (em graus), a ciclagem, que é a repetição dos movimentos ao longo do tempo, e a dinâmica que a forma como os movimentos são realizados (suaves ou bruscos).

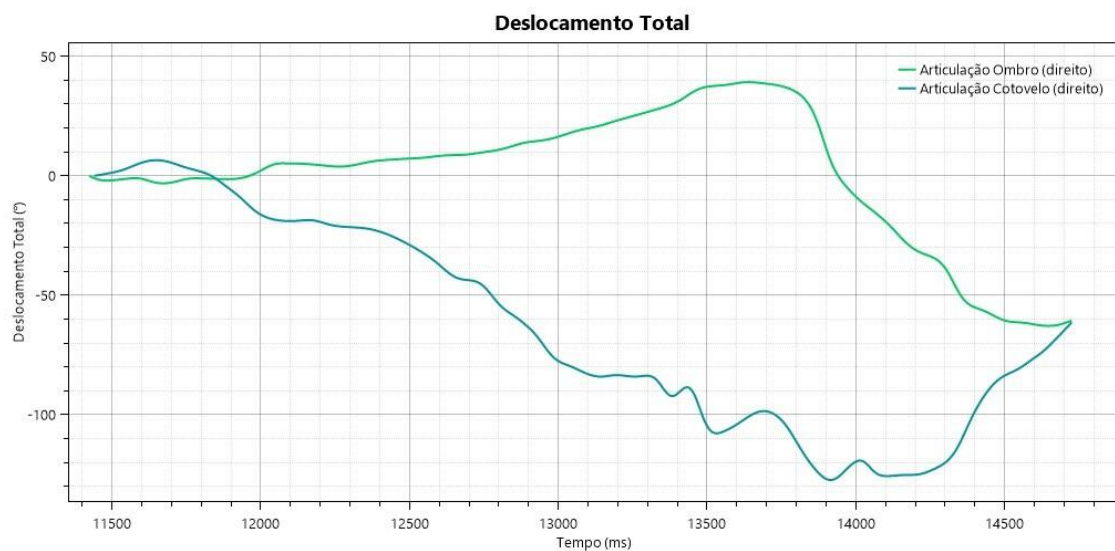
Esse gráfico ajuda a entender como as articulações se movem durante a tarefa, permite identificar possíveis problemas de movimento ou sobrecarga articular, além de ser útil para avaliar a eficiência e segurança do trabalho.

N prática, se o gráfico mostra uma grande amplitude de movimento no ombro, significa que o ombro está se movendo bastante durante a pega. Se a ciclagem é rápida, significa que os movimentos estão sendo repetidos rapidamente.

O Gráfico 2 - Deslocamento total, mostra a variação da distância inicial e final ao longo do tempo de execução dos movimentos. Em se tratando de cinemática, o que importa atentar nesta análise é a magnitude de deslocamento das variáveis angulares das articulações, isso é importante para entender como as articulações se movem, o quanto se movem (em graus), assim como, a variação entre a posição inicial e final.

O deslocamento angular ajuda a analisar a amplitude de movimento das articulações, identificar possíveis limitações ou excessos de movimento, além de avaliar a eficiência e segurança dos movimentos.

Gráfico 2 - Deslocamento total - Ombro/Cotovelo (direito).



Fonte: De autoria própria (2025), obtido durante análise no *software* Kinovea.

O gráfico mostra um grande deslocamento angular no ombro, isso significa que o ombro está se movendo bastante durante a atividade. Se esse movimento for excessivo, pode indicar sobrecarga ou risco de lesão, desse modo a análise da magnitude do deslocamento angular é importante para avaliar a saúde e a eficiência dos movimentos.

As linhas do gráfico se cruzam em alguns momentos, indicando que os movimentos do ombro e do cotovelo estão relacionados. No entanto, os movimentos são inversamente proporcionais: quando um aumenta, o outro diminui, quando o ombro está em 50° (flexão), o cotovelo está em -140° (extensão).

Isso sugere um padrão de movimento coordenado, onde o ombro e o cotovelo trabalham juntos, mas em direções opostas. Pode indicar um mecanismo de compensação ou sinergia entre as articulações para realizar o movimento. Esse padrão de movimento pode ser considerado normal ou indicar uma estratégia de movimento específica. Se for excessivo, pode levar a sobrecarga ou lesões em uma das articulações.

O movimento inversamente proporcional entre ombro e cotovelo é um padrão natural e eficiente para realizar certas atividades, como levantar um objeto.

A estratégia específica de movimento pode ser considerada uma forma particular de movimento adotada pela pessoa, dependendo da tarefa ou da biomecânica individual.

Se o movimento for excessivo ou desequilibrado, pode sobrecarregar uma das articulações (ombro ou cotovelo). Ou seja, se o ombro estiver fazendo mais esforço para compensar a limitação do cotovelo, pode haver risco de lesão no ombro.

De todo modo o padrão de movimento pode ser normal, mas depende do contexto e da intensidade, o importante é avaliar se o movimento está causando dor, desconforto ou risco de lesão.

O Gráfico 3 - Velocidade angular, apresenta o comportamento da velocidade angular em movimento circular ao longo do tempo, ou seja, mostra a rapidez dos movimentos e as mudanças de trajetória, é comparável à velocidade linear.

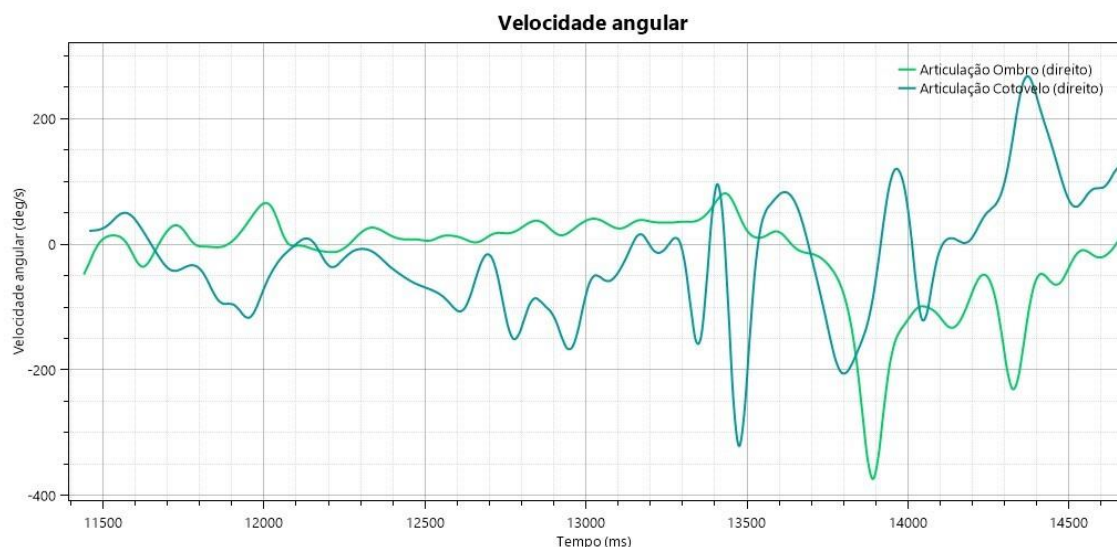
Esse gráfico indica o quão rápido as articulações estão se movendo e as mudanças de direção do movimento. A velocidade angular mostra a "velocidade" de rotação de uma articulação do ombro e cotovelo, além da medida em graus por segundo.

Fazendo uma comparação, a velocidade linear é a rapidez com que algo se move em linha reta, e a velocidade angular é a rapidez com que algo gira ou rotacional, como no movimento do ombro e do cotovelo.

Nesse contexto o Gráfico 3 mostra os picos altos que são os movimentos rápidos. Os picos baixos, que representam os movimentos lentos. E as mudanças de direção, que é representando quando a linha cruza o zero (inversão do movimento).

Essa análise é importante pois ajuda a entender a eficiência e coordenação dos movimentos, além da possibilidade de indicar sobrecarga se a velocidade for muito alta ou irregular. Pois, se o gráfico mostra picos altos de velocidade no ombro, significa que o ombro está se movendo muito rápido em certos momentos.

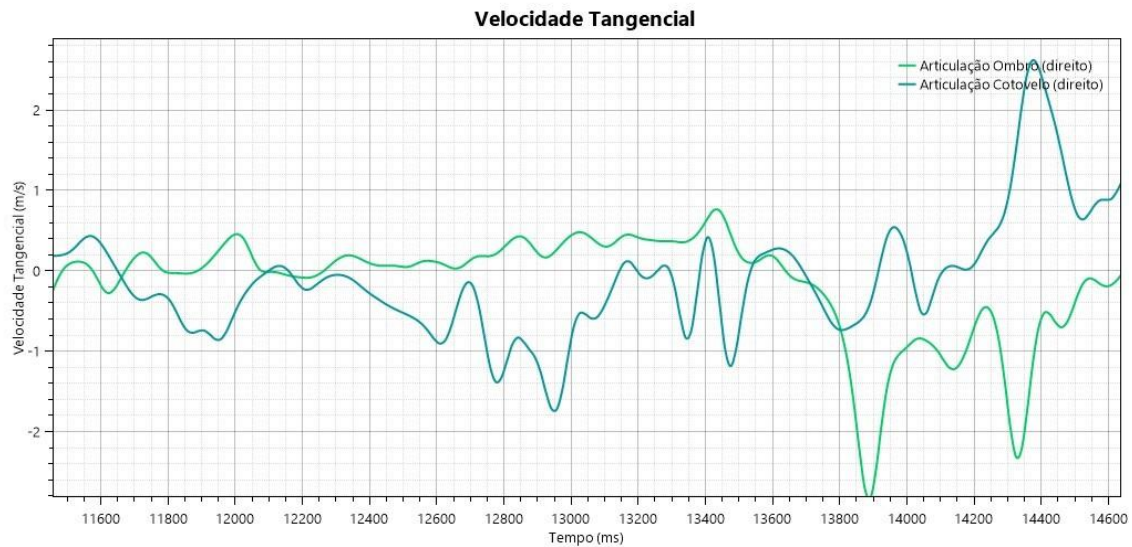
Gráfico 3 - Velocidade angular - Ombro/Cotovelo (direito).



Fonte: De autoria própria (2025), obtido durante análise no *software* Kinovea.

O Gráfico 4 - Velocidade tangencial das articulações (ombro e cotovelo) ao longo do tempo exhibe a variação da velocidade linear dos movimentos ao longo de uma trajetória circular. Em outras palavras, ele indica a velocidade linear de um ponto na articulação enquanto ela se move em uma trajetória circular. A velocidade tangencial é a velocidade de um ponto em uma trajetória circular, medida em metros por segundo (m/s). É "tangente" à trajetória, ou seja, na direção do movimento.

Gráfico 4 - Velocidade tangencial - Ombro/Cotovelo (direito).



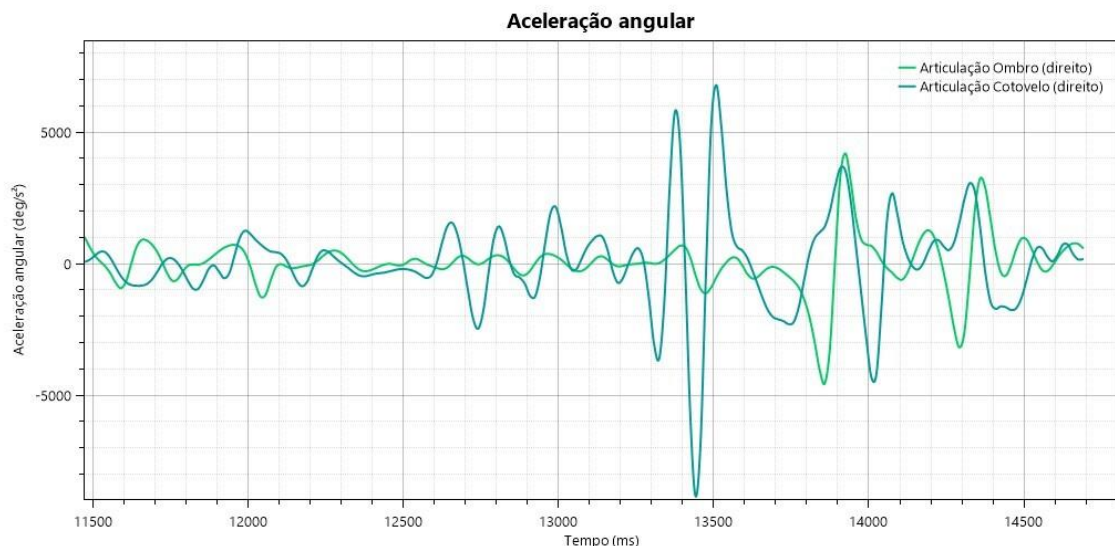
Fonte: De autoria própria (2025), obtido durante análise no *software* Kinovea.

Esse gráfico mostra a variação da velocidade linear ao longo do tempo, os picos altos que são os movimentos rápidos e os picos baixos que são os movimentos lentos, o que ajuda na compreensão para entender a eficiência e coordenação dos movimentos além de poder indicar sobrecarga se a velocidade for muito alta ou irregular. Ou seja, se o gráfico mostra picos altos de velocidade tangencial no cotovelo, significa que a mão está se movendo muito rápido em certos momentos.

A relação entre a velocidade tangencial e o movimento se dá no entendimento de que a velocidade tangencial depende da velocidade angular e da distância do ponto ao centro de rotação (exemplo: ombro) e movimentos rápidos e amplos geram velocidades tangenciais mais altas.

O Gráfico 5 - Aceleração angular, revela a variação da velocidade angular em relação ao tempo, nesse caso pode-se considerar um movimento circular uniformemente variável (MCUV), já que a velocidade angular varia e deve-se considerar a aceleração no movimento. Este gráfico mostra a aceleração angular das articulações (ombro e cotovelo) ao longo do tempo. Em outras palavras, ele indica como a velocidade angular está mudando (aumentando ou diminuindo), além da taxa de variação da velocidade angular. A aceleração angular é a medida de como a velocidade angular muda ao longo do tempo, é medida em graus por segundo ao quadrado ($^{\circ}/s^2$) ou radianos por segundo ao quadrado (rad/s^2).

Gráfico 5 - Aceleração angular - Ombro/Cotovelo (direito).



Fonte: De autoria própria (2025), obtido durante análise no *software* Kinovea.

O Gráfico 5 mostra os picos positivos, que ocorrem quando a velocidade angular está aumentando (acelerando), os picos negativos, que a velocidade angular está diminuindo (desacelerando) e o ponto zero, quando a velocidade angular é constante (não há aceleração). É importante, pois ajuda a entender as mudanças no movimento. Pode indicar forças aplicadas às articulações, além de ser útil para avaliar a coordenação e controle do movimento.

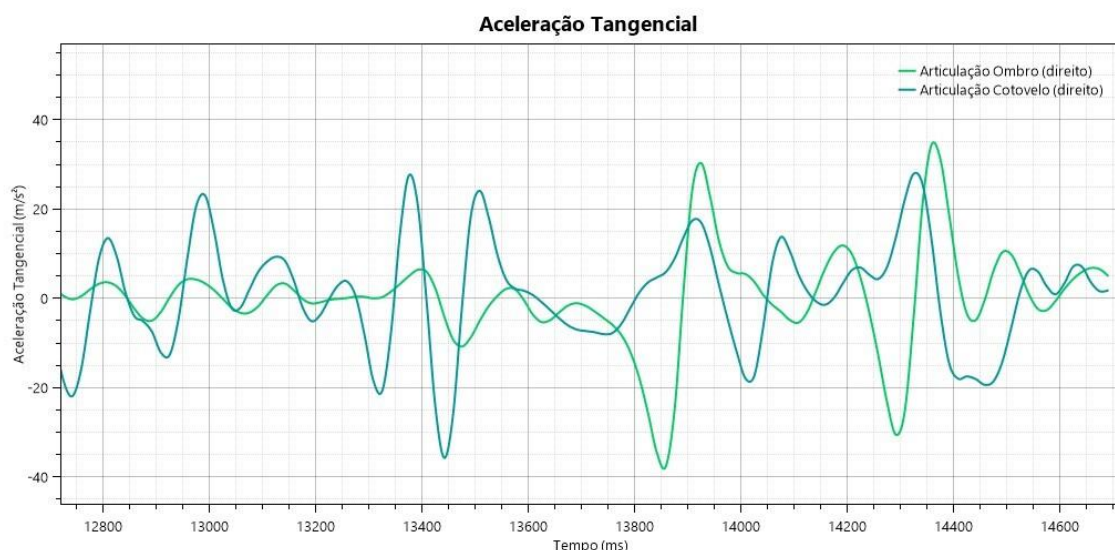
Exemplificando, se o gráfico mostra um pico positivo de aceleração angular no ombro, significa que o ombro está acelerando (aumentando a velocidade). A aceleração angular é importante para entender como as articulações mudam de direção ou velocidade, ela pode indicar sobrecarga se a aceleração for muito alta ou irregular.

O Gráfico 6 - Aceleração tangencial, demonstra as medidas de variação da velocidade dos movimentos ao longo de uma trajetória curvilínea, como ocorre as mudanças de velocidade do comportamento biomecânico das articulações ao longo do tempo em que o operador de caixa executa uma microtarefa.

Este gráfico mostra a aceleração tangencial das articulações (ombro e cotovelo) ao longo do tempo. Em outras palavras, ele indica como a velocidade linear (tangencial) está mudando ao longo da trajetória curvilínea e as mudanças na rapidez do movimento.

A aceleração tangencial é a medida de como a velocidade tangencial muda ao longo do tempo, é medida em metros por segundo ao quadrado (m/s^2).

Gráfico 6 - Aceleração tangencial - Ombro/Cotovelo (direito).



Fonte: De autoria própria (2025), obtido durante análise no *software* Kinovea.

O gráfico mostra os picos positivos, quando a velocidade tangencial está aumentando (acelerando), os picos negativos quando a velocidade tangencial está diminuindo (desacelerando), e o ponto zero, quando a velocidade tangencial é constante (não há aceleração).

Essa análise ajuda a entender as mudanças no movimento, pode indicar forças aplicadas às articulações, além de ser útil para avaliar a coordenação e controle do movimento. Na prática, se o gráfico mostra um pico positivo de aceleração tangencial no cotovelo, significa que a mão está acelerando (aumentando a velocidade).

Assim como a aceleração angular, a aceleração tangencial também é importante para entender como as articulações mudam de direção ou velocidade e pode indicar sobrecarga se a aceleração for muito alta ou irregular.

No Quadro 1 é apresentada a avaliação dos riscos ergonômicos biomecânicos com ênfase na análise cinemática dos principais movimentos angulares de caráter repetitivo durante a realização da atividade laboral do operador de caixa de supermercado.

Quadro 1 - Análise dos principais movimentos repetitivos identificados.

Articulações	Amplitude Movimentos	Amplitude Medida no Kinovea
Ombro	Flexão: 0-180° Extensão: 0-90° Abdução: 0-180° Adução: 0-40° Rotação interna/externa: 0-90°	Na análise do Gráfico 1, a flexão e a extensão do ombro direito apresentou uma variação média angular de 45°-93°- 96°-106°-135°. A média de variação da flexão e extensão do cotovelo direito ficou entre 35°-45°-106°-155°-161°. A média angular de flexão e extensão do punho observada foi entre 39°-107°-127°-145°.
Cotovelo	Extensão: 145°-0° Flexão Ativa: 130°-145° Flexão Passiva: 160°-165°	As amplitudes de movimento (ROM) analisadas estão com parâmetros dentro da normalidade. Como a amplitude de movimento é variável (depende das condições articulares, idade e sexo), um grau de amplitude diferente pode representar maior ou menor flexibilidade das articulações e requer investigação médica específica.
Punho	Flexão: 80°-90° Extensão: 70°-90°	

Fonte: Adaptado de HAMILL (2015).

Os resultados da análise cinemática indicam que as articulações do ombro, cotovelo e punho direitos apresentam amplitudes de movimento dentro da normalidade durante a execução da tarefa. Isso sugere que o operador de caixa está realizando os movimentos com uma boa mobilidade articular, o que é fundamental para a eficiência e segurança do trabalho.

No entanto, é importante destacar que a amplitude de movimento é uma variável individual e pode ser influenciada por fatores como idade, sexo, condições articulares prévias e nível de condicionamento físico. Portanto, embora os resultados estejam dentro da normalidade, é fundamental considerar a individualidade de cada trabalhador e realizar avaliações periódicas para monitorar a saúde articular e prevenir lesões.

Além disso, é recomendável que sejam implementadas medidas de prevenção e intervenção, como pausas regulares para alongamento e relaxamento, treinamento de força e flexibilidade para os músculos envolvidos, ajustes ergonômicos no posto de trabalho para reduzir a sobrecarga articular. Com essas medidas, é possível promover um ambiente de trabalho mais seguro e saudável para os operadores de caixa.

CONCLUSÃO

Com base nas observações biomecânicas e a partir da análise cinemática realizada no Kinovea, foi possível a identificação e mensuração de padrões de movimentos repetitivos executados, tal como a quantificação das variáveis angulares e a compreensão do comportamento das articulações através dos gráficos de variáveis angulares, velocidade, deslocamento e aceleração.

A duração média dos vídeos utilizados no software foi de 60s para análise dos movimentos, e o número de ciclos nesse período foi de 23 repetições de movimentos de flexão e extensão que envolvem toda a estrutura anatômica das articulações do ombro, braço, cotovelo e punho. Em 1h, no mesmo ritmo de trabalho, foi quantificado que o operador manuseia 1.380 itens, que equivale a mesma quantidade de ciclo de repetições de movimentos. De modo geral a atividade é de baixa complexidade mas extremamente repetitiva, em ritmo intenso e pressão por produtividade, com uma carga horária de trabalho de 8h/dia.

Apesar dos resultados sobre a amplitude das variáveis angulares dos movimentos estarem dentro dos parâmetros aceitáveis, esses fatores, aliados a ficar muito tempo sentado, posturas inadequadas, apoiar o cotovelo sobre uma superfície rígida, movimentos repetitivos contínuos, podem contribuir para distúrbios musculoesqueléticos (DME).

As análises dos resultados foram obtidas tomando como base o comportamento biomecânico das articulações e a análise cinemática das variáveis angulares, a avaliação foi realizada de maneira individual em cada microtarefa executada pelo operador de caixa, portanto, os resultados tendem a variar de acordo com as particularidades físicas, genéticas e condições de saúde de cada indivíduo.

A falta de procedimentos seguros que possam minimizar riscos biomecânicos é uma falha que pode ser corrigida através de treinamentos sobre ergonomia que visam a conscientização do trabalhador e a prevenção de doenças e lesões de cunho ocupacional, assim como campanhas de saúde e segurança com objetivo de capacitar a respeito da identificação e correção de fatores de riscos ergonômicos, como os cuidados em manter uma postura adequada durante as operações no balcão de caixa, movimentos repetitivos, pausas regulares pré-programadas, alongamentos nas áreas mais comprometidas, além de exercícios de fortalecimento das articulações a fim de atenuar o estresse muscular e diminuir os riscos de lesões.

REFERÊNCIAS

ALGARNI, Fahad Saad et al. Level of disability and associated factors with musculoskeletal disorders among supermarket cashiers. *International journal of occupational medicine and environmental health*. v. 35, n.4, p. 407-423, 2022.

ARAÚJO, Eloisa. Análise de confiabilidade de software na análise biomecânica: Revisão de literatura. *Ação Ergonômica*, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.1-11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4322/rae.v15n2.e202102>.

BJELLE, A. et al. Clinical and ergonomic factors in prolonged shoulder pain among industrial workers. *Scand J Work Environ Health*. Washington, v. 5, n. 3, p. 10-205, 1979. DOI: <https://doi.org/10.5271/sjweh.3094>.

CAVALETTI. Manual de Especificações Técnicas do Fabricante. Disponível em: <https://www.cavaletti.com.br/produtos/start/>. Acesso em: 1 mar. 2025.

DANGELO, J.G. Anatomia Humana Básica. São Paulo: Atheneu. 2000.

FACHIN, Odília. Fundamentos de Metodologia. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2002.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4ª ed., São Paulo, Atlas, 2002.

GOETHERT, W.; HAYES, W. Experiences in Implementing Measurements Programs. Pittsburgh: Carnegie Mellon University - Software Engineering Measurement and Analysis Initiative, 2001. Disponível em: <https://insights.sei.cmu.edu/library/experiences-in-implementing-measurement-programs/>. Acesso em: 18 dez. 2024.

GOETHERT, W.; FISCHER, M. Deriving Enterprise-Based Measures Using the Balanced Scorecard and Goal-Driven Measurement Techniques. Pittsburgh: Carnegie Mellon University - Software Engineering Measurement and Analysis Initiative, 2003. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA418401.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2024.

HAMILL, Joseph; et al. Biomechanical Basis of Human Movement. Wolters Kluwer Health, 4th edition, 2015.

INNAL. Manual de Especificações Técnicas do Fabricante. Disponível em: <https://innal.com.br/produtos/>. Acesso em: 1 mar. 2025.

KINOVEA. Kinovea.org 2023.1. Disponível em: <https://www.kinovea.org/>. Acesso em: 18 dez. 2024.

NCSU COLLEGE OF DESIGN. The Principles of Universal Design. Disponível em: <https://design.ncsu.edu/research/center-for-universal-design/>. Acesso em: 10 dez. 2024.

MACIUKIEWICZ, J. M.; et al. Characterization of cashier shoulder and low back muscle demands. *International Journal of Industrial Ergonomics*. v. 59, n. 2, p. 80-91, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2017.03.004>.

MAGEE, David J. Orthopedic Physical Assessment. 5 ed. Barueri: Manole, 2010.

MANZINI, E. J. Tipo de conhecimento sobre inclusão produzido pelas pesquisas. *Rev. Bras. Educ. Espec.*, Marília, v. 17, n 1. 2011. DOI: 10.1590/S1413-65382011000100005.

MINISTÉRIO DA SAÚDE - BRASIL. Dor relacionada ao trabalho: lesões por esforços repetitivos (LER): distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (Dort). Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2012.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Normas Regulamentadoras - NR. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>. Acesso em: 18 dez. 2024.

PRAIA, J. F; CACHAPUZ, A. F. C; PÉREZ, D. G. Problema, teoria e observação em ciência: para uma reorientação epistemológica da educação em ciência. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 8, n. 1, p. 127-145, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-73132002000100010>.

PUIG-DIVÍ, Albert et al. Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angles and distances using coordinates in 4 perspectives. *Plos One Journal*. v. 14, n. 6, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216448>.

SANDERS, M.S.; McCORMICK, E. J. *Human Factors in Engineering and Design*. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 1993. chap. 20, p. 655-695.

SLUCHAK, Thomas. J. *Ergonomics, Origins, Focus, and Implementation Considerations*. Sage Journals. 1992. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/epdf/10.1177/216507999204000302>. Acesso em: 18 dez. 2024.

TEIXEIRA, C.S. e MOTA, C.B. A biomecânica e a Educação Física. *EFDeportes Revista Digital*. Buenos Aires, v. 12, n. 113, 2007. Disponível em: <http://www.efdeportes.com/efd113/a-biomecanica-e-a-educacao-fisica.htm>. Acesso em: 2 mar. 2025.

TRABALHO E EMPREGO.GOV. Ministério do Trabalho e Emprego. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br>. Acesso em: 4 jan. 2025.

DECLARAÇÃO DE CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES:

1 - MICHELLE NAZARÉ CUNHA

E-mail: michellenazarecunha@gmail.com

Investigation ID: 2451924d-425e-4778-9f4c-36c848ca70c2

Methodology ID: f21e2be9-4e38-4ab7-8691-d6f72d5d5843

Formal analysis ID: 95394cbd-4dc8-4735-b589-7e5f9e622b3f

2 - ELIANE DOS SANTOS DA SILVA

E-mail: eliane.santos@ifpa.edu.br

Supervision ID: 0c8ca7d4-06ad-4527-9cea-a8801fcb8746

Conceptualization ID: 8b73531f-db56-4914-9502-4cc4d4d8ed73

3 - RODRIGO ANTÔNIO PEREIRA JÚNIOR

E-mail: rpereira.junior@ifpa.edu.br

Supervision ID: 0c8ca7d4-06ad-4527-9cea-a8801fcb8746

Conceptualization ID: 8b73531f-db56-4914-9502-4cc4d4d8ed73

DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSE: Os autores declaram que não há conflito de interesse.

DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE DADOS DA PESQUISA: Todo o conjunto de dados de apoio aos resultados deste estudo foi publicado no próprio artigo.

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA: Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas, não sendo necessárias as aprovações de comitês de ética de pesquisa.

Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.

O manuscrito está em processo de avaliação e sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito. Além disso, o autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.