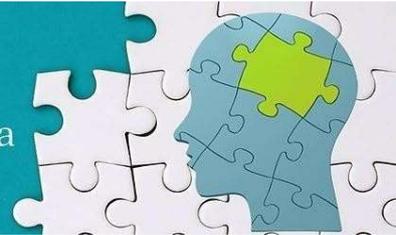




Ação Ergonômica

Revista da Associação Brasileira
de Ergonomia - ISSN 1519-7859



Mapeo de Herramientas de Evaluación Ergonómica

^{1*} Alison Alfred Klein; ² Maria Lucia Okimoto,

Universidade Federal de Paraná, Curitiba/PR - Brasil.

^{1*} Correo electrónico: alison.klein@ufpr.br

Resumen

Los ergonomistas utilizan instrumentos en su rutina diaria, a los que estos profesionales llaman herramientas de análisis. Cada uno de ellos tiene una base científica y un propósito específico. El objetivo de este estudio fue mapear las herramientas ergonómicas más citadas en la literatura científica, con el fin de detallar y diferenciar las principales características. Luego de realizar una revisión sistemática de la literatura con las palabras clave que indican el uso de herramientas y la evaluación de riesgos ergonómicos, se mapearon 82 herramientas, de las cuales los autores de este artículo seleccionaron las 10 más citadas y realizaron una investigación de sus principales características y funcionalidades. Se concluye que cada una de estas herramientas tiene su propósito específico, y la superposición de herramientas indica una falta de efectividad. Además, también observamos la gran influencia de los analistas (dependencia humana) en herramientas no tecnológicas, lo que indica que el uso de la tecnología aún no se aplica plenamente a la realidad laboral de forma integral.

Palabras clave: Herramientas ergonómicas, análisis de la postura de trabajo, trastornos musculoesqueléticos, evaluación de riesgos.

1. Introducción

En la actualidad, la evaluación de la interacción entre el ser humano y el trabajo es una de las principales tareas de los ergonomistas. Entendiendo que, en ergonomía, la postura y los movimientos de los trabajadores son la principal información que determina el riesgo de desarrollar lesiones musculoesqueléticas, estos profesionales utilizan herramientas para medir la exposición humana a las condiciones de trabajo (Vieira y Kumar, 2004).

Como se señala en el Anuario de Salud de Brasil 2018, publicado por el Ministerio de Salud, estas interacciones, cuando no son favorables para los humanos, pueden causar varios trastornos. El documento señala que, entre 2007 y 2016, se registraron 67.599 casos de Trastornos Musculoesqueléticos Relacionados con el Trabajo (MSDS). Además, destaca un crecimiento significativo de 3.212 casos en 2007 a 9.122 en 2016 (Brasil, 2019).

Se observa que las empresas, aun cumpliendo con la legislación, contratan a profesionales de la ergonomía para realizar el análisis de los puestos de trabajo y medir los riesgos existentes. Estos análisis ergonómicos del trabajo (AET) son básicamente evaluaciones de la tarea, la postura, los movimientos y las demandas físico-cognitivas del trabajador (Iida, 2005; Mascle y Vidal, 2011). El objetivo del presente estudio fue mapear las herramientas ergonómicas más citadas en la literatura científica, además de detallar y diferenciar las principales características de cada una de estas herramientas.

2. Contexto

La ergonomía probablemente comenzó a existir cuando el hombre prehistórico eligió alguna piedra que se adaptaba mejor a la forma y movimientos de su mano para usarla como arma, para cazar, cortar y triturar (Iida, 2005). Según Couto (1995 y 1998), la ergonomía evolucionó a partir de los esfuerzos del hombre por adaptar herramientas, armas y utensilios a sus necesidades y características. El término ergonomía se documentó por primera vez en Polonia en 1857, publicado por W. Jastrzebowski, pero no fue hasta el siglo siguiente que el concepto ganó terreno. Por lo tanto, el concepto actual de ergonomía surgió después de la Segunda Guerra Mundial como resultado del trabajo interdisciplinario realizado por profesionales como ingenieros, fisiólogos y psicólogos que fueron necesarios para las soluciones utilizadas durante la guerra para adaptar los equipos a los usuarios.

Wisner (1987) definió la ergonomía como "un conjunto de conocimientos científicos relacionados con el hombre necesarios para diseñar herramientas, máquinas y dispositivos que puedan utilizarse con el máximo confort, seguridad y eficacia".

Iida (2005) definió la ergonomía en el aspecto más amplio del trabajo como la adaptación del trabajo al hombre, que incluye todas las situaciones en las que se desarrolla la actividad productiva, considerando los aspectos físicos, cognitivos y organizacionales. El mismo autor amplía el debate citando el concepto de la Sociedad de Ergonomía de Inglaterra: "La ergonomía es el estudio de la relación entre el hombre y su trabajo, equipo, medio ambiente y, en particular, la aplicación de los conocimientos de anatomía, fisiología y psicología en la solución de problemas que surgen de esta relación".

Este artículo presenta datos recogidos en una investigación posicionada dentro de los estudios de la ergonomía física, que se ocupa de las características de la anatomía, antropometría, fisiología y biomecánica humanas, relacionadas con la actividad física. Los temas relevantes incluyen la postura en el trabajo, la manipulación de materiales, los movimientos repetitivos y los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo, utilizando herramientas que miden las exposiciones a las que están sometidos los trabajadores (Iida, 2005).

Para llevar a cabo el mapeo, los autores eligieron la metodología de Revisión Sistemática de la Literatura (RBS), citada por Levy y Ellis (2006) y adaptada por Conforto, Amaral y Silva (2011). Se trata de un proceso de recopilación, conocimiento, comprensión, análisis, síntesis y evaluación de un conjunto de artículos científicos con el propósito de crear un trasfondo teórico-científico (estado del arte) sobre un tema determinado, como se describe en la figura 1:

Figura 1 - Fases de la revisión sistemática de la literatura

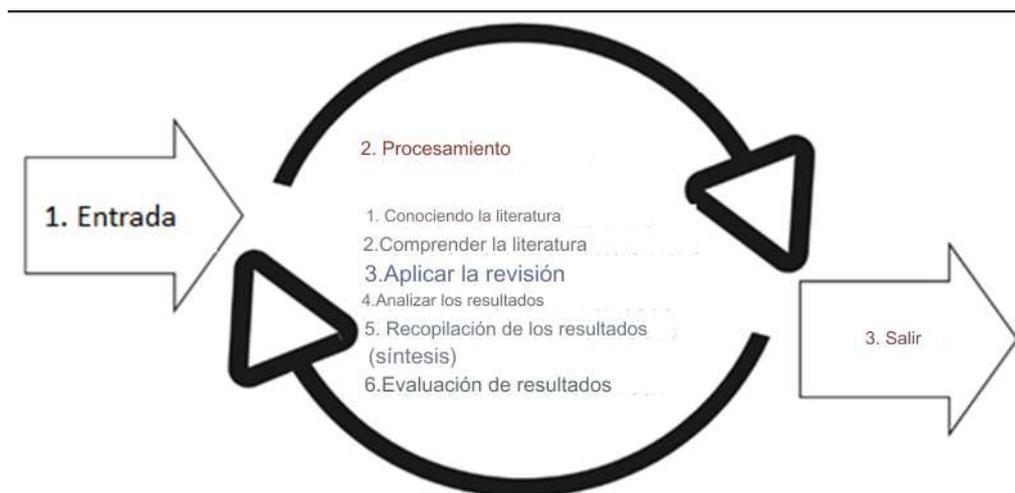
Fuente: Conforto, Amaral y Silva (2011).

3. Métodos

Desarrollamos este artículo inicialmente mediante la realización de una revisión de la literatura, seguida de un RBS, mapeando y describiendo las herramientas. Luego tabulamos los datos y describimos cada una de las 10 herramientas más citadas, incluidas las características, fortalezas y debilidades de las herramientas mapeadas.

La RBS se realizó utilizando el buscador de la web "periódicos.capes" (22 al 28/06/2020). Al utilizar el filtro de palabras clave "ergonomía", el sistema presentó 4.385 artículos y, con palabras clave adicionales (enumeradas en la Tabla 1), se aplicaron los siguientes criterios de selección: artículos revisados por pares, publicados en inglés, en revistas de todas las bases de datos del sitio y publicados en los últimos 5 años (2015-2020). El sistema proporcionó 610 artículos:

Tabla 1. Lista de cadenas y número de artículos localizados.



Instrumentos de cuerda	n
Ergonomía + postura de trabajo	25
Ergonomía + Trastornos musculoesqueléticos	271
Ergonomía + Análisis de la postura de trabajo	9
Ergonomía + Métodos de Evaluación de Riesgos	27
Ergonomía + Evaluación de Riesgos	137
Postura de trabajo + Trastornos musculoesqueléticos	12
Postura de Trabajo + Análisis de la Postura de Trabajo	30
Postura de Trabajo + Métodos de Evaluación de Riesgos	2
Postura de Trabajo + Evaluación de Riesgos	11
Trastornos musculoesqueléticos + Análisis de la postura laboral	5
Trastornos musculoesqueléticos + Métodos de evaluación de riesgos	12
Trastornos musculoesqueléticos + Evaluación de riesgos	60
Total	610

Fuente: Elaboración propia (2021)

En los siguientes pasos, se identificaron las herramientas utilizadas en cada artículo. La lectura de los artículos reveló que la mayoría de ellos no mencionan las herramientas utilizadas ni en el título ni en las palabras clave. Una pequeña parte de los artículos menciona esta información en el resumen, por lo que para identificar las herramientas aplicadas, fue necesario leer la metodología de cada artículo. Al seleccionar los artículos de acuerdo con las herramientas utilizadas, se enumeraron 82 herramientas, distribuidas en 220 artículos.

Luego de este paso, se contabilizó la frecuencia de citación de cada herramienta y se seleccionaron las 10 herramientas más citadas, correspondientes al 72% de las citas, indicando las siguientes herramientas que se muestran en la Tabla 2.

Los instrumentos seleccionados en este proceso fueron categorizados y analizados por los siguientes aspectos: Metodología de evaluación; Riesgos focalizados; Tareas aplicables; Precisión relacionada; Ventajas; Limitaciones; Estudio de campo versus estudio de laboratorio; Tipo de herramienta; Costos; Tiempo/trabajo.

Los resultados se presentan y discuten en el Capítulo 4.

Parte superior de la forma

Tabla 2. Listado de las principales herramientas identificadas.

	Herramienta de edición	n	%
	Evaluación		
1	NÓRDICO	45	14%
2	RULA	45	14%
3	REBA	34	10%
4	OWAS	26	8%
5	EMG	23	7%
6	Cinemática	17	5%
7	OCRA	14	4%
8	NIOSH	13	4%
9	IMU	11	3%
10	Índice de deformación	8	2%
	Total	236	72%

Fuente: Elaboración propia

4. Resultado y análisis

En la Tabla 3 se presentan los resultados encontrados, ordenados por año de publicación. Se puede observar una concentración de publicaciones en la década de 1990, debido a un conjunto de estudios que buscaron desarrollar una herramienta para estudiar y analizar los trastornos de fuerza repetitiva y musculoesqueléticos en este período.

Tabla 3. Listado de las principales herramientas identificadas y sus respectivos años de publicación.

Herramienta	Año de publicación	Referencia
EMG	1968	FAULKNER, 1968
OWAS	1977	KARHU y cols. , 1977
NIOSH	1981	NIOSH, 1981
NÓRDICO	1987	KUORINKA y cols. , 1987
RULA	1993	MCATAMNEY y CORLETT, 1993
Cinemática	1993	ROEBUCK, 1993
Índice de deformación	1995	MOORE y GARG, 1995
OCRA	1998	COLOMBINI, 1998
REBA	2000	HIGNETT y MCATAMNEY, 2000
IMU	2009	BREEN <i>et al.</i> , 2009

Fuente: Elaboración propia (2020)

A partir de los datos presentados en la Tabla 3, los autores mapearon las principales características y uso de las herramientas en las publicaciones encontradas:

5.1. Mapeo de referencias

EMG – Electromiografía de superficie

Los primeros registros encontrados durante la investigación actual se remontan a 1968 con la investigación de Faulkner "Electromiografía y el estudio del trabajo" en la Reunión Nacional del Instituto Americano de Ingeniería Industrial. En 1973, Khalil introdujo una nueva técnica para la evaluación de diseños industriales, basada en registros electromiográficos de los músculos implicados en la ejecución de la tarea prevista. Un circuito informático híbrido

cuantifica el esfuerzo muscular total gastado en la realización de la tarea industrial y selecciona el diseño que optimiza esta medición. La metodología ha demostrado ser eficaz para evaluar el esfuerzo asociado a las tareas estáticas y dinámicas, demostrando así que se puede aplicar en multitud de situaciones.

En salud ocupacional, el músculo trapecio superior (TS) generalmente se investiga mediante EMG de superficie porque es un músculo superficial y su actividad está influenciada por el dolor de cuello u hombro. La relación entre la EMG y la fuerza depende en gran medida del control muscular por parte del sistema nervioso central. Esto puede cambiar dependiendo del dolor muscular o la fatiga (Troiano et al., 2008).

La fatiga muscular consiste en fenómenos mioeléctricos y mecánicos, siendo los primeros precedentes de los segundos. La manifestación mioeléctrica de la fatiga incluye adaptaciones musculares "periféricas" y "centrales". Se han obtenido indicaciones interesantes de los estudios de EMG sobre la distribución del tipo de fibras musculares, la predicción del tiempo de resistencia (RT) y las condiciones patológicas. Para aumentar la fiabilidad de la información extraída del EMG, recientemente se han aplicado sistemas de detección (Troiano et al., 2008).

Los sensores EMG de superficie son los más adecuados para medir las fuerzas musculares en el lugar de trabajo sin interferir con los patrones de movimiento normales de un trabajador. Los equipos de monitorización EMG proporcionan datos centrados en un solo factor de riesgo, pero con un alto nivel de detalle. Además, varias métricas (media, picos, percentiles, exposición acumulativa, tasa de cambio) se pueden investigar a través de EMG, con la desventaja de ser una solución costosa en comparación con los métodos de observación tradicionales. La EMG se puede utilizar como una herramienta para evaluaciones no estándar. Considerando la evaluación EMG en el contexto de los métodos de puntuación estándar, se ha utilizado para complementar una versión modificada del sistema de puntuación RULA y como alternativa a la inspección visual según la escala BORG, ya que se demuestra que las dos evaluaciones están fuertemente correlacionadas (Peppoloni et al., 2016).

OWAS - (Sistema de Análisis de la Postura de Trabajo Ovako)

El método OWAS fue desarrollado en Finlandia entre 1974 y 1978 por los investigadores Karhu, Kansu y Kuorinka para ser utilizado por los ingenieros como parte de la rutina diaria o como una herramienta analítica separada. El método se basa en el muestreo de trabajo (muestreo a intervalos variables o constantes) y proporciona la frecuencia de tiempo dedicado a cada postura. Se clasifican las posturas y se evalúa su incomodidad para que se pueda construir una guía sistemática para la acción correctiva (Karhu et al., 1977).

Para evaluar cada postura desde el punto de vista del malestar causado y el efecto sobre la salud, se estableció un sistema de valoración para cada postura mediante un diseño esquemático. La escala de valoración de cuatro puntos empleada tenía los siguientes extremos: "postura normal sin molestias y sin efecto sobre la salud" y "postura extremadamente mala, la exposición breve conduce a molestias, posibles efectos nocivos para la salud". A partir de las puntuaciones de los trabajadores, se calculó una valoración media para cada postura y se estableció un orden de clasificación (Karhu et al., 1977).

Basado en lápiz y papel, el método de observación OWAS con un intervalo de muestreo de 25 segundos es fácil de usar y permite una evaluación rápida. El método OWAS se basa en la clasificación de diferentes posturas para la espalda (neutra, inclinada hacia adelante, torcida, doblada y torcida), brazos (ambos brazos por debajo de los hombros, un brazo por encima de los hombros, ambos brazos por encima de los hombros), piernas (sentado, de pie con ambas piernas extendidas, de pie con una pierna extendida, de pie con una rodilla flexionada, de pie con ambas rodillas flexionadas, arrodillado, caminando) y la fuerza/carga (menos de 10 kg, entre 10 y 20 kg, más de 20 kg) presente durante la tarea (Lasota, 2020).

El marco propuesto es fácil de entender y aplicar, y puede satisfacer plenamente las expectativas de los profesionales. Además, para garantizar una cierta calidad ergonómica en la fase de diseño, en el entorno virtual se puede utilizar el modelado digital humano y métodos como OWAS o RULA (Lasota, 2020).

El método OWAS tiene un alto grado de generalidad y una baja sensibilidad en relación con el manejo de cargas, no teniendo en cuenta aspectos como la vibración y el gasto energético. Propone el análisis de la postura sin considerar la región cervical, muñecas y antebrazos, volviéndose inviable cuando se asume la postura acostada. Para el análisis de la postura, la fuerza y la fase de trabajo, es necesario observar las muestras de actividades recogidas por filmación y observaciones directas y hacer estimaciones del tiempo durante el cual se ejercen las fuerzas y se asumen las posturas. Además, las fases seleccionadas para el análisis son aquellas que el observador considera de mayor relevancia para el trabajador, lo que le da al método una característica de subjetividad, ya que diferentes observadores considerarán diferentes fases (Souza; Rodrigues, 2006).

NIOSH – Instituto Nacional de Seguridad y Salud

El Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH, por sus siglas en inglés) desarrolló por primera vez una ecuación en 1981 para ayudar a los profesionales de la seguridad y la salud a evaluar las demandas de elevación del plano sagital (NIOSH, 1981). La ecuación de levantamiento fue ampliamente utilizada por los profesionales de la salud porque proporcionó un método empírico para calcular un límite de peso para el levantamiento manual. Se ha demostrado que este límite es útil para identificar estudios que representan un riesgo para el sistema musculoesquelético. Sin embargo, la ecuación de 1981 solo podía aplicarse a un número limitado de tareas de elevación, es decir, tareas de elevación sagital, por lo que la ecuación se revisó y amplió en 1991 (Waters et al., 1993).

La ecuación de elevación de 1991 refleja nuevos hallazgos, proporciona métodos para evaluar tareas de elevación asimétricas, objetos acoplados a mano, y ofrece nuevos procedimientos para evaluar una gama más amplia de duraciones y frecuencias de elevación que la ecuación anterior. El objetivo de ambas ecuaciones es prevenir o reducir la aparición de dolor lumbar relacionado con el trabajo pesado entre los trabajadores. El beneficio adicional de esta ecuación es el potencial para reducir otros trastornos musculoesqueléticos o lesiones asociadas con algunas tareas de levantamiento, como el dolor de hombro o brazo. Se utilizaron tres criterios (biomecánico, fisiológico y psicofísico) para definir los componentes de la ecuación original y revisada de la encuesta (Waters et al., 1993).

La ecuación de la encuesta es una herramienta especializada en la evaluación de riesgos. Como toda herramienta especializada, su aplicación se limita a las condiciones para las que fue diseñada. Específicamente, la ecuación topográfica está diseñada para cumplir con criterios seleccionados relacionados con la encuesta que cubren la biomecánica, la fisiología del trabajo y los datos psicofísicos. En la medida en que una tarea topográfica determinada refleje con precisión estas condiciones y criterios, esta ecuación topográfica puede aplicarse adecuadamente (Waters et al., 1993).

Limitaciones: La ecuación asume que las actividades de manipulación manual, aparte de la elevación, son mínimas y no requieren un gasto significativo de energía, especialmente cuando se realizan tareas repetitivas de elevación. No incluye factores de tarea para tener en cuenta condiciones imprevistas, como cargas inesperadamente pesadas, resbalones o caídas. No está diseñado para evaluar tareas que impliquen levantar con una sola mano, levantar sentado o arrodillado, levantar en un espacio de trabajo restringido, levantar personas, levantar objetos extremadamente calientes, fríos o contaminados, levantar barriles, excavar o levantar a alta velocidad. Supone que las tareas de elevación y descenso tienen el mismo nivel de riesgo (Waters et al., 1993).

En la versión revisada, la ecuación de NIOSH presenta el concepto del Límite de Peso Recomendado (LPR). Otras dos variables de tarea, la asimetría del tronco y el acoplamiento manual, se introdujeron en la ecuación revisada, además de la ubicación horizontal y vertical, la distancia de viaje, la frecuencia de la encuesta y la duración del trabajo de encuesta. Establece un nivel de seguridad y límite de carga en el manejo (Fox et al., 2019).

Cuestionario Nórdico

Desarrollada en 1987, esta herramienta utiliza cuestionarios estandarizados para el análisis de los síntomas musculoesqueléticos. Los cuestionarios constan de variantes estructuradas, forzadas, binarias o de opción múltiple y se pueden utilizar como cuestionarios autoadministrados o en entrevistas. Hay dos tipos de cuestionarios: un cuestionario general y un cuestionario específico que se centra en la parte baja de la espalda y el cuello/hombro. El objetivo del cuestionario general es una encuesta sencilla, mientras que los específicos permiten un análisis más profundo. Los dos objetivos principales de los cuestionarios son servir como herramientas en el cribado de los trastornos musculoesqueléticos en el contexto ergonómico y en los servicios de salud laboral. Los cuestionarios específicos se centran en las áreas anatómicas en las que los síntomas musculoesqueléticos son más comunes, investigan un análisis más exhaustivo de los síntomas respectivos y contienen preguntas sobre la duración de los síntomas a lo largo del tiempo (vida, últimos 12 meses y últimos 7 días) (Kuorinka et al., 1987).

Ventajas: Los cuestionarios pueden proporcionar medios para medir los resultados de los estudios epidemiológicos sobre los trastornos musculoesqueléticos; El cribado de los trastornos musculoesqueléticos puede servir como herramienta diagnóstica para analizar el entorno de trabajo, la estación de trabajo y el diseño de la herramienta; el servicio de salud ocupacional puede utilizar el cuestionario para diversos propósitos: para diagnosticar la deserción en el trabajo, para monitorear los efectos de las mejoras en el ambiente de trabajo, etc. (Kuorinka et al., 1987).

Desventajas: Las limitaciones generales de las técnicas de cuestionario también se aplican a estos cuestionarios estandarizados. La experiencia de la persona que rellena el cuestionario puede afectar a los resultados. Los trastornos musculoesqueléticos recientes y más graves tienden a recordarse más que los más antiguos y menos graves. El entorno y la situación de llenado en el momento del interrogatorio también pueden afectar a los resultados. Desde el punto de vista epidemiológico, es evidente que este tipo de cuestionario es más aplicable a estudios transversales con todas las limitaciones concomitantes (Kuorinka et al., 1987).

El "Cuestionario Nórdico Estandarizado" es un instrumento respetado internacionalmente diseñado para estandarizar estudios que evalúan quejas musculoesqueléticas, siendo validado para su aplicación en Brasil, fácil de entender y rápido de aplicar, ofreciendo así una confiabilidad sustancial (Barros; Alexandre, 2003).

RULA – Evaluación Rápida de las Extremidades Superiores

La herramienta RULA fue desarrollada en 1993 por McAtamney y Corlett. Su objetivo es conocer si los trabajadores están expuestos a factores de riesgo en las extremidades superiores durante el desempeño de sus tareas. El método evalúa tres factores: la postura de las diferentes zonas del cuerpo, la carga o fuerza ejercida y la actividad muscular (postura estática o movimientos repetitivos) (Gómez-Galán et al., 2020).

Parte del desarrollo tuvo lugar en la industria de la confección, donde se llevó a cabo una evaluación de los operadores que realizaban tareas que incluían pararse sobre un bloque de corte, mecanizado con una variedad de máquinas de coser, operaciones de corte, inspección y embalaje. RULA también se desarrolló evaluando las posturas adoptadas, las fuerzas requeridas y las acciones musculares de los operadores que trabajan en una variedad de tareas de fabricación donde los factores de riesgo asociados a los trastornos de las extremidades

superiores estaban presentes (McAtamney; Corlett, 1993).

Utiliza diagramas de postura corporal y tres tablas de puntuación para proporcionar una evaluación de la exposición a los factores de riesgo. Los factores de riesgo investigados son factores de carga externa, a saber: número de movimientos; trabajo muscular estático; fuerza; posturas de trabajo determinadas por el equipo y el mobiliario; tiempo trabajado sin interrupción. Recordando que muchos otros factores de riesgo están asociados con los trastornos de las extremidades superiores, incluidos los factores individuales, los factores laborales, los factores ambientales y las variables psicosociales (McAtamney; Corlett, 1993).

Algunas ventajas del método RULA incluyen ser un método confiable para su uso en tareas repetitivas, especialmente en las extremidades superiores; aplicable a trabajadores de ámbitos muy diversos; El evaluador no necesita experiencia para aplicarlo durante la fase de observación; es un método sencillo de usar y se puede aplicar con la ayuda de software (Gómez-Galán et al., 2020).

Gómez-Galán et al. (2020) trajeron una revisión con 226 artículos referidos a la aplicación del método RULA y se encontraron en áreas de trabajo muy diferentes, siendo comunes en sectores administrativos y con el uso diario del ordenador, pero también en la industria, en varios sectores, donde el método fue efectivo para aportar los resultados de los trastornos musculoesqueléticos encontrados. Además, el estudio muestra en 34 países donde se utilizó el método RULA, siendo Brasil el 6° lugar con mayor número de publicaciones.

Cinemática

Las técnicas de captura de movimiento se utilizan habitualmente en el análisis y la animación del movimiento, como en la rehabilitación, las ciencias del deporte o los estudios ergonómicos. En todos los casos, son necesarios criterios objetivos para evaluar el movimiento del paciente, deportista u operador de la máquina. En el campo de la ergonomía, la animación se utiliza para construir modelos digitales humanos, lo cual es muy útil para visualizar y evaluar las interacciones hombre-máquina, como la que existe entre el conductor y el automóvil. En ergonomía no solo es necesaria la visualización, sino también una validación científica de todo el proceso de captura (Monnier, 2004). Roebuck (1993) discutió la existencia de varios métodos de recolección indirecta a través de fotografías o videos. Para los estudios antropométricos con fotografías, se destaca la importancia del cuidado con el posicionamiento y orientación de la cámara. El uso de métodos observacionales, ópticos o magnéticos, así como de sensores inerciales portátiles, para capturar el movimiento de los trabajadores encuentra dificultades cuando se aplica en condiciones reales de trabajo. Requieren la colocación de sensores o marcadores en el cuerpo y la calibración del sistema y del maniquí, lo que no siempre es posible en condiciones reales de trabajo, ya que los sensores pueden ser incompatibles con las restricciones de seguridad y también pueden verse perturbados por el entorno electromagnético (Vignais et al., 2013; Battini et al., 2014; Plantanrd, 2016). El avance de la tecnología ha permitido que nuevos estudios presenten soluciones utilizando imágenes RGB y evaluación de poses de forma estimada, utilizando dispositivos como Kinect o inteligencia artificial (Diego-Mas y Alcaide-Marzal, 2014; Mehrizi et al., 2017; Mehrizi et al., 2018). Los problemas relacionados con estas dos técnicas surgen precisamente de la dificultad para construir modelos fiables (maniqués), lo que altera la precisión de las mediciones. Normalmente, un modelo de esqueleto consta de 15 a 30 articulaciones. A partir de estos esqueletos, se pueden calcular variables como la flexión/extensión/torsión de las partes del cuerpo (Plantanrd, 2016).

Índice de deformación

El Índice de Deformación (SI) fue desarrollado en 1995 por Moore y Garg. El objetivo de la metodología propuesta por el SI fue discriminar entre los empleos que exponen a los trabajadores a factores de riesgo musculoesqueléticos (variables de tarea) y los que no exponen a los trabajadores a factores de riesgo musculoesqueléticos (variables de tarea) que causar alteraciones en la extremidad superior distal. El Índice de Tensión intenta responder a la

pregunta "¿Es un trabajo específico peligroso o seguro?" en términos de la ocurrencia de morbilidad en el extremo superior distal entre los trabajadores que realizan o han realizado el trabajo (Moore y Garg, 1995).

El Strain Index es una metodología semicuantitativa de análisis de trabajo que da como resultado una puntuación numérica (puntuación SI) que se cree que se correlaciona con el riesgo de desarrollar trastornos en la extremidad superior distal. El índice se basa en las interacciones multiplicativas entre sus variables de tarea de acuerdo con principios fisiológicos, biomecánicos y epidemiológicos. La puntuación SI representa el producto de seis multiplicadores que corresponden a seis variables de la tarea. Estos son (1) intensidad del esfuerzo, (2) duración del esfuerzo, (3) esfuerzos por minuto, (4) postura de la mano/muñeca, (5) velocidad de trabajo y (6) duración de la tarea por día. Los autores determinaron que cada variable de la tarea se clasifica de acuerdo con cinco niveles (Moore y Garg, 1995).

La literatura fisiológica, biomecánica y epidemiológica sugiere que los aspectos de tensión de un trabajo son probablemente los contribuyentes más significativos a la aparición de trastornos distales de las extremidades superiores. El Índice de Deformación es una herramienta de evaluación de la exposición que los profesionales y el personal ergonómico pueden utilizar para evaluar sistemáticamente las demandas de tensión de un trabajo para predecir un mayor riesgo de morbilidad por trastornos en la extremidad superior distal (Moore y Garg, 1995).

La aplicación del Índice de Deformación implica la recopilación de datos, la asignación de valores de clasificación, la determinación de multiplicadores, el cálculo de la puntuación SI y la interpretación de los resultados. Un analista de trabajo o un equipo ergonómico debe recopilar datos para las seis variables de la tarea. La intensidad del esfuerzo, la postura de la muñeca y la velocidad del trabajo se estiman mediante descriptores verbales. El porcentaje de duración del esfuerzo por ciclo, esfuerzo por minuto y duración por día se basan en mediciones y recuentos. A continuación, se comparan los datos de cada variable y se les asigna una calificación de 1 a 5 (Moore y Garg, 1995).

Un método útil para analizar tareas y predecir el potencial de riesgo, esta puntuación se utiliza para clasificar la tarea en tres categorías: tareas probablemente seguras (<3); tareas asociadas con el riesgo de trastornos en la extremidad superior distal (>5) y tareas que probablemente sean peligrosas (≥ 7) (Valentim et al., 2018).

Desventajas: Se aplica solo en la zona distal de las extremidades superiores (mano, muñeca, antebrazo). Puede predecir un amplio espectro de trastornos de las extremidades superiores, incluidos los trastornos inespecíficos. Permite calcular el riesgo relativo de un puesto de trabajo y no el riesgo de exposición al que está sujeto un trabajador. La relación entre la exposición y los valores de los distintos multiplicadores no se basa en una relación matemática explícita definida a partir de respuestas fisiológicas, biomecánicas o clínicas (Pavani; Quelhas, 2006).

Acciones Repetitivas Ocupacionales (OCRA)

La herramienta OCRA fue publicada por Occhipinti y Colombini (1996). Estos investigadores desarrollaron el trabajo en la Unidad de Investigación de Postura y Movimiento Ergonómico (EPM) de la Clínica Del Lavoro en Milán, Italia. El OCRA evalúa y cuantifica los factores de riesgo presentes en la actividad laboral y establece, a través de un modelo de cálculo, un índice de exposición basado en la comparación entre las variables encontradas en la realidad laboral y lo que la herramienta recomienda como recomendado en el mismo entorno laboral (Colaco et al., 2015).

En esta herramienta, los factores de riesgo cuantificados son: duración del trabajo, frecuencia de las acciones técnicas realizadas, fuerza empleada por el operador, postura inadecuada de las extremidades superiores, repetitividad, falta de períodos de recuperación fisiológica y factores tales como: temperaturas extremas, vibraciones, uso de guantes,

compresiones mecánicas, uso de movimientos bruscos, precisión en el posicionamiento de objetos y la naturaleza del agarre de los objetos a manipular (Colaco et al., 2015).

Para obtener el Índice de Exposición (IE) de la herramienta OCRA, el número de Acciones Técnicas Observadas (ATO) se divide por el número de Acciones Técnicas Recomendadas (ATR). El resultado se compara con el índice de referencia de calificación de riesgo para determinar el nivel de acción que se debe tomar. Para cuantificar el ATO y el ATR, es necesario aplicar los criterios y procedimientos para determinar las variables para el cálculo. Para ello, se debe calcular la frecuencia constante de la acción técnica, el multiplicador para la fuerza, el multiplicador para la postura, el multiplicador para los estereotipos (repetitividad), el multiplicador para la presencia de factores complementarios, el multiplicador para el factor de los períodos de recuperación y el multiplicador para la duración total del trabajo repetitivo en el turno (Colaco et al., 2015).

El OCRA se divide en la lista de verificación y el índice de OCRA y se encuentran entre los métodos basados en la observación más populares a nivel internacional, estando incluidos como métodos de referencia en las normas ISO (ISO 11228-3, 2007) y CEN (EN 1005-5: 2007) para la evaluación de riesgos en el extremo superior de las acciones repetitivas. Los métodos incluyen factores de riesgo basados en el tiempo, como la recuperación y la frecuencia, y suelen ser más completos que la mayoría de los otros métodos. Además, la puntuación final de riesgo, que predice el riesgo de desarrollar trastornos musculoesqueléticos, se basa en investigaciones epidemiológicas (Rhén; Forsman, 2020).

REBA – Evaluación de todo el cuerpo con Rappid

La herramienta REBA fue creada en el año 2000 por Hignett y McAtamney, con el objetivo de desarrollar un sistema de análisis postural sensible a los riesgos musculoesqueléticos en diversas tareas. Divide el cuerpo en segmentos para ser codificados individualmente, con referencia a los planos de movimiento. Además, proporciona un sistema de puntuación de la actividad muscular causada por posturas estáticas, dinámicas, cambiantes o inestables, lo que refleja la importancia del acoplamiento en el manejo de la carga, que no siempre se puede hacer con las manos. REBA también ofrece un nivel de actuación con indicación de urgencia y requiere un equipamiento mínimo, siendo un método sencillo con lápiz y papel (Hignett; Mcatamney, 2000).

REBA se desarrolló para abordar la necesidad percibida de una herramienta de campo práctica, diseñada específicamente para ser sensible al tipo de posturas de trabajo impredecibles que se encuentran en la atención médica y otros sectores de servicios (Hignett; Mcatamney, 2000).

Cuenta con un sistema de análisis postural sensible a los riesgos musculoesqueléticos en una variedad de tareas, especialmente para evaluar las posturas de trabajo que se encuentran en el cuidado de la salud y otros sectores de servicios. El sistema de clasificación de la postura, que incluye brazos, antebrazos, muñecas, tronco, cuello y piernas, se basó en los diagramas de partes del cuerpo del método RULA.

La herramienta refleja el alcance de las cargas/fuerzas externas ejercidas, la actividad muscular causada por posturas estáticas, dinámicas, cambiantes o inestables, y el efecto de acoplamiento. A diferencia de OWAS y RULA, esta técnica proporciona cinco niveles de acción para evaluar el nivel de acciones correctivas (Kee, 2020).

REBA evalúa la postura y la fuerza/carga externa, así como los efectos de la postura estática y repetida. Además, REBA refleja los efectos del acoplamiento y la carga dinámica. OWAS no especifica las partes del cuerpo evaluadas, pero RULA y REBA evalúan solo el lado izquierdo o derecho a la vez. Las tres metodologías de observación están dotadas de 4 o 5 categorías o niveles de acción para decidir la categoría de riesgo (Kee, 2020).

REBA establece una simplificación en la recogida y análisis de datos posturales, siendo general y sensible al manejo de cargas, fácil de aplicar, lo que facilita la catalogación de la mayoría de las

posturas adoptadas por el trabajador, pero no considera aspectos como la vibración y el gasto energético (Souza; Rodrigues, 2006).

IMU – Unidad de Medición Inercial

El desarrollo de sensores de medición de movimiento inercial (acelerómetros), o IMU (Unidad de Medición Inercial), aparece inicialmente en la literatura para un sistema de biofeedback. Este sistema permite al usuario reaccionar y corregir el movimiento en una posición postural incorrecta. La adición de información visual proporciona información propioceptiva artificial sobre el ángulo craneovertebral. En un estudio pionero, seis participantes fueron evaluados durante 5 horas con y sin biorretroalimentación. Todos los participantes tuvieron una disminución significativa en el tiempo que pasaban en posturas incorrectas cuando usaban la biorretroalimentación (Breen et al., 2009).

Los desarrollos recientes en la tecnología de sensores ofrecen un potencial para el uso regular en la industria, en contraste con otros dispositivos de seguimiento, como las cámaras de telecampo o los sensores magnéticos, que son más efectivos en entornos virtuales. Por ejemplo, una unidad de medición inercial (IMU) es un dispositivo pequeño, rentable y de baja potencia adecuado para monitorear la cinemática de un segmento en tiempo real. Si se conectan varias unidades de medición inercial, se pueden desarrollar modelos biomecánicos para capturar una amplia gama de movimientos (Vignais et al., 2013).

Las unidades de medición inercial (IMU) se utilizan para reconstruir la postura de la extremidad superior humana. Al ser autónomas y no intrusivas, las IMU representan una alternativa sólida a los sistemas de seguimiento óptico clásicos. Además, el modelo incluye tres articulaciones de rotación para el hombro, dos para el codo y dos para la muñeca. No requiere la instalación de más instrumentación, como un sistema de cámaras. Para realizar el seguimiento del movimiento, el sistema utiliza sensores en el brazo, el pecho, el antebrazo y la mano. El estado del modelo, es decir, los ángulos de las articulaciones, las velocidades angulares y las aceleraciones angulares, se estima a partir de las mediciones procedentes de los sensores de la IMU (Peppoloni et al., 2016).

5.2. Estudio comparativo

En la Tabla 4 se muestran las principales herramientas ordenadas por el volumen de publicaciones encontradas, siendo la herramienta NORDIC la más utilizada en las publicaciones, a nuestro entender por su fácil aplicación, seguida de las herramientas RULA, REBA y OWAS. Otro punto que explicaría la elección es la aplicación, que es la evaluación de las dolencias musculoesqueléticas, especialmente en los miembros superiores. El hecho de que la herramienta OCRA no esté incluida en este primer grupo puede explicarse por la mayor complejidad de la herramienta, lo que hace que su uso sea menos interesante, ya que ofrece resultados similares, pero requiere más tiempo de análisis. La herramienta Índice de deformación ocupó el 10º lugar en la lista de publicaciones. Al analizar sus características, observamos que, si bien es extremadamente sencillo de usar, su uso se reduce porque no se enfoca en ninguna queja específica, lo que dificulta el diagnóstico de la relación causal entre las quejas y las condiciones de trabajo. En cuanto al riesgo focalizado, en la Tabla 4 se observa que cuatro herramientas abordan el aspecto de la repetitividad, pero se alternan el área de observación y el aspecto observado. Por ejemplo, mientras que el OCRA se centra en contar los movimientos y los correlaciona con las posturas, el Strain Index evalúa el esfuerzo en sí, haciéndolo mucho más versátil y fácil de aplicar, pero su uso disminuye porque proporciona resultados con baja precisión.

Tabla 4. Listado de las principales herramientas detectadas y sus características.

Herramienta	Año de publicación Precisión	Referencia	Método de evaluación	Parte del cuerpo de riesgo focalizado	Laboratorio x Experiment o de campo	Instrumento	Costos	Hora		
NÓRDICO	1987	KUORINKA y cols., 1987	Entrevista o autosolicitud	DORT	Generales y específicos: lumbares, cervicales y hombros	Bajo	laboratorio = Estudio de campo	Cuestionario	Bajo	Medio
RULA	1993	MCATAMNEY y CORLETT, 1993	Observación	Trabajo repetitivo	Miembros superiores, tronco, cuello y Piernas	Bajo	laboratorio = Estudio de campo	forma	Bajo	Rápido
REBA	2000	HIGNETT y MCATAMNEY, 2000	Observación	Fuerza/carga, esfuerzo repetitivo y esfuerzo estático	los superiores, torso, cuello y piernas	Bajo	laboratorio = Estudio de campo	forma	Bajo	Rápido
OWAS	1977	KARHU et al., 1977	Observación	Postura, fuerza y carga	Torso, brazos y piernas	Bajo	laboratorio = Estudio de campo	forma	Bajo	Rápido
EMG	1968	FAULKNER, 1968	Bruscamente	Demanda muscular	total	Alto	laboratorio > Estudio de campo	electromiógrafo	Alto	que lleva mucho tiempo
Cinemática	1993	ROEBUCK, 1993	Bruscamente	movimiento	total	Alto	laboratorio > Estudio de campo	Cámaras de video	Alto	que lleva mucho tiempo
OCRA	1998	COLOMBINI, 1998	Observación	Esfuerzo repetitivo	MMSS (en inglés)	Medio	laboratorio = Estudio de campo	forma	Bajo	Medio
NIOSH	1981	NIOSH, 1981	Observación	Manejo de Carga	lumbar	Bajo	laboratorio = Estudio de campo	ecuación	Bajo	Medio
IMU	2009	BREEN et al., 2009	Bruscamente	Movimiento	total	Alto	laboratorio > Estudio de campo	Unidad de medición inercial	Alto	que consume Hora
Índice de deformación	1995	MOORE y GARG, 1995	Observación	Esfuerzo repetitivo	MMSS (en inglés)	Bajo	laboratorio = Estudio de campo	Forma de cámaras de video	Bajo	Rápido

Fuente: Elaboración propia (2020)

Al estudiar la precisión de los métodos, los autores observaron que solo con el uso de la tecnología es posible lograr una alta precisión, debido al grado de consistencia de las mediciones obtenidas con su media y se relaciona con la proximidad entre los valores obtenidos al repetir el proceso de medición (Monico et al, 2009), lo que no ocurre en los instrumentos que utilizan la observación del analista.

El aspecto de aplicación de cada una de las herramientas se eligió para diferenciar las herramientas entre su uso en el laboratorio versus en el estudio de campo. Observamos que algunas herramientas son más versátiles que otras, destacamos EMG, IMU y herramientas cinemáticas por ser menos versátiles. Se eligió esta diferenciación debido a la instrumentación de estas herramientas, todas las cuales tienen aspectos específicos de uso.

La EMG utiliza electrodos conectados al cuerpo del individuo que se está analizando, y los equipos más comunes utilizan cables conectados al equipo, comprometiendo así la movilidad. Otro aspecto es que no es posible utilizar estos cables en una aplicación de campo, como una actividad con máquinas o incluso a lo largo de una línea de producción industrial.

Los instrumentos UMI también se conectan al cuerpo del individuo y generalmente no usan cables, lo que facilita su uso y los hace utilizables en ambas condiciones, pero debido al contacto con el individuo, creemos que son más interesantes para situaciones de laboratorio. Para realizar un estudio utilizando cinemática, el analista puede utilizar sistemas de cámaras sincronizadas e incluso dispositivos como Kinect de Microsoft. Cuando se utilizan cámaras, deben colocarse en lugares adecuados y su uso en entornos de trabajo, como la fabricación, se complica tanto por otros equipos que impiden la visión del individuo como por el espacio requerido para proporcionar la distancia que las cámaras necesitan para enfocar las áreas de interés.

Tabla 5. Comparación de la dependencia humana

Herramienta cuerpo	Método de evaluación	Riesgo focalizado	Parte del	Dependencia humana
NÓRDICO	Entrevista o autoinscripción	DORT	Generales y específicos: lumbares, cervicales y hombros.	Alto
RULA	Observacional	Esfuerzo repetitivo	Miembros superiores, tronco, cuello y patas.	Alto
REBA	Observacional	Fuerza/carga, esfuerzo repetitivo y esfuerzo estático.	MMSS, tronco, cuello y patas.	Alto
OWAS	Observacional	Postura, fuerza y carga. Parte superior de la forma	Torso, brazos y piernas.	Alto
EMG	Bruscamente	Demanda muscular	total	Medio
Cinemática	Bruscamente	Movimiento	total	Bajo
OCRA	Observacional observacional	Esfuerzo repetitivo	MMSS (en inglés)	Alto
NIOSH	Observacional	Manipulación de carga	lumbar	Alto
IMU	Bruscamente	Movimiento	total	Bajo
Índice de deformación	Observacional	Esfuerzo repetitivo	MMSS (en inglés)	Alto

Fuente: Elaboración propia. (2020)

La dificultad aumenta porque estos sistemas requieren que las marcas se fijen a la

articulaciones de referencia del individuo, y es imperativo que el individuo use ropa como malla de lycra. En cuanto al método de evaluación, observamos que las herramientas EMG e IMU son de medición directa, es decir, son las únicas de esta lista que evalúan directamente la variable que propusieron a través de la tecnología, a diferencia de las otras que miden riesgos o incluso consecuencias utilizando indicadores o marcadores indirectos.

La medición directa tiene la ventaja de requerir menos participación del observador, es decir, menos dependencia humana, como se muestra en la Tabla 5. Teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de cada herramienta, en la Tabla 6 se presentan los aspectos observados. Entre las ventajas está el hecho de que cada herramienta propone evaluar un determinado aspecto, lo que significa que cada una es más funcional para una condición específica. En cuanto a las desventajas, estas se refieren a la dificultad de aplicación (instrumentalización), la falta de precisión y el uso limitado de las tecnologías. Otro aspecto evidenciado es la limitación en la observación del cuerpo de las trabajadoras en su conjunto, con herramientas que se aplican más a ciertos miembros y no a otros.

Tabla 6. Comparación de ventajas y desventajas.

Herramienta	Ventajas	Desventajas
NÓRDICO	Herramienta de diagnóstico para analizar el ambiente de trabajo; Para diagnosticar el desgaste en el entorno de trabajo, supervise mejoras en el entorno laboral y para estudios epidemiológicos sobre trastornos musculoesqueléticos.	La experiencia de la persona que rellena el cuestionario puede afectar a los resultados. Trastornos musculoesqueléticos plus Los recientes y graves tienden a ser recordados más que los mayores y menos graves. El entorno y la situación durante el llenado también pueden influir en los resultados.
RULA	Fácil de aplicar, es adecuado para el cribado.	Las desventajas del método RULA incluyen un alto riesgo de empleos no permanentes; los lados izquierdo y derecho del cuerpo se evalúan de forma independiente; no tiene en cuenta la Tiempo que tarda el trabajador en realizar la tarea.
REBA	Simplificación en la recogida y análisis de datos posturales, ya que son generales y sensibles a la manipulación de cargas, y de fácil aplicación, lo que facilita la catalogación de la mayoría de las posturas adoptadas por el trabajador.	Los lados izquierdo y derecho del cuerpo se evalúan de forma independiente, y el método no tiene en cuenta aspectos como la vibración y el gasto energético.
OWAS	Fácil de entender y aplicar, capaz de cumplir plenamente con los requisitos expectativas de los profesionales. Se puede utilizar para garantizar una cierta calidad ergonómica.	Generalista, tiene baja sensibilidad en relación con el manejo de carga, no Tiene en cuenta aspectos como la vibración y el gasto energético. Propone el análisis de la postura sin considerar la región cervical, muñecas y antebrazos. Subjetivo, ya que diferentes observadores pueden considerar diferentes fases para análisis.
EMG	Evaluación del uso específico de la musculatura.	Difícil de instrumentar, solo funcional en el laboratorio.
Cinemática	Alta precisión, evalúa todos los movimientos.	Funcional solo en situaciones de laboratorio, requiere un ajuste y una preparación costosos.
OCRA	Estudio del número de movimientos repetitivos que pueden presentar riesgo de lesión en las extremidades superiores; Determinación cuantitativa de los índices de exposición al riesgo de lesiones en las extremidades superiores; Índice cuantitativo de exposición al riesgo de lesión en los miembros superiores, lo que permite determinar la priorización de los trabajos de mayor riesgo.	No analiza ni cuantifica la limitaciones organizativas y reglamentarias de la trabajo.
NIOSH	Herramienta especializada de evaluación de riesgos. El beneficio adicional de esta ecuación es el potencial para reducir otras formas de trastornos musculoesqueléticos o lesiones asociadas con algunas tareas musculoesqueléticas.	No incluye factores relacionados con la tarea para tener en cuenta condiciones imprevistas, como cargas pesadas inesperadas, resbalones o caídas. No está diseñado para evaluar tareas que impliquen elevación con una sola mano, elevación sentada o arrodillada, elevación en espacios de trabajo confinados, levantar personas, objetos extremadamente calientes, fríos o contaminados, o levantar a alta velocidad. Supone que las tareas de elevación y descenso
IMU	Permite el uso en campo y laboratorio, con medición de precisión de Ángulos.	Costo, medición por segmento.

Índice de deformación	Útil para analizar tareas y predecir el potencial de riesgo.	Esto permite calcular el riesgo relativo de un puesto de trabajo y no el riesgo de exposición al que está sujeto un trabajador. La relación entre la exposición y los valores de los distintos multiplicadores no se basa en una relación matemática definida sobre la base de las respuestas fisiológicas, biomecánicas o clínicas.
-----------------------	--	--

Fuente: Elaboración propia (2020)

6. Conclusión

Los profesionales de la ergonomía tienen a su disposición instrumentos que denominan herramientas ergonómicas para evaluar determinadas situaciones y cuantificar o calificar los riesgos, permitiendo así la toma de decisiones. En este estudio se destacaron 10 de las herramientas más citadas en la literatura, se describieron sus principales funcionalidades y características, se presentó su uso, sus ventajas y desventajas, y se dilucidaron algunas debilidades de cada una de ellas. Concluimos, entonces, que cada una de estas herramientas tiene su uso específico, y la superposición de herramientas indica una búsqueda de nuevos instrumentos. En las herramientas también se observó una gran influencia de los analistas (dependencia humana), sin el uso de la tecnología digital. Además, observamos que el uso de la tecnología digital aún es poco frecuente aplicado a la realidad laboral de manera integral.

7. Referencias

- Barros, E. N. C.; Alexandre, N. M. C. (2003). Cross-cultural adaptation of the Nordic musculoskeletal questionnaire. *International nursing review*, v. 50, n. 2, p. 101-108, <http://dx.doi.org/10.1046/j.1466-7657.2003.00188.x>
- Battini, D., Persona, A., Sgarbossa, F. (2014). Innovative real-time system to integrate ergonomic evaluations into warehouse design and management. *Comput. Ind. Eng.* 77 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.08.018>
- Brasil. (2019) Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância de Doenças e Agravos não Transmissíveis e Promoção da Saúde. Saúde Brasil 2018 uma análise de situação de saúde e das doenças e agravos crônicos: desafios e perspectivas / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância de Doenças e Agravos Não Transmissíveis e Promoção da Saúde – Brasília: Ministério da Saúde,. 424 p. : il.
- Breen, P. P.; Nisar, A.; Ólaighin, G. (2009). Evaluation of a single accelerometer based biofeedback system for real-time correction of neck posture in computer users. In: 2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE. p. 7269-7272.
- Colaco, G.A; Medeiros, I.D.M; Colaco, E.C.M; Galvao, G.O. (2015) Utilização da ferramenta OCRA para análise de risco em atividades a uma indústria calçadista do estado da Paraíba. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de produção, CE, Brasil, 13 a 16 de outubro de 2015.
- Colombini, D. (1998). An observational method for classifying exposure to repetitive movements of the upper limbs. *Ergonomics*, v. 41, n. 9, p. 1261-1289, <https://doi.org/10.1080/001401398186306>
- Conforto, E. C. ; Amaral, D.C. ; Silva, S.L. (2011). Roteiro para Revisão Bibliográfica Sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. In: 8o. Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CBGDP 2011, 2011, Porto Alegre-RS: Instituto de Gestão de Desenvolvimento de Produto.
- Couto, H. A. (1995). Ergonomia Aplicada ao Trabalho - O Manual Técnico da Máquina Humana. v.2 Belo Horizonte: Ergo. 383p. 117

- Couto, H. A. (1998). Ergonomia 4.0 - Dos Conceitos Básicos à 4ª Revolução Industrial. Belo Horizonte: Ergo. 383p. 117
- Couto, H. A. (2019). Como gerenciar a questão das L.E.R./D.O.R.T.: Lesões por esforços repetitivos, distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho. 2.ed. Belo Horizonte: Ergo, 760p.
- Diego-Mas, J.A., Alcaide-Marzal, J. (2014) Using Kinect sensor in observational methods for assessing postures at work. *Applied Ergonomics*. 45(4), 976–985. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.12.001>
- Dimate, A. E.; Rodríguez, D. C.; Rocha, A. I. (2017). Percepción de desórdenes musculoesqueléticos y aplicación del método RULA en diferentes sectores productivos: una revisión sistemática de la literatura. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, v. 49, n. 1, p. 57-74, <https://doi.org/10.18273/revsal.v49n1-2017006>
- Ding, Z., Li, W., Ogunbona, P., Qin, L. (2019). A real-time webcam-based method for assessing upper-body postures, *Machine Vision and Applications*, 30:833–850, 2019. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00138-019-01033-9>
- Faulkner, T. W. (1968) Eletromiografia e estudo do trabalho. Atas do Encontro Nacional da AIEE, 255 - 260 .
- Fox, R. et al. (2019) Understanding outcome metrics of the revised NIOSH lifting equation. *Applied ergonomics*, v. 81, p. 102897, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102897>
- Gómez-Galán, M. et al. (2020). Musculoskeletal risks: RULA bibliometric review. *International journal of environmental research and public health*, v. 17, n. 12, p. 4354, <https://dx.doi.org/10.3390%2Fijerph17124354>
- Hignett, S.; Mcatamney, L. (2000). Rapid entire body assessment (REBA). *Applied ergonomics*, v. 31, n. 2, p. 201-205, [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00039-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3)
- Khalil, T. M. (1973). An electromyographic methodology for the evaluation of industrial design. *Human factors*, v. 15, n. 3, p. 257-264, <https://doi.org/10.1177%2F001872087301500308>
- Karhu, O.; Kansil, P.; Kuorinka, I. (1977). Correcting working postures in industry: a practical method for analysis. *Applied ergonomics*, v. 8, n. 4, p. 199-201, [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(77\)90164-8](https://doi.org/10.1016/0003-6870(77)90164-8)
- Kee, D. (2020). An empirical comparison of OWAS, RULA and REBA based on self-reported discomfort. *International journal of occupational safety and ergonomics*, v. 26, n. 2, p. 285-295, <https://doi.org/10.1080/10803548.2019.1710933>
- Kuorinka, I. et al. (1987). Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied ergonomics*, v. 18, n. 3, p. 233-237. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(87\)90010-x](https://doi.org/10.1016/0003-6870(87)90010-x)
- Lasota, A.M. (2020). A New Approach to Ergonomic Physical Risk Evaluation in Multi-Purpose Workplaces. *Tehnički vjesnik*, v. 27, n. 2, p. 467 -474. <http://dx.doi.org/10.17559/TV-20180312131319>
- Lowe, B. D.; Dempsey, P. G.; Jones, E. M. (2019) Ergonomics assessment methods used by ergonomics professionals. *Applied ergonomics*, v. 81, p. 102882. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102882>
- Mcatamney, L.; Corlett, E. N. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied ergonomics*, v. 24, n. 2, p. 91-99. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(93\)90080-s](https://doi.org/10.1016/0003-6870(93)90080-s)
- Mehrizi, R., Xu, X., Zhang, S., Pavlovic, V., Metaxas, D., LI, K. (2017). Using a marker-less method for estimating l5/s1 moments during symmetrical lifting. *Applied Ergonomics*.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2017.01.007>

Mehrizi, R., Peng, X., Xu, X., Zhang, S., Metaxas, D., Li, K. (2018). A computer vision based method for 3D posture estimation of symmetrical lifting. *Journal Biomechanic*. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.01.012>

Mohammadipour, F. et al.(2018). Work-related musculoskeletal disorders in Iranian office workers: prevalence and risk factors. *Journal of Medicine and Life*, v. 11, n. 4, p. 328. <https://dx.doi.org/10.25122/jml-2018-0054>

Monico, J.F.G.; Dal Póz, A.P.; Galo, M.; Santos, M.C.; Oliveira, L.C. (2009). Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. *Boletim de Ciências Geodésicas*, Curitiba, v. 15, n.3, p. 469-483.

Monnier, G. (2004). Simulation de mouvements humains complexes et prediction de l'inconfort associé – Application à l'évaluation ergonomique du bouclage de la ceinture de sécurité. Tese de doutorado. Instituto Nacional de Ciências Aplicadas de Lyon - França. Lyon.

Moore, J.S; Garg, A. (1995). The strain index: a proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders. *American Industrial Hygiene Association Journal*, v. 56, n. 5, p. 443-458. <https://doi.org/10.1080/15428119591016863>

Niosh (1981). *Work Practices Guide for Manual Lifting*, DHHS (NIOSH) Pub. No. 81-122. U.S. Department of Health and Human Services, Cincinnati, OH.

Pavani, R. A.; Quelhas, O. L. G. (2006). A avaliação dos riscos ergonômicos como ferramenta gerencial em saúde ocupacional. XIII SIMPEP – Bauru, SP, Brasil, 06 a 08 de novembro de 2006.

Plantard, P. et al. (2016). Validation of an ergonomic assessment method using Kinect data in real workplace conditions, *Applied Ergonomics*. <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1016%2Fj.apergo.2016.10.015>

Peppoloni, L. et al. (2016). A novel wearable system for the online assessment of risk for biomechanical load in repetitive efforts. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 52, p. 1-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2015.07.002>

Rhén, I.; Forsman, M. (2020). Inter-and intra-rater reliability of the OCRA checklist method in video-recorded manual work tasks. *Applied Ergonomics*, v. 84, p. 103025. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.103025>

Rodrigues, M. S. et al. (2017). Differences in ergonomic and workstation factors between computer office workers with and without reported musculoskeletal pain. *Work*, v. 57, n. 4, p. 563-572. <https://doi.org/10.3233/wor-172582>

Roebuck, J. A. (1993). *Anthropometric methods: Designing to fit the human body*. Santa Monica: Human Factors and Ergonomics Society, <https://doi.org/10.1177%2F106480469500300309>

Serranheira, F. (2010). UVA, A. LER/DORT: que métodos de avaliação do risco? *Rev. bras. Saúde ocup.*, São Paulo, 35 (122): 314-326. <https://doi.org/10.1590/S0303-76572010000200014>

Souza, J. P. C.; Rodrigues, C. L. P. (2006). Vantagens e limitações de duas ferramentas de análise e registro postural quanto à identificação de riscos ergonômicos. XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 06 a 08 de novembro de 2006.

Troiano, A. et al.(2008). Assessment of force and fatigue in isometric contractions of the upper trapezius muscle by surface EMG signal and perceived exertion scale. *Gait & posture*, v. 28, n. 2, p. 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.04.002>

Valentim, D. P. et al. (2018). Reliability, construct validity and interpretability of the brazilian version of the Rapid upper limb assessment (RULA) and strain index (SI). *Brazilian journal of physical therapy*, v. 22, n. 3, p. 198-204. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2017.08.003>

Vieira, E.R., Kumar, S. (2004). Working postures: a literature review. *J. Occup. Rehabil.* <https://doi.org/10.1023/b:joor.0000018330.46029.05>

Vignais, N., Miezal, M., Bleser, G., Mura, K., Gorecky, D., Marin, F. (2013). Innovative system for real-time ergonomic feedback in industrial manufacturing. *Applied Ergonomics*. 44 (4). <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.11.008>

Waters, T. R.; Putz-Anderson, V.; Garg, A.; Fine, L. J. (1993). Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*, 36(7), 749–776. <http://dx.doi.org/10.1080/00140139308967940>