

El Uso de Simulador de Realidad Virtual en el Entrenamiento de Habilidades em Procesos de Soldadura por Arco Eléctrico

The Use of Virtual Reality Simulator in Skill Training for Electric Arc Welding Processes

A utilização de Simulador de Realidade Virtual no Treinamento de Habilidades nos Processos de Soldagem ao Arco Elétrico

Recebido
Received
Recibido
Dez. 2024

Aceito
Accepted
Aceptado
Mar. 2025

Publicado
Published
Publicado
Jul./Set. 2025
Jul./Sep. 2025

<https://git.fateczl.edu.br>

e_ISSN
2965-3339

DOI
10.29327/2385846.3.4-6

São Paulo
v. 3 | n. 4
v. 3 | i. 4
e34135
Julho-Setembro
July-September
Julio-Septiembre
2025



Juliano Neves Panao^{1,2}

juliano.panao@unesp.br
juliano.panao@fatec.sp.gov.br

Edgar Dutra¹

edgar.dutra@fatec.sp.gov.br

Nasareno das Neves^{1,2}

nasareno.neves@fatec.sp.gov.br
n.neves@unesp.br

Gislaine Batistela¹

gislaine.batistela@unesp.br

Jorge Muniz¹

jorge.muniz@unesp.br

1 – FEG – UNESP

2 – FATEC São Paulo – Itaquera

Resumen:

Este trabajo estudia de forma exhaustiva cómo los simuladores de realidad virtual (VR) pueden optimizar el aprendizaje en los procesos de soldadura al arco eléctrico, en comparación con el entrenamiento en equipos de soldadura reales. Al crear un entorno virtual seguro y controlado, esta tecnología permite que el entrenamiento se realice sin los riesgos del entorno real. La realidad virtual permite a los estudiantes practicar soldadura de forma inmersiva, evitando la exposición a materiales peligrosos, lo que añade una capa esencial de seguridad. Nuestro análisis se profundiza en los efectos del simulador sobre la eficiencia del entrenamiento, destacando especialmente el impacto positivo de la retroalimentación inmediata, que acelera el desarrollo de habilidades y la comprensión de las técnicas involucradas. Además, este enfoque fomenta el ahorro de recursos, como materiales y energía. Los resultados indican no solo beneficios educativos, sino también económicos, evidenciando la creciente importancia de esta tecnología en la capacitación de profesionales especializados en soldadura.

Palabras clave: Realidad Virtual; Entrenamiento; Soldadura por Arco; Simulador.

Abstract:

This study comprehensively examines how virtual reality (VR) simulators can enhance learning in arc welding processes compared to training on real welding equipment. By creating a safe and controlled virtual environment, this technology allows training to take place without the risks associated with real-world settings. Virtual reality enables students to practice welding immersively, avoiding exposure to hazardous materials and adding a vital layer of safety. Our analysis delves into the simulator's effects on training efficiency, particularly highlighting the positive impact of immediate feedback, which accelerates skill development and comprehension of techniques. Moreover, this approach promotes resource savings, including materials and energy. The results indicate educational and economic benefits, underscoring the growing importance of this technology in training specialized welding professionals.

Keywords: *Virtual Reality; Training; Arc Welding; Simulator.*

Resumo:

Este trabalho estuda de forma abrangente o impacto de duas estratégias de ensino no aprendizado de processos de soldagem ao arco elétrico, comparando o uso de simuladores de realidade virtual (VR) com o treinamento prático em equipamentos de soldagem reais. Ao criar um ambiente virtual seguro e controlado, essa tecnologia possibilita que o treinamento aconteça sem os riscos do ambiente real. A realidade virtual permite que os alunos pratiquem soldagem de forma imersiva, evitando a exposição a materiais perigosos, o que adiciona uma camada de segurança essencial. Nossa análise aprofunda-se nos efeitos do simulador sobre a eficiência do treinamento, destacando especialmente o impacto positivo do feedback imediato, que acelera o desenvolvimento de habilidades e a compreensão das técnicas envolvidas. Além disso, essa abordagem promove a economia de recursos como materiais e energia. Os resultados indicam não só ganhos educativos, mas também econômicos, evidenciando a crescente importância dessa tecnologia na capacitação de profissionais especializados em soldagem.

Palavras-chave: *Realidade Virtual; Treinamento; Soldagem a arco; Simulador.*

1. INTRODUCCIÓN

La soldadura, uno de los procesos de unión más utilizados en la fabricación de estructuras y equipos metálicos en diferentes segmentos, es ampliamente reconocida por su capacidad para unir componentes de forma permanente, asegurando la integridad estructural de la pieza final (LASSITER et al., 2023).

El dominio de las habilidades en los procesos de soldadura por arco es esencial para garantizar el cumplimiento de los requisitos mínimos y la integridad de una unión soldada. Los estudiantes, especialmente aquellos que son nuevos en actividades prácticas como la soldadura, a menudo enfrentan frustración debido a la curva de aprendizaje inicial (PRASETYA et al., 2023).

Según OKIMOTO et al. (2015), la formación en soldadura manual o semiautomática requiere habilidades técnicas profundas y familiaridad con equipos y consumibles específicos, que son esenciales para realizar tareas en geometrías complejas o lugares de difícil acceso donde la automatización no es práctica.

RODRÍGUEZ y GONZÁLEZ (2019) destacan que, a pesar de su amplia aplicación, la soldadura presenta importantes desafíos que requieren un desarrollo e innovación continuos. La soldadura es un componente crítico en varias disciplinas de ingeniería, incluida la ingeniería industrial, mecánica, aeronáutica y marina. Es esencial para el diseño, la implementación y el control de calidad de las estructuras soldadas.

La soldadura es potencialmente peligrosa, especialmente cuando no se conoce plenamente los riesgos para la salud y la seguridad, puede afectar negativamente a la integridad física de los aprendices, si no se utilizan todos los procedimientos y equipos de protección individual (ZULKIFLI et al., 2022).

La soldadura ocupa un papel central en la fabricación industrial contemporánea, siendo señalada como una de las tecnologías más relevantes en el sector manufacturero mundial, como señala GAO (2020). Teniendo en cuenta esta relevancia, el enfoque en la calificación de profesionales y la integración de tecnologías innovadoras no solo está justificado, sino que es esencial. Esta dirección busca optimizar los procesos, promoviendo la eficiencia en el uso de materiales y energía, al tiempo que reduce los impactos ambientales, como las emisiones de carbono, que es una preocupación creciente en las prácticas industriales actuales.

Con base en estas afirmaciones, se justifica buscar no solo procesos de soldadura que satisfagan las demandas emergentes, sino también la formación de profesionales capaces de aprovechar al máximo los procesos disponibles, con el objetivo de satisfacer los requisitos de calidad y productividad cada vez más exigentes. Para responder a la creciente demanda de profesionales cualificados, la *American Welding Society* - AWS (2024) informa de que hay una demanda de 330.000 nuevos profesionales para 2028, con una media de 82.500 vacantes de trabajo a cubrir a partir de 2024.

CHUNG, TUNG y LOU (2020) destacan las ventajas de los simuladores de realidad virtual en términos de seguridad, rentabilidad y compromiso en comparación con

los métodos tradicionales, lo que sugiere que una mayor investigación podría mejorar la comprensión de estas diferencias.

El estudio tiene como objetivo evaluar la efectividad del uso de simuladores de realidad virtual en la capacitación y desarrollo de habilidades en soldadura por arco eléctrico, considerando el rendimiento, la retención de conocimientos y la percepción de los usuarios de la experiencia de aprendizaje en comparación con los métodos convencionales.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

La tecnología de realidad virtual (RV) se utiliza para diseñar y simular procesos industriales, como la soldadura, por ejemplo (PRASETYA et al., 2023).

De acuerdo con RODRÍGUEZ y GONZÁLEZ (2019), las estrategias de enseñanza a través del uso de recursos de RV y realidad aumentada (RA) son una alternativa económica para la realización de prácticas de laboratorio buscando el desarrollo de habilidades. Enseñar habilidades de soldadura siempre ha sido un desafío, no solo por la necesidad de conocimientos básicos sobre cada proceso, sino también por el desarrollo de habilidades que dependen de una capacitación intensiva y la mayoría de las veces exhaustiva, además de la exposición de los estudiantes y personas cercanas a ellos a riesgos de salud y seguridad.

La práctica de la soldadura, reconocida por la exigencia de habilidades técnicas precisas, encuentra en los simuladores de realidad virtual una herramienta para el desarrollo seguro y progresivo de habilidades. Estos simuladores crean entornos controlados donde el alumno puede practicar técnicas de soldadura, superando los retos iniciales de forma segura y evitando los costes asociados al entrenamiento físico. Como señalan PRASETYA et al. (2023), la realidad virtual se presenta como una solución más rentable y eficaz, al tiempo que promueve un aprendizaje profundo basado en la repetición sin desperdiciar materiales.

SCOTTI (2017) afirma que las soluciones tecnológicas y de automatización de soldadura pueden ayudar a superar la escasez de mano de obra especializada y hacer que el proceso de producción sea más eficiente, sostenible y de alta calidad.

La práctica de la soldadura presenta riesgos que pueden afectar directamente la salud y la seguridad de los aprendices. Estos peligros se vuelven aún más significativos cuando no se siguen adecuadamente las normas de seguridad, lo que aumenta la probabilidad de accidentes y daños a la salud de los involucrados. La falta de experiencia de los estudiantes puede aumentar el riesgo de accidentes, lo que subraya la importancia de un entorno controlado para la formación (ZULKIFLI et al., 2022). Ante estos retos, el uso de simuladores VR destaca como una solución para mejorar la formación. Esta tecnología proporciona un entorno de aprendizaje inmersivo donde los estudiantes pueden desarrollar habilidades de soldadura en un entorno seguro y controlado (CHUNG et al., 2020)

En este escenario, el uso de simuladores de realidad virtual cobra aún más

relevancia, ya que no solo mejora el acceso a la formación, sino que también aporta beneficios económicos y medioambientales, como el ahorro de recursos y la reducción de emisiones.

3. MÉTODO

Para comprender la efectividad de los simuladores de realidad virtual en comparación con el entrenamiento con equipos reales, se estructuró un estudio experimental que involucró a estudiantes del curso de Tecnología Mecánica, con enfoque en Procesos de Soldadura, en Fatec Itaquera. La muestra incluyó diez estudiantes que no tenían experiencia previa en soldadura, divididos aleatoriamente en dos grupos de cinco participantes, una elección hecha para garantizar la comparabilidad entre los grupos y minimizar posibles sesgos.

La formación de uno de los grupos se realizó exclusivamente con el simulador VRTEX 360 VR, mientras que el segundo grupo utilizó equipos de soldadura reales. Ambos grupos siguieron un programa de 180 minutos, destinado al desarrollo de técnicas fundamentales de soldadura, que permitieron uniformidad en las condiciones de práctica. Al final de la capacitación, todos los participantes realizaron una soldadura en equipos reales, lo que permitió una evaluación directa entre los métodos de enseñanza.

Las variables analizadas fueron calidad de uniones soldadas, productividad, tiempo de proceso y costo por pieza. Para la evaluación de la calidad de las soldaduras, realizamos una inspección visual y dimensional solo en las piezas soldadas después de la capacitación (una pieza de cada estudiante de ambos grupos) utilizando el equipo de soldadura real. Los criterios de discontinuidad analizados fueron: escoria, superposición, salpicaduras, deposición insuficiente, desalineación, falta de fusión, mordida, refuerzo excesivo y porosidad, todos esenciales para asegurar la integridad de las soldaduras.

La productividad se midió por el número de juntas completadas durante los 180 minutos, centrándose en la eficiencia y consistencia de cada método. El tiempo de proceso cubrió el tiempo de los pasos de preparación de la unión y la soldadura en sí, ofreciendo una visión detallada del ritmo y la agilidad proporcionados por cada enfoque.

Finalmente, el costo por pieza se calculó a partir de los gastos con proceso, inspección, materia prima, alambre de soldadura, gas de protección y electricidad.

La investigación investiga si la formación con simuladores de realidad virtual en soldadura GMAW ofrece una alternativa más segura, económica y eficiente al método tradicional, especialmente en el desarrollo de habilidades prácticas. El análisis busca identificar las ventajas competitivas que pueden aportar los simuladores, proporcionando una base sólida para su adopción en programas de formación profesional.

Para garantizar un análisis exhaustivo y preciso de los datos, inicialmente se aplicó la prueba t, que permitió una evaluación cuantitativa, verificando la

importancia de las diferencias de rendimiento entre los dos métodos de entrenamiento. Luego, se utilizó el Diagrama de Pareto en la evaluación cualitativa de las discontinuidades, proporcionando una visión detallada de las principales causas y la frecuencia con la que ocurren RODRÍGUEZ y GONZÁLVEZ (2019); PRASETYA et al. (2023).

3.1 DICCIONARIO DE DATOS

El diccionario de datos (cuadro 1) es una herramienta esencial para organizar y documentar la información sobre las variables involucradas en un estudio o análisis de datos, sirviendo como una referencia clara y estructurada, facilitando la comprensión de cada variable utilizada en la investigación, incluyendo su propósito, tipo, unidad de medida y cualquier otra información relevante.

Cuadro 1 – Diccionario de datos	
Variable	Descripción
Alumno	Identificación del estudiante (variable categórica)
Edad	Edad del estudiante (en años)
Grupo	Grupo de entrenamiento (simulador de realidad virtual o equipo real)
Descontinuidades	Número de discontinuidades en soldaduras realizadas (variable cuantitativa)
Tiempo de entrenamiento	Tiempo total de entrenamiento (en minutos)
Juntas producidas	Número de uniones soldadas producidas durante la formación
Costo total	Costo total de la capacitación (en reales)

Fuente: Elaboración Propia (2024)

El objetivo de esta herramienta en este estudio fue detallar las variables recogidas en este estudio (Cuadro 2), comparando el uso de simuladores VR con equipos de soldadura reales.

Cuadro 2 – Desglose de variables por grupo		
Variable	Grupo de Simuladores de Realidad Virtual	Grupo de equipos reales
Alumno	A1, A2, A3, A4, A5	A6, A7, A8, A9, A10
Edad	20, 38, 52, 46, 19	20, 27, 42, 31, 38
Descontinuidades	Falta de fusión, porosidad, escoria, superposición, mordedura, deposición insuficiente, salpicaduras, refuerzo excesivo, desalineación	Falta de fusión, porosidad, escoria, superposición, mordedura, deposición insuficiente, salpicaduras, refuerzo excesivo, desalineación
Tiempo de entrenamiento	36, 36, 36, 36, 36	36, 36, 36, 36, 36
Juntas producidas	20, 20, 20, 20, 20	4, 4, 4, 4, 4
Costo total por articulación	2.40, 2.40, 2.40, 2.40, 2.40	22.94, 22.94, 22.94, 22.94, 22.94

Fuente: Elaboración Propia (2024)

Cada variable analizada se describe de tal manera que su significado y función en el análisis sean claros para todos los involucrados en el proyecto. Este nivel de

detalle permite a los investigadores y analistas comprender con precisión cómo se estructuraron los datos, lo que facilita tanto la interpretación de los resultados como la replicación del estudio en otras circunstancias o con nuevas muestras.

3.2. ANÁLISIS EXPLORATORIO Y VISUALIZACIÓN DE DATOS

Para realizar el análisis de los datos (Cuadro 3), se utilizaron tanto Microsoft Excel como Minitab. Excel fue fundamental para la construcción de gráficos como el diagrama de Pareto, que nos ayudó a identificar las principales discontinuidades. Minitab se utilizó para realizar análisis estadísticos más complejos, como la prueba t, lo que garantiza que pudiéramos comparar rigurosamente los métodos de entrenamiento.

Cuadro 3 – Análisis exploratorio de los datos		
Métrico	Prueba t (valor P)	Dif. Real x VR
Discontinuidades	0,291	-
Juntas producidas	-	500%
Tiempo de proceso	-	500%
Costos	-	956%

Fuente: Elaboración Propia (2024)

3.3. PRUEBA T DE STUDENT

Para comparar los promedios de las principales métricas entre los grupos que entrenaron con el simulador de realidad virtual y los que utilizaron el equipo real, aplicamos la prueba t, con la ayuda del software Minitab. Esta prueba estadística es ideal para evaluar si las diferencias observadas entre los promedios de los dos grupos son significativas o pueden atribuirse al azar, lo que nos ayuda a validar científicamente si las ventajas de productividad, eficiencia y costos que ofrece el simulador de realidad virtual son realmente superiores.

A través de esta herramienta, pudimos validar rigurosamente las diferencias de productividad, eficiencia y ahorro que proporciona el simulador en comparación con el método tradicional, ofreciendo una base sólida para nuestras conclusiones. Esta prueba está especialmente indicada cuando se comparan dos muestras independientes, ya que nos permite verificar si la diferencia entre las medias es realmente significativa. Vale la pena recordar que se basa en dos supuestos: los datos deben seguir una distribución normal y las varianzas entre los grupos deben ser similares.

En este estudio, comparamos el rendimiento de dos métodos de entrenamiento de soldadura, uno usando el simulador de realidad virtual y el otro con el equipo real. Observamos cuatro métricas clave: discontinuidades, número de juntas producidas, tiempo de proceso y costos. Sin embargo, la prueba t solo se aplicó para analizar las discontinuidades observadas en las soldaduras. Los datos se recolectaron de dos grupos, cada uno con cinco estudiantes, después de 180 minutos de entrenamiento. A continuación, detallamos los resultados encontrados para cada una de las métricas. Las discontinuidades evaluadas en las soldaduras producidas fueron: inclusión de escoria, superposición,

salpicaduras, deposición insuficiente, desalineación, falta de fusión, mordida, refuerzo excesivo y porosidad.

Resultados de la prueba t (discontinuidades):

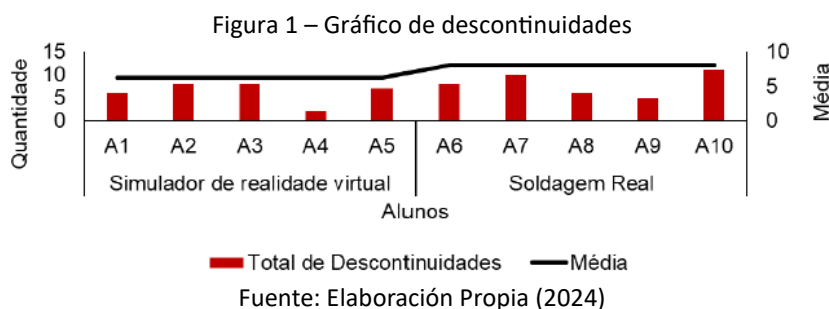
- Estadística t: -1,129
- Valor P: 0.291

La prueba de hipótesis se realizó para la métrica "Discontinuidades" (defectos en las soldaduras):

- Hipótesis nula (H0): No hay diferencia significativa entre la cantidad media de discontinuidades en los dos métodos de entrenamiento.
- Hipótesis alternativa (H1): Existe una diferencia significativa entre la cantidad promedio de discontinuidades en los dos métodos.

Dado que el valor p (0,291) es mayor que el nivel de significancia de 0,05; No rechazamos la hipótesis nula. Concluimos que no hay evidencia suficiente para afirmar que existe una diferencia significativa en las discontinuidades entre los dos métodos de entrenamiento.

El siguiente gráfico (figura 1) muestra la evolución de las discontinuidades evidenciadas tras el análisis de la calidad de las soldaduras en ambos métodos de entrenamiento.



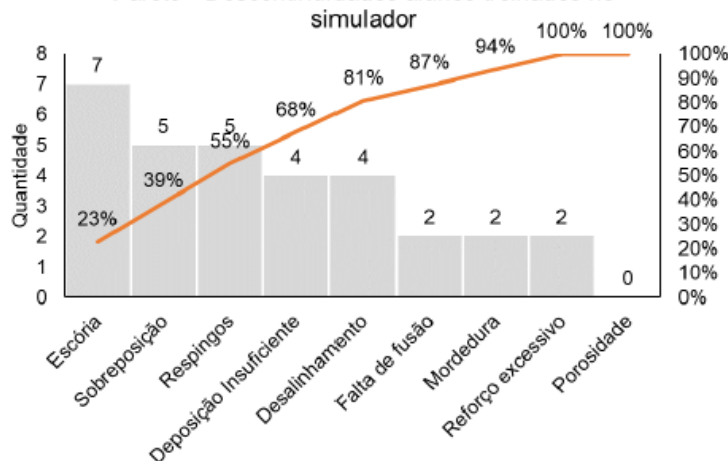
Aunque esta herramienta ha demostrado que no existe una diferencia significativa en la cantidad promedio de discontinuidades entre los dos métodos de entrenamiento, es importante realizar un análisis más detallado y cualitativo para comprender mejor los tipos específicos de defectos que ocurren con mayor frecuencia en cada método, de esta manera, el análisis a través del Diagrama de Pareto también se realizará más adelante para un análisis cualitativo de las discontinuidades.

3.4. DIAGRAMA DE PARETO

Para analizar cualitativamente las discontinuidades encontradas en las soldaduras, utilizando el software Microsoft Excel aplicamos el diagrama de Pareto, que nos ayudó a identificar los tipos de defectos más frecuentes y críticos. Esta herramienta visual es extremadamente útil para resaltar qué problemas afectan más la calidad de la soldadura, guiados por el principio de que alrededor

del 80% de los problemas son causados por solo el 20% de las causas. Con el diagrama de Pareto, podemos identificar y priorizar las áreas que requieren más atención e intervención, lo que facilita la implementación de mejoras precisas y eficientes en la capacitación en soldadura. Esto es esencial para garantizar que tanto el método del simulador como el método tradicional puedan mantener altos estándares de calidad en las soldaduras.

Figura 2 – Diagrama de Pareto (estudiantes entrenados en el simulador de realidad virtual)
Pareto - Descontinuidades alunos treinados no simulador

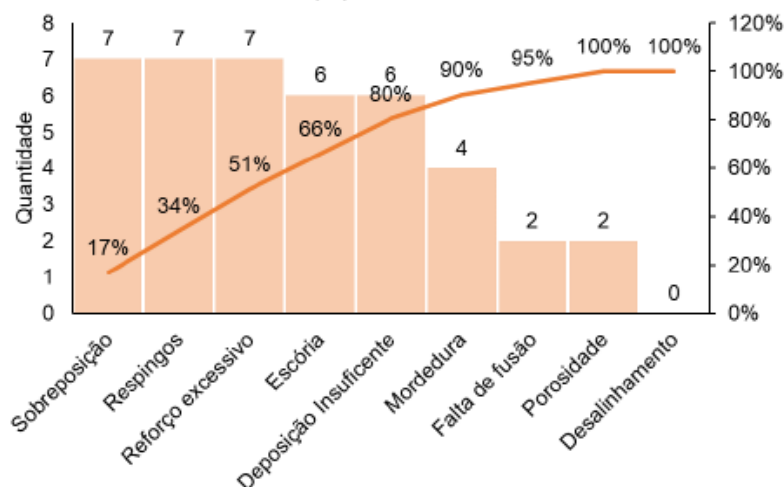


Fuente: Elaboración Propia (2024)

En el proceso de identificación de las causas más comunes de discontinuidades, el diagrama de Pareto demostró ser eficaz para visualizar los principales factores que contribuyen a los defectos encontrados. En el análisis de datos, como se ilustra en las figuras 2 y 3, observamos que, en el simulador de realidad virtual, las discontinuidades como escoria de vidrio, superposición, salpicaduras, deposición insuficiente y desalineación correspondieron al 81% de los problemas identificados. Estos resultados guían nuestro enfoque hacia una capacitación más específica al ajustar las variables que afectan estas cinco preguntas clave.

En los resultados observados en las actividades de los estudiantes entrenados con el equipo real (figura 3), destacaron en términos porcentuales los defectos de superposición, salpicaduras y refuerzo excesivo. Sumados a la escoria y a la insuficiente deposición, estos defectos representan el 80% de las discontinuidades encontradas, lo que también orienta la necesidad de formación centrada en estas áreas específicas.

Figura 3 – Diagrama de Pareto (estudiantes entrenados en el equipo real)
Pareto - Descontinuidades alunos treinados no equipamento real



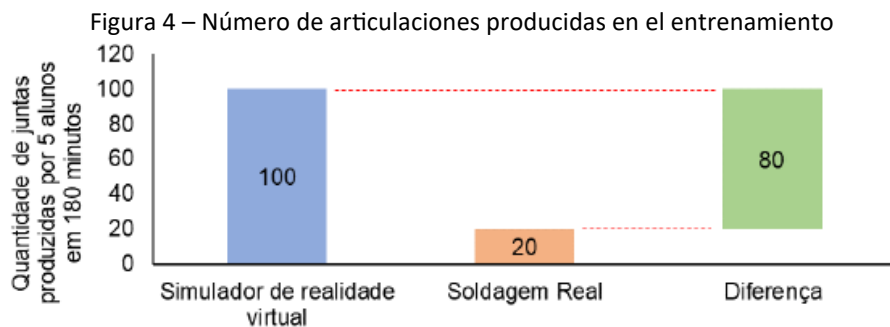
Fuente: Elaboración Propia (2024)

4. EVALUACIÓN COMPARATIVA

4.1 JUNTAS PRODUCIDAS

En la comparación realizada, cada grupo de estudiantes realizó el entrenamiento bajo un período determinado de 180 minutos establecido como métrica para realizar la comparación.

La Figura 4 a continuación muestra el número de juntas producidas en el período dado.



Fuente: Elaboración Propia (2024)

4.2. DESCONTINUIDADES

En el Cuadro 4 se presenta un resumen de las discontinuidades encontradas en las piezas realizadas durante la capacitación, el análisis del Diagrama de Pareto y las acciones relevantes para un plan de acción de mejora.

- La escoria es la discontinuidad más frecuente en el simulador, mientras que la superposición y las salpicaduras son comunes en ambos métodos, pero predominan en el entrenamiento real;
- El refuerzo excesivo es un problema importante en el entrenamiento

con equipos reales, lo que indica un posible exceso de material depositado;

- La desalineación no es un problema significativo en el entrenamiento real, pero sí aparece en el simulador, lo que sugiere la necesidad de mejorar las técnicas de alineación en el entorno virtual

Centrándonos en el 80% de los principales problemas, las acciones más relevantes a tomar serían las indicadas en la tabla anterior para los dos grupos.

Por lo tanto, podemos ver que el grupo que utilizó el simulador de realidad virtual produjo significativamente más uniones que el grupo que utilizó el equipo de soldadura real, lo que se refleja en un mejor uso del tiempo y el aprendizaje.

Cuadro 4 – Comparación de discontinuidades (80% de los problemas)

Discontinuidad	Simulador de Realidad Virtual	Equipo real	Acción relevante
Escoria	7 (23%)	6 (66% acumulado)	Desarrollar formación específica para la eliminación de escorias, instruyendo sobre técnicas de soldadura y el uso correcto de herramientas y accesorios para la eliminación de escorias.
Solapar	5 (39% acumulado)	7 (17%)	Introducir capacitación enfocada en técnicas para lograr una deposición uniforme para evitar la superposición. Use simuladores para practicar en un entorno seguro y controlado antes de aplicarlos al equipo real.
Respingos	5 (55% acumulado)	7 (34% acumulado)	Desarrollar ejercicios prácticos que enseñen técnicas para reducir las salpicaduras, con ajustes de los parámetros de soldadura y la inclinación de la antorcha y la limpieza de la boquilla.
Deposición insuficiente	4 (68% acumulado)	6 (80% acumulado)	Concéntrese en la capacitación para garantizar la cantidad adecuada de material de soldadura ajustando las velocidades de soldadura y la corriente de alimentación / soldadura de alambre.
Desalineación	4 (81% acumulado)	0 (0%)	Desarrollar ejercicios para reforzar la alineación adecuada de las piezas. Utilice la ayuda en el simulador para el entrenamiento de esta habilidad durante el entrenamiento, en el equipo real dibuje las líneas para facilitar el control de la alineación durante la soldadura.

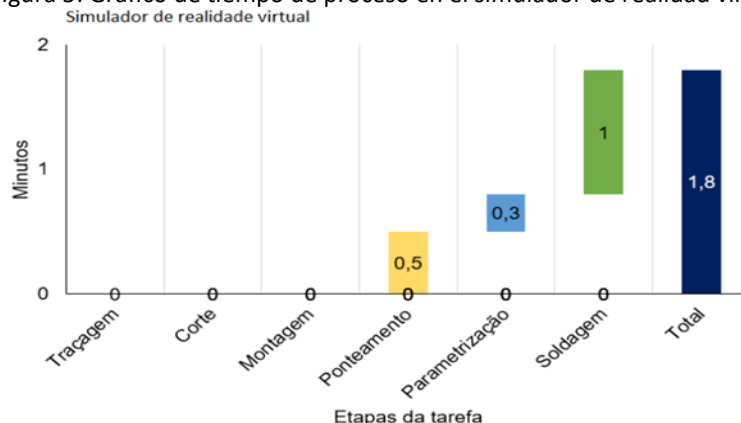
Fuente: Elaboración Propia (2024)

4.3 TIEMPO DE PROCESO

En cuanto al tiempo de proceso, para la realización de esta comparación, se tuvieron en cuenta todos los pasos para obtener la unión antes del ejercicio, utilizando el equipo real para realizar la comparación de costos, a saber: trazado, corte, montaje, puente, parametrización y soldadura.

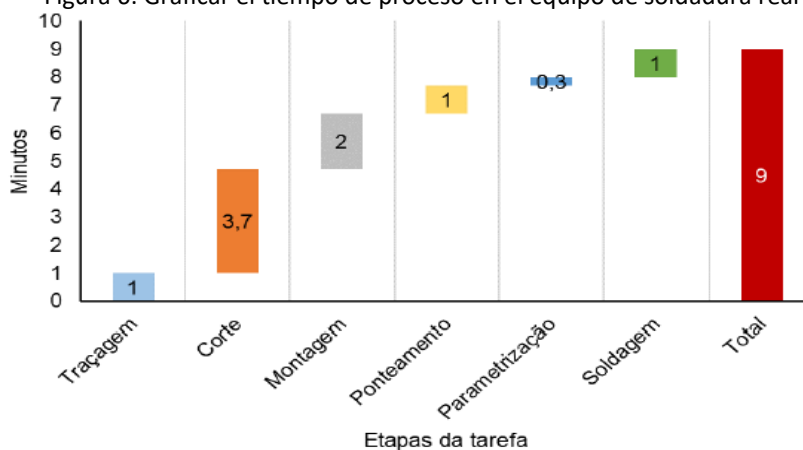
El gráfico de la figura 5 muestra una ganancia significativa en el tiempo de proceso en el entrenamiento realizado en el simulador de realidad virtual. El tiempo de proceso fue significativamente más corto para los estudiantes que usaron el simulador de realidad virtual: 1.8 min/pieza (figura 5) en comparación con los estudiantes que usaron el equipo de soldadura real: 9.0 minutos/pieza (Figura 6).

Figura 5: Gráfico de tempo de processo em el simulador de realidade virtual



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 6: Graficar el tiempo de proceso en el equipo de soldadura real



Fuente: Elaboración Propia (2024)

4.4 COSTOS

Los costos se refieren al total/pieza producida por alumno durante la capacitación, teniendo en cuenta los materiales utilizados y otros costos asociados con el proceso.

Figura 7: Gráfico de costo por pieza



Fuente: Elaboración Propia (2024)

Los costos por pieza fueron significativamente más bajos para los estudiantes que usaron el simulador de realidad virtual (\$ 2.40) en comparación con los estudiantes que usaron el equipo real (\$ 22.94).

A continuación, se muestra una comparación de costos entre el entrenamiento realizado con un simulador de realidad virtual y un equipo real.

Los costos (Cuadro 5) se analizaron considerando varios factores, incluidos los costos del proceso, el tiempo de inspección, la materia prima, los consumibles de soldadura (alambre de soldadura y gas de protección) y la electricidad.

Los resultados presentados en la tabla 5 indican una diferencia significativa en los costos entre los métodos de entrenamiento. El costo por pieza de entrenamiento con el simulador de realidad virtual es sustancialmente menor (R\$ 2,41) en comparación con el entrenamiento realizado con equipos reales (R\$ 22,94). Este diferencial se atribuye principalmente a los costos con el proceso y la materia prima en la capacitación real.

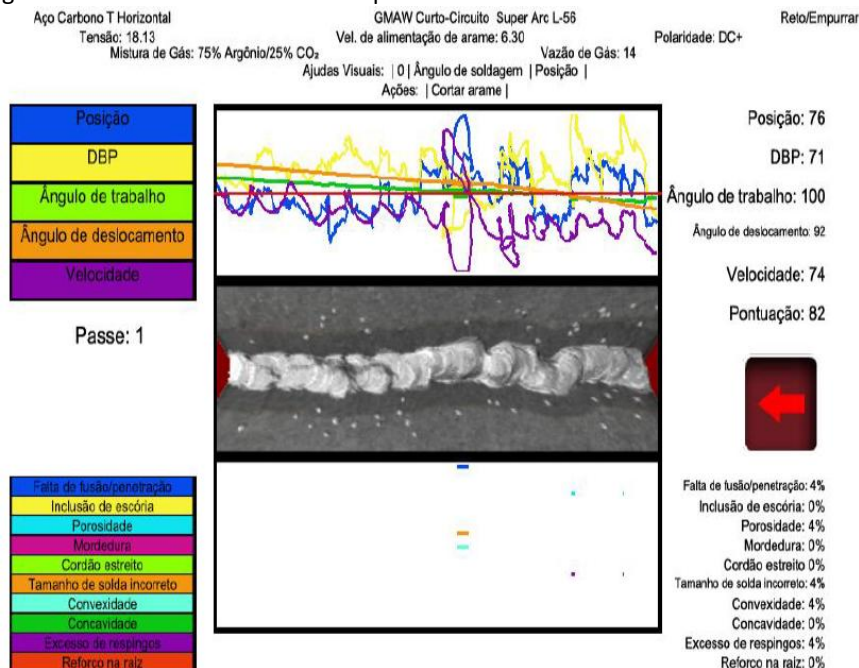
En cuanto al coste del tiempo de inspección, podemos considerar otro diferencial positivo sobre el uso de simuladores de realidad virtual, debido a que la retroalimentación del experimento realizado se realiza en tiempo real (figura 8), evidenciando las oportunidades de mejora de la técnica de soldadura y los defectos relacionados con cada desviación.

Cuadro 5 – Costos comparativos por pieza

Costo con:	Simulador (R\$)	Equipo real (R\$)
Proceso	2,39	12,00
Tiempo de inspección	0,00	5,33
Materia prima	0,00	4,67
Arame de solda	0,00	0,62
Gas de protección	0,00	0,21
Energía eléctrica	0,01	0,11
Costo total	2,40	22,94

Fuente: Elaboración Propia (2024)

Figura 8: Retroalimentación en tiempo real de las tareas realizadas en el simulador



Fuente: VR Simulator (2024)

En cuanto a los costos de materias primas, alambre de soldadura y gases de protección, estos no se utilizan en el simulador de realidad virtual, brindando ventajas significativas en términos de seguridad, exposición a radiaciones y humos de soldadura a los estudiantes, además de contribuir con el medio ambiente.

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

El estudio confirma que los simuladores de realidad virtual son una alternativa práctica y segura para la capacitación en soldadura, agregando beneficios sustanciales en ahorro de tiempo y recursos. La implementación de simuladores de realidad virtual como herramienta para mejorar el logro de resultados de aprendizaje superiores puede revolucionar la formación de nuevos profesionales, con el potencial de reducir costos y aumentar la eficiencia de los programas de capacitación, como se muestra en el cuadro 6 a continuación.

Cuadro 6 – Comparación de puntos positivos y negativos

Puntos positivos	Simulador de Realidad Virtual	Equipo real	Deméritos	Simulador de Realidad Virtual	Equipo real
Costo reducido	Costo total más bajo (R\$ 2,41)	-	Menor Realismo	Puede que no replique perfectamente las condiciones del mundo real	-
Mayor seguridad	Entorno seguro, sin riesgos físicos	-	Descontinuidades Específicas	Alta ocurrencia de escoria	-
Flexibilidad y repetición	Repetición ilimitada sin desgaste del material	-	Limitaciones tecnológicas	No captura todos los matices del proceso real	-
Reducción de discontinuidades	Menos ocurrencia de refuerzo excesivo y desalineación	-	Alto costo	-	Mayor costo total (R\$ 22,94)
Mayor realismo y transferencia	-	Experiencia cercana a las condiciones reales	Mayor incidencia de discontinuidades	-	Mayor incidencia de superposición y salpicaduras
Identificación de problemas reales	-	Identificación de problemas específicos del campo	Riesgos de seguridad	-	Riesgos físicos como quemaduras y exposición a humos

Fuente: Elaboración Propia (2024)

Los resultados indican que el simulador VR se destaca como una herramienta eficaz para la capacitación en soldadura, mostrando reducciones sustanciales en costos y tiempo de capacitación en comparación con el método tradicional. Esta ganancia económica es significativa: un ahorro de casi el 90% por pieza, que, además de económico, satisface una demanda práctica que SCOTTI (2017) ya había destacado, cuando señaló la RV como un recurso que ahorra materiales y energía.

Además, el tiempo de proceso por pieza fue mucho más corto con el uso de VR, lo que permitió a los estudiantes aprovechar mejor el tiempo disponible para

practicar, ya que el simulador elimina varios pasos del entrenamiento convencional y el entorno virtual ofrece total seguridad. Esto es esencial, particularmente en entornos de aprendizaje donde la práctica frecuente es fundamental para la retención de habilidades.

Aunque no hubo diferencia estadísticamente significativa en las discontinuidades medias entre los métodos (valor de $p = 0,291$), cada método presentó sus propios patrones de error. En las pruebas con el simulador, se destacaron escorias y desalineaciones, lo que indica áreas de mejora en la retroalimentación ofrecida por el simulador, como señala OKIMOTO (2015). Con equipos reales, problemas como el refuerzo excesivo y la superposición ocurrieron con mayor frecuencia, lo que sugiere que el entrenamiento inicial en el simulador podría ayudar a corregir algunos de estos errores antes de pasar al equipo real.

Otro punto fuerte del simulador es la retroalimentación instantánea, que ayuda al alumno a identificar y corregir fallos en tiempo real. Estudios como el de PRASETYA et al. (2023) corroboran esta ventaja, destacando que este tipo de retorno rápido ayuda a los estudiantes a progresar más rápido y comprender mejor los detalles del proceso de soldadura. Esto hace que el aprendizaje sea más atractivo y activo, lo que reduce la necesidad de inspecciones que consumen mucho tiempo.

Los hallazgos refuerzan que el simulador de realidad virtual se destaca como una herramienta económica y segura, que promueve el desarrollo acelerado y eficiente de habilidades esenciales. En el contexto de la escasez de soldadores calificados (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2023), la tecnología VR ofrece un enfoque innovador y práctico, mejorando tanto la formación profesional como la calidad de los procesos de soldadura.

PRASETYA et al. (2023), afirma que los simuladores de realidad virtual fueron desarrollados para ser utilizados como estrategia de enseñanza y no como reemplazo de la formación real, con el objetivo principal de complementar y optimizar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados presentados en este estudio demuestran que el uso de simuladores de realidad virtual es una opción ventajosa y asequible para la capacitación en soldadura por arco. Este enfoque no solo facilita la retención de conocimientos y la mejora de las habilidades prácticas, sino que también ofrece beneficios adicionales en términos de seguridad, ahorro de recursos e impacto ambiental positivo. Al observar las discontinuidades más comunes, está claro que todavía hay espacio para mejorar la calidad de las soldaduras en un entorno de realidad virtual, reforzando la precisión y la eficacia del aprendizaje.

El simulador de realidad virtual, además de ofrecer ahorros en materiales e insumos, proporciona retroalimentación en tiempo real, lo que lo convierte en una estrategia prometedora para la capacitación, con aplicación práctica en contextos educativos y productivos. Esta tecnología tiene el potencial de mitigar la escasez de profesionales calificados en el área de soldadura, formando equipos

mejor preparados para los desafíos prácticos del sector. Recomendamos, por tanto, la adopción de simuladores VR para complementar la formación tradicional, optimizando el tiempo y reduciendo los costes, además de garantizar la formación de mano de obra más especializada en menos tiempo.

REFERENCIAS

CHUNG, C. C.; TUNG, C. C.; LOU, S. J. Research on optimization of vr welding course development with anp and satisfaction evaluation. *Electronics (Switzerland)*, v. 9, n. 10, p. 1–28, 1 out. 2020.

GAO, Y.; ZHANG, S.; HE, J. Design and development of welding expert system. *Journal of Physics: Conference Series. Anais...IOP Publishing Ltd*, 23 nov. 2020.

LASSITER, T. et al. Welding Instructors' Perspectives on Using AI Technology in Welding Training. *Proceedings of the Association for Information Science and Technology*, v. 60, n. 1, p. 233–243, 1 out. 2023.

OKIMOTO, M. L. L. R.; OKIMOTO, P. C.; GOLDBACH, C. E. User Experience in Augmented Reality Applied to the Welding Education. *Procedia Manufacturing. Anais...Elsevier B.V.*, 2015.

PRASETYA, F. et al. Virtual Reality Adventures as an Effort to Improve the Quality of Welding Technology Learning During a Pandemic. *International journal of online and biomedical engineering*, v. 19, n. 2, p. 4–22, 2023a.

PRASETYA, F. et al. Virtual Reality Adventures as an Effort to Improve the Quality of Welding Technology Learning During a Pandemic. *International journal of online and biomedical engineering*, v. 19, n. 2, p. 4–22, 2023b.

RODRÍGUEZ-MARTÍN, M.; RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, P. Learning methodology based on weld virtual models in the mechanical engineering classroom. *Computer Applications in Engineering Education*, v. 27, n. 5, p. 1113–1125, 1 set. 2019.

SCOTTI, A. Aumento da eficácia do aprendizado de soldagem por aulas práticas assistidas por audiovisual de forma não passiva. *Soldagem e Inspeção*, v. 22, n. 3, p. 300–308, 1 jul. 2017.

WELDING WORKFORCE DATA. Disponível em: <https://weldingworkforcedata.com/>. Acesso em: 31 out. 2024.

ZULKIFLI, A. N. et al. ARC WELDING EDUCATION: MOBILE ARC WELDING LEARNING APP TO IMPROVE STUDENTS' MOTIVATION. *Journal of Creative Industry and Sustainable Culture*, v. 1, p. 51–69, 31 out. 2022.

Los contenidos expresados en la obra, así como los derechos de autor de las figuras y los datos, así como su revisión de la ortografía y las normas son responsabilidad exclusiva del autor o autores.

Los autores del trabajo declaran que durante la preparación del manuscrito, se utilizó la herramienta ChatGPT, de Inteligencia Artificial (IA), para apoyar la organización de ideas

y la reformulación puntual de extractos, con el objetivo de una mayor claridad y cohesión en el texto. Después de usar estas herramientas, los autores han editado y revisado el contenido según sea necesario y asumen toda la responsabilidad por el contenido de la publicación.