



Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação Lato Sensu
Gestão em Tecnologias 3D



ADILSON PAULO DA SILVA
ALEXANDRE FELIPE LOPES
FELIPE VICTOR WOJCIECHOWSKI DOS REIS

METODOLOGIA PARA APLICAÇÃO DE REALIDADE VIRTUAL
EM TREINAMENTOS DE INTEGRAÇÃO DE SEGURANÇA
INDUSTRIAL

CURITIBA
2024

ADILSON PAULO DA SILVA
ALEXANDRE FELIPE LOPES
FELIPE VICTOR WOJCIECHOWSKI DOS REIS

**METODOLOGIA PARA APLICAÇÃO DE REALIDADE VIRTUAL
EM TREINAMENTOS DE INTEGRAÇÃO DE SEGURANÇA
INDUSTRIAL**

Monografia apresentada como resultado parcial à obtenção do grau de Especialista em Gestão em Tecnologias 3D. Curso de Pós-graduação Lato Sensu, Setor de Exatas, Departamento de Expressão Gráfica - Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Fontana Catapan

**CURITIBA
2024**

RESUMO

Treinamentos de integração de segurança são fundamentais para capacitar novos colaboradores e visitantes em ambientes industriais, minimizando riscos associados às operações. Contudo, métodos convencionais frequentemente apresentam limitações na retenção e compreensão de boas práticas de segurança. Este estudo propõe uma metodologia inovadora baseada no uso de realidade virtual (RV) para otimizar esses treinamentos. A abordagem inclui a criação de ambientes virtuais realistas, utilizando escaneamento 3D e modelagem digital, aliados a um “supervisor virtual” com inteligência artificial, capaz de guiar os participantes em tempo real. Um sistema interativo de avaliação é integrado para medir o aprendizado e fornecer feedback imediato. A metodologia foi avaliada por profissionais do setor industrial por meio de um questionário estruturado, cujos resultados demonstraram alta aceitação e indicaram o potencial da RV para aumentar a eficácia dos treinamentos, fortalecer a conscientização de segurança e reduzir incidentes de riscos. Conclui-se que a aplicação de realidade virtual em treinamentos industriais representa uma evolução significativa na gestão de segurança do trabalho.

Palavras-chave: Realidade Virtual, Segurança Industrial, Treinamento de Integração, Virtualização, Capacitação.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – ILUSTRAÇÃO DE TREINAMENTO DE SEGURANÇA EM RV.....	9
FIGURA 2 – FLUXO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA.....	11
FIGURA 3 – FILTRAGEM DE DADOS.....	12
FIGURA 4 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA PROPOSTA.....	14

LISTA DE TABELAS

QUADRO 1 – REFERÊNCIAS QUE PERMANECERAM APÓS O PROCESSO DE FILTRAGEM.....	12
---	----

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO	5
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	5
1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	6
1.3. JUSTIFICATIVA	6
1.4. HIPÓTESE	7
1.5. OBJETIVO.....	7
1.5.1. Objetivo Geral.....	Erro! Indicador não definido.
1.5.2. Objetivos Específicos	Erro! Indicador não definido.
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
3. METODOLOGIA	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO MAPA DE RACIOCÍNIO	16
5. CONCLUSÕES	17
5.1. PRINCIPAIS RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES	18
5.2. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19

1. INTRODUÇÃO

A integração de novos colaboradores e visitantes em ambientes industriais é essencial para garantir segurança e conformidade com normas regulamentadoras. Treinamentos tradicionais de segurança, frequentemente baseados em métodos presenciais e materiais impressos, podem apresentar limitações em termos de engajamento e retenção de informações, comprometendo a eficácia na mitigação de riscos. Setores de alto risco, como construção, mineração e energia, demandam soluções inovadoras que otimizem a conscientização e o aprendizado dos participantes.

Neste contexto, tecnologias imersivas, como a realidade virtual (RV), emergem como uma abordagem promissora. Estudos recentes indicam que métodos interativos podem não apenas enriquecer a experiência de aprendizado, mas também minimizar riscos durante treinamentos e ampliar a retenção de conhecimento sobre boas práticas de segurança. Pesquisas como Harichandran e Teizer (2020) e Pribadi et al. (2023) demonstram o potencial da realidade virtual para criar ambientes controlados que simulam cenários de risco, promovendo uma compreensão mais profunda e prática das normas de segurança.

Desta maneira, esta pesquisa propõe uma metodologia para a aplicação de RV em treinamentos de integração de segurança industrial, com foco na criação de ambientes tridimensionais realistas, supervisionados por inteligência artificial e acompanhados de sistemas interativos de avaliação. A proposta visa modernizar práticas tradicionais, proporcionando maior engajamento e eficácia no aprendizado. Para validação, foi conduzido um estudo prático com profissionais do setor, cujos resultados reforçam o potencial da RV como ferramenta transformadora em segurança industrial.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A segurança no ambiente industrial é uma prioridade global, uma vez que operações inseguras podem resultar em graves consequências humanas, financeiras e ambientais. Nesse contexto, os treinamentos de integração de segurança desempenham um papel crucial ao preparar colaboradores e visitantes para

reconhecer e mitigar riscos associados às atividades operacionais. Tradicionalmente, esses treinamentos são conduzidos por meio de apresentações teóricas e sessões práticas, que muitas vezes apresentam limitações na retenção de informações e na imersão dos participantes.

Com os avanços tecnológicos, a realidade virtual (RV) emerge como uma ferramenta promissora para superar esses desafios. Por meio de ambientes digitais imersivos e interativos, a RV oferece uma alternativa inovadora para recriar situações reais sem os riscos associados. Além disso, a aplicação de inteligência artificial (IA) nesses cenários permite que os participantes recebam orientações personalizadas e feedback em tempo real, aumentando a eficiência dos treinamentos. Este estudo insere-se nessa interseção entre tecnologia e segurança industrial, propondo o uso da RV para transformar os processos de treinamento, com o objetivo de promover ambientes de trabalho mais seguros e engajadores.

1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Os treinamentos de integração de segurança são indispensáveis para preparar os colaboradores e visitantes em ambientes industriais, mas os métodos convencionais frequentemente demonstram limitações na retenção de informações, na assimilação de boas práticas e na adaptação a diferentes perfis de aprendizado. Essa situação levanta a seguinte questão: Como a aplicação da realidade virtual (RV) pode melhorar a eficácia dos treinamentos de integração de segurança, promovendo maior retenção de conhecimento, conscientização dos riscos e redução de incidentes nos ambientes industriais?

1.3. JUSTIFICATIVA

A constante busca por melhorias na segurança industrial é impulsionada pelo desejo de reduzir acidentes de trabalho, proteger vidas humanas e garantir a continuidade das operações. Entretanto, as abordagens tradicionais de treinamento muitas vezes não conseguem engajar suficientemente os participantes, comprometendo a absorção e a aplicação prática dos conteúdos apresentados.

A realidade virtual apresenta-se como uma solução inovadora, permitindo que os participantes vivenciem situações de risco em um ambiente controlado e imersivo, aumentando a compreensão e a retenção das boas práticas de segurança. Além disso, a integração de ferramentas de inteligência artificial nos treinamentos pode fornecer orientações personalizadas e avaliação contínua, adaptando-se às necessidades de cada indivíduo. Este estudo justifica-se pela necessidade de explorar tecnologias emergentes para otimizar os treinamentos de segurança, contribuindo para a criação de um ambiente industrial mais seguro, eficiente e adaptado às demandas do século XXI.

1.4. HIPÓTESE

A implementação de treinamentos baseados em realidade virtual (RV) em ambientes industriais aumenta a retenção de conhecimento, melhora a compreensão das práticas de segurança e reduz a ocorrência de incidentes, em comparação aos métodos tradicionais de treinamento.

1.5. OBJETIVO

1.5.1. Objetivo Geral

Desenvolver e avaliar uma metodologia baseada em realidade virtual (RV) para otimizar os treinamentos de integração de segurança em ambientes industriais.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Criar ambientes virtuais imersivos que simulem operações industriais utilizando escaneamento 3D e modelagem digital.
- Implementar um sistema de orientação em tempo real por meio de um supervisor virtual com inteligência artificial.
- Desenvolver um mecanismo de avaliação interativo que forneça feedback imediato aos participantes.
- Validar a eficácia da metodologia proposta com base na percepção de profissionais do setor industrial, utilizando questionários estruturados.

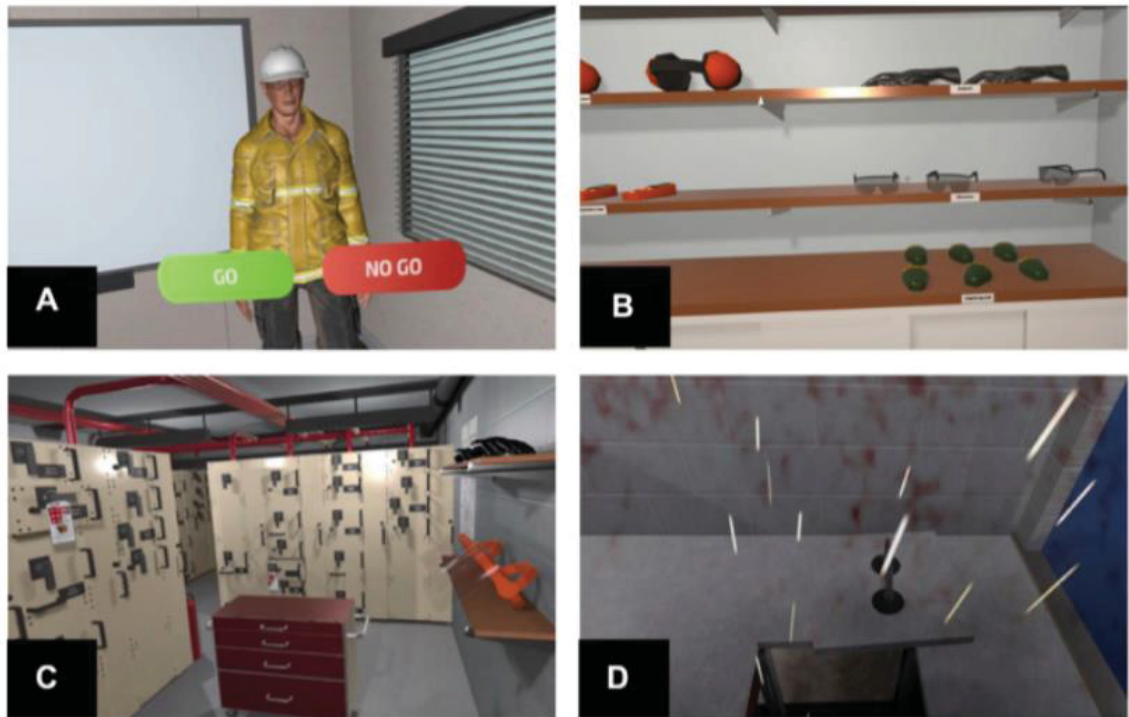
- Comparar os resultados obtidos com os métodos tradicionais, identificando os ganhos em retenção de conhecimento e conscientização de segurança.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A utilização de Realidade Virtual (RV) como ferramenta de treinamento em segurança industrial tem sido amplamente explorada nos últimos anos, demonstrando um crescente interesse por sua eficácia na minimização de riscos e na melhoria da aprendizagem. Diversos estudos destacam os benefícios da RV em contextos de alta complexidade e risco, como o treinamento em segurança ocupacional, onde a experiência imersiva pode promover uma aprendizagem mais eficaz, simulando cenários realistas e perigosos sem expor os trabalhadores a riscos reais. Esta seção apresenta uma análise crítica das pesquisas existentes, destacando as principais teorias, modelos e lacunas identificadas na literatura, com foco na eficácia da RV em treinamentos de segurança industrial.

Estudos recentes evidenciam os benefícios da RV na melhoria da segurança ocupacional. Pribadi et al. (2023) afirmam que a RV pode reduzir os riscos de acidentes, proporcionando uma experiência de treinamento mais imersiva e eficaz. Essa pesquisa sugere que, ao simular ambientes físicos de maneira realista, a RV oferece uma abordagem inovadora para o treinamento de segurança. A eficácia desse modelo é corroborada por outros autores, como Mousavi et al. (2023), que, conforme ilustrado na Figura 1, identificam um aumento significativo nos níveis de autoeficácia e conhecimento dos participantes após a interação com simulações em RV. Isso sublinha a importância da autoeficácia, que, em contextos de treinamento, pode ser um fator crucial na transferência de aprendizado para o ambiente de trabalho real.

Figura 1. Ilustração de Treinamento de Segurança em RV



(A) Sala de Introdução; (B) Sala de EPIS; (C) Sala de Operações; (D) Simulador de Riscos.

Fonte: Adaptado de Mousavi et al. (2023)

Ainda que os estudos sobre a aplicação de RV em treinamentos de segurança sejam promissores, algumas limitações persistem. Renganayagalu et al. (2023), em sua revisão sistemática, observam que, apesar das vantagens cognitivas e psicomotoras observadas em ambientes virtuais, há uma falta de robustez experimental em muitos estudos, o que levanta questões sobre a validade e generalização dos resultados. Além disso, a aceitação da RV entre os trainees é alta, mas é importante considerar que o tempo de adaptação ao uso do hardware e a complexidade das simulações podem afetar a eficácia do treinamento, como apontado por Al-Khiami et al. (2023).

Outro conceito importante observado na literatura é a gamificação, que tem sido cada vez mais utilizada em treinamentos de segurança ocupacional. Vigoroso et al. (2023) destacam que jogos digitais baseados em RV oferecem mecânicas de jogo como pontos e desafios, o que pode aumentar o engajamento e melhorar a aprendizagem. A pesquisa sugere que a gamificação pode ser uma ferramenta eficaz para a formação de trabalhadores, especialmente em setores com alta incidência de riscos.

Embora a literatura aponte para a eficácia da RV em treinamentos de segurança, algumas lacunas permanecem, como a necessidade de mais estudos experimentais

robustos que investiguem a real eficácia da RV em comportamentos pós-treinamento, conforme destacado por Stefan et al. (2021). A maioria dos estudos existentes concentra-se na avaliação de aprendizagem imediata, mas poucos abordam os efeitos a longo prazo da RV ou sua transferência para o ambiente de trabalho real. Além disso, o desafio da adaptação ao uso de tecnologias de RV, especialmente para trabalhadores com pouca experiência tecnológica, continua sendo uma barreira significativa.

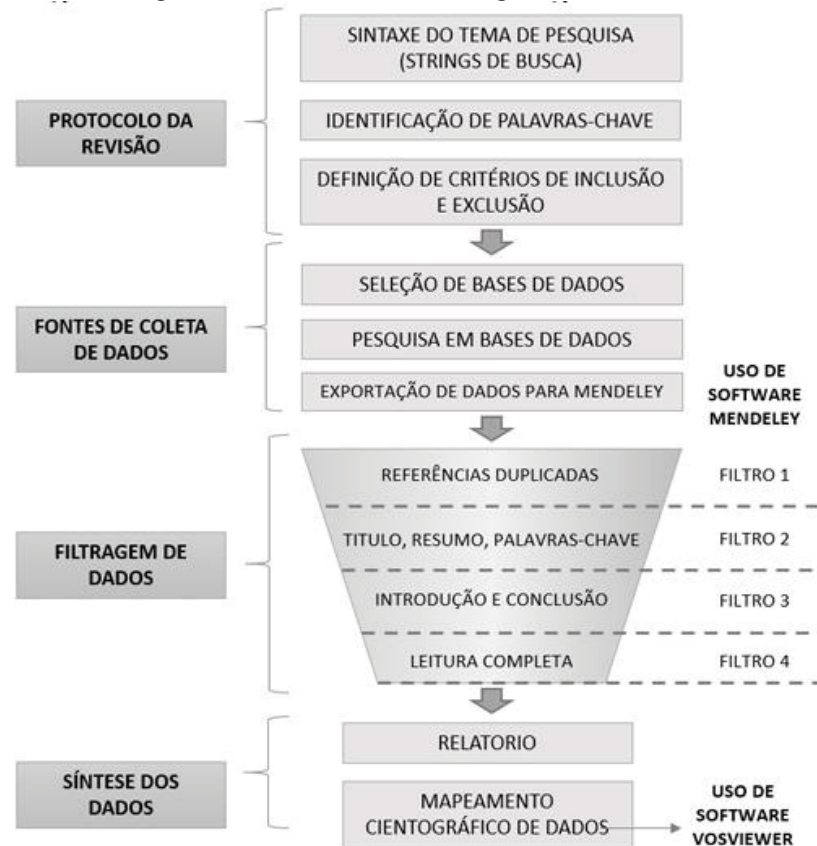
Por fim, a revisão bibliográfica realizada para este trabalho identificou um consenso geral de que a RV, quando aplicada corretamente, pode ser uma ferramenta eficaz para o treinamento em segurança. Dessa forma revelou que a área carece de metodologias de avaliação mais precisas e estudos que investiguem a aplicabilidade da RV, em cenários específicos da indústria.

A proposta deste trabalho de utilizar tecnologias como laser scanners, softwares 3D, e o motor de jogo Unreal Engine visa preencher algumas dessas lacunas, oferecendo uma abordagem inovadora para o treinamento de segurança em ambientes industriais. Além disso, a metodologia busca alinhar-se aos achados da literatura, incorporando interatividade e gamificação para melhorar o engajamento dos participantes.

3. METODOLOGIA

Este estudo seguiu um processo rigoroso de Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) para investigar os treinamentos de segurança em Realidade Virtual (RV) no contexto industrial. A metodologia foi estruturada em quatro etapas principais: definição do protocolo de revisão, coleta de dados, filtragem dos dados e síntese dos resultados, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2. Fluxo da Revisão Bibliográfica Sistemática

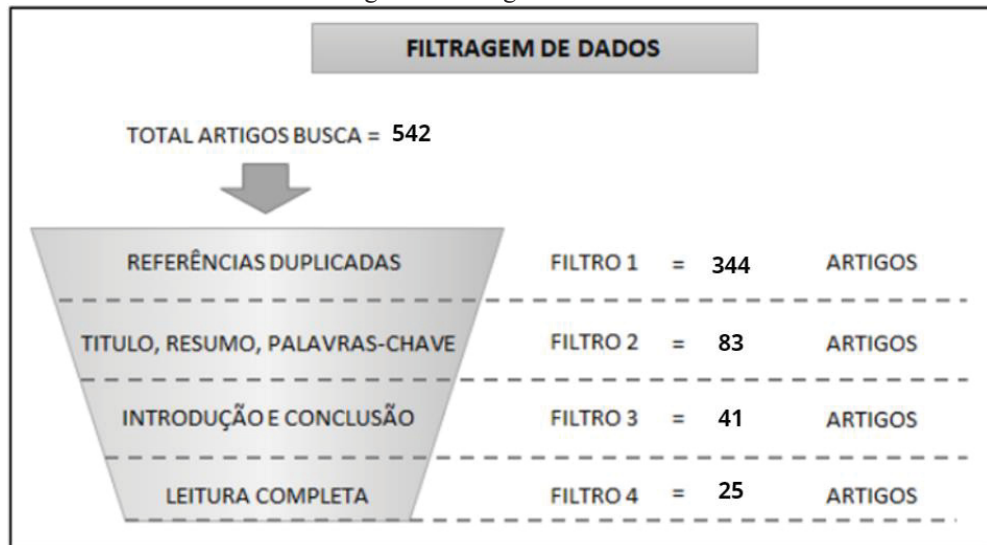


Fonte: Adaptado de Catapan et al. (2021)

Conforme ilustrada na Figura 2, a primeira etapa consistiu na elaboração do protocolo de revisão, que envolveu a definição de critérios claros para a seleção dos estudos, considerando a relevância e o foco específico no tema da pesquisa.

Na segunda etapa, após a coleta dos dados, o processo de filtragem foi realizado em quatro fases. Primeiramente, foram eliminadas as referências duplicadas, resultando em um total de 344 artigos únicos. A seguir, os artigos foram analisados quanto ao título, resumo e palavras-chave, reduzindo a amostra para 81 artigos. Na terceira fase, foram lidas as introduções e conclusões, com a seleção sendo reduzida para 41 artigos. Finalmente, foi feita a leitura completa dos textos, culminando na seleção de 25 artigos que formaram a base para a revisão. O processo de filtragem é ilustrado na Figura 3, adaptada de Almeida et al. (2022). Esses artigos foram escolhidos por sua relevância e contribuição para o entendimento das vantagens, usabilidade e desafios da aplicação de Realidade Virtual em treinamentos de segurança no ambiente industrial.

Figura 3. Filtragem de dados



Fonte: Adaptado de Almeida et al. (2022)

A análise das publicações focou no impacto e nas características dessas soluções, destacando como elas podem melhorar a capacitação e a segurança dos trabalhadores em indústrias. O Quadro 1 apresenta as referências que permaneceram após o processo de filtragem, com ênfase nas questões relacionadas à usabilidade e conectividade no desenvolvimento de treinamentos de segurança industrial em Realidade Virtual.

Quadro 1. Referências que permaneceram após o processo de filtragem

EF.	REFERÊNCIAS
	AFZAL, M.; SHAFIQ, M. T. Evaluating 4D-BIM and VR for Effective Safety Communication and Training: A Case Study of Multilingual Construction Job-Site Crew. <i>BUILDINGS</i> , [S.l.], v. 11, n. 8, 2021.
	AL-KHIAMI, M. I.; JAEGER, M. Safer Working at Heights: Exploring the Usability of Virtual Reality for Construction Safety Training among Blue-Collar Workers in Kuwait. <i>Safety</i> , [S.l.], v. 9, n. 3, 2023.
	BEŚ, P.; STRZAŁKOWSKI, P. Analysis of the Effectiveness of Safety Training Methods. <i>Sustainability (Switzerland)</i> , [S.l.], v. 16, n. 7, 2024.
	CHEN, S.-Y.; CHIEN, W.-C. Immersive Virtual Reality Serious Games With DL-Assisted Learning in High-Rise Fire Evacuation on Fire Safety Training and Research. <i>Frontiers in Psychology</i> , [S.l.], v. 13, 2022.
	DEWAN, M. H.; GODINA, R.; CHOWDHURY, M. R. K.; NOOR, C. W. M.; NIK, W.; MAN, M. S. F. Immersive and Non-Immersive Simulators for the Education and Training in Maritime Domain-A Review. <i>Journal of Marine Science and Engineering</i> , [S.l.], v. 11, n. 1, 2023.
	DIANATFAR, M.; HESHMATISAFSA, S.; LATOKARTANO, J.; LANZ, M. Feasibility analysis of safety training in human-robot collaboration scenario: virtual reality use case. In: <i>Lecture Notes in Mechanical Engineering</i> , [S.l.], 2023.
	FAJAR, M.; DAVID, D.; SIHOMBING, P. R.; KEKAL, H. A.; ADITYA, I.; ILHAM, R.; KESWARA, Y. S. The Metaverse to Enhance Safety Campaign toward Shipping Industry (Case Study: The Development and Implementation of Metaverse in Government-Owned Corporation). <i>International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering</i> , [S.l.], v. 12, n. 8, p. 1–11, 2022.

	FERNÁNDEZ, A.; RIVERA, F. M. L.; MORA-SERRANO, J. Virtual Reality Training for Occupational Risk Prevention: Application Case in Geotechnical Drilling Works. <i>International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements</i> , [S.l.], v. 11, n. 1, p. 55–63, 2023.
	GAUTHIER, S.; LEDUC, M.; PERFETTO, S. J.; GODWIN, A. Use of Virtual Reality to Increase Awareness of Line-of-Sight Hazards around Industrial Equipment. <i>Safety</i> , [S.l.], v. 8, n. 3, 2022.
0	HARICHANDRAN, A.; TEIZER, J. A Critical Review on Methods for the Assessment of Trainees' Performance in Virtual Reality-based Construction Safety Training. <i>Proceedings of the 29th EG-ICE International Workshop on Intelligent Computing in Engineering</i> , [S.l.], v. 29, p. 439–448, 2022.
1	KHAN, N.; MUHAMMAD, K.; HUSSAIN, T.; NASIR, M.; MUNSIF, M.; IMRAN, A. S.; SAJJAD, M. An Adaptive Game-Based Learning Strategy for Children Road Safety Education and Practice in Virtual Space. <i>Sensors</i> , [S.l.], v. 21, n. 11, 2021.
2	MARKOPOULOS, E.; LUIMULA, M. Immersive Safe Oceans Technology: Developing Virtual Onboard Training Episodes for Maritime Safety. <i>Future Internet</i> , [S.l.], v. 12, n. 5, 2020.
3	MOUSAVI, S. M. A.; POWELL, W.; LOUWERSE, M. M.; HENDRICKSON, A. T. Behavior and self-efficacy modulate learning in virtual reality simulations for training: a structural equation modeling approach. <i>Frontiers in Virtual Reality</i> , [S.l.], v. 4, 2023.
4	PRIBADI, A. P.; JALADARA, V.; BR SILALAH, C. D. A.; RAHMAN, Y. M. R. Application of Digital Simulation for Training Purposes Through Virtual Reality in The Workplace. <i>Indonesian Journal of Occupational Safety and Health</i> , [S.l.], v. 12, n. 3, p. 457–464, 2023.
5	RAUH, S. F.; KOLLER, M.; SCHAFER, P.; MEIXNER, G.; BOGDAN, C.; VIBERG, O. MR On-Set: A Mixed Reality Occupational Health and Safety Training for World-Wide Distribution. <i>International Journal of Emerging Technologies in Learning</i> , [S.l.], v. 16, n. 5, p. 163–185, 2021.
6	RENGANAYAGALU, S.; MALLAM, S. C.; NAZIR, S. Effectiveness of VR Head Mounted Displays in Professional Training: A Systematic Review. <i>Technology, Knowledge and Learning</i> , [S.l.], v. 26, n. 4, p. 999–1041, 2021.
7	SAGHAFIAN, M.; LAUMANN, K.; AKHTAR, R. S.; SKOGSTAD, M. R. The Evaluation of Virtual Reality Fire Extinguisher Training. <i>Frontiers in Psychology</i> , [S.l.], v. 11, 2020.
8	SHIRADKAR, S.; RABELO, L.; ALASIM, F.; NAGADI, K. Virtual world as an interactive safety training platform. <i>Information (Switzerland)</i> , [S.l.], v. 12, n. 6, 2021.
9	STEFAN, H.; MORTIMER, M.; HORAN, B. Evaluating the effectiveness of virtual reality for safety-relevant training: a systematic review. <i>Virtual Reality</i> , [S.l.], v. 27, n. 4, p. 2839–2869, 2023.
0	TOYODA, R.; RUSSO-ABEGÃO, F.; GLASSEY, J. VR-based health and safety training in various high-risk engineering industries: a literature review. <i>International Journal of Educational Technology in Higher Education</i> , [S.l.], v. 19, n. 1, 2022.
1	VIGOROSO, L.; CAFFARO, F.; CREMASCO, M. M.; CAVALLO, E. Innovating Occupational Safety Training: A Scoping Review on Digital Games and Possible Applications in Agriculture. <i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i> , [S.l.], v. 18, n. 4, 2021.
2	XU, Z.; ZHENG, N. Incorporating Virtual Reality Technology in Safety Training Solution for Construction Site of Urban Cities. <i>Sustainability</i> , [S.l.], v. 13, n. 1, 2021.
3	XU, Y.; DAI, Y. Immersive Disaster Training Schema Based on Team Role-Playing. <i>Sustainability (Switzerland)</i> , [S.l.], v. 14, n. 19, 2022.
4	YOO, J. W.; PARK, J. S.; PARK, H. J. Understanding VR-Based Construction Safety Training Effectiveness: The Role of Telepresence, Risk Perception, and Training Satisfaction. <i>Applied Sciences (Switzerland)</i> , [S.l.], v. 13, n. 2, 2023.
5	ZENG, J.; HE, Y.; WANG, X.; XU, Q. Research on Visual-Auditory Interactive Feedback Design in Virtual Reality for Electric Power Safety Training. <i>Frontiers in Artificial Intelligence and Applications</i> , [S.l.], v. 385, 2024.

Fonte: Elaborado pelos autores

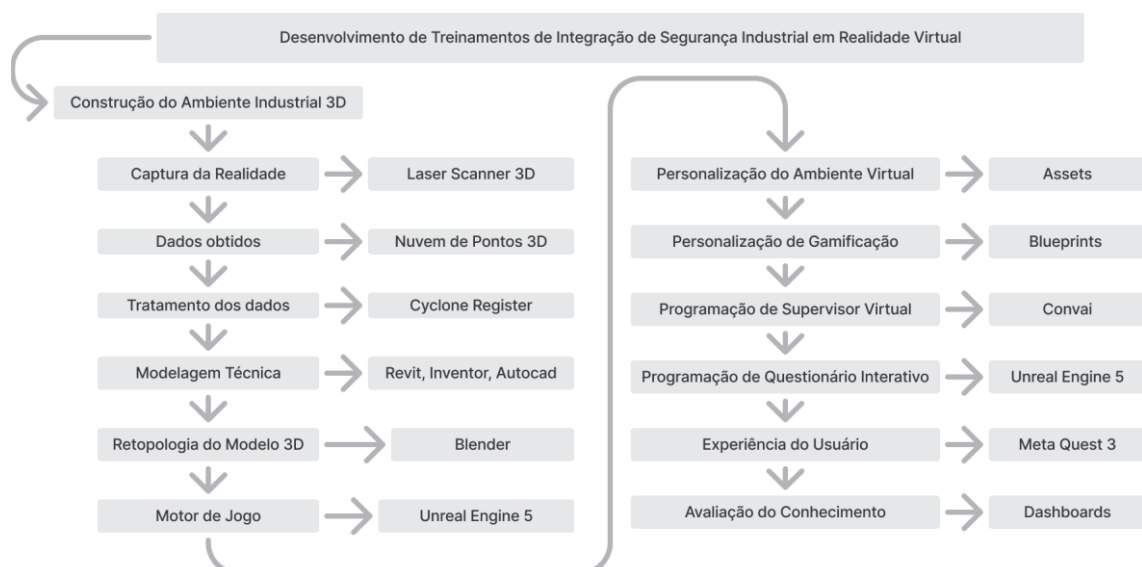
Na última etapa da Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), referente à síntese dos dados, observou-se uma vantagem significativa no uso da realidade virtual (RV) em treinamentos de segurança. Contudo, poucos estudos apresentam metodologias específicas para o desenvolvimento de treinamentos focados nesse tipo de tecnologia.

3.1. Desenvolvimento da Proposta da Metodologia

Neste item é descrito a metodologia proposta para o desenvolvimento de um treinamento de segurança industrial utilizando realidade virtual, com o objetivo de criar um ambiente virtual que permita a familiarização dos trabalhadores com práticas de segurança de maneira interativa e imersiva. O método abrange desde a construção do cenário tridimensional até a implementação de interações com elementos de gamificação, com a finalidade de simular situações de risco e promover a retenção do aprendizado. A metodologia é dividida em várias etapas: desenvolvimento do ambiente virtual, elaboração dos cenários de segurança, programação de gamificação e implementação de uma plataforma multiusuário.

A metodologia proposta, ilustrada no Fluxograma da metodologia proposta (Figura 4), segue diretrizes técnicas frequentemente abordadas na literatura, visando criar ambientes de treinamento seguros e eficazes. A estrutura metodológica enfatiza a simulação de cenários realistas, como indicado em estudos como o de Harichandran et al. (2021), que destacam o impacto positivo dos ambientes imersivos na retenção de conhecimento durante os treinamentos de segurança.

Figura 4. Fluxograma da metodologia proposta



Fonte: O autor (2024)

O desenvolvimento de treinamentos de segurança industrial em realidade virtual (RV) apresenta-se como uma abordagem inovadora para a melhoria da eficácia no ensino de práticas seguras. A metodologia proposta para a criação de um ambiente virtual interativo e imersivo segue uma série de etapas integradas que buscam otimizar a aprendizagem e a retenção de conhecimento dos trabalhadores.

Inicialmente, o ambiente virtual é modelado a partir de dados reais capturados por escaneamento a laser 3D e modelagem em softwares como Revit e Blender, garantindo alta fidelidade e realismo. Em seguida, são introduzidos elementos de gamificação, como desafios interativos e feedbacks em tempo real, visando aumentar a motivação e o engajamento, conforme sugerido por Rauh et al. (2021). O uso de um "supervisor virtual" para orientar os usuários durante o treinamento e avaliar a absorção de conhecimentos também foi integrado, alinhado às práticas de usabilidade em RV exploradas por Shiradkar et al. (2021).

Delineamento da Pesquisa: A pesquisa adotou uma abordagem metodológica mista, envolvendo a criação de ambientes virtuais simulados e a aplicação de um questionário estruturado para validar a proposta. A pesquisa-ação permitiu a realização de ajustes contínuos com base nos feedbacks dos participantes.

Desenvolvimento do Ambiente Virtual: A primeira fase do processo envolve a captura de dados 3D do ambiente físico e sua conversão em um modelo virtual detalhado. O uso de laser scanner e softwares de modelagem, como Revit e Blender, permite a reconstrução precisa do espaço, com a inserção de elementos de segurança, como sinalizações e equipamentos de proteção.

Elaboração dos Cenários de Segurança: A criação de cenários de risco, como falhas de maquinário e exposição a substâncias perigosas, serve para sensibilizar os trabalhadores para práticas seguras. Indicadores visuais ajudam a guiar as ações durante o treinamento.

Programação de Gamificação: A integração de desafios e feedbacks em tempo real dentro do motor de jogos Unreal Engine aumenta a retenção do conteúdo. A pontuação e o sistema de níveis incentivam a participação ativa.

Plataforma Multiusuário: A plataforma permite que múltiplos colaboradores participem simultaneamente do treinamento, criando um ambiente colaborativo e interativo. Além disso, a utilização de dispositivos variados (óculos de RV, tablets e celulares) facilita a acessibilidade.

Avaliação do Conhecimento: Ao final do treinamento, os participantes realizam

um questionário interativo para avaliar sua compreensão dos conceitos de segurança. Os dados são analisados para validar a eficácia do treinamento.

Validação da Proposta: A validação foi realizada com profissionais da indústria, por meio de um formulário estruturado, que abordou a clareza, praticidade e engajamento do treinamento. Os feedbacks foram utilizados para aprimorar a metodologia.

Limitações e Considerações Éticas: A pesquisa teve limitações em termos de escala, com uma amostra restrita de participantes. A coleta de dados seguiu rigorosas normas éticas, garantindo anonimato e confidencialidade.

Essa metodologia oferece uma proposta robusta para o desenvolvimento de treinamentos eficazes e imersivos, destacando a importância da tecnologia na melhoria das práticas de segurança no ambiente industrial. A validação contínua e os ajustes serão essenciais para garantir a eficácia do treinamento em diferentes contextos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO MAPA DE RACIOCÍNIO

Este capítulo analisa os resultados da aplicação e validação inicial da metodologia proposta para treinamentos de integração de segurança em realidade virtual (RV). O objetivo principal foi avaliar o engajamento dos colaboradores e a eficácia da metodologia em promover práticas seguras. A seguir, são apresentados os resultados mais relevantes, com ênfase na relação entre a metodologia proposta e os objetivos da pesquisa.

Efetividade do Ambiente Virtual na Simulação de Riscos Industriais: os resultados indicam que o ambiente virtual desenvolvido foi eficaz na simulação de situações de risco industrial, permitindo uma experiência realista e educativa. A utilização de técnicas de captura de realidade e softwares de modelagem 3D, como Revit e Unreal Engine, possibilitou a criação de um ambiente imersivo que facilitou a percepção de risco pelos participantes. O feedback dos usuários destacou a eficácia da imersão para engajamento e retenção de conteúdo, corroborando a hipótese inicial de que a RV pode ser uma ferramenta eficaz no treinamento de segurança do trabalho.

A experiência em RV demonstrou o potencial de complementar ou até substituir treinamentos tradicionais, especialmente em ambientes de alto risco, alinhando-se ao objetivo de descrever o fluxo metodológico para criar ambientes virtuais realistas.

Impacto da Gamificação na Motivação e Retenção do Conteúdo: outro ponto

importante foi o impacto positivo da gamificação, que incluiu desafios, pontuações e feedbacks em tempo real. Esse componente foi identificado como um fator significativo para aumentar a motivação e melhorar a retenção do conteúdo, conforme apontado por Almeida et al. (2022). No entanto, alguns participantes mencionaram que a complexidade dos desafios aumentou o tempo necessário para concluir o treinamento, sugerindo a necessidade de ajustes para equilibrar engajamento e eficiência em implementações futuras.

Implicações para a Pesquisa e Prática na Segurança Industrial: os resultados demonstram que a metodologia baseada em RV, gamificação e recursos multiusuários oferece uma abordagem inovadora e eficaz para treinamentos de segurança industrial. A validação inicial por meio de questionários aplicados aos alunos do curso Técnico em Segurança do Trabalho confirmou a aceitação positiva da metodologia. A maioria dos alunos atribuiu altas pontuações à eficácia, ao realismo e à utilidade do treinamento simulado, com 85% indicando que a experiência foi “muito útil” para a compreensão de práticas seguras.

Além disso, os dados qualitativos destacaram a percepção positiva sobre a capacidade da RV de reforçar a retenção do conteúdo. A pesquisa sugere que a metodologia pode ser aplicada a diferentes setores industriais, com análises futuras focadas na retenção do aprendizado a longo prazo e na possibilidade de ajustes dinâmicos nos cenários de simulação.

5. CONCLUSÕES

Esta pesquisa demonstrou que a metodologia de realidade virtual (RV), aliada a elementos de gamificação e funcionalidades multiusuário, é uma abordagem eficaz para treinamentos de segurança industrial, proporcionando uma experiência imersiva que favorece a compreensão de práticas seguras e a conscientização sobre riscos.

5.1. PRINCIPAIS RESULTADOS E INTERPRETAÇÕES

Realismo e Engajamento: O ambiente virtual criado foi capaz de simular cenários de risco com alto grau de realismo, o que intensificou a percepção dos participantes sobre a importância da segurança no trabalho. Este achado é respaldado por estudos que destacam a eficácia da RV em promover o aprendizado em segurança, permitindo a vivência de situações de risco controladas. A simulação imersiva melhora a

percepção dos riscos, contribuindo para a conscientização dos trabalhadores sobre o uso adequado de equipamentos pesados e práticas seguras.

Impacto dos Elementos de Gamificação: A inclusão de gamificação, com desafios interativos e feedback em tempo real, teve um impacto positivo na retenção do conteúdo e motivação dos participantes. Essa abordagem é validada por estudos que afirmam que a gamificação pode aumentar o engajamento e facilitar a compreensão de conteúdos complexos, especialmente em treinamentos de alto risco.

Contribuições para a Área: A pesquisa contribui para o desenvolvimento de metodologias inovadoras em segurança industrial, posicionando a realidade virtual como uma ferramenta eficaz para treinamentos interativos. A aplicação de RV, como destacado por diversos autores, têm o potencial de transformar os treinamentos tradicionais, tornando-os mais dinâmicos, acessíveis e eficazes na redução de riscos.

5.2. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

A metodologia proposta pode ser expandida para outros setores, como agricultura e construção civil, onde a simulação de riscos também é essencial para a prevenção de acidentes. A aplicabilidade da RV nesses setores pode promover uma cultura de segurança mais robusta, conforme sugerido por estudos que indicam os benefícios da simulação em setores de risco elevado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFZAL, M.; SHAFIQ, M. T. Evaluating 4D-BIM and VR for Effective Safety Communication and Training: A Case Study of Multilingual Construction Job-Site Crew. *Buildings*, [s.l.], v. 11, n. 8, 2021.
- AL-KHIAMI, M. I.; JAEGER, M. Safer Working at Heights: Exploring the Usability of Virtual Reality for Construction Safety Training among Blue-Collar Workers in Kuwait. *Safety*, [s.l.], v. 9, n. 3, 2023.
- ALMEIDA, L. G. G.; CATAPAN, M. F.; VALLE, P. D. Proposta de metodologia para o desenvolvimento de plataforma multiusuário por virtualização imersiva. *Revista Foco*, v. 15, n. 4, p. e0470, 2022.
- BEŚ, P.; STRZAŁKOWSKI, P. Analysis of the Effectiveness of Safety Training Methods. *Sustainability (Switzerland)*, [s.l.], v. 16, n. 7, 2024.
- CATAPAN, M. F.; MERCADO, F. A. P.; ALMEIDA, L. G. G.; ZEM NETO, D.; MARTINS, L. O.; ARAUJO, J. L.; STROBEL, C. S. Acessibilidade em Treinamentos de Cirurgias Endoscópica através de virtualização imersiva - O Estado da Arte. In: *I Latin American Congress of Applied Technologies, 2021. I Latin American Congress of Applied Technologies*. São José dos Pinhais: Latin American Publicações, v. 1, p. 1, 2021.
- CHEN, S.-Y.; CHIEN, W.-C. Immersive Virtual Reality Serious Games With DL-Assisted Learning in High-Rise Fire Evacuation on Fire Safety Training and Research. *Frontiers in Psychology*, [s.l.], v. 13, 2022.
- DEWAN, M. H.; GODINA, R.; CHOWDHURY, M. R. K.; NOOR, C. W. M.; NIK, W.; MAN, M. S. F. Immersive and Non-Immersive Simulators for the Education and Training in Maritime Domain-A Review. *Journal of Marine Science and Engineering*, [s.l.], v. 11, n. 1, 2023.
- DIANATFAR, M.; HESHMATISAFSA, S.; LATOKARTANO, J.; LANZ, M. Feasibility analysis of safety training in human-robot collaboration scenario: virtual reality use case. In: *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, [s.l.], 2023.
- FAJAR, M.; DAVID, D.; SIHOMBING, P. R.; KEKAL, H. A.; ADITYA, I.; ILHAM, R.; KESWARA, Y. S. The Metaverse to Enhance Safety Campaign toward Shipping Industry (Case Study: The Development and Implementation of Metaverse in Government-Owned Corporation). *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, [s.l.], v. 12, n. 8, p. 1–11, 2022.
- FERNÁNDEZ, A.; RIVERA, F. M. L.; MORA-SERRANO, J. Virtual Reality Training for Occupational Risk Prevention: Application Case in Geotechnical Drilling Works. *International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements*, [s.l.], v. 11, n. 1, p. 55–63, 2023.
- GAUTHIER, S.; LEDUC, M.; PERFETTO, S. J.; GODWIN, A. Use of Virtual Reality to Increase Awareness of Line-of-Sight Hazards around Industrial Equipment. *Safety*, [s.l.], v. 8, n. 3, 2022.
- KHAN, N.; MUHAMMAD, K.; HUSSAIN, T.; NASIR, M.; MUNSIF, M.; IMRAN, A. S.; SAJJAD, M. An Adaptive Game-Based Learning Strategy for Children Road Safety Education and Practice in Virtual Space. *Sensors*, [s.l.], v. 21, n. 11, 2021.
- MARKOPOULOS, E.; LUIMULA, M. Immersive Safe Oceans Technology: Developing Virtual Onboard Training Episodes for Maritime Safety. *Future Internet*, [s.l.], v. 12, n. 5, 2020.

MOUSAVI, S. M. A.; POWELL, W.; LOUWERSE, M. M.; HENDRICKSON, A. T. Behavior and self-efficacy modulate learning in virtual reality simulations for training: a structural equation modeling approach. *Frontiers in Virtual Reality*, [s.l.], v. 4, 2023.

PRIBADI, A. P.; JALADARA, V.; BR SILALAH, C. D. A.; RAHMAN, Y. M. R. Application of Digital Simulation for Training Purposes Through Virtual Reality in The Workplace. *Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, [s.l.], v. 12, n. 3, p. 457–464, 2023.